FENETT'2023 Conference

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9

NOVEL FOOD PROCESSING TECHNOLOGY IN THE FUTURE CHALLENGES



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ วิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 PROCEEDINGS

4 เมษายน 2566
ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 (FENETT'2023 Conference)
(Proceedings)

“Novel Food Processing Technology in the Future Challenges”

วันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566 ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วันที่จัดทำเล่ม: 5 เมษายน พ.ศ. 2566

ออกแบบและจัดทำเล่มโดย : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ข้อมูลติดต่อ:

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 02 549 3580 โทรสาร 02 549 3581

คำนำ

ในปี พ.ศ. 2566 ได้ก้าวเข้าสู่ปีที่ 9 ของการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ซึ่งได้จัดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยมหาวิทยาลัยเครือข่ายจำนวน 7 มหาลัย ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งจะผลัดเปลี่ยนหมุนเวียนกันรับผิดชอบทำหน้าที่เป็นเจ้าภาพจัดงาน การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาตินั้นมีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อเป็นเวทีทางวิชาการให้กับคณาจารย์ นักวิจัย และนิสิต นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ได้มีโอกาสพบปะแลกเปลี่ยนด้านวิชาการ สร้างความร่วมมือ และเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่สาธารณะที่จะเป็นประโยชน์กับประเทศ โดยปีนี้สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 หรือ FENETT'2023 Conference ซึ่งถือเป็นครั้งที่สองที่ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพการจัดประชุมดังกล่าว ในการประชุมครั้งที่ 9 นี้มีสาขาบทความวิจัยทั้งสิ้น 8 สาขาดังนี้

1. Food Machinery
2. Food Processing Technology
3. Robotics and Automation in Food Processing
4. Food Quality Control and Evaluation
5. Food Safety and Supply Chain Management
6. Food Packaging and Handling
7. Thermal system and Heat transfer
8. Other Related Topics

ทั้งนี้ การจัดงานประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติในปีนี้ ได้มุ่งเน้นการนำเสนอผลงานวิจัยในระดับชาติและระดับปริญญาตรี ทั้งแบบบรรยายและโปสเตอร์ ซึ่งบทความวิจัยจะผ่านกระบวนการกลั่นกรองและการประเมินคุณภาพทางวิชาการ (Peer Reviews) จากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ก่อนการนำเสนอในที่ประชุมและบทความวิจัยจะถูกนำไปรวบรวมในเล่มรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceedings) เพื่อใช้เผยแพร่ต่อไป

ในนามของคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ขอขอบคุณคณาจารย์ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยทำให้งานประชุมวิชาการครั้งนี้ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการทางด้านวิศวกรรมอาหาร หากการจัดงานประชุมในครั้งนี้ มีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

สารจาก

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



วิศวกรอาหาร เป็นวิศวกรที่มีสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมอาหารของประเทศ ด้วยเป็นวิศวกรที่จะช่วยพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตอาหารให้ได้คุณภาพ ก้าวหน้า สามารถแข่งขันในระดับประเทศได้ การจัดงานประชุมทางวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือของสถาบันการศึกษาด้านวิศวกรรมอาหารจำนวน 7 สถาบัน ในครั้งนี้ นับเป็นกิจกรรมที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นเวทีในการส่งเสริมให้คณาจารย์ นักศึกษา ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องในด้านวิศวกรรมอาหาร ได้มีโอกาสพบปะแลกเปลี่ยนความรู้ นำเสนอผลงานวิจัย หรือนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตอาหารให้ได้คุณภาพ ทั้งยังช่วยเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาและการพัฒนาวิศกรอาหารให้กับประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความภูมิใจที่ได้รับเกียรติในการเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 ในครั้งนี้ และขอแสดงความชื่นชม คณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องในด้านวิศวกรรมอาหารในการรวมตัวกันเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย ความคิดสร้างสรรค์ อันเป็นการแสดงออกถึงศักยภาพของวิศวกรอาหารของประเทศ

ท้ายสุดนี้ ขออวยพรให้การจัดประชุมวิชาการครั้งนี้ ประสบผลสำเร็จด้วยดี ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

สารจาก

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มีความยินดีอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติ ให้เป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 นี้ ซึ่งคณะวิศวกรรมศาสตร์ของเราได้เคยรับเป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการนี้มาแล้วครั้งหนึ่ง

การจัดประชุมวิชาการนั้นนับว่ามีความสำคัญต่อแวดวงวิชาการอย่างมาก ด้วยเพราะสามารถใช้เป็นเวทีพบปะแลกเปลี่ยนด้านวิชาการ นำเสนอผลงานวิจัย และสร้างความร่วมมือระหว่างอาจารย์ ซึ่งจะช่วยสร้างงานวิจัยที่มีคุณภาพและพัฒนาวิศวกรให้กับประเทศได้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 และขอขอบคุณทุกมหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมงานประชุมนี้ และขออวยพรให้การจัดงานประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

	หน้า
โครงการการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9	I
คณะกรรมการดำเนินงาน	VI
รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาบทความวิจัย	VII
วิทยากรบรรยายพิเศษ (Keynote speaker)	VIII
กำหนดการ	IX
บทความวิจัยที่ได้รับรางวัล	XIII
สารบัญบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์	XVI



โครงการการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9

FENETT'2023 Conference

(Novel Food Processing Technology in the Future Challenges)

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วันอังคารที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566

1. หลักการและเหตุผล

วิศวกรรมอาหาร (Food Engineering) มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปอาหารสาขาหนึ่งของประเทศ ซึ่งความรู้ งานวิจัย นวัตกรรม และเทคโนโลยีใหม่ๆ ในด้านวิศวกรรมอาหารจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารของประเทศให้ก้าวหน้า และทันต่อสถานการณ์โลก ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

การจัดประชุมทางวิชาการในกลุ่มวิศวกรรมอาหารนี้ เป็นเวทีส่งเสริมให้นักศึกษา คณาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องในด้านวิศวกรรมอาหาร ได้มีโอกาสพบปะแลกเปลี่ยนความรู้ นำเสนอผลงานวิจัย นวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ ด้านวิศวกรรมอาหารหรือที่สัมพันธ์ อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน ทั้งในส่วนของภาคการศึกษา หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารให้ก้าวหน้าและเข้มแข็งต่อไป

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ได้จัดประชุมมาอย่างต่อเนื่อง โดยความร่วมมือของสถาบันการศึกษาที่จัดการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมอาหารจำนวน 7 สถาบัน ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ซึ่งในปี พ.ศ. 2566 นี้ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 หรือ FENETT'2023 Conference ในวันที่ 4 เมษายน 2566

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 นี้ เป็นการนำเสนอบทความวิจัยภาคบรรยายและภาคโปสเตอร์ ซึ่งบทความที่ผ่านการนำเสนอในที่ประชุมจะได้รับการตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceedings) ดังนั้น จึงใคร่ขอเชิญชวนนักวิจัยทุกท่านร่วมส่งบทความวิจัยเพื่อแสดงศักยภาพของนักวิจัยไทยและร่วมสร้างเครือข่ายวิศวกรอาหารไทย ให้เข้มแข็งยิ่งขึ้นสืบไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการเสนอผลงานวิจัย และเกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ ระหว่างนักวิจัยนักวิชาการจากหน่วยงานต่างๆ ในประเทศ และเป็นเวทีให้กับนิสิตนักศึกษาระดับอุดมศึกษาได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ
2. เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ทางวิชาการ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ระหว่างนักวิจัยนักวิชาการ ตลอดจนผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง
3. เพื่อสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการด้านวิศวกรรมอาหารระหว่างสถาบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐ และหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นเวทีนำเสนอผลงานวิจัยในระดับอุดมศึกษาระหว่างสถาบันการศึกษา รวมถึงระหว่างนักวิจัยนักวิชาการจากหน่วยงานต่างๆ ในประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการ การจัดการเรียนการสอนและการแก้ไขภาคอุตสาหกรรมผลิตอาหารของประเทศ
2. ผู้เข้าประชุมมีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อมูล และประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งจะนำไปพัฒนาและแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติงานได้
3. ผู้เข้าประชุมมีการแลกเปลี่ยน ร่วมมือด้านงานวิจัยเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาด้านวิชาการและนวัตกรรม

4. หน่วยงานผู้รับผิดชอบ

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5. วัน และสถานที่การจัดประชุม

วันอังคารที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566 เวลา 08.30 – 16.30 น.
สถานที่ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

6. รูปแบบการประชุมวิชาการ

หัวข้อสาขาบทความวิจัยครอบคลุมนวัตกรรม งานวิจัยทางวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหาร และอื่นๆ และมีกิจกรรมการประชุม ดังนี้

หัวข้อสาขาบทความวิจัย ประกอบด้วย

- Food Machinery
- Food Processing Technology
- Robotics and Automation in Food Processing
- Food Quality Control and Evaluation
- Food Safety and Supply Chain Management
- Food Packaging and Handling
- Thermal system and Heat transfer
- Other Related Topics

กิจกรรมการประชุม

1. การเสนอผลงานภาคบรรยาย (ระดับชาติ)
2. การเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ (ระดับชาติ)
3. การเสนอผลงานภาคบรรยาย (ระดับปริญญาตรี)
4. การเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ (ระดับปริญญาตรี)
5. นิทรรศการจากสถาบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน

7. อัตราค่าลงทะเบียน

1. สำหรับผู้นำเสนอ ระดับชาติ : นิสิต/นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา/นักวิจัย/อาจารย์ (นำเสนอแบบบรรยาย หรือโปสเตอร์ – ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการ)

   2,000 บาท ต่อคนต่อเรื่อง (เฉพาะผู้นำเสนอผลงาน และได้รับใบเกียรติบัตร)

   1,000 บาท ต่อคน (ผู้แต่งร่วม, ผู้เข้าร่วมงาน, บุคคลทั่วไปไม่นำเสนอผลงาน)

2. สำหรับผู้นำเสนอ ระดับปริญญาตรี : นิสิต/นักศึกษาระดับปริญญาตรี (นำเสนอแบบบรรยาย หรือโปสเตอร์ – ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการ)

   1,000 บาท ต่อคนต่อเรื่อง (เฉพาะผู้นำเสนอผลงาน และได้รับใบเกียรติบัตร)

   500 บาท ต่อคน (ผู้แต่งร่วม)

   200 บาท ต่อคน (ผู้เข้าร่วมงานในระดับปริญญาตรีที่ไม่นำเสนอผลงาน)

8. วิธีการลงทะเบียน

Download เอกสารการลงทะเบียน ได้ที่ https://conference.rmutt.ac.th/FE-NETT/

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร เลขบัญชี "453-1-36721-4"

ชื่อบัญชี "มทร.ธัญบุรี(ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร)" ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขา ม.เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายในวันที่ 30 มีนาคม 2566 พร้อมทั้งส่งหลักฐานการโอนเงินมาที่ Email: fenett2023@en.rmutt.ac.th ถึง ผศ.ดร.พฤกษา สวาทสุข ผู้ลงทะเบียนที่ชำระเงินเรียบร้อยและเข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัยในที่ประชุมจะได้รับรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceedings)

9. **กำหนดการสำคัญ**

เปิดรับบทคัดย่อ	30 ก.ย. 2565 -31 ม.ค. 2566
ประกาศรายชื่อบทคัดย่อที่ผ่านการพิจารณา	1 ก.พ. 2566
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับเต็ม	1 มี.ค. 2566
ประกาศผลการพิจารณาบทความฉบับเต็ม	25 มี.ค. 2566
วันสุดท้ายของการส่งบทความสมบูรณ์	30 มี.ค. 2566
ลงทะเบียนเข้าร่วมประชุมล่วงหน้า	30 มี.ค. 2566
วันจัดงานประชุมฯ ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	4 เม.ย. 2566

10. การยกเลิก และการคืนเงิน

การยกเลิกการเข้าร่วมประชุม นำเสนอผลงาน สามารถทำได้โดยการแจ้งเป็นลายลักษณ์อักษรผ่านทางอีเมลถึงประธานคณะกรรมการดำเนินการทางวิชาการ ก่อนวันที่ 30 มีนาคม 2561 ทั้งนี้จะไม่มีการคืนเงินค่าลงทะเบียนแต่อย่างใด

11. สำรองที่พัก

สถานที่ : โรงแรมราชบงกช มทร.ธัญบุรี

อัตราห้องพัก : เตียงคู่ ห้องละ 600 บาท (38 ห้อง)

โทรศัพท์ : 02-5494940–4

รายละเอียด : โรงแรมราชบงกช ตั้งอยู่ภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

12. สอบถามข้อมูล

การลงทะเบียนและที่พัก

น.ส.กุลฉัตร กิ้มซ้าย

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 02 549 3580 โทรสาร 02 549 3581

13. การส่งบทความและตอบรับบทความ

ส่งบทคัดย่อและบทความฉบับสมบูรณ์ผ่านทาง E-mail: fenett2023@en.rmutt.ac.th

ถึง รศ.ดร.ชาญณรงค์ วันทา ประธานคณะกรรมการดำเนินการทางวิชาการ

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

14. เอกสารดาวน์โหลด

เอกสารต่างๆ ดาวน์โหลดได้ที่ https://conference.rmutt.ac.th/FE-NETT/

1. รูปแบบบทคัดย่อและจดหมายนำส่ง
2. รูปแบบบทความฉบับเต็ม
3. เอกสารชี้แจงต่อ Reviewers
4. แบบลงทะเบียน
5. หนังสืออนุมัติจัดการประชุมประชุมทางวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9

คณะกรรมการดำเนินงาน



คำสั่งคณะวิศวกรรมศาสตร์

ที่ วศ 322 / 2565

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินงาน

โครงการการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 (FENETT'2023 Conference)

ตามที่ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้จัดทำโครงการการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2566 (FENETT'2023 Conference) ในวันที่ 4 เมษายน 2566 ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้จึงขอแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการอำนวยการ

1.1	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ประธานกรรมการ
1.2	รองคณบดีฝ่ายวิชาการ	กรรมการ
1.3	รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ	กรรมการ
1.4	หัวหน้าภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมเกษตร	กรรมการ
1.5	หัวหน้าสาขาวิศวกรรมอาหาร	กรรมการ
1.8	หัวหน้าธุรการภาควิชาวิศวกรรมเกษตร	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการอำนวยการ มีหน้าที่อำนวยการ ให้คำปรึกษา พิจารณาสั่งการ แก้ปัญหา

2. คณะกรรมการดำเนินการทางวิชาการ

2.1	รศ.ดร.ชาญณรงค์	วันทา	ประธานกรรมการ
2.2	รศ.ดร.รุ่งเรือง	กาลศิริศิลป์	กรรมการ
2.3	รศ.ดร.จตุรงค์	ลังกาพินธุ์	กรรมการ
2.4	ผศ.วิรัช	แสงสุริยฤทธ์	กรรมการ
2.5	ผศ.พฤกษา	สวาทสุข	กรรมการ
2.6	ผศ.ดร.รินลดา	สิริแสงสว่าง	กรรมการ
2.7	ดร.กุลยา	สารชีวิน	กรรมการ
2.8	ดร.พิมพ์สิรี	สุวรรณ	กรรมการ
2.9	รศ.ดร.เกรียงไกร	แซมสีม่วง	กรรมการ
2.10	ผศ.ดร.มโน	สุวรรณคำ	กรรมการ
2.11	ผศ.ดร.มานพ	แย้มแฟง	กรรมการ
2.12	ผศ.ดร.อรวรรณ	โรจนวิรุฬน์	กรรมการ
2.13	นางสมพิศ	ตันตวรนาท	กรรมการ

2.14 ผศ.ดร.อภินันท์/

2.14 ผศ.ดร.อภินันท์ วัลภา กรรมการและเลขานุการ

ให้คณะกรรมการดำเนินงาน มีหน้าที่จัดโปรแกรมการประชุมสัมมนา หา keynote or invited speaker ประเมิณและสรรหาผู้ทรงคุณวุฒิอ่าน Abstract , Full Paper และจัดทำต้นฉบับ Proceeding ประเมินและสรุปผลการประชุมเสนอคณะและมหาวิทยาลัย

3. คณะกรรมการดำเนินงานฝ่ายประชาสัมพันธ์

3.1	ดร.พิมพ์สิรี	สุวรรณ	ประธานกรรมการ
3.2	ผศ.ดร.มโน	สุวรรณคำ	กรรมการ
3.3	ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์	แสงประดิษฐ์	กรรมการ
3.4	ผศ.ดร.สานิตย์ดา	เตียวต๋อย	กรรมการ
3.5	ดร.กิรณา	สมสุข	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนิน มีหน้าที่ดำเนินการด้านเอกสาร โปสเตอร์เชิญชวน จัดทำ Website และประสานงานที่เกี่ยวข้องกับการประชาสัมพันธ์โครงการ

4. คณะกรรมการดำเนินงานฝ่ายสถานที่ วีดีทัศน์ และภาพนิ่ง

4.1	นายธีระพงษ์	ควรคำนวน	ประธานกรรมการ
4.2	ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์	แสงประดิษฐ์	กรรมการ
4.3	ผศ.ดร.พงศ์พิชญ์	ต่วนภูษา	กรรมการ
4.4	ผศ.ศุภชัย	กฤตสุทธาชีวะ	กรรมการ
4.5	ผศ.ดร.มโน	สุวรรณคำ	กรรมการ
4.6	ดร.อภิรัฐ	ปิ่นทอง	กรรมการ
4.7	ดร.วิพุธ	ตุวยานนท์	กรรมการ
4.8	นายวีระศักดิ์	หมู่เจริญ	กรรมการ
4.9	นายนิรุตย์	แซ่โง้ว	กรรมการ
4.10	นายธีรภัทร์	จูอี้	กรรมการ
4.11	นายพงศกร	แพงชัยภูมิ	กรรมการ
4.12	ว่าที่ร้อยตรีจุลพงศ์	พฤกษะศรี	กรรมการและเลขานุการ

ให้คณะกรรมการดำเนินงาน มีหน้าที่ เกี่ยวกับโสตทัศนูปกรณ์และยานพาหนะ จัดสถานที่ห้องประชุม สถานที่สำหรับพิธีเปิด-ปิด สถานที่สำหรับจัดบอร์ดสำหรับผู้สนับสนุน โปสเตอร์ อำนวยความสะดวกเกี่ยวโสตทัศนูปกรณ์ บันทึกภาพการประชุม จัดเตรียมยานพาหนะสำหรับผู้เข้าร่วมและวิทยากรในและต่างประเทศ

5. คณะกรรมการฝ่ายอาหารและเครื่องดื่ม

5.1	ผศ.ดร.อภินันท์	วัลภา	ประธานกรรมการ
5.2	ดร.ดลหทัย	ชูเมฆา	กรรมการ
5.3	นางสาวจารุวรรณ	วินิจสร	กรรมการ
5.4	ดร.พิมพ์สิรี	สุวรรณ	กรรมการ
5.5	นางสาวศรินทิพย์	ภักตรสุวรรณ	กรรมการ

นางสาวกุลฉัตร/

5.6 นางสาวกุลฉัตร กิ้มซ้าย กรรมการและเลขานุการ

ให้คณะกรรมการดำเนินงาน มีหน้าที่ อำนวยความสะดวกเรื่องอาหาร เครื่องดื่ม ดูและการต้อนรับ รับรอง ให้แก่ผู้เข้าร่วมโครงการ

6. คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียน ต้อนรับ และนันทนาการ

6.1	รศ.ดร.สุนัน	ปานสาคร	ประธานกรรมการ
6.2	ผศ.ดร.อภินันน์	วัลภา	กรรมการ
6.3	รศ.ดร.สุนัน	ปานสาคร	กรรมการ
6.4	นางสาวมนพร	คุปตาสา	กรรมการ
6.5	นายมรกต	ประเสริฐ	กรรมการ
6.6	นางสาวจารุวรรณ	วินิจสร	กรรมการ
6.7	นางสาวศรินทิพย์	ภักตรสุวรรณ	กรรมการ
6.8	นายจักรวาล	บุญหวาน	กรรมการ
6.9	นางสาวกุลฉัตร	กิ้มซ้าย	กรรมการและเลขานุการ

ให้คณะกรรมการดำเนินงาน มีหน้าที่ รับลงทะเบียน ต้อนรับ อำนวยความสะดวกให้ผู้เข้าร่วมตลอดระยะเวลาการประชุม จัดเตรียมเอกสารสำหรับผู้เข้าร่วมประชุม

7. คณะกรรมการฝ่ายการเงิน บัญชี พัสดุ

7.1	ผศ.พฤกษา	สวาทสุข	ประธานกรรมการ
7.2	รศ.ดร.สุนัน	ปานสาคร	กรรมการ
7.3	ดร.พิมพ์สิรี	สุวรรณ	กรรมการ
7.4	นางดวงเดือน	รักสัตย์	กรรมการ
7.5	นางสาวกุลฉัตร	กิ้มซ้าย	กรรมการและเลขานุการ

ให้คณะกรรมการดำเนินงาน มีหน้าที่ดำเนินการด้านการเงิน การจัดซื้อ จัดจ้างต่างๆ จัดทำเอกสาร จัดทำบัญชี ลงเวลาการเข้าร่วมประชุม

ทั้งนี้ตั้งแต่ 11 ตุลาคม 2565 เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2565

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาบทความวิจัย

ประธานคณะกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ วันทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กอบศักดิ์ กาญจนาพงศ์กุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วงศ์ผกา วงศ์รัตน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ดร.กฤษณันท์ มะลิทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ดร.เทวิกา กีรติบูรณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.วันวิสาข์ ทวีชื่นสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิราพร จุลยุเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.พูนพัฒน์ พูนน้อย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรภัทร วาฤทธิ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนิต อิชยาวณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติมณฑน์ วงศ์ษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
ดร.ปิยะมาศ จานนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.นาฏชนก ปรางปรุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.นัยวัฒน์ สุขทั่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.จันทนา สันทัดพร้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพลงพิณ เพียรภูมิพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีรกุล มีกลางแสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ วัลภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พฤกษา สวาทสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์สิรี สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนัน ปานสาคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัช แสงสุริยฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยากรบรรยายพิเศษ (Keynote speaker)

บรรยายพิเศษ หัวข้อ: ทิศทางของวิศวกรรมอาหารต่ออนาคตอุตสาหกรรมของประเทศไทย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร เลี่ยมแก้ว

ตำแหน่ง: รักษาการรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

คณะการจัดการธุรกิจอาหาร สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

กำหนดการ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 (FENETT'2023 Conference)

วันอังคารที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2566

ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์

08.30-09.00 น. ลงทะเบียนเข้าร่วมงานและอัพโหลดไฟล์นำเสนอ

09.00-09.10 น. พิธีเปิดการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 (FENETT'2023 Conference)
กล่าวรายงานการประชุม โดย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

09.10-09.20 น. กล่าวเปิดงานการประชุม โดย อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

09.20-10.00 น. บรรยายพิเศษ หัวข้อ: ทิศทางของวิศวกรรมอาหารต่ออนาคตอุตสาหกรรมของประเทศไทย
โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รวมพร เลี่ยมแก้ว
ตำแหน่ง รักษาการรองคณบดีฝ่ายวิชาการ
หน่วยงาน คณะการจัดการธุรกิจอาหาร สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

10.00-10.20 น. มอบของที่ระลึกแก่วิทยากรบรรยายพิเศษและมอบของที่ระลึกแก่ตัวแทนมหาลัยเครือข่ายวิศวกรรมอาหาร โดย อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิทยากร: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รวมพร เลี่ยมแก้ว
มหาลัยเครือข่าย:

1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
4. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
5. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

10.20-10.35 น. พักรับประทานอาหารว่าง ณ ห้องประชุมวิกตอเรีย

กำหนดการนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย (Oral Presentation)		
ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง:		**รองศาสตราจารย์ ดร.สุนัน ปานสาคร (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี)** **ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์**
10.35-10.47 น.	**FE-N01**	ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต
10.47-10.59 น.	**FE-N03**	การจำลองดีอีเอ็มของรูปแบบการไหลในไซโลเมล็ดพืชโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส
10.59-11.11 น.	**FE-N04**	การเปรียบเทียบผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต
11.11-11.23 น.	**FE-A07**	การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
11.23-12.00 น.		มอบใบเกียรติบัตรแก่ผู้นำเสนอบทความวิจัย โดย รองศาสตราจารย์ ดร.สุนัน ปานสาคร มอบของที่ระลึกแก่ ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง โดย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
12.00-13.00 น.		พักรับประทานอาหารกลางวัน ณ ห้องประชุมวิกตอเรีย ประชุมหัวหน้าภาค/หัวหน้าสาขา/อาจารย์ มหาลัยเครือข่ายวิศวกรรมอาหาร ณ ห้องประชุมวิกตอเรีย

กำหนดการนำเสนอบทความวิจัย ภาคโปสเตอร์ (Poster Presentation)	
ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์ เวลา 13.00-13.30 น.	
FE-N02	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้
FE-N05	Application of a low-cost microwave to reduce the oil absorption of industry instant noodles
FE-N06	การศึกษาเชิงทดลองของสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต
FE-A02	ผลของกระบวนการผลิตฟักทองผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อคุณสมบัติของฟักทองผงและปริมาณสารเบต้าแคโรทีน
FE-A05	การออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารผงแบบแยกสองท่อ
FE-A12	อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสารและเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะยงชิด
FE-A14	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ
FE-A15	การคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์
13.30-13.45 น.	มอบใบเกียรติบัตรแก่ผู้นำเสนอบทความวิจัย โดย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กำหนดการนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย (Oral Presentation)		
ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง:		**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)** **ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์**
13.45-13.57 น.	**FE-A03**	การออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก
13.57-14.09 น.	**FE-A04**	การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
14.09-14.21 น.	**FE-A06**	ฟิล์มอินดิเคเตอร์ธรรมชาติสำหรับบ่งชี้คุณภาพเนื้อไก่
14.21-14.48 น.		มอบใบเกียรติบัตรแก่ผู้นำเสนอบทความ โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน มอบของที่ระลึกแก่ ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง โดย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กำหนดการนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย (Oral Presentation)		
ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง:		**ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมลดา เฟื่องฟู (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)** **ณ ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์**
14.48-15.00 น.	**FE-A11**	ศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน
15.12-15.24 น.	**FE-A01**	การปรับปรุงโปรแกรมคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
15.24-15.36 น.	**FE-A08**	ผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสและทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
15.36-15.48 น.	**FE-A10**	ผลของการให้ความร้อนระดับเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์
15.48-16.00 น.		มอบใบเกียรติบัตรแก่ผู้นำเสนอบทความ โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมลดา เฟื่องฟู มอบของที่ระลึกแก่ ผู้ดำเนินรายการประจำห้อง โดย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
16.00-16.10 น.		พักรับประทานอาหารกลางวัน ณ ห้องประชุมวิกตอเรีย

ห้องประชุมสงค์ธนาพิทักษ์

16.10-16.20 น. พิธีมอบรางวัลแก่ผู้นำเสนอบทความวิจัย โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มโน สุวรรณคำ ผู้อำนวยการกองกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลระดับดีเด่น	ประเภทบทความวิจัยระดับชาติ
รางวัลระดับดี	ประเภทบทความวิจัยระดับชาติ
รางวัลชนะเลิศ	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี
รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี
รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี
รางวัลชนะเลิศ	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี
รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี
รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2	การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี

16.20-16.30 น. **พิธีปิด การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 โดย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**

บทความวิจัยที่ได้รับรางวัล

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 (FENETT'2023 Conference)

รางวัลระดับ ดีเด่น ประเภทบทความวิจัยระดับชาติ

ชื่อบทความ **FE-N02** คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้
ชื่อผู้วิจัย นภัสพร บุญสนิท, ภัทรจาริน วิวาห์, ภัทรธร กฤษเกล้า และ เทวิกา กีรติบูรณะ
มหาวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รางวัลระดับ ดี ประเภทบทความวิจัยระดับชาติ

ชื่อบทความ **FE-N01** ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต
ชื่อผู้วิจัย พรพิมล มูลแก้ว, นลินทิพย์ ยลถวิล, วรนุช ภูมิโคกรักษ์, พีรวัฒน์ แตงโสภา และ ธิราพร จุลยุเสน
มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อบทความ **FE-N03** การจำลองดีอีเอ็มของรูปแบบการไหลในไซโลเมล็ดพืชโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส
ชื่อผู้วิจัย ปรีดา ปรากฏมาก, วัชมา โพธิ์ทอง, ณัฐดนัย ตันฑวิรุฬห์ และ สุวรรณ หอมหวล
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ชื่อบทความ **FE-N04** การเปรียบเทียบผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต
ชื่อผู้วิจัย พีรวัฒน์ แตงโสภา, พัทราวรรณ โคตะนันท์, รัตติกาล สุดยอด, ภานุวัฒน์ พรมโสภา, ธิราพร จุลยุเสน, พรพิมล มูลแก้ว และ พยุงศักดิ์ จุลยุเสน
มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อบทความ **FE-N05** Application of a low-cost microwave to reduce the oil absorption of industry instant noodles
ชื่อผู้วิจัย Yuppadee Samseemoung, Grianggai Samseemoung, Grittin Samseemoung, Grittaya Samseemoung and Malarin Samseemung
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลระดับ ดี ประเภทบทความวิจัยระดับชาติ

ชื่อบทความ **FE-N06** การศึกษาเชิงทดลองของสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต
ชื่อผู้วิจัย ชาญณรงค์ วันทา, วสันต์ ขันทอง และ ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลชนะเลิศ การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี (Oral Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A08** ผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสและทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
ชื่อผู้วิจัย จิตา ขันทอง, กชมนปภานัน ทองมณี, ชนิฎา สีคันทา, พีรวัฒน์ แตงโสภา และ ธิราพร จุลยุเสน
มหาวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี (Oral Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A11** ศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิคริเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน
ชื่อผู้วิจัย พลอย แสงสง่าพงษ์, ชญานิษฐ์ หาญประทุม, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และ สุนัน ปานสาคร
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคบรรยาย ระดับปริญญาตรี (Oral Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A10** ผลของการให้ความร้อนระดับเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์
ชื่อผู้วิจัย จันทรัตน์ เทียนประเสริฐ, พรธีรา ศิริศักดิ์, นิรุตย์ แซ่โง้ว และ สุนัน ปานสาคร
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลชนะเลิศ การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี (Poster Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A12** อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสารและเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะยงชิด
ชื่อผู้วิจัย อธิตยา เอกยะติ, นันทชาติ ทองมั่น, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ และ สุนัน ปานสาคร
มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี (Poster Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A15** การคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์

ชื่อผู้วิจัย มลทิชา เช้าสุวรรณ, รัตน์สุดา มีจินดา, อนุสร ธรรมวงค์ และ พูนพัฒน์ พูนน้อย

มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 การนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับปริญญาตรี (Poster Presentation)

ชื่อบทความ **FE-A05** การออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารผงแบบแยกสองท่อ

ชื่อผู้วิจัย ญาณิศา หนูประสิทธิ์, อรวรรณ วิเท และ ชาญณรงค์ วันทา

มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

บทความวิจัย **หน้า**

บทความวิจัยระดับชาติ

FE-N01 ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต 1

FE-N02 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ 15

FE-N03 การจำลองดีอีเอ็มของรูปแบบการไหลในไซโลเมล็ดพืชโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส 27

FE-N04 การเปรียบเทียบผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต 40

FE-N05 Application of a low-cost microwave to reduce the oil absorption of industry instant noodles 54

FE-N06 การศึกษาเชิงทดลองของสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต 70

บทความวิจัยระดับปริญญาตรี

FE-A01 การปรับปรุงโปรแกรมคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ 81

FE-A02 ผลของกระบวนการผลิตฟักทองผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนและเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อคุณสมบัติของฟักทองผง และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน 96

FE-A03 การออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก 107

FE-A04 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 117

FE-A05 การออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารผงแบบแยกสองท่อ 129

FE-A06 ฟิล์มอินดิเคเตอร์ธรรมชาติสำหรับบ่งชี้คุณภาพเนื้อไก่ 135

FE-A07 การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดา ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 149

FE-A08 ผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสและทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 160

FE-A10 ผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ 174

FE-A11 ศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน 186
FE-A12 อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสารและเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะยงชิด 197
197
FE-A14 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ 209
FE-A15 การคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์ 216

บทความวิจัยระดับชาติ

FE-N01

ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

Effects of prebiotic addition on Physicochemical properties of Ice cream yogurt

พรพิมล มูลแก้ว[1*], นลินทิพย์ ยลถวิล[1], วรนุช ภูมิโคกรักษ์[1], พีรวัฒน์ แตงโสภา[1] และ ธิราพร จุลยุเสน[1]

Pornpimol Moolkaew [1*], Nalintip Yolthawin[1], Woranuch Pumkokrak[1], Peerawat Taengsopha[1] and Tiraporn Junyusen [1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

[1] School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: Pornpimol.m@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเติมพรีไบโอติกในไอศกรีมโยเกิร์ต เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต พรีไบโอติกที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ผงอินนูลิน ผงกล้วยดิบ และผงแก่นตะวัน โดยเติมลงไปในส่วนผสมทำไอศกรีมร้อยละ 4 อัตราส่วนผสมทำไอศกรีมต่อโยเกิร์ตคือ 40: 60 %w/w ผลการศึกษาพบว่าชนิดของพรีไบโอติกมีผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆของไอศกรีมโยเกิร์ต สำหรับค่าความหนืด อัตราการขึ้นฟู อัตราการละลาย และความแน่นเนื้อของไอศกรีมโยเกิร์ตจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันจะให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมน้อยกว่าทุกสูตร แตกต่างจากสูตรที่เติมอินนูลินจะให้ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมากที่สุด และมีอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมน้อย ส่วนไอศกรีมสูตรที่เติมผงกล้วยดิบจะมีความแข็งมากกว่าทุกสูตร และให้อัตราการละลายที่ช้าที่สุด นอกจากนี้พรีไบโอติกทุกชนิดให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไอศกรีมทุกสูตรมีค่า pH ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

คำสำคัญ: แก่นตะวัน ผงกล้วยดิบ พรีไบโอติก อินนูลิน ไอศกรีมโยเกิร์ต

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of biotic addition on physicochemical properties of ice cream yogurt. The prebiotics used in this study were inulin, banana powder, and Jerusalem artichoke powder

by adding 4% each ice cream mixture. However, the ratio of ice cream mixture to yogurt mix was 40:60%w/w. The results showed that used of different prebiotics affecting significant ($p \leq 0.05$) in the viscosity consistency, overrun, melting rate, and hardness of ice cream yogurt. Increasing the Jerusalem artichoke powder content showed the lowest viscosity consistency of ice cream mix. On the other hand, Inulin had a completely different effect on the viscosity consistency and ice creams with lower overrun. Addition of the banana powder caused highest hardness value and decreased the melting time of ice cream. Moreover, the colour results showed that addition the prebiotic also affected increase their light (L*) and yellow (b*) over significant differences ($p \leq 0.05$) the control sample (no addition the prebiotic). The adding prebiotic had no effect on the chemical properties (pH, moisture content and water activity) when compare with control sample ($p > 0.05$).

Keyword: Banana powder, Ice cream yogurt, Inulin, Jerusalem artichoke powder, Prebiotic

บทนำ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำนมด้วยแบคทีเรีย สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophiles*) และแล็กโทบาซิลลัส เดลบรึคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556) ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จัดเป็นโพรไบโอติก (probiotics) ซึ่งสามารถย่อยพรีไบโอติก (prebiotics) ได้ ร่างกายปกติของมนุษย์ไม่สามารถย่อยและดูดซึม พรีไบโอติกในระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานและส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก สารที่จัดอยู่ในกลุ่มของพรีไบโอติกมีหลายชนิดส่วนใหญ่พบในผักและผลไม้ เช่น สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) พบในกล้วยดิบ โอลิโกแซกคาไรด์ (oligosaccharides) และอินนูลิน (inulin) พบในแก่นตะวันและกระเทียม และผงบุก (konjac) พบในหัวบุก เป็นต้น สารเหล่านี้ถูกนำมาผสมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายรูปแบบ เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ อาหารเช้าธัญพืช เยลลี่ น้ำนม และโยเกิร์ต เป็นต้น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550; Tanjor et al., 2012) การหมักนี้ทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยว มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาอาการท้องผูกจึงช่วยในระบบขับถ่าย ป้องกันการเกิดความดันโลหิตสูง และการควบคุมน้ำหนัก

อินนูลิน (inulin) คือ คาร์โบไฮเดรตที่จัดเป็นเส้นใยอาหาร โดยร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารและไม่ให้พลังงาน อินนูลินสามารถถูกย่อยได้ด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ อินนูลินจึงถูกจัดเป็นพรีไบโอติก ส่วนใหญ่อินนูลินถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) เนื่องจากอินนูลินมีผลช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ลดไขมันหรือมีไขมันต่ำ เช่น ในผลิตภัณฑ์จำพวกไอศกรีม เนยแข็ง และโยเกิร์ต เป็นต้น (Junyusen et al., 2017)

แก่นตะวัน (Jerusalem Artichoke) เป็นพืชหัวสมุนไพรที่มีปริมาณอินนูลินสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ เป็นสารพรีไบโอติกและใยอาหาร ที่ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารตอนบน สามารถผ่านลงไป

ยังบริเวณลำไส้ใหญ่ได้ จึงเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งช่วยป้องกันการติดเชื้อในลำไส้ ลดระดับคลอเรสเตอรอลและความดันโลหิต ปัจจุบันได้มีการนำแก่นตะวันมาแปรรูปเป็น แป้งแก่นตะวัน แป้งอินนูลิน น้ำเชื่อฟรักโทส เพื่อประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมหรือสารเติมแต่งของอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อ (ไส้กรอก) เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้พร้อมดื่ม เครื่องดื่มชาและกาแฟ ผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม โยเกิร์ต เป็นต้น (นพพร, 2558)

มอลทิทอล (maltitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) ที่มีความหวานประมาณ 90% ของน้ำตาลทราย โดยมอลทิทอลให้พลังงาน 2.1 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Zumbé and Storey, 2001) มอลทิทอลจัดเป็นสารที่มีดัชนีน้ำตาลในเลือดต่ำ (GI) เหมาะกับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากมอลทิทอลถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กได้ช้าทำให้การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายช้า นอกจากนี้สามารถลดการเกิดฟันผุได้ มอลทิทอลปลอดภัยต่อผู้บริโภค และได้รับการยอมรับในการบริโภคโดยไม่กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (Zumbé and Storey, 2001; Rapaille et al., 2016; Grembecka, 2015)

ไอศกรีมเป็นของหวานที่นิยมอย่างมากในทุก ๆ ที่ สามารถรับประทานได้ทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ไอศกรีมยังมีประโยชน์มากมาย เช่น ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง และช่วยสร้างความสุขในเวลาทาน เป็นต้น ไอศกรีมที่มีนมเป็นส่วนผสมหลักจะมีแคลเซียมสูง การแปรรูปโยเกิร์ตซึ่งมีลักษณะกึ่งแข็ง (semi-solid) จากการเกิดเจลของโปรตีนในน้ำนมระหว่างการหมักให้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งหรือไอศกรีมโยเกิร์ต ซึ่งจัดเป็นอาหารที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากรสชาติทั้งหวานอมเปรี้ยว เหมาะกับการบริโภคกับบุคคลทั่วไป และมีอายุการเก็บรักษานานมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงงานนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมอินนูลิน ผงแก่นตะวัน และผงกล้วยดิบ ซึ่งจัดเป็นสารพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และเนื้อสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. การผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต

1.1 การผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว

โยเกิร์ตชนิดคงตัวมีส่วนผสมหลักของโยเกิร์ตคือ นมสดพาสเจอร์ไรซ์ไขมันเต็ม (whole milk) มอลติทอล (maltitol) ผงสตรอว์เบอร์รี (strawberry powder) และเชื้อโยเกิร์ต (yogurt culture) (แสดงในตารางที่ 1) ส่วนผสมทั้งหมด (ยกเว้นเชื้อโยเกิร์ต) ถูกนำมาผสมกันและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85ºC นาน 10 min จากนั้นรีบนำส่วนผสมมาทำให้เย็นก่อนเติมเชื้อโยเกิร์ต คนให้เข้ากัน และเทส่วนผสมลงในภาชนะ และบ่มที่อุณหภูมิ 45ºC เป็นเวลา 24 h จนกระทั่ง pH 4.19-4.22 จากนั้นโยเกิร์ตถูกนำมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4ºC เพื่อชะลอการหมักและรอการทำไอศกรีมในขั้นตอนต่อไป

1.2 ขั้นตอนการเตรียมผงกล้วยและผงแก่นตะวัน

นำผลกล้วยดิบ (ที่ความสุกระดับ 1) ที่ถูกตัดมาจากบริเวณภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และหัวแก่นตะวันสดที่ซื้อมาจากอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น (deionized water) แล้วถูกนำมาปอกเปลือกออก หลังจากนั้นนำเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วถูกนำไปแช่แข็งเป็นเวลา 24 h แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) 48 h จนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 5% (มาตรฐานเปียก) และนำไปบดลดขนาดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบหัวค้อน (hammer mill) (Perten, LABMILL 3100, USA) ให้เป็นผงที่มีขนาดเล็กกว่า 180 µm จากนั้นนำผงกล้วยดิบและผงแก่นตะวันไปบรรจุในถุงพลาสติกสุญญากาศและเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อรอนำไปทำเป็นส่วนผสมไอศกรีมโยเกิร์ตต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของโยเกิร์ต

ส่วนผสม	นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม	มอลติทอล	ผงสตรอว์เบอร์รี	เชื้อโยเกิร์ต
ปริมาณ (%)	79.4	20.0	0.5	0.1

1.3 การเตรียมส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต (ice cream yogurt)

ในงานวิจัยนี้จะผลิตไอศกรีม 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ไม่เติมพรีไบโอติกหรือสูตรควบคุม (control) สูตรที่เติมพรีไบโอติก 3 สูตร คือ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana Powder) และสูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke Powder) การผลิตไอศกรีมสามารถทำได้โดยชั่งน้ำหนักส่วนผสมที่เป็นของแห้ง ได้แก่ ครีมเทียม มอลติทอล ผงสตอว์เบอร์รี ผงไข่แดง แซนแทนกัม ผงบุกและพรีไบโอติก อัตราส่วนแสดงในตารางที่ 2 คนส่วนผสมให้เข้ากัน แล้วนำนมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็มและ Whipping cream มาให้ความร้อนแล้วจึงเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้งลงไป คนให้ส่วนผสมเข้ากัน ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 85ºC เป็นเวลา 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงให้เหลือเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วผสมกับโยเกิร์ตชนิดคงตัวจากหัวข้อ 1.1 (โยเกิร์ต 60% ส่วนผสมไอศกรีม 40%) เติมน้ำมันมะพร้าว และกลิ่นสตอว์เบอร์รี 0.2% ลงในส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (homogenizer) (IKA, T25 digital ULTRA-TURRAX®, German) ที่ 15,000 rpm เป็นเวลา 5 min หลังจากนั้นเติมแยมและไซรัป แล้วนำไปบ่ม (aging) ที่อุณหภูมิ 4ºC เป็นเวลา 24 h ก่อนนำไปปั่นไอศกรีมโยเกิร์ตด้วยเครื่องทำไอศกรีม UNOLD รุ่น 48825 บรรจุในภาชนะพร้อมปิดฝา และเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ -20ºC เพื่อรอการวิเคราะห์ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตต่อไป

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (Chemical property)

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการบ่ม 4ºC เป็นเวลา 24 h (Ice cream mixes) ถูกนำมาชั่ง 3 กรัม ใส่ถาดอะลูมิเนียมแล้วนำไปวิเคราะห์ความชื้น (%wb) ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer, OHAUS, MB-120, OHAUS Instruments Co., Ltd., Shanghai, China) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

ใส่ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตลงในถ้วยใส่ตัวอย่างปริมาณที่กำหนด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter, AquaLab Pre, METER Group, Inc, WA, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติก ด้วยเครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำนม (MilkoScan TM FT2, FOSS, Denmark) นอกจากนี้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter (PC 2700 Benchtop meter, Oakton, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของส่วนผสมไอศกรีมในแต่ละสูตร

Ingredients	Control	Inulin	Banana Powder	Jerusalem Artichoke powder
นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม (%)	42	42	42	42
Whipping cream (%)	16.0	16.0	16.0	16.0
ครีมเทียม (%)	15.0	15.0	15.0	15.0
มอลติทอล (%)	8.5	8.5	8.5	8.5
แยม (%)	8.0	8.0	8.0	8.0
พรีไบโอติก (%)	0.0	4.0	4.0	4.0
น้ำมันมะพร้าว (%)	2.0	2.0	2.0	2.0
ไซรัปสตอว์เบอร์รี	2.0	2.0	2.0	2.0
ผงสตอว์เบอร์รี (%)	1.5	1.5	1.5	1.5
Emulsifier (ผงไข่แดง) (%)	0.5	0.5	0.5	0.5
Stabilizer (แซนแทนกัม) (%)	0.4	0.4	0.4	0.4
ผงบุก (%)	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำสะอาด (%)	4.0	0.0	0.0	0.0

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (Physical property)

3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Rheological properties of the ice cream mixes)

การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตร ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield DV2T Viscometer, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA) ทำได้โดยการนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Ice cream mixes) ที่ผ่านการบ่ม 4ºC เป็นเวลา 24 h ใส่ลงใน cylindrical sample chamber (13R) ที่อุณหภูมิ 4ºC และใช้ spindle เบอร์ 21 (SSA21) ที่ความเร็วรอบ 0.2–85 rpm ทำการวัดค่าความหนืดปรากฏ และรูปแบบพฤติกรรมการไหล (flow behavior curve) (ดัดแปลงวิธีการจาก Mellado, 1998)โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.2 การวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun)

นำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Ice cream mixes) มาบรรจุลงในถ้วยพลาสติกจนเต็มแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำส่วนผสมของไอศกรีมไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม แล้วตักไอศกรีมใส่ในถ้วยพลาสติกใบเดิมจนเต็ม แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำไปคำนวณ Overrun (%) ในสมการที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีการจาก Arbuckle 1986)

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม} - \text{น้ำหนักของไอศกรีมหลังปั่น}}{\text{น้ำหนักของไอศกรีมหลังปั่น}} \times 100 \quad (1)$$

3.3 การวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีม (melting rate)

การวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีม นำตัวอย่างไอศกรีมที่บรรจุเต็มแม่พิมพ์ และมีน้ำหนักที่แน่นอน 35 ± 5 g ไปเก็บไว้ที่ตู้ -21ºC เป็นเวลา 24 h ก่อนนำมาทดสอบอัตราการละลาย โดยนำไอศกรีมที่แกะออกจากแม่พิมพ์ วางบนตะแกรงลวดขนาด 15 x 15 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรงเท่ากับ 0.5 cm ซึ่งวางอยู่บนบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในห้องอุณหภูมิ 25±1ºC จับเวลาทุก ๆ 5 min นำบีกเกอร์ไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะได้น้ำหนักของไอศกรีมที่ละลาย โดยหาอัตราการละลายเป็นเวลา 60 min แล้วนำผลที่ได้เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักของไอศกรีมที่ละลายต่อระยะเวลา แล้วหาอัตราการละลาย (g/min) หรือความชันในช่วงกราฟที่เป็นเส้นตรง (ดัดแปลงจาก จันทร์เพ็ญ, 2561) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

3.4 การวิเคราะห์ค่าสี (colour)

นำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมาวิเคราะห์ค่าสีของด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, HunterLab, Ultrascan VIS, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA, USA) ในระบบ L* a* b* โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง (Redness) และค่า b* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTPlus, texture technologies corp. and stable micro systems, ltd., MA, USA) ตัวเครื่องต่อกับหัววัดชนิดอลูมิเนียม Cylinder probe P/10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ Pre-test, Test, and Post-test speed เท่ากับ 1, 2, และ 10 mm/s ตามลำดับ ค่า strain เท่ากับ 25% โดยนำไอศกรีมออกมาจาก -20ºC ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25ºC เป็นเวลา 15 นาทีก่อนการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และค่าการยึดติด (adhesiveness) ด้วย Texture Exponent Software (version 7.0.6.0, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 9 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีการจาก Akalin et al., 2008)

5.การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

การศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีและลักษณะเนื้อสัมผัสได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely randomized design (CRD) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Turkey's honestly significant different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม Minitab® 17 (Minitab Inc., USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต

ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการบ่ม 4ºC เป็นเวลา 24 h ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture content, %wb) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าความชื้นของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมอยู่ในช่วง 57.14 – 60.09%wb และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.987 – 0.993 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และการเติมพรีไบโอติกชนิดต่างๆไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ซึ่งอยู่ในช่วง 5.24 – 5.41

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

Component	Control	Inulin	Banana Powder	Jerusalem artichoke Powder
a_w [ns]	0.990 ± 0.000	0.990 ± 0.007	0.993 ± 0.003	0.987 ± 0.003
pH	5.38[b] ± 0.02	5.41[b] ± 0.04	5.24[a] ± 0.01	5.27[a] ± 0.02
Moisture (%wb)[ns]	60.09 ± 2.87	57.44 ± 0.19	59.20 ± 0.41	59.13 ± 0.13
Fat (%)	3.95[a] ± 0.11	4.95[b] ± 0.08	3.77[a] ± 0.36	4.15[a] ± 0.10
Total Solids (%)	36.38[b] ± 0.35	37.35[b] ± 0.38	35.98[b] ± 0.55	30.50[a] ± 0.80
Total sugar (%)	14.23[c] ± 0.05	15.35[d] ± 0.02	13.77[b] ± 0.10	12.42[a] ± 0.06
Lactic acid (%)	0.10[b] ± 0.03	0.26[c] ± 0.04	00.00[a] ± 0.0	0.15[b] ± 0.05

หมายเหตุ: [ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

[a-d] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาผลองค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตประกอบด้วยปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และปริมาณกรดแลคติก (Lactic acid) พบว่าส่วนผสมของไอศกรีมโยเกิร์ตสูตรที่เติมอินนูลินจะให้ค่าไขมัน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติกมากที่สุดเท่ากับ 4.95%, 15.35% และ 0.26% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอินนูลินที่เติมเข้าไปจะช่วยส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในโยเกิร์ต เกิดกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสในนมไปเป็นกรดแลคติกด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) และอินนูลินจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์จนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid; SCFA) ส่งผลให้ค่าไขมันเพิ่มขึ้นกว่าทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (Roberfroid, 1993)

2. ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Rheological properties of the ice cream mixes)

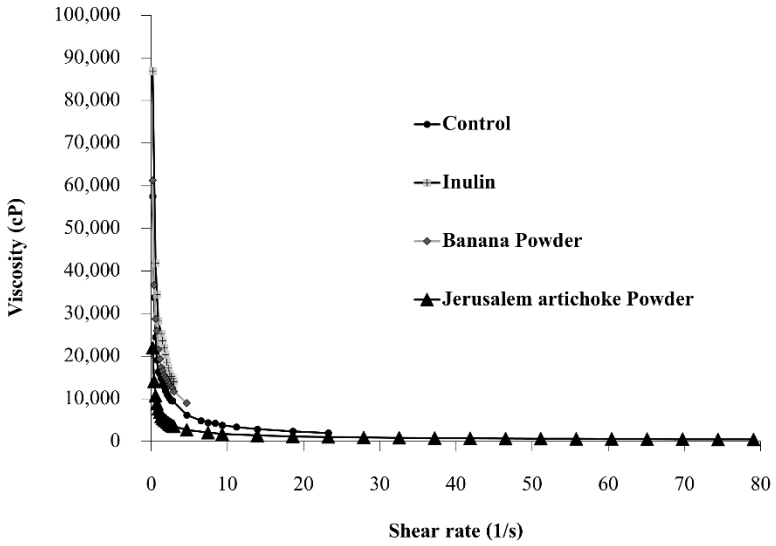
เมื่อพิจารณาสมบัติทางวิทยากระแสแบบให้แรงเฉือนของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการบ่ม 4°C เป็นเวลา 24 h โดยการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการไหล ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 1 และ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน (shear rate) ให้มากขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดลงและ

ค่าความหนืดจะเริ่มคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้สูงขึ้นไปอีก ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรแสดงพฤติกรรมเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian) แบบ Shear thinning

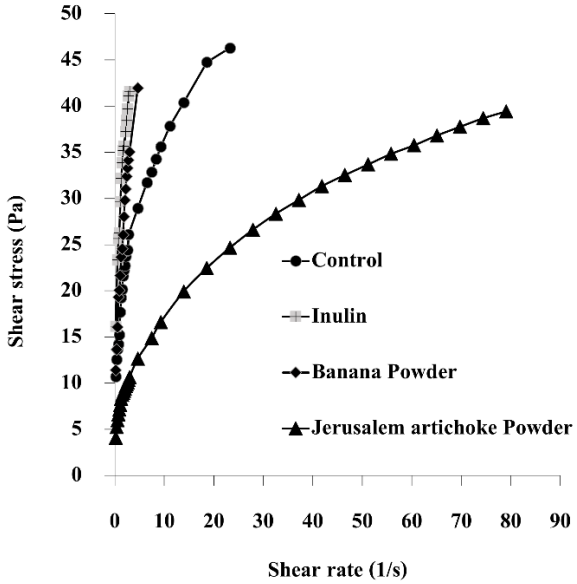
จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเค้นเฉือน (Shear stress) กับอัตราเฉือน สามารถอธิบายได้จากรูปแบบสมการแบบ Power law model โดยพิจารณาค่าความน่าเชื่อถือ least square (R^2) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.99 สมการ Power law แสดงดังสมการที่ 2

$$\tau = k\gamma^n \tag{2}$$

โดย τ คือ ความเค้นเฉือน (shear stress) มีหน่วยเป็น Pa, γ คือ อัตราเฉือน (shear rate) มีหน่วยเป็น 1/s, k คือ ดัชนีความคงตัว (consistency coefficient) มีหน่วยเป็น Pa .s และ n คือ ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index) ไม่มีหน่วย



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (Shear rate) กับความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana Powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)



รูปที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และแรงเค้นเฉือน (shear stress) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana Powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke Powder)

ตารางที่ 4 ค่า viscosity consistency (k) และค่า flow behaviour index (n) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

Ice cream mixtures	ค่า k	ค่า n	ค่า R^2
Control	$17.439^{b} \pm 0.268$	$0.323^{a} \pm 0.005$	0.9920
Inulin	$28.615^{d} \pm 0.282$	$0.347^{ab} \pm 0.025$	0.9916
Banana Powder	$21.520^{c} \pm 0.038$	$0.429^{c} \pm 0.015$	0.9935
Jerusalem artichoke Powder	$7.318^{a} \pm 0.058$	$0.384^{b} \pm 0.001$	0.9992

หมายเหตุ: $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความคงตัว (k) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตร ในตารางที่ 5 พบว่าการเติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตรให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เติมผงแก่นตะวันมีค่า k น้อยที่สุดเท่ากับ 7.318 Pa .s ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เติมอินนูลินมีค่า k มากที่สุดเท่ากับ 28.615 Pa .s ทั้งนี้เนื่องจากผงแก่นตะวันมีคุณสมบัติที่เป็นใยอาหาร มีองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมัน ดังนั้นผงแก่นตะวันจึงอาจไปขัดขวางการกระจายตัว และการดูดซึมน้ำของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม จึงส่งผลให้ส่วนผสมของพร้อมทำไอศกรีมมีค่าความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) สอดคล้องกับงานวิจัยของกฤติยาและคณะ (2020) พบว่าเมื่อเติมแก่นตะวันในโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปที่ 2.5%, 5.0% และ 7.5% ทำให้

ผลิตภัณฑ์มีความหนืดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมผงแก่นตะวัน ความหนืดที่แตกต่างกันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมยังส่งผลต่ออัตราการขึ้นฟู อัตราการละลายของไอศกรีมด้วย

การวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun)

อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร แสดงในตารางที่ 5 จากผลการทดลองพบว่าค่าอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมอยู่ในช่วง 22.95 – 26.79% โดยไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลินให้ค่าอัตราการขึ้นฟูน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรไอศกรีมอีก 3 สูตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการขึ้นฟูจะมีความสัมพันธ์กับความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ถ้าค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูงจะทำให้ได้ค่าอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ต่ำลง เนื่องจากความหนืดที่สูงจะทำให้ตีอากาศเข้าไปในโครงสร้างไอศกรีมได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 4 ที่ค่า k ของอินนูลินมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอินนูลินมีใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำและเกิดโครงสร้างคล้ายเจล จึงส่งผลให้ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาผ่านการตีจึงได้ค่าอัตราการขึ้นฟูต่ำ (Kowittaya et al, 2006)

ตารางที่ 5 ค่าสี (Colour) และอัตราการขึ้นฟู (%Overrun) ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (adhesiveness) ของไอศกรีมที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตร

	Control	Inulin	Banana Powder	Jerusalem artichoke Powder
Colour				
L*	$46.84^{a} \pm 2.43$	$71.94^{bc} \pm 1.62$	$69.73^{b} \pm 0.98$	$75.94^{c} \pm 2.56$
a*	$15.54^{a} \pm 1.01$	$19.91^{b} \pm 1.04$	$16.56^{a} \pm 0.80$	$15.44^{a} \pm 0.27$
b*	$5.42^{a} \pm 0.41$	$7.77^{b} \pm 0.06$	$8.22^{b} \pm 0.44$	$7.76^{b} \pm 0.26$
Overrun (%)	$24.55^{ab} \pm 2.66$	$22.95^{a} \pm 0.83$	$26.79^{ab} \pm 1.60$	$25.80^{b} \pm 1.31$
Hardness (g)	$153.75^{b} \pm 36.56$	$182.63^{bc} \pm 50.14$	$223.35^{c} \pm 25.93$	$75.60^{a} \pm 8.96$
Adhesiveness (g sec)	$-37.99^{b} \pm 15.26$	$-63.57^{a} \pm 9.71$	$-51.75^{a} \pm 6.89$	$-21.65^{c} \pm 3.14$

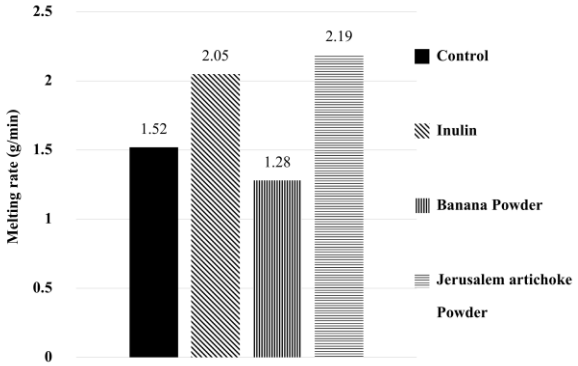
หมายเหตุ: $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของการเติมพรีไบโอติกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของไอศกรีมโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังตารางที่ 5 พบว่าไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรที่เติมพรีไบโอติกจะมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุดคือ 46.84 และ 5.42 ตามลำดับ เมื่อเติมพรีไบโอติกจะทำให้ไอศกรีมโยเกิร์ตมีค่าความสว่าง (L*) และ

ความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เติมพรีไบโอติก (control) ทั้งนี้เนื่องจากผงพรีไบโอติกที่เติมเข้าไปมีสีขาวค่อนไปทางสีเหลืองเล็กน้อยจึงส่งผลให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและอัตราการละลายของไอศกรีม

จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าการเติมพรีไบโอติกส่งผลต่อค่าความแข็ง และค่าการเกาะติด ของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร การเติมผงกล้วยจะทำให้ไอศกรีมมีค่าความแข็งมากที่สุด เท่ากับ 223.35 g และการเติมผงแก่นตะวันจะได้ค่าความแข็งน้อยที่สุดเท่ากับ 75.60 g ทั้งนี้เป็นผลมาจาการเติมแป้งกล้วยจะทำให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้งกล้วยเป็นสารพอลิแซ็กคาร์ไรด์ มีคุณสมบัติการเจลลาติไนซ์ (gelatinization) และโมเลกุลของแป้งจะจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง (Hormdok and Noomhorm, 2007) และจะมีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ได้ไอศกรีมที่มีค่าความแข็งมากที่สุด และจัดเป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีมทำให้ได้อัตราการละลายที่ช้าลง เท่ากับ 1.28 g/min (ผลการทดลองในรูปที่ 3) ไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันจะมีค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมน้อยที่สุด เมื่อปั่นไอศกรีมจะทำให้อากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมได้ดี ส่งผลให้เนื้อไอศกรีมยึดเกาะกันได้น้อยซึ่งจะมีค่าการยึดเกาะกันอยู่ที่ -21.65 g sec ทั้งนี้จึงส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายที่เร็วที่สุดเท่ากับ 2.19 g/min สอดคล้องกับงานวิจัยของจันทร์เพ็ญ (2561) ที่ใส่สารคงตัวในการพัฒนาสูตรไอศกรีม พบว่าสูตรที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.3 ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดสูงสุด และส่งผลให้ได้ค่าการขึ้นฟูต่ำและให้ค่าอัตราการละลายช้าที่สุด เนื้อสัมผัสของไอศกรีมนุ่ม ยืดหยุ่น และการยึดเกาะตัวของเนื้อไอศกรีมได้ดี



รูปที่ 3 ค่าอัตราการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana Powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke)

สรุป

การเติมพรีไบโอติกมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต โดยผงแก่นตะวัน ให้ค่าความหนืด ค่าความแข็ง ค่าการยึดเกาะน้อยที่สุด และไอศกรีมละลายเร็วกว่าทุกสูตร ผงกล้วยดิบให้ค่าอัตราการ

ขึ้นฟูใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) ไอศกรีมมีความแข็งมากและมีอัตราการละลายช้าที่สุด ไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลินจะให้ความหนืด รวมถึงปริมาณไขมันและกรดแลคติกมากกว่าทุกสูตร มีอัตราการละลายเร็วกว่าสูตรควบคุม แต่ค่าความแข็งไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การเติมพรีไบโอติกไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า pH ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการเพิ่มความสว่าง (L*) และสีเหลือง (b*) มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) งานวิจัยที่จะทำในอนาคตคือการทดสอบประสาทสัมผัสเพื่อเลือกสูตรไอศกรีมที่ดีที่สุด และทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสูตรอินนูลิน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี กายภาพ และปริมาณจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2565 ที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์. 2561. การใช้สารให้ความคงตัวในการพัฒนาไอศกรีมเนื้อนิ่มจากน้ำนมข้าวกล้อง. *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ*: การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 2 พ.ศ.2561

นพพร สกุลยืนยงสุข. 2558. การพัฒนาโยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมแป้งแก่นตะวัน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร).

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2556. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ. 2556 เรื่องนมเปรี้ยว. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

Akalin, A.S., Karagozlu, C., and Unal, G. (2008).Rheological properties of reduced- fat and low- fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. Eur. Food Res. Technol., 227:889-895

Arbuckle, W. S. 1986. Ice Cream. 4thed. *Van Nostrand Reinhold*, New York

Flores Mellado, A. A. (1998). *Ice crystallization and recrystallization in frozen model solutions and ice cream as affected by polysaccharide gums* (Doctoral dissertation, University of Guelph).

Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, 241, 1-14.

Hormdok, R., & Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food science and Technology*, 40(10), 1723-1731.

Junyusen, T., Petnom, G., & Chienwiboonsook, B. (2017). The effects of inulin on the physicochemical characteristics of feduced-fat ice cream. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 24(1).

Kowittaya, C., Thongngam, M., & Surapat, S. (2006). Quality improvement of reduced fat vanilla ice cream by inulin. In The Proceedings of the 44th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart, 30-January-2 February, 2006. *Subject: Agro-industry, Economics, Business Administration* (pp. 438-445).

Rapaille. A, Goosens. J, & Heume. M. (2016) Sugar alcohols. *Encyclopedia of Food and Health*, 211–216.

Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(2), 103-148.

Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C., & Jogloy, S. (2012). Inulin and fructooligosacharides in different varieties of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.). *Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 17*(1), 25-34.

Zumbe, A., Lee, A., & Storey, D. (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. *British Journal of Nutrition*, 85(S1), S31-S45.

FE-N02

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้

Physicochemical properties of Tamarind seed flour and application in cookies product

นภัสพร บุญสนิท[1], ภัทรจาริน วิวาห์[1], ภัทรธร กฤษเกล้า[1] และ เทวิกา กีรติบูรณะ[1*]

Naphatsaporn Boonsanit[1], Patcharin Wiwa[1] , Phattharathon Kritklao[1] and Thewika Keeratiburana[1*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

[1]School of Food Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Mueang, Nakhon Ratchasima, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: thewika@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟลาวร์เมล็ดมะขาม (Tamarind seed flour, TSF) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปมะขามเปียกและนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คุกกี้ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 5.40, 17.81, 7.37, 2.81, 0.95 และ 71.06 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีกับฟลาวร์สาลี พบว่า TSF มีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าฟลาวร์สาลี ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มากกว่าฟลาวร์สาลี ค่ากำลังการพองตัว การละลาย และคุณสมบัติด้านความหนืด ได้แก่ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายและการคืนตัวสูงกว่าฟลาวร์สาลี ศึกษาการใช้ TSF ทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 (10% TSF, 20% TSF และ 30% TSF) เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า ความแตกต่างของสี (ΔE) ของคุกกี้ TSF ทุกสูตรไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ในขณะที่ลักษณะความแข็งของคุกกี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ TSF ที่เพิ่มขึ้น ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าคุกกี้ 10% TSF มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.47) และผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ 10% TSF เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้าสูงกว่าสูตรควบคุม ดังนั้นฟลาวร์เมล็ดมะขามสามารถทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดมะขามเหลือทิ้ง

คำสำคัญ: เมล็ดมะขาม; ฟลาวร์เมล็ดมะขาม; คุกกี้

Abstract

The objective of this study is to evaluate the properties of tamarind seed flour (TSF) as a by-product of tamarind paste and its application in cookie formulations. Results of proximate analysis of TSF revealed the values of moisture content, protein, fat, ash, crude fiber, and carbohydrate were 5.40%, 17.81%, 7.37%, 2.81%, 0.95% and 71.60%, respectively. The color properties of tamarind seed flour showed that the lightness (L*) was less than wheat flour, whereas redness (a*) and yellowness (b*) were more than wheat flour. Swelling power, solubility, and pasting properties (peak, final viscosities, and setback) were all higher than wheat flour. For the application, TSF was substituted wheat flour in cookies product at 10, 20 and 30% (10% TSF, 20% TSF and 30% TSF) compared with the control formulation. The total color difference (ΔE) of all cookies was not significantly different from the control ($p > 0.05$). The hardness of cookies was increased according to the high amount of TSF. However, the hardness of the control and TSF10 were not significantly different. The sensory evaluation showed that 10% TSF was the most overall acceptable (7.47). Proximate analysis of 10% TSF exhibited higher protein, fat, crude fiber and ash as compared to the control. Therefore, TSF can be substituted for wheat flour in the preparation of cookies, as well as for adding value to the by-products of tamarind.

Keyword: Tamarind seed; Tamarind seed flour; cookies

บทนำ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย สามารถทนอากาศแห้งแล้งได้ดี ประเทศไทยมีการแปรรูปมะขามเปรี้ยวเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตมะขามเปียก ทำให้มีเมล็ดมะขามเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก จากงานวิจัยของ Gitanjali, Sharma, & Jain,. (2020) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามพบว่า มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูง ดังนั้นหากนำแป้งเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์โดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชั่น (Functional food) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการจึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปมะขาม คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรสหวานมัน กรอบร่วน ในปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้อย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมงาขี้ม่อน (คฑามาศ และน้อมจิตต์, 2563) คุกกี้เนยเสริมผักหวานป่า (สวาท, 2562) คุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ (นราธิป, 2559) และคุกกี้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน (อริสรา และอรอุมา, 2550) จากข้อมูลนี้ ทำให้เห็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ เพื่อให้เกิดความแปลกใหม่เสริมคุณค่าทางโภชนาการเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์คุกกี้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการแปรรูปเมล็ดมะขามที่เหลือทิ้งจากการทำมะขามเปียก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับฟลาวร์สาลี และพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้โดยนำฟลาวร์เมล็ดมะขามมาทดแทนฟลาวร์สาลีบางส่วน วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ การยอมรับ

ทางประสาทสัมผัส และองค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์คุกกี้สูตรต้นแบบที่มีคุณภาพซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดมะขาม

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

เมล็ดมะขามที่เหลือทิ้งจากการผลิตมะขามเปียกได้รับความอนุเคราะห์จากชุมชนบ้านหลังเขา อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี เตรียมฟลาวร์เมล็ดมะขามโดยอบเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที กะเทาะเปลือกและบดเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องบด ร่อนด้วยตระแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 ไมโครเมตร ได้ฟลาวร์จากเมล็ดมะขาม เก็บในถุงซิปล็อคในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของของฟลาวร์เมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับฟลาวร์สาลี

2.1 องค์ประกอบทางทางเคมี (Proximate analysis)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2000)

2.2 ค่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลาย (Swelling power and Solubility)

ค่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลาย ของฟลาวร์เมล็ดมะขาม วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Rosell, C. M., Yokoyama, W., & Shoemaker, C. (2011)

2.3 คุณสมบัติด้านความหนืด (Pasting properties)

คุณสมบัติด้านความหนืด วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA, Newport Scientific, Warriewood, Australia)

2.4 ค่าสี (Color measurement)

ค่าสีวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (Color Quest XE, Hunter lab, USA) โดยใช้ระบบ CIELab ในการระบุค่าพารามิเตอร์สี โดยค่าพารามิเตอร์สีที่ได้จะถูกรายงานเป็นค่า L*, a* และ b* โดยค่า L* แสดงค่า ความสว่าง (Lightness) a* แสดงค่า สีแดง (Redness) และ b* แสดงค่า สีเหลือง (Yellowness)

3. การศึกษาผลของการทดแทนฟลาวร์เมล็ดมะขามต่อคุณภาพคุกกี้

3.1 การเตรียมคุกกี้ฟลาวร์เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลี

เตรียมคุกกี้โดยใช้ฟลาวร์เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลีปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 (10%, 20%, 30% TSF) โดยเตรียมส่วนผสมดังตารางที่ 1 เริ่มตีเนยกับน้ำตาลไอซิ่ง ให้ขึ้นฟู ใช้ความเร็วสูงสุด เวลา 1 นาที ตีไข่พอเข้ากัน เติมกลิ่นวานิลลา และตีให้เข้ากันกับส่วนผสมเนย แบ่งใส่ 2 - 3 ครั้ง ใช้ความเร็วสูงสุด เวลา 2 นาที ร่อนส่วนผสมของแข็งพร้อมกัน ได้แก่ ฟลาวร์เมล็ดมะขาม ฟลาวร์สาลี ผงโกโก้ เกลือป่น และผงฟู จากนั้นเทส่วนผสมที่ร่อนแล้วใส่ในส่วนผสมเนย แบ่งใส่ 3 ครั้ง ใช้ความเร็วปานกลาง เวลา 3 นาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน นำโดคุกกี้มาแผ่

ให้แบน และห่อด้วยแรปฟิล์มยืดสำหรับอาหาร จากนั้นแช่เย็น เวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำโดที่แช่เย็นแล้วมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องกดคุกกี้ทรงกระบอก บรรจุโด 250 กรัม และนำคุกกี้ทรงกระบอกแช่เย็น เวลา 1 ชั่วโมง นำคุกกี้มาตัด โดยใช้มีด ความหนา 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำคุกกี้ไปอบ อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที พักคุกกี้ให้เย็นและเก็บใส่ภาชนะเพื่อนำไปวิเคราะห์

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมของคุกกี้เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลี

ส่วนผสม	สูตรคุกกี้			
	Control	**10% TSF**	**20% TSF**	**30% TSF**
ฟลาวร์เมล็ดมะขาม (กรัม)	0	25	50	75
ฟลาวร์สาลี (กรัม)	250	225	200	175
เนยจืด (กรัม)	150			
ไอซิ่ง (กรัม)	100			
ไข่ (กรัม)	50			
ผงโกโก้ (กรัม)	10			
เกลือ (กรัม)	1			
วานิลลา (1/4 ช้อนชา)	1			

*TSF หมายถึง ฟลาวร์เมล็ดมะขาม (Tamarind seeds flour)

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้

3.2.1 ค่าสีคุกกี้ ค่าสีวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (Color Quest XE, Hunter lab, USA) โดยใช้ระบบ CIELab ในการระบุค่าพารามิเตอร์สี โดยค่าพารามิเตอร์สีที่ได้จะถูกรายงานเป็นค่า L*, a*, b* และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total color difference; ΔE)

3.2.2 ความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ความแข็งของคุกกี้วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA.XTPlus) เตรียมตัวอย่างคุกกี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และความหนา 0.5 เซนติเมตร โดยใช้หัวทดสอบ P/2 – 2 mm diameter cylinder และบันทึกข้อมูล

3.2.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ ประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความแข็ง ความรู้สึกหลังกลืนและความชอบโดยรวม ด้วยการให้คะแนนแบบ 9 - point Hedonic Scale ด้วยผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 30 คน จากนั้นคัดเลือกคุกกี้เมล็ดมะขามที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

3.2.4 องค์ประกอบทางทางเคมี (Proximate analysis) คัดเลือกคุกกี้ที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ตามข้อ 2.1 เปรียบเทียบกับคุกกี้สูตรควบคุม

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขามกับฟลาวร์สาลี ใช้สถิติ t-test for Independent Sample การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของคุกกี้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวร์เมล็ดมะขาม

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์เมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับฟลาวร์สาลี พบว่า ฟลาวร์เมล็ดมะขามมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ ร้อยละ 17.81, 7.37, 2.81 และ 0.95 ตามลำดับ สูงกว่าฟลาวร์สาลี (ตารางที่ 2) ผลการทดลองแตกต่างเล็กน้อยกับรายงานของ Kaur & Sandhu (2013) ที่รายงานว่า ฟลาวร์เมล็ดมะขามมีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตสูง (ร้อยละ 10.18 และ 75.26 ตามลำดับ) และมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า (ร้อยละ 16.63) โดยความแตกต่างนี้อาจเกิดจากสายพันธุ์ ความอ่อนแก่ของเมล็ดมะขาม และกระบวนการในการผลิตฟลาวร์ (นิพัฒน์ และคณะ, 2563)

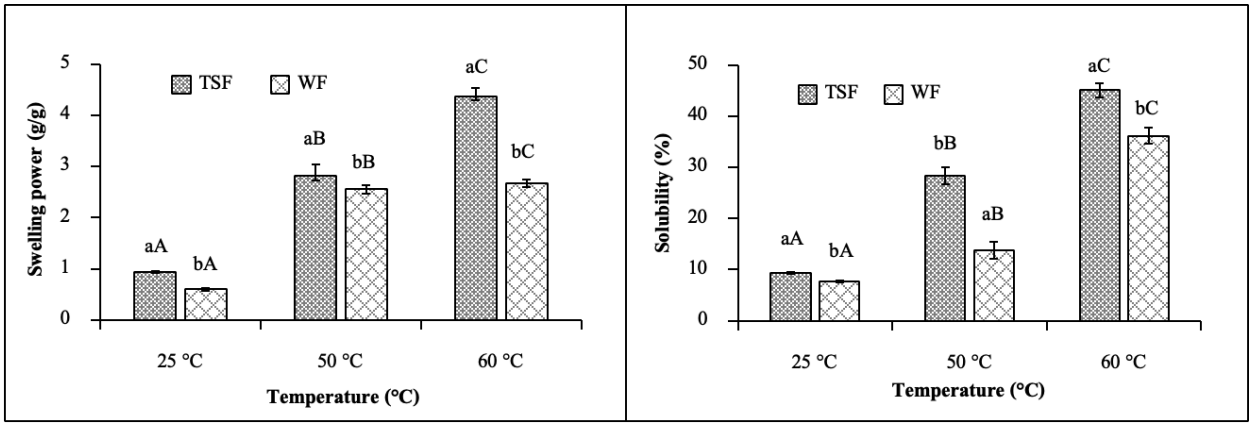
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลี

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ฟลาวร์เมล็ดมะขาม	ฟลาวร์สาลี
ความชื้น	5.40 ± 0.26	10.20 ± 0.27
โปรตีน	17.81 ± 0.28	7.87 ± 0.12
ไขมัน	7.37 ± 0.18	0.68 ± 0.01
เถ้า	2.81 ± 0.08	0.40 ± 0.01
เส้นใยหยาบ	0.95 ± 0.03	0.35 ± 0.04
คาร์โบไฮเดรต	71.06 ± 0.11	90.92 ± 0.25

ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 60 °C ของฟลาวร์เมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับฟลาวร์สาลี พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อการเพิ่มกำลังการพองตัวของฟลาวร์ทั้งสองชนิด และฟลาวร์เมล็ดมะขามมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าฟลาวร์สาลีที่ทุกอุณหภูมิ (รูปที่ 1) จากงานวิจัยของ Kaur & Singh (2016) แสดงให้เห็นถึงขนาดและรูปร่างของเม็ดกรานูลฟลาวร์เมล็ดมะขาม (2.9 - 6.15 µm) ซึ่งมีขนาดเล็กว่ากรานูลของฟลาวร์สาลี (2 – 35 µm) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากองค์ประกอบฟลาวร์เมล็ดมะขามเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ชนิดไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลน้ำตาล 3 ชนิด คือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแล็กโทส ต่อกันเป็นสายโซ่

ยาวหรือมีกิ่งก้านมาก (สิริการ และวรางคณา, 2558) ดังนั้นการให้ความร้อนจะทำให้ไซโลสออกมาได้มากขึ้น ซึ่งสารกลุ่มนี้จะมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้กำลังการพองตัวสูงกว่าฟลาวร์สาลี

ความสามารถในการละลายของฟลาวร์เมล็ดมะขาม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ (รูปที่ 1) เป็นผลมาจากฟลาวร์เมล็ดมะขามพองตัวมากกว่าฟลาวร์สาลี ในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอ ความร้อนมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย และโมเลกุลของของน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลภายในเม็ดแป้ง จึงเกิดการพองตัวจนเกิดการแตกตัวของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของแข็งที่ละลายน้ำได้ในเม็ดแป้งหลุดออกและเกิดการละลาย ทำให้ค่าการละลายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 ค่ากำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายของฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลี

*ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลีที่อุณหภูมิเดียวกัน ($p < 0.05$)

**ตัวอักษร A B และ C ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงฟลาวร์ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่าสีของฟลาวร์เมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับฟลาวร์สาลี (รูปที่ 2 และตารางที่ 3) พบว่าฟลาวร์เมล็ดมะขามมีค่า L* (83.39) น้อยกว่าฟลาวร์สาลี ขณะที่ค่า a* และ b* มากกว่าฟลาวร์สาลี สีที่เข้มของฟลาวร์เมล็ดมะขามอาจเป็นผลมากจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ของน้ำตาลรีดิวซิงกับกรดอะมิโน และปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) โดยขณะอบมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2 ลักษณะสีของฟลาวร์เมล็ดมะขาม (a) และฟลาวร์สาลี (b)

ตารางที่ 3 ค่าสีของฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลี

ค่าสี	ฟลาวร์เมล็ดมะขาม (TSF)	ฟลาวร์สาลี (WF)
L*	83.39 ± 0.03 [a]	91.19 ± 0.07 [b]
a*	1.79 ± 0.03 [b]	0.25 ± 0.01 [a]
b*	13.60 ± 0.16 [b]	5.44 ± 0.04 [a]

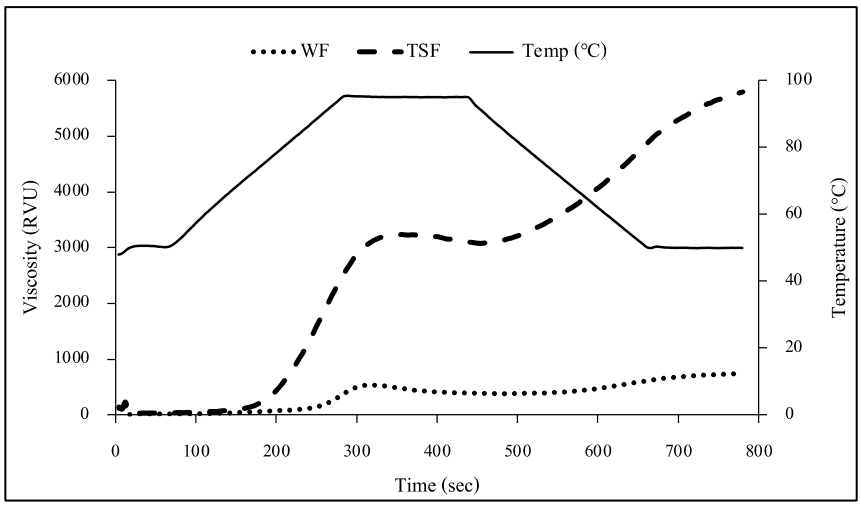
[a, b] ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลี (รูปที่ 3) พบว่า อุณหภูมิการเกิดเจล (Pasting temperature) ของฟลาวร์เมล็ดมะขาม (71.9 °C) ต่ำกว่าฟลาวร์สาลี (88.8 °C) ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณไขมันของฟลาวร์เมล็ดมะขามที่สูงกว่าฟลาวร์สาลี (ตารางที่ 1) ทำให้ฟลาวร์เมล็ดมะขามสามารถเกิดเจลได้เร็วกว่าของฟลาวร์สาลี นอกจากนี้ยังพบว่า ฟลาวร์เมล็ดมะขามมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) และค่าเซตแบค (Setback) สูงกว่าฟลาวร์สาลี โดยสามารถอธิบายได้จาก องค์ประกอบของฟลาวร์เมล็ดมะขามที่เป็นไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ที่ประกอบด้วย กลูโคส ไซโลส และกาแลคโตสในอัตราส่วน 2.80 :2.25 : 1.00 โดยมีโครงสร้างสายหลัก คือ (1,4)-β-D-glucan มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และมีกิ่งก้านแตกแขนงออกจับกับไซโลส (1,2)-β-D-xylose หรือกาแลคโตส (1,2)-β-D-galactose จำนวนมาก (Goyal et al, 2007) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ -OH ในโครงสร้างของฟลาวร์เมล็ดมะขามง่ายกว่าฟลาวร์สาลี ทำให้มีกำลังการพองตัวสูง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่ากำลังการพองตัว (รูปที่ 1) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดสูงสุด นอกจากนี้โครงสร้างสายตรงที่มีกิ่งก้านของ Xyloglucan ส่งผลต่อการคืนตัวและค่าเบรคดาวน์ของฟลาวร์เมล็ดมะขามที่สูงกว่าฟลาวร์สาลี คุณลักษณะนี้บ่งชี้ว่าเจลของฟลาวร์เมล็ดมะขามมีความแข็งแรงและทนต่อแรงเฉือนที่อุณหภูมิสูงมากกว่าเจลของฟลาวร์สาลี อาจเป็นผลจากฟลาวร์เมล็ดมะขามมีปริมาณโปรตีนสูง โดยโปรตีนหลัก คือ อัลบูมินและโกลบูลิน และโปรตีนของเมล็ดมะขามมีกรดอะมิโน

ซิสเทอีนและเมทไธโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ส่งผลต่อการเกิดเจลที่แข็งแรง (Sinchaiyakit & Suttajit, 2011)

2. ผลศึกษาผลของการทดแทนฟลาวร์เมล็ดมะขามต่อคุณภาพคุกกี้

ผลการศึกษาการใช้ฟลาวร์เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยทดแทนร้อยละ 10, 20 และ 30 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ลักษณะคุกกี้ที่มีการทดแทนด้วยฟลาวร์เมล็ดมะขามที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 ปริมาณฟลาวร์เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลีบางส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของคุกกี้ (ตารางที่ 4) พบว่า คุกกี้สูตรควบคุมมีค่า a* และ b* สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับคุกกี้ 10% TSF ในขณะที่ค่า L* ของคุกกี้ทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมพบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้ทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความสว่างและค่าความแตกต่างโดยรวมของสีของทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องจากทุกสูตรมีส่วนผสมของผงโกโก้ในปริมาณที่เท่ากัน จึงกลบค่าสีของสัดส่วนของฟลาวร์เมล็ดมะขามและฟลาวร์สาลี



รูปที่ 3 Pasting profile ของฟลาวร์เมล็ดมะขาม (TSF) และฟลาวร์สาลี (WF)



รูปที่ 4 คุกกี้ทดแทนด้วยฟลาวร์เมล็ดมะขามร้อยละ 10, 20 และ 30 (10% TSF, 20% TSF และ 30% TSF) และสูตรควบคุม

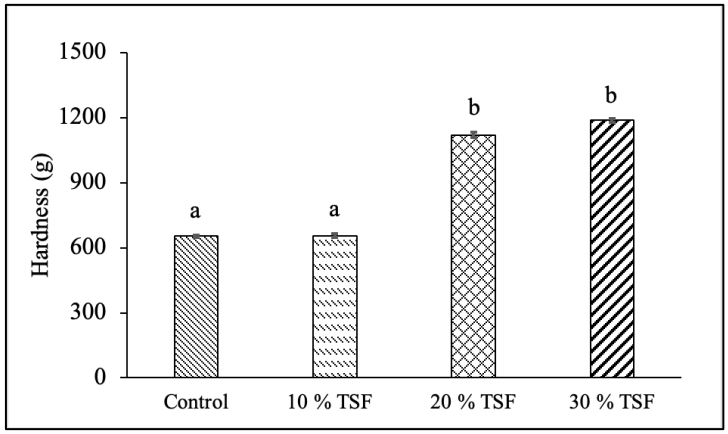
ตารางที่ 4 ค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้จากฟลาวร์เมล็ดมะขาม

Color	สูตร			
	Control	**10% TSF**	**20% TSF**	**30% TSF**
L^{*ns}	41.42 ± 2.13	40.10 ± 1.54	41.24 ± 2.61	44.17 ± 1.32
a*	8.37 ± 0.64 ^{b}	7.75 ± 0.46 ^{b}	8.04 ± 0.63 ^{ab}	6.99 ± 0.33 ^{a}
b*	9.91 ± 0.84 ^{c}	8.86 ± 0.54 ^{bc}	9.51 ± 0.73 ^{ab}	8.18 ± 0.38 ^{a}
ΔE^{ns}	-	2.38 ± 0.67	2.74 ± 0.70	3.25 ± 0.99

$^{a, b, c}$ ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของคุกกี้ พบว่า ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของฟลาวร์เมล็ดมะขาม (รูปที่ 5) โดยคุกกี้สูตรควบคุมมีค่าความแข็งน้อยที่สุด เท่ากับ 653.07 g ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตร 10% TSF (656.37 g) ในขณะที่สูตร 30% TSF มีค่าความแข็งสูงที่สุด (1187.43 g)

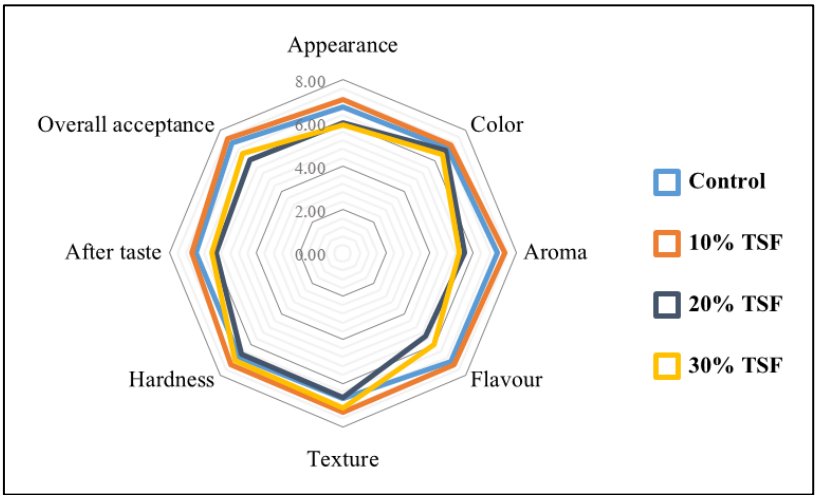


รูปที่ 5 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้จากฟลาวร์เมล็ดมะขาม

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ทั้ง 4 สูตร พบว่า คุกกี้ทุกสูตรได้รับคะแนนการทดสอบความชอบด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และความแข็งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกหลังกลืน และความชอบโดยรวมแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 6) สูตร 10% TSF มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุม สูตร 20% TSF และ 30% TSF โดยคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (7.10) สี (7.03) กลิ่น (7.33) รสชาติ (7.27) ลักษณะเนื้อสัมผัส (7.33) ความแข็ง (7.30) ความชอบโดยรวม (7.47) ซึ่งคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสูตร 20% TSF ต่ำที่สุด รองลงมาคือ 30% TSF เนื่องจากปริมาณฟลาวร์เมล็ดมะขามที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีกลิ่นถั่วมากขึ้น จากข้อมูลผลการ

วิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้คัดเลือกคุกกี้สูตร 10% TSF เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์คุกกี้สูตรควบคุม (ตารางที่ 5) พบว่าสูตร 10% TSF มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าและเส้นใยอาหารหยาบสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเพิ่มฟลาวร์เมล็ดมะขามปริมาณน้อย แต่มีปริมาณไขมันสูงเนื่องจากฟลาวร์เมล็ดมะขามมีปริมาณไขมันสูง ร้อยละ 7.37 ในขณะที่ฟลาวร์สาลีมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 0.68 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คุกกี้มีปริมาณไขมันสูงกว่าสูตรควบคุม



รูปที่ 6 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ฟลาวร์เมล็ดมะขามทดแทนฟลาวร์สาลี

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้สูตรควบคุมและสูตร 10% TSF

องค์ประกอบทางเคมี (%)	สูตรควบคุม	สูตร 10% TSF
ความชื้น	2.95 ± 0.02 [b]	3.40 ± 0.02 [a]
โปรตีน	7.87 ± 0.12 [b]	8.03 ± 0.08 [a]
ไขมัน	15.37 ± 0.40 [b]	27.32 ± 0.04 [a]
เถ้า	1.63 ± 0.03 [b]	1.68 ± 0.02 [a]
เส้นใยหยาบ	0.39 ± 0.03 [b]	0.82 ± 0.04 [a]
คาร์โบไฮเดรต	74.87 ± 0.42 [a]	62.09 ± 0.06 [b]

[a, b] ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

สรุป

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์เมล็ดมะขาม พบว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้าและเส้นใยหยาบสูงกว่าฟลาวร์สาลี ค่าการพองตัว การละลายและคุณสมบัติด้านความหนืดของฟลาวร์เมล็ดมะขามสูงกว่าฟลาวร์สาลี ในขณะที่ค่าสีของฟลาวร์เมล็ดมะขามมีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าฟลาวร์สาลี แต่มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าฟลาวร์สาลี เมื่อนำฟลาวร์เมล็ดมะขามมาทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้โดยใช้การทดแทนร้อยละ 10, 20 และ 30 (10% TSF, 20% TSF และ 30% TSF) พบว่า สูตร 10% TSF มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ 10% TSF มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้า สูงกว่าสูตรควบคุม แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า ทั้งนี้ปริมาณของไขมันในคุกกี้สูงมากเนื่องจากฟลาวร์เมล็ดมะขามมีไขมันสูง จึงควรพัฒนาสูตรต่อโดยอาจลดปริมาณของเนยลง จากผลการทดลองนี้ฟลาวร์เมล็ดมะขามสามารถทดแทนฟลาวร์สาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค และเป็นการส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดมะขามเหลือทิ้ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

คฑามาศ เข้าเมือง และน้อมจิตต์ สุธีบุตร. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมงาขี้ม่อน. *เอกสารงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2563,* 683-691.

นราธิป ปุณเกษม. (2559). *การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ*. กรุงเทพมหานคร: โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต.

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, จุฬาลักษณ์ จารุนุช, มาศอุบล ทองงาม, และวีรเชษฐ์ จิตตาณิชย. (2563). ผลของแป้งเมล็ดมะขามต่อสมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว จากข้าวไรซ์เบอรี่โดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *28*(12), 2237-2246.

สวาท เกิดศิริ และสิริชนุตต์ ทองชิว. (2562). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยเสริมผักหวานป่า*. กาญจนบุรี: สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ สังกัดวิทยาลัยอาชีวศึกษากาญจนบุรี.

สิริการ หนูสิงห์ และวรางคณา สมพงษ์. (2558). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อ สมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 23*, (1).

อริสรา รอดมุ้ย และอรอุมา จิตรวโรภาส. (2550). *การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.

AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical

Chemists.

Gitanjali, Sharma, V., & Janin, S. (2020). Nutritional Properties of Tamarind (Tamarindus indica) Kernal Flour. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, *9*(5), 1359-1364.

Goyal, P., Kumar, V., & Sharma, P. (2007). Carboxymethylation of tamarind kernel powder. *Carbohydrate Polymers*, *69*(2), 251-255.

Kaur, M., & Sandhu, K. S. (2013). Pasting properties of tamarind (Tamarindus indica) kernel powder in the presence of xanthan, carboxymethylcellulose and locust bean gum in comparison to rice and potato flour. *J. Food Sci.Technol, 50*, 809-814.

Kaur, M., & Singh, S. (2016). Physicochemical, Morphological, Pasting, and Rheological Properties of Tamarind (Tamarindus indica L.) Kernel Starch. *International Journal of Food Properties, 19*, 2432-2442.

Rosell, C. M., Yokoyama, W., & Shoemaker, C. (2011). Rheology of different hydrocolloids–rice starch blends. Effect of successive heating–cooling cycles. *Carbohydrate Polymers, 84*(1), 373-382.

Sinchaiyakit , P., & Suttajit, M. (2011). Biochemical properties and applications of tamarind (*Tamarindus indica*. Linn) seed. *Naresuan Phayao Journal,* 4(2)

FE-N03

การจำลองดีอีเอ็มของรูปแบบการไหลในไซโลเมล็ดพืชโดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส

DEM Simulation of the Flow Pattern in a Grain Silo Using Opensource Software

ปรีดา ปรากฏมาก* วัชมา โพธิ์ทอง ณัฐดนัย ตัณฑวิรุฬห์ และ สุวรรณ หอมหวล

Preeda Prakotmak*, Watchama Pothong, Natdanai Tantawiroon and Suwan Homhual

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Khamphengsean Campus, Khamphengsean, Nakhon Pathom, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: fengpdpr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การไหลตามแรงโน้มถ่วงของเมล็ดพืชและวัสดุเม็ดเล็กภายในถังพักและไซโลเป็นประเด็นที่ทั้งนักวิชาการและนักวิจัยในอุตสาหกรรมให้ความสนใจ ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลของมุมเอียงของกรวยที่แตกต่างกัน (40, 55 และ 70°) ที่มีต่อสถานะการไหลของอนุภาคในไซโล ซอฟต์แวร์ LIGGGHTS ซึ่งเป็นโอเพ่นซอร์สใช้สำหรับการจำลองวิธีองค์ประกอบแบบไม่ต่อเนื่อง (DEM) ด้วยแบบจำลองการสัมผัสกันของ Hertz-Mindlin ไซโลในการศึกษานี้มีความสูง 5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m และเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของฮอปเปอร์ 0.02 m ไซโลบรรจุอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm และมีจำนวนทรงกลมทั้งหมด 254,646 ชิ้น อนุภาคเหล่านี้ได้บรรจุภายใต้แรงโน้มถ่วงเข้าสู่ไซโลโดยไม่เกิดการทับซ้อนกัน เมื่ออนุภาคเรียงตัวอิสระและหยุดนิ่งแล้ว ช่องทางออกด้านล่างของฮอปเปอร์จะเปิดออก อนุภาคเริ่มไหลออกจนไซโลว่างเปล่า ผลลัพธ์แสดงว่าสามารถใช้แบบจำลอง DEM เพื่อทำนายพฤติกรรมของอนุภาคระหว่างการปล่อยออกจากไซโล ยิ่งความเอียงของกรวยมีค่าต่ำ อนุภาคที่อยู่ตรงกลางไซโลก็จะเคลื่อนที่เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านข้าง ในทางตรงกันข้ามที่ความเอียงสูงสุดของฮอปเปอร์ อนุภาคทั้งหมดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้เคียงกันทำให้ลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ในไซโล เมื่อมุมเอียงของฮอปเปอร์คือ 70, 55 และ 40° เวลาในการขนถ่ายเท่ากับ 36, 44 และ 50 s ตามลำดับ

คำสำคัญ: วิธีอนุภาคไม่ต่อเนื่อง ถังทรงกรวย เม็ดของแข็ง มุมเอียง ไซโล

Abstract

Gravity flow of grain and granular materials inside hoppers and silos have long been a matter of interest for both academic and industrial researchers. In this study, the effect of different conical hopper inclination angles (40, 55, and 70º) on particle flow state in the silo was investigated. The open-sourced software LIGGGHTS is used for discrete element method (DEM) simulations with Hertz-Mindlin nonlinear contact model. The silo in this study had a height of 5 m, a diameter of 2 m, and a bottom outlet diameter of 0.02 m for the conical hopper. The silo contained particles with diameters of 3 mm and a total of 254,646 spheres. These particles were then allowed to settle under gravity onto the silo without overlapping. Once a stable bed had formed, the bottom exit of hopper was opened, and the particles started to flow out until the silo was completely empty. The results show that DEM models can be used to predict particle behavior during discharge from conical silos. The lower the inclination of the conical discharge silo, the faster the particle in the center of the silo will move than the product on the sides. On the contrary, at the conical silo's maximum inclination, all particles move at approximately the same speed. As a result, the movement time in the silo has been reduced. When the conical hopper inclination angle is 70, 55, and 40º, the unloading time is 36, 44, and 50 s, respectively.

Keyword: Discrete element method, Conical hopper, Granular solids, Inclination, Silo

บทนำ

วัสดุเม็ด (Granular material) คือกลุ่มของอนุภาคของแข็งที่ช่องว่างระหว่างอนุภาค สามารถแทรกด้วยของไหล ยกตัวอย่างวัสดุเม็ดในธรรมชาติ เช่น ทราย หิน ข้าวและธัญพืชต่าง ๆ ไซโลหรือฮอบเปอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดเก็บและปล่อยวัสดุเม็ด อัตราการไหลเชิงมวลของวัสดุที่ไหลออกจากไซโลมีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมีตัวแปรหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหล เช่น ความกว้างของช่องปล่อยวัสดุ มุมของผนังไซโล ขนาดและรูปร่างของวัสดุเม็ด นอกจากนี้สมบัติวัสดุเม็ดเช่น แรงเสียดทานระหว่างวัสดุ และวัสดุกับผนังไซโลมีอิทธิพลต่อการปล่อยออกจากไซโล (Wang, Li, Xia, & Ma, 2021) ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา นักวิจัยทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของวัสดุในไซโลด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีการทดลอง (Uñac,Vidales, Benegas, & Ippolito, 2012; Börzsönyi et al., 2016) และวิธีการจำลองการด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Weinhart, Labra, Luding, & Ooi, 2016; Zhang, Jia, Zeng, Han, & Xiao, 2018) แต่เนื่องจากวิธีการทดลองนั้นใช้ระยะเวลาในการทดลอง มีค่าใช้จ่ายสูง และไม่สามารถมองเห็นพฤติกรรมการไหลภายในไซโลได้ แตกต่างจากวิธีการ สร้างจำลองด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ที่สามารถแสดงพฤติกรรมการไหลภายในได้ทันทีและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการทดลองเป็นอย่างมาก วิธีนี้จึงได้รับความนิยมใน การนำมาจำลองพฤติกรรมการไหลของวัสดุภายในไซโลในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (Discrete Element Method, DEM) เป็นวิธีการใช้เทคนิคเชิงตัวเลขในการคำนวณการเคลื่อนที่และอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคขนาดเล็ก เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ด แบบจำลอง DEM สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของวัสดุแต่ละชิ้นเพื่อประเมินตำแหน่ง ความเร็ว แรงกระทำ การสัมผัส แรงกระแทก การหมุน การชนกัน และรูปแบบการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคภายในระบบ ณ ตำแหน่งต่างๆ จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการไหลของวัสดุภายในไซโลโดย Zhao & Chew (2020) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอนุภาครูปทรงกลม ทรงรี ทรงกระบอก และทรงเหลี่ยมที่มีการกระจายขนาดแบบ Lognormal เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลภายในฮอปเปอร์ (Hopper) ทรงกรวยเอียง 30° พบว่าเมื่อเพิ่มการกระจายขนาดแบบ Lognormal จะทำให้เกิดการขัดขวางการไหลและติดขัด (Jamming) ภายในไซโล Wang et al. (2021) ได้ใช้แบบจำลอง DEM จำลองการไหลภายในไซโลของอนุภาคทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันแต่ความหนาแน่นต่างกัน พบว่าอนุภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีความเร็วในการปล่อยออกจากไซโลสูงกว่า

ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองด้วยการเลือกใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สจำลองการไหลของอนุภาคในไซโล เนื่องจากซอฟต์แวร์เหล่านี้ไม่มีค่าลิขสิทธิ์ สามารถค้นหาและดาวน์โหลดได้จากอินเตอร์เน็ตและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเสรี อย่างไรก็ตามซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สมีแหล่งคู่มือและวิธีการใช้งานไม่มากนัก ในบางซอฟต์แวร์ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานเช่น Python, C++, Fortran และ Script ซึ่งความสามารถในการทำความเข้าใจภาษาแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับความรู้พื้นฐานของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เหตุผลหลักที่ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สในงานวิศวกรรมบางประเภท จำกัดในกลุ่มผู้ใช้งานบางกลุ่มเนื่องจากไม่มีจียูไอ (Graphical User Interface, GUI) เพื่อสั่งงานและแสดงผลลัพธ์ ทำให้ผู้ใช้งานจำเป็นต้องจดจำคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม เมื่อเกิดความผิดพลาดจากผู้ใช้งานในการเขียนคำสั่ง ซอฟต์แวร์ไม่แจ้งจุดผิดพลาดให้ทราบต้องอาศัยประสบการณ์และระยะเวลาในการฝึกฝนการใช้งานเพื่อให้เกิดความชำนาญ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เล็งเห็นประโยชน์จากซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สที่มีความแม่นยำในการคำนวณสามารถแข่งขันกับซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์ที่มีค่าเช่ารายปีในราคาสูง จึงนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการใช้งาน (Workflow) ของซอฟต์แวร์ LIGGGHTS®-PUBLIC เพื่อนำมาใช้ในการจำลองปัญหาการไหลของอนุภาคในไซโลทรงกระบอกที่มีความชันของฮอปเปอร์แตกต่างกันด้วยวิธีอนุภาคไม่ต่อเนื่อง

วัสดุและวิธีการทดลอง

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของการจำลองดีอีเอ็ม

งานวิจัยนี้ใช้วิธีอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (Discrete element method, DEM) (Cundall and Strack, 1979) สำหรับการจำลองอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคที่สัมผัสกันในไซโล การเคลื่อนที่ของอนุภาคในไซโลเป็นไปตามกฎข้อที่สองของของนิวตัน (Newton's second law) โดยสามารถอธิบายการเคลื่อนที่และการหมุนของแต่ละอนุภาคตามสมการ

$$m_i \frac{dV_i}{dt} = \sum_{j=1}^{K}\left(F_{c,ij}^{n} + F_{c,ij}^{t} + F_{d,ij}^{n} + F_{d,ij}^{t}\right) + m_i g \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^{K}\left(M_{t,ij} + M_{r,ij}\right) \quad (2)$$

เมื่อตัวห้อย i และ j หมายถึงอนุภาค i และ j, m คือมวลของอนุภาค I คือโมเมนต์ความเฉื่อย V คือความเร็วในการเคลื่อนที่, ω คือความเร็วเชิงมุม, $F_{c,ij}^{n}$ และ $F_{c,ij}^{t}$ คือแรงสัมผัสที่เกิดจากการชนกันในแนวตั้งฉากและในแนวสัมผัสระหว่างอนุภาค i และ j ตามลำดับ $F_{d,ij}^{n}$ และ $F_{d,ij}^{t}$ คือแรงหน่วงคืนตัวที่เกิดจากการชนกันในแนวตั้งฉากและในแนวสัมผัสระหว่างอนุภาค i และ j ตามลำดับ $M_{t,ij}$ และ $M_{r,ij}$ คือ แรงบิดที่เกิดจากแรงในแนวสัมผัสและแรงเสียดทานการกลิ้งระหว่างอนุภาค i และ j ตามลำดับ K คือจำนวนการสัมผัสกันของอนุภาค i กับผนังไซโลและจำนวนการสัมผัสกันของอนุภาค i กับอนุภาคอื่นๆ g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง

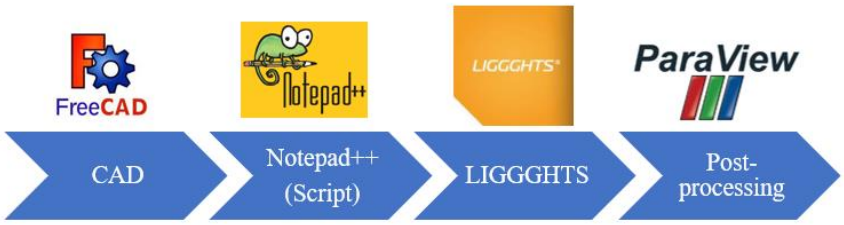
ตารางที่ 1 แรงและแรงบิดที่กระทำระหว่างอนุภาค i และ j

แรงและแรงบิด	สมการ
แรงในแนวตั้งฉาก	$F_{c,ij}^{n} = 4/3\Upsilon^{*}(r^{*})^{1/2}\delta_n^{3/2}n_{ij}$
แรงหน่วงในแนวตั้งฉาก	$F_{d,ij}^{n} = 2\sqrt{5/6}\beta\sqrt{S_n m^{*} v_{ij}^{n}}$
แรงในแนวสัมผัส	$F_{c,ij}^{t} = 8G^{*}\sqrt{r^{*}\delta_n t_{ij}}$
แรงหน่วงในแนวสัมผัส	$F_{d,ij}^{t} = 2\sqrt{5/6}\beta\sqrt{S_t m^{*} v_{ij}^{nt}}$
แรงบิดที่เกิดจากแรงในแนวสัมผัส	$M_{t,ij} = R_{ij} \times (F_{c,ij}^{t} + F_{d,ij}^{t})$
แรงบิดที่เกิดแรงเสียดทานการกลิ้ง	$M_{r,ij} = \mu_{r,ij}\lvert F_{c,ij}^{n} + F_{d,ij}^{n}\rvert\lvert\omega_{t,ij}/\lvert\omega_{t,ij}\rvert$

เมื่อ $\frac{1}{\Upsilon^{*}} = \frac{1-v_i^2}{\gamma_i} + (1-v_j^2)/\gamma_j, \frac{1}{r^{*}} = \frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j}, \beta = \frac{ln(e)}{\sqrt{ln^2(e)}} + \pi^2, S_n = 2\Upsilon^{*}\sqrt{r^{*}\delta_n}, \frac{1}{G^{*}} = \frac{2(2+\nu_i)(1-\upsilon_i)}{\gamma_i} - \frac{2(2+\nu_j)(1-\upsilon_j)}{\gamma_j}, S_t = 8G^{*}\sqrt{r^{*}\delta_n}$ โดย γ คือค่ามอดูลัสของยัง υ คืออัตราส่วนปัวซอง G คือโมดูลัสแรงเฉือน r คือรัศมีของอนุภาค

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

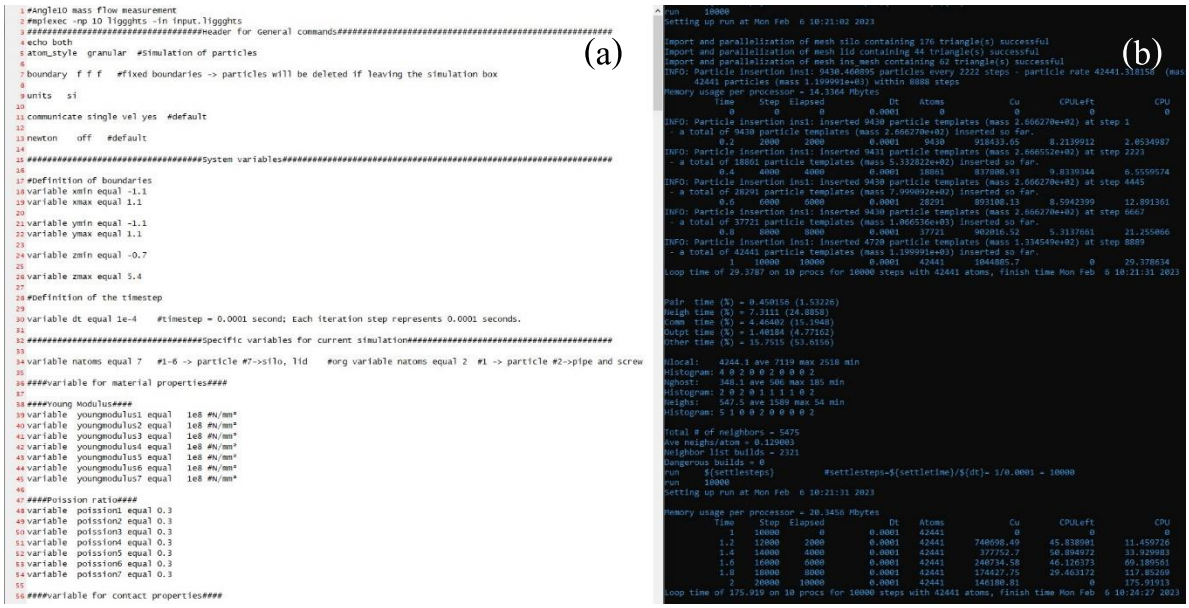
ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองการปล่อยอนุภาคออกจากไซโลด้วยการเลือกใช้ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สทุกขั้นตอนได้แก่ FreeCad, Notepad++, LIGGGHTS และ ParaView แสดงลำดับการสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 1 และสามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลองได้ดังนี้



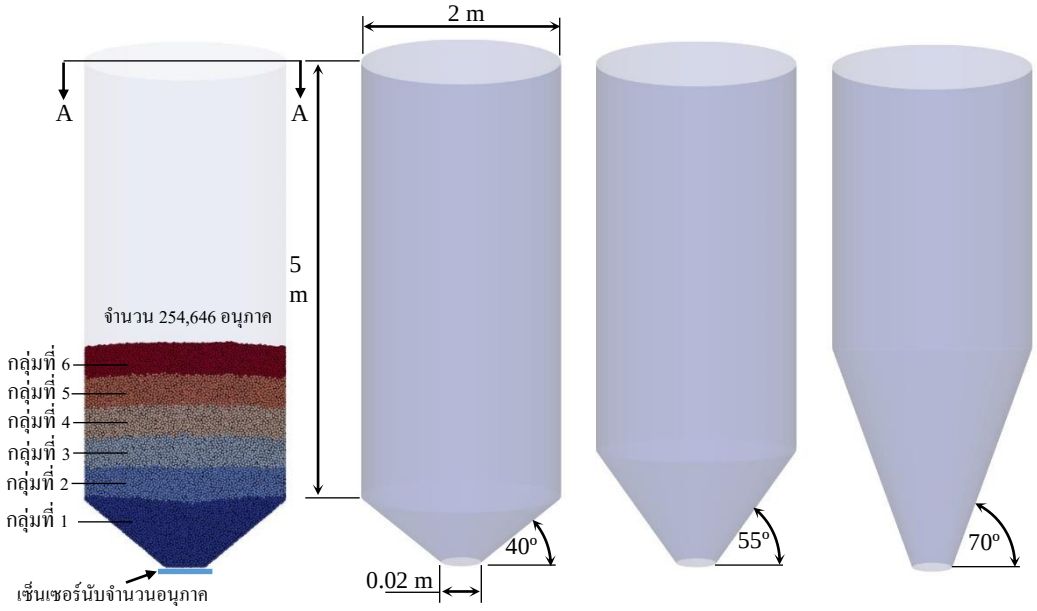
รูปที่ 1 ลำดับการสร้างแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สในการศึกษานี้

1. ขั้นตอนแรกไซโลถูกออกแบบและวาดด้วยซอฟต์แวร์ FreeCAD เป็นรูปร่างสามมิติ แล้วบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .stl (Standard triangle language) ชนิดไฟล์เป็นแบบ ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
2. ขั้นตอนที่สองไฟล์โมเดลสามมิตินี้จะถูกนำไปเป็นรูปร่างของไซโลด้วยการเขียนคำสั่งผ่าน Notepad++ ด้วยภาษาสคริปต์ (Script) ดังแสดงในรูปที่ 2a เพื่อกำหนดขอบเขตรูปร่างและการบรรจุอนุภาคเข้าสู่ไซโล และเงื่อนไขการปล่อยอนุภาคออกจากไซโล
3. ขั้นตอนที่สามทำการจำลองปัญหาจากภาษาสคริปต์ที่สร้างขึ้นในข้อ 2 โดยเรียกใช้ชุดคำสั่ง (Source code) ของซีพลัสพลัส (C++) ด้วยการถอดรหัสของภาษา (Interpreted) ทีละบรรทัดผ่านซอฟต์แวร์ LIGGGHTS (LAMMPS Improved for General Granular and Granular Heat Transfer Simulations) ดังแสดงในรูปที่ 2b
4. ขั้นตอนสุดท้ายทำการโพสต์โปรเซสไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้ผ่านซอฟต์แวร์ ParaView ด้วยการแปลงค่าไฟล์ .stl ให้กลายเป็นขอบเขตรูปร่างของไซโล และแปลงไฟล์ .VTK ให้เป็นภาพกราฟฟิคเพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาค

รูปที่ 3 แสดงรูปร่างและขนาดของไซโลที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยกำหนดให้ไซโลมีขนาดเท่ากัน 3 ส่วน ได้แก่ ความสูง 5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของฮอปเปอร์ 0.02 m แต่มีมุมเอียงฮอปเปอร์แตกต่างกันคือ 40, 55 และ 70° ตามลำดับ ในการจำลองอนุภาคทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm จะถูกปล่อยเข้าสู่ไซโลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (Free fall) อนุภาคเหล่านี้จะวางตัวอย่างอิสระไม่มีการซ้อนทับกัน โดยในแต่ละไซโลจะมีจำนวนอนุภาค 254,646 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ในการจำลองจะปล่อยอนุภาคเข้าไซโลทีละกลุ่ม จำนวน 6 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละเท่าๆกัน และกำหนดสมบัติของอนุภาคทุกชิ้นเหมือนกัน โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวนอนุภาคเท่ากันแต่มีสีแตกต่างกันเพื่อง่ายต่อการสังเกตการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งมีอิทธิพลจากมุมเอียงของฮอปเปอร์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการจำลอง a) การเขียนภาษาสคริปต์ด้วย NotePad++ b) การจำลองปัญหาด้วย LIGGGHTS



รูปที่ 3 อนุภาคทั้ง 6 กลุ่มภายในไซโล และรูปร่างของไซโลที่มีมุมเอียงของกรวยทางออก 40, 55 และ 70°

เมื่ออนุภาคถูกปล่อยเข้าสู่ไซโลจนครบ 6 กลุ่มและอนุภาคทุกชั้นวางตัวนิ่งแล้ว จะสั่งให้เปิดปลายทางออกของฮอปเปอร์ จากนั้นอนุภาคจะถูกปล่อยออกจากไซโลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกจนหมดทุกชิ้น อนุภาคแต่ละชิ้นในการศึกษานี้มีสมบัติอิลาสติก (Elastic) ซึ่งคำนึงถึงแรงเสียดทาน (Frictional) และอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและระหว่างอนุภาคกับผนังไซโล โดยอธิบายด้วยทฤษฎีของ Hertz และคำนวณแรงในแนวตั้งฉาก (Normal force) และแรงในแนวสัมผัส (Tangential force) ดังแสดงสมการในตารางที่ 1 สมบัติและ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองดีอีเอ็มแสดงดังตารางที่ 2 ทำการเขียนคำสั่งกำหนดค่าสมบัติเหล่านี้และกำหนดลำดับเงื่อนไขการจำลองด้วยภาษาสคริปต์ แล้วถอดรหัสของภาษาสคริปต์ทีละบรรทัดผ่านซอฟต์แวร์ LIGGGHTS 3.8.0 จากนั้นแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบกราฟฟิคด้วยซอฟต์แวร์ ParaView 5.10.1 ในการจำลองการปล่อยอนุภาคในไซโลแต่ละกรณีใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องพีซี Dell Precision 7820 ซีพียู Xeon Gold 5115 ความถี่ของโปรเซสเซอร์ 2.4 GHz และแรม 16 GB ทำการจำลองด้วยคำสั่ง MPI (Message Passing Interface) ใช้ซีพียูจำนวน 10 Cores ในการคำนวณ

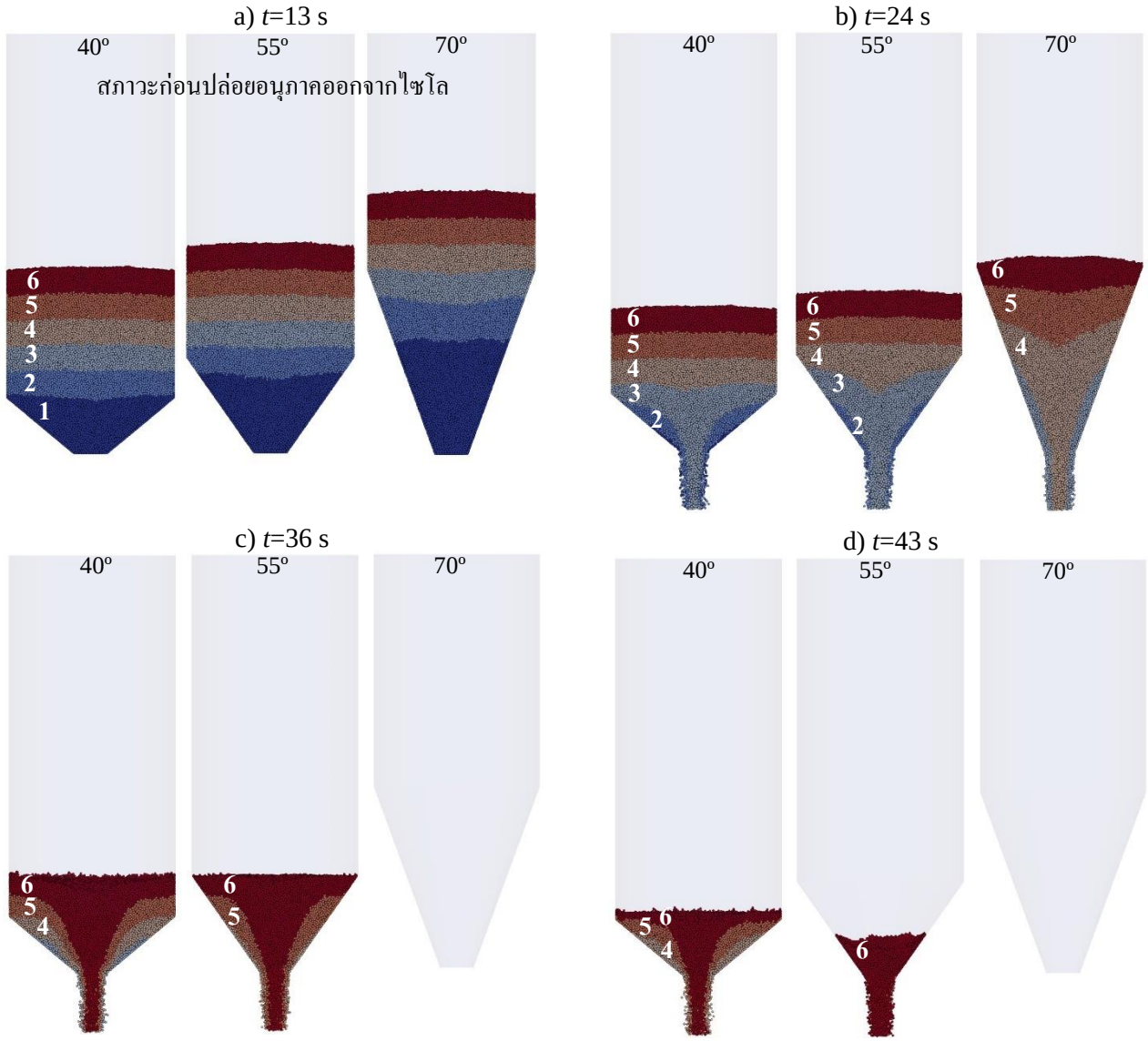
ตารางที่ 2 สมบัติวัสดุ ค่าคงที่และพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนอนุภาค	254,646
เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (mm)	3
ความหนาแน่นของอนุภาค ($\frac{kg}{m^3}$)	1450
มุมกรวย (^{o})	40, 55, 70
ค่ามอดูลัสของยัง (N/mm^2)	10^8
อัตราส่วนปัวซอง (-)	0.3
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างอนุภาค-ผนังไซโล	0.2
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างอนุภาค-อนุภาค	0.3
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานการกลิ้งระหว่างอนุภาค-ผนังไซโล	0.1
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานการกลิ้งระหว่างอนุภาค-อนุภาค	0.1
ค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัวระหว่างอนุภาค-ผนังไซโล	0.3
ค่าสัมประสิทธิ์การคืนตัวระหว่างอนุภาค-อนุภาค	0.2
Time step (s)	0.0001

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการคำนวณ (Boundary conditions) ครอบคลุมรูปร่างไซโลและไม่คำนึงถึงอนุภาคที่ไหลออกจากขอบเขตการคำนวณไปแล้ว เพื่อการลดการใช้หน่วยความจำ พื้นที่เก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสและลดระยะเวลาในการจำลองปัญหา นอกจากนี้ผู้วิจัยได้สร้างพื้นผิวสมมติ (Planar surface) เป็นวงกลมวางที่ตำแหน่งปลายฮอปเปอร์ โดยมีขนาดโตกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางช่องปล่อยเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 3 และเขียนคำสั่งกำหนดให้พื้นผิวนี้เป็นเสมือนเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลเชิงมวลและจำนวนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านในขณะที่ถูก

ปล่อยออกจากไซโล ผลการจำลองอนุภาคขณะเคลื่อนที่ออกจากไซโลในงานวิจัยนี้ทำการแสดงด้วยภาพตัดกึ่งกลางไซโล (Section A-A) ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อให้สังเกตพฤติกรรมการไหลภายในไซโลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



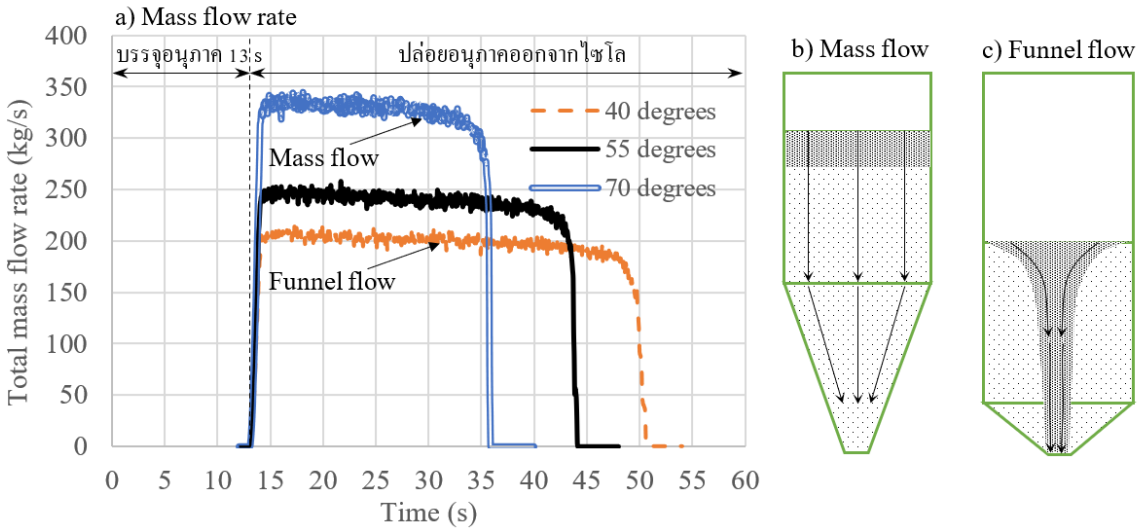
รูปที่ 4 แสดงการไหลของอนุภาคออกจากไซโลที่มุมกรวยทางออกแตกต่างกัน ณ เวลา t=13, 24, 36 และ 43 s

รูปที่ 4a ถึง 4d แสดงผลการจำลองของไซโลที่มีมุมฮอปเปอร์ 40, 55 และ 70° ณ เวลา t=13, 24, 36 และ 43 s ตามลำดับ รูปที่ 4a แสดงสภาวะเริ่มต้นของอนุภาคที่ถูกบรรจุก่อนทำการปล่อยออกจากไซโล โดยเติมอนุภาคที่มีขนาดและสมบัติเหมือนกันเข้าสู่ในไซโลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นระยะเวลา 13 s กำหนดให้ทุกกรณีของการจำลองมีจำนวนอนุภาค 254,646 ชิ้นเท่ากัน ในการจำลองจะกำหนดสีของอนุภาคให้แตกต่างกัน 6 ชั้นเพื่อง่ายต่อการสังเกตพฤติกรรมการไหล หลังจากวินาทีที่ 13 เป็นต้นไป วาล์วที่ปลายฮอปเปอร์ด้านล่างจะเปิดออกทำให้อนุภาคไหลออกจากไซโล ดังแสดงในรูปที่ 4b-4d บริเวณชั้นบนที่อยู่ในช่วงทรงกระบอกของไซโล (ผนังไซโลอยู่

ในแนวดิ่ง) อนุภาคไหลตามแรงดึงดูดของโลกด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เมื่ออนุภาคไหลมาถึงจนสิ้นสุดทรงกระบอกอนุภาคที่อยู่ใกล้ผนังไซโลเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่กลางไซโล และเมื่อไหลเข้าสู่ทรงกรวยอนุภาคที่อยู่แกนกลางจะไหลออกก่อนและอนุภาคที่อยู่บริเวณผนังกรวยจะไหลออกจากไซโลทีหลัง

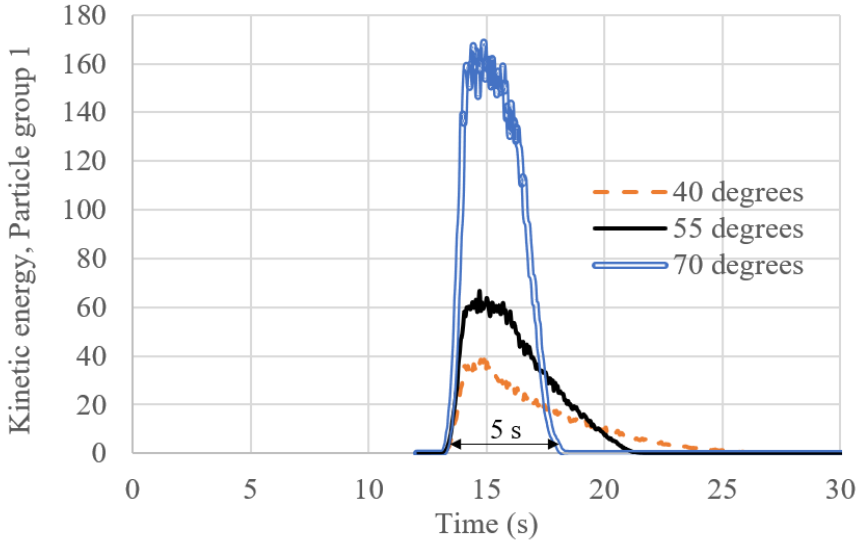
ณ เวลา t= 24 s ดังแสดงในรูปที่ 4b พบว่าอนุภาคไหลออกจากไซโลที่มุมกรวย 70° มากที่สุดโดยเหลืออนุภาคที่อยู่ในไซโลกลุ่มที่ 4 ถึง 6 แตกต่างจากไซโลมุมกรวย 40 และ 55° ที่มีอนุภาคเหลืออยู่ในไซโลหลายชั้นคือกลุ่มที่ 2 ถึง 6 ในเวลา t=24 s เมื่อถึงเวลา t= 36 s ดังแสดงในรูปที่ 4c พบว่าอนุภาคไหลออกจากไซโลมุมกรวย 70° จนหมดในขณะที่มุมกรวย 40 และ 55° ยังคงเหลืออนุภาคกลุ่ม 4 ถึง 6 อยู่ภายในไซโล การไหลของอนุภาคดำเนินต่อไปจนถึงเวลา t=43 s ดังแสดงในรูปที่ 4d ไซโลมุมกรวย 55° เหลืออนุภาคกลุ่มที่ 6 เพียงกลุ่มเดียวก่อนที่จะไหลออกจากไซโลจนหมดในเวลาที่ 44 s สอดคล้องกับรูปที่ 5a พบว่ามีอัตราการไหลเชิงมวลเป็นศูนย์ที่เวลา 44 s เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5a พบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200, 240 และ 330 kg/s สำหรับไซโลที่มุมกรวย 40, 55 และ 70° ตามลำดับ

เนื่องจากกรวยทางออกของไซโลที่มุม 70° มีผนังไซโลที่ชันทำให้เร่งการไหลของอนุภาคจนทำให้เกิดพฤติกรรมการไหลแบบทั้งมวล (Mass flow) เป็นการไหลของวัสดุที่มีลักษณะการไหลสม่ำเสมอทุกๆตำแหน่งตลอดพื้นที่หน้าตัด (รูปที่ 5b) ลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อช่องทางปล่อยของอนุภาคมีมุมเอียงกับแนวระดับมากส่วนไซโลที่มีมุมเอียงกับแนวระดับน้อย (ช่องปล่อยมุมฮอปเปอร์ 40°) การไหลเป็นแบบบท่อระบาย (Funnel flow) ดังแสดงในรูปที่ 5c อนุภาคที่บริเวณแกนกลางไซโลเคลื่อนตัวสัมพันธ์กับการไถลตัวลงไปในแนวดิ่ง มีลักษณะเป็นช่องทางการไหลโดยเริ่มจากปลายทางออกวัสดุและขยับขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงผิวบนสุดของวัสดุ ความเร็วในการไหลของอนุภาคจะช้าที่สุดเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กับผนังไซโลและเร็วที่สุดตรงกลางไซโล เนื่องจากหน้าตัดของฮอปเปอร์ทรงกรวยที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ และเมื่อพิจารณาพลังงานจลน์ของอนุภาคกลุ่มที่ 1 เนื่องจากถูกปล่อยออกจากไซโลก่อนอนุภาคกลุ่มอื่น จากรูปที่ 6 พบว่าหลังจากเริ่มปล่อยอนุภาคที่เวลา 13 s อนุภาคกลุ่ม 1 ที่ไหลออกจากไซโลที่มุม 70° เกิดพลังงานจลน์สูงสุดและมีระยะเวลาที่อยู่ในไซโลสั้นที่สุดเพียง 5 s เท่านั้น

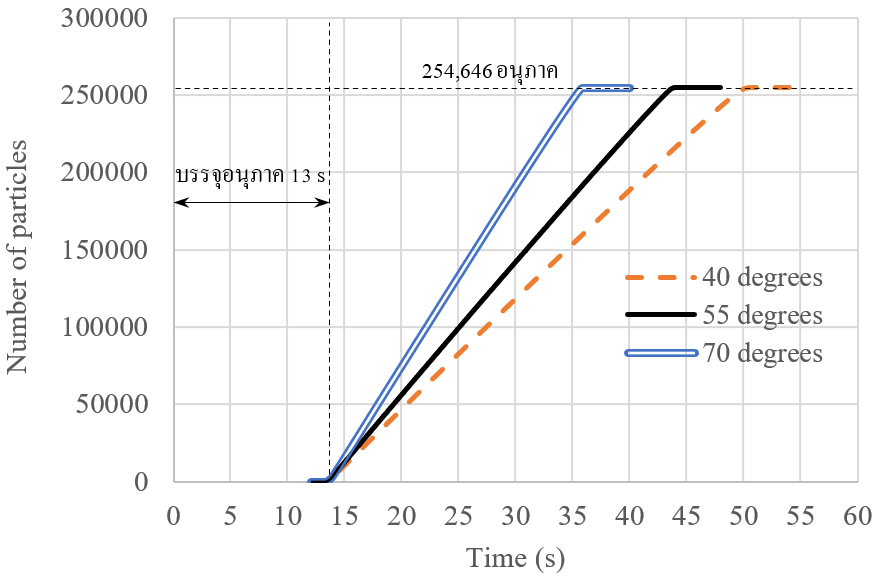


รูปที่ 5 a) อัตราการไหลเชิงมวลของอนุภาคที่ถูกปล่อยออกจากไซโลที่มีมุมฮอปเปอร์แตกต่างกัน b) การไหลแบบ Mass flow c) การไหลแบบ Funnel flow

รูปที่ 7 แสดงกราฟการนับจำนวนอนุภาคที่ถูกปล่อยออกจากไซโลที่เพิ่มขึ้นตามเวลา ความชันของกราฟมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นโดยมุมฮอปเปอร์ 70° มีความชันของกราฟมากที่สุดเนื่องจากมีอัตราการไหลเชิงมวลสูงที่สุด จากรูปที่ 7 พบว่าระยะเวลาที่อนุภาคถูกปล่อยออกจากไซโลจนครบ 254,646 ชิ้น คือ 36, 44 และ 50 s เมื่อมุมเอียงของฮอปเปอร์คือ 70, 55 และ 40° ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการจำลองของ Wang et al. (2021) รายงานว่ามุมเอียงฮอปเปอร์ที่ลดลงทำให้ความเร็วในการปล่อยอนุภาคออกจากไซโลลดลงด้วย โดยเมื่อปล่อยอนุภาคจำนวน 6000 ชิ้น ออกจากไซโลที่มีมุมเอียงของฮอปเปอร์ลดลงจาก 65 เป็น 45° พบว่าใช้เวลาในการปล่อยอนุภาคออกจากไซโลเพิ่มขึ้น 54 s นอกจากนี้ Xiao et al. (2019) ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอนุภาคทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4 mm ภายในฮอปเปอร์เอียง 65° ด้วยแบบจำลอง DEM และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผล พบว่าแบบจำลอง DEM ให้ผลการทำนายสอดคล้องกับการทดลองโดยลักษณะการไหลของอนุภาคเป็นแบบ Funnel flow



รูปที่ 6 แสดงพลังงานจลน์ของอนุภาคกลุ่มที่ 1 เมื่อถูกปล่อยออกจากไซโลที่มีมุมฮอปเปอร์แตกต่างกัน



รูปที่ 7 แสดงจำนวนอนุภาคที่ถูกปล่อยออกจากไซโลที่มีมุมฮอปเปอร์แตกต่างกัน

จากผลการศึกษานี้พบว่าแบบจำลอง DEM มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการจำลองพฤติกรรมการไหลภายในของวัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ด อาจกล่าวได้ว่าลักษณะการไหลของอนุภาคที่ได้จากแบบจำลองนี้มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลภายในไซโลได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลการจำลองที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องกำหนดสมบัติของอนุภาค เช่น ความหนาแน่น

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน สัมประสิทธิ์การคืนตัว และสมบัติอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ให้มีความใกล้เคียงกับวัสดุจริงมากที่สุด

สรุป

แบบจำลอง DEM ของรูปแบบการไหลในไซโลที่สร้างจากซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคได้อย่างสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2021) และ Xiao et al. (2019) ลักษณะมุมเอียงของฮอปเปอร์ทรงกรวยมีผลต่ออัตราการไหลของอนุภาค เมื่อเพิ่มความเอียงของฮอปเปอร์ อนุภาคจะเคลื่อนที่ออกจากไซโลด้วยพฤติกรรมแบบ Mass flow โดยไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงด้วยความเร็วสูง ทำให้ลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ออกจากไซโล ในขณะที่ไซโลที่มีความเอียงกรวยทางออกต่ำการไหลของอนุภาคจะเป็นแบบ Funnel flow ทำให้ไหลออกจากไซโลด้วยอัตราการไหลเชิงมวลที่น้อยกว่า ผลการจำลองพบว่าเมื่อมุมเอียงของกรวยคือ 70, 55 และ 40° ที่เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 0.02 m อนุภาคจำนวน 254,646 ชิ้น ใช้เวลาในการไหลออกจากไซโลจนหมดในเวลา 36, 44 และ 50 s ตามลำดับ คำสั่งโปรแกรมในงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาให้จำลองกับไซโลรูปร่างอื่น (รูปลิ่ม พีระมิด และสี่เหลี่ยม) หรือจำลองวัสดุที่มีรูปทรงที่มีความซับซ้อนกว่าทรงกลม (ทรงรีหรือทรงเหลี่ยม)ได้เช่นกัน ซึ่งผู้วิจัยกำลังดำเนินการสร้างแบบจำลองต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Börzsönyi, T., Somfai, E., Szabó, B., Wegner, S., Mier, P., Rose, G., & Stannarius, R. (2016). Packing, alignment and flow of shape-anisotropic grains in a 3D silo experiment. *New Journal of Physics*, *18*(9), 093017.

Cundall, P.A., & Strack, O.D.L. (1979). A discrete numerical model for granular assembles. *Geotechnique, 29*, 47-65.

Uñac, R. O., Vidales, A. M., Benegas, O. A., & Ippolito, I. (2012). Experimental study of discharge rate fluctuations in a silo with different hopper geometries. *Powder technology*, *225*, 214-220.

Wang, P. X., Li, A. P. B., Xia, D. R., & Ma, H. (2021). *Engineering Applications of Discrete Element Method*. Springer Singapore.

Weinhart, T., Labra, C., Luding, S., & Ooi, J. Y. (2016). Influence of coarse-graining parameters on the analysis of DEM simulations of silo flow. *Powder technology*, *293*, 138-148.

Xiao, H., Fan, Y., Jacob, K. V., Umbanhowar, P. B., Kodam, M., Koch, J. F., & Lueptow, R. M. (2019). Continuum modeling of granular segregation during hopper discharge. *Chemical Engineering Science*, *193*, 188-204.

Zhang, Y., Jia, F., Zeng, Y., Han, Y., & Xiao, Y. (2018). DEM study in the critical height of flow mechanism transition in a conical silo. *Powder Technology*, *331*, 98-106.

Zhao, Y., & Chew, J. W. (2020). Effect of lognormal particle size distributions of non-spherical particles on hopper discharge characteristics. *Chemical Engineering Research and Design*, *163*, 230-240.

FE-N04

การเปรียบเทียบผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ เนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต

Comparative Effect of Prebiotic Addition on Physicochemical, Textural, and Sensory Properties of Greek Yogurt

พีรวัฒน์ แตงโสภา[1] พัทราวรรณ โคตะนันท์[1] รัตติกาล สุดยอด[1] ภานุวัฒน์ พรมโสภา[1] ธิราพร จุลยุเสน[1*]
พรพิมล มูลแก้ว[1] และ พยุงศักดิ์ จุลยุเสน[1]

Peerawat Taengsopha[1], Pattarawan Kotanan[1], Rattikarn Sudyord[1], Panuwat Promsopa[1], Tiraporn Junyusen [1*],
Pornpimol Moolkaew[1] and Payungsak Junyusen[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา

[1]School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: tirapo@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต ในการทดลองได้ใช้มอลติทอลเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย กรีกโยเกิร์ตที่เติมพรีไบโอติกถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณผลผลิต ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว และการทดสอบทางประสาทสัมผัส และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมพรีไบโอติก จากผลการทดลองพบว่า การเติมอินนูลินช่วยลดระยะเวลาการหมักของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตและมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ตลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส การเติมอินนูลินมีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลง แต่การเติมพอลิเดกซ์โทรสมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของกรีกโยเกิร์ตลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรเติมอินนูลิน อย่างไรก็ตามปริมาณผลผลิตของกรีกโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรนี้ไม่แตกต่างกัน (49.41 – 52.77%) นอกจากนี้การเติมอินนูลินช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวของกรีกโยเกิร์ต และการเติมอินนูลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกรีกโยเกิร์ต รวมทั้งจากผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว กลิ่นรส และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตสูตรเติมอินนูลิน

(6.54 – 7.31) สูงกว่าสูตรควบคุม (5.54 – 6.08) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (5.77 – 6.23) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต

คำสำคัญ: กรีกโยเกิร์ต พรีไบโอติก ลักษณะเนื้อสัมผัส การทดสอบทางประสาทสัมผัส

Abstract

The objective of this study was to compare the effects of inulin and polydextrose addition on the physicochemical, textural, and sensory properties of Greek yogurt. Maltitol was used as a sweetener instead of sugar. The quality characteristics of prebiotic-containing Greek yogurt including chemical composition, moisture content, water activity, yield, spreadability, stickiness, color value, and sensory evaluation were determined and compared with Greek yogurt without prebiotic addition (control). The results indicated that addition of inulin enhanced the fermentation by lowering the pH value of set yogurt, compared to control and polydextrose incorporation. Addition of inulin significantly decreased fat content of Greek yogurt. Meanwhile, polydextrose incorporation reduced the moisture content of Greek yogurt when compared with control and inulin addition. However, yields of all Greek yogurt were insignificantly different (49.41 – 52.77%). Addition of inulin significantly increased the firmness and stickiness of Greek yogurt. In addition, Inulin did not change the color properties of Greek yogurt, compared to control. Sensory evaluation by fifteen panelists revealed that acceptable scores of the appearance, firmness, stickiness, flavor, and overall acceptance of inulin-containing Greek yogurt (6.54 – 7.31) were significantly higher than those of control (5.54 – 6.08) and polydextrose addition (5.77 – 6.23). Essentially, inulin improved the textural and sensory properties of the Greek yogurt.

Keyword: Greek yogurt, prebiotics, textural properties, sensory evaluation

บทนำ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสเฉพาะตัวซึ่งได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วโลก โยเกิร์ตจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ได้จากการหมักน้ำนมด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก (Probiotics) เช่น *Streptococcus Thermophiles*, *Lactobacillus Bulgaricus*, *Lactobacillus Acidophilus* และ Bifidobacterium เป็นต้น การหมักนี้ทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยว มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาอาการท้องผูกจึงช่วยในระบบขับถ่าย ป้องกันการเกิดความดันโลหิตสูง และการควบคุมน้ำหนัก (Serafeimidou, et al., 2012) กรีกโยเกิร์ต (Greek Yogurt or Strained Yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักได้จากการนำโยเกิร์ตชนิดคงตัว (Set Yogurt) มาแยกน้ำเวย์ออก ซึ่งทำให้ได้กรีกโยเกิร์ตที่มีความเข้มข้นสูง ปริมาณโปรตีนและไขมันสูง ลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน และความเป็นเนื้อเดียวกัน รวมทั้งมีมูลค่าและได้รับความนิยมสูงกว่าโยเกิร์ตแบบดั้งเดิม (Dias et al., 2021; Allen et al., 2021)

ฟรุกแทน (Fructan) จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) และพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโทสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bond)โดยฟรุกแทนที่สายพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) มีจำนวนโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโทสระหว่าง 2 – 9 โมเลกุล จะเรียกว่า ฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharide, FOS) หรือบางครั้งเรียกว่า โอลิโกฟรุกโทส (Oligofructose) ซึ่งมีความหวานเพียงเล็กน้อย (30%) เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส และเมื่อสายพอลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโทสมากกว่า 10 โมเลกุล (10 – 60 โมเลกุล) จะเรียกว่า อินนูลิน (Inulin) ซึ่งอาจมีน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อที่ปลายสายด้วย (Rubel et al., 2021) อินนูลินจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยอินนูลินในระบบทางเดินอาหาร แต่อินนูลินถูกย่อยได้ด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก โดยแบคทีเรียเหล่านี้มีส่วนช่วยในการสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย (Wang et al., 2020) อินนูลินจึงจัดเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) (Dias et al., 2021) อินนูลินถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพและนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (Fat replacer) เนื่องจากอินนูลินมีผลช่วยปรับปรุงสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ลดไขมันหรือมีไขมันต่ำได้ เช่น ในผลิตภัณฑ์จำพวกไอศกรีม เนยแข็ง และโยเกิร์ต (Junyusen et al., 2017)

พอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่จัดเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายในน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ซึ่งผลิตได้จากการสังเคราะห์จากน้ำตาลกลูโคส (Glucose) โดยใช้ซอร์บิทอล (Sorbitol) หรือกรดซิตริก (Citric Acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้สายพอลิเมอร์ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย 12 โมเลกุล (Do Carmo et al., 2016; Srisuvor et al., 2013) โดยโครงสร้างทางเคมีของพอลิเดกซ์โทรสมีความซับซ้อนทำให้ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกาย แต่สามารถถูกย่อยด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก พอลิเดกซ์โทรสจึงจัดเป็นพรีไบโอติก ซึ่งใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive) ที่ให้พลังงานต่ำ (Raninen et al., 2010) โดยพอลิเดกซ์โทรสสามารถละลายน้ำได้ดีและมีความหนืดต่ำกว่าอินนูลิน พอลิเดกซ์โทรสถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันและช่วยปรับปรุงสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร (Dias et al., 2021; Srisuvor et al., 2013)

มอลติทอล (Maltitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (Sugar Alcohol) ชนิดหนึ่งซึ่งจัดเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย (Sucrose) มีความหวานประมาณ 90 % ของน้ำตาลทราย มอลติทอลให้พลังงาน 2.1 kcal/g ซึ่งถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กได้ช้าทำให้การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายช้า (Zumbé and Storey, 2001) มอลทิทอลจึงจัดเป็นสารที่มีดัชนีน้ำตาลในเลือดต่ำ (Glycemic Index, GI) เหมาะกับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ผู้ป่วยโรคเบาหวาน สามารถลดการเกิดฟันผุได้ มอลติทอลช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์ เช่น ในลูกอม หมากฝรั่ง ช็อกโกแลต และแยม เป็นต้น มอลติทอลปลอดภัยต่อผู้บริโภค และได้รับการยอมรับในการบริโภคโดยไม่กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (Zumbé and Storey, 2001; Rapaille et al., 2016)

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อคุณภาพของกรีกโยเกิร์ต ได้แก่ สมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค โดยได้ใช้มอลติทอลเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพของกรีกโยเกิร์ตที่เติมพรีไบโอติกกับผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตที่ไม่เติมพรีไบโอติก (ตัวอย่างควบคุม)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมโยเกิร์ต

โยเกิร์ตชนิดคงตัวแบ่งออกเป็น 3 สูตร ได้แก่ สูตรไม่เติมพรีไบโอติก (สูตรควบคุม, Control) สูตรเติมอินนูลิน 2 % (Inulin) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส 2 % (Polydextrose) โดยส่วนผสมหลักในการผลิตโยเกิร์ต คือ นมสดพาสเจอร์ไรซ์ชนิดไขมันเต็ม (Whole Milk) มอลติทอล (Maltitol) และเชื้อโยเกิร์ต (Yogurt Culture) ดังแสดงส่วนประกอบในตารางที่ 1 โดยในแต่ละสูตร ส่วนผสมทั้งหมด (ยกเว้นเชื้อโยเกิร์ต) ถูกนำมาผสมกันและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90ºC นาน 10 min จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (อุณหภูมิ 45ºC) ก่อนเติมเชื้อโยเกิร์ต แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเทส่วนผสมลงในบีกเกอร์ และบ่มที่อุณหภูมิ 45ºC เป็นเวลา 4 hr นำโยเกิร์ตชนิดคงตัวที่ได้มาวัด pH ก่อนนำโยเกิร์ตที่ไปแยกน้ำออก (Drain) เพื่อผลิตกรีกโยเกิร์ตต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของโยเกิร์ตแบบคงตัว

Ingredients	Control	Inulin	Polydextrose
นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม (%)	90	88	88
มอลติทอล (%)	10	10	10
อินนูลิน (%)	0	2	0
พอลิเดกซ์โทรส (%)	0	0	2

2. การทำกรีกโยเกิร์ต

นำโยเกิร์ตที่ได้ในข้อ 1 มาแยกน้ำออกจากตะกอนโยเกิร์ต โดยใช้ผ้าขาวบางซึ่งวางบนตะแกรง ที่อุณหภูมิ 4 ºC เป็นเวลา 2 hr จากนั้นนำเนื้อกรีกโยเกิร์ตที่ได้บรรจุลงภาชนะและเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4ºC เพื่อรอการวิเคราะห์ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของกรีกโยเกิร์ตต่อไป

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) โดยการชั่งตัวอย่างครั้งละ 3 g แล้วนำไปวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer, OHAUS, MB-25, OHAUS Instruments Co., Ltd., Shanghai, China) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) โดยชั่งตัวอย่างครั้งละ 1 g แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter, AquaLab Pre, METER Group, Inc, WA, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนเคซีน ไขมัน น้ำตาลแล็กโทส และของแข็งทั้งหมดไม่รวมไขมันด้วยเครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำนม (MilkoScan TM FT2, FOSS, Denmark) และการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter (pH700 Bench meter, Oakton, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์สมบัติด้านสี

การวิเคราะห์ค่าสีของด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, HunterLab, MiniScan EZ 4500L, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA, USA) ในระบบ L* a* b* โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง (Redness) และค่า b* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTPlus, texture technologies corp. and stable micro systems, ltd., MA, USA) ตัวเครื่องต่อกับหัววัดชนิดอะคริลิค (Acrylic Probe P/45C) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ Pre-test, Test, and Post-test speed เท่ากับ 1, 1, และ 3 mm/s ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความเหนียว (Stickiness) ด้วย Texture Exponent Software (version 7.0.6.0, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

6. การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต โดยใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale ซึ่งคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 1 - 9 (1 หมายถึงชอบน้อยที่สุด ไปถึง 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเหนียว กลิ่นรส และความพอใจโดยรวม สำหรับผู้ทดสอบบุคคลทั่วไปจำนวน 15 คน

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อสมบัติทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้ทดสอบ ได้วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยใช้โปรแกรม Minitab® 17 (Minitab Inc., USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีของโยเกิร์ตชนิดคงตัวและกรีกโยเกิร์ต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของกรีกโยเกิร์ต ทั้งนี้พรีไบโอติกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ อินนูลิน (Inulin) และพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) โดยได้เตรียมโยเกิร์ตชนิดคงตัวก่อนการนำโยเกิร์ตไปแยกน้ำออกออกเพื่อให้ได้กรีกโยเกิร์ต ทั้งนี้ผลของการเติมพรีไบโอติกในโยเกิร์ตชนิดคงตัวต่อค่าความเป็นกรดด่าง (pH) แสดงในตารางที่ 2 พบว่า การเติมพรีไบโอติกชนิดอินนูลินมีผลต่อการลดค่า pH ของโยเกิร์ตชนิดคงตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (การควบคุมระยะเวลาบ่มนาน 4 hr ทุกสูตร) โดยค่า pH ของโยเกิร์ตสูตรไม่เติมพรีไบโอติก (Control) สูตรเติมอินนูลิน (Inulin) และสูตรเติมโพลีเด็กโตส (Polydextrose) มีค่าเท่ากับ 4.91, 4.62 และ 4.80 ตามลำดับ ค่า pH มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Allen et al. 2021 และ Marini et al., 2022 ซึ่งรายงานว่า ค่า pH ของโยเกิร์ตอยู่ระหว่าง 4.62 – 4.79 จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า อินนูลินช่วยสนับสนุนการหมักของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ตลดต่ำลง งานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Dias et al. (2021) ศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อปริมาณจุลินทรีย์โพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต ซึ่งพบว่า อินนูลินช่วยสนับสนุนการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ดีกว่าพอลิเดกซ์โทรสและสตาร์ชดัดแปรงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาระหว่าง 1 – 28 วัน

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ตแบบคงตัวก่อนนำโยเกิร์ตไปแยกน้ำออกเพื่อให้ได้กรีกโยเกิร์ต

Treatment	pH[1]
Control	4.91 ± 0.01^{a}
Inulin	4.62 ± 0.04^{b}
Polydextrose	4.80 ± 0.04^{a}

[1] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของกรีกโยเกิร์ต

Treatment	Chemical composition (%)[1]			
	Casein	Fat	Casein	Solids-non-fat
Control	4.85 ± 0.16^{a}	10.81 ± 0.10^{a}	11.99 ± 0.14^{b}	20.08 ± 0.08^{a}
Inulin	5.29 ± 0.49^{a}	9.48 ± 0.30^{c}	13.42 ± 0.49^{a}	21.75 ± 0.49^{a}
Polydextrose	5.09 ± 0.09^{a}	10.32 ± 0.12^{b}	13.45 ± 0.04^{a}	20.98 ± 0.05^{a}

[1] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกรีกโยเกิร์ต โดยปริมาณโปรตีนเคซีน ไขมัน น้ำตาลแล็กโทส และของแข็งไม่รวมไขมัน (Solids-non-fat, SNF) ของกรีกโยเกิร์ตมีค่าอยู่ระหว่าง 4.85 – 5.29%, 9.48 – 10.81%, 11.99 – 13.45%, และ 20.08 – 21.75% ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตชนิดคงตัวก่อนนำมาแยกน้ำออกมีปริมาณโปรตีนเคซีน (3.82 – 4.43%) และปริมาณไขมัน (5.74 – 6.41%) ต่ำกว่ากรีกโยเกิร์ต ทั้งนี้เนื่องจากการแยกน้ำออกมีผลทำให้ปริมาณของแข็งซึ่งรวมทั้งปริมาณโปรตีนและไขมันมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลอง พบว่า การเติมอินนูลิน (Inulin) มีผลทำให้ปริมาณไขมันของกรีกโยเกิร์ตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Control) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอินนูลินอาจรบกวนการสร้างพันธะกันระหว่างโมเลกุล (Dias et al., 2021) ซึ่งอาจส่งผลให้ไขมันบางส่วนหลุดออกไปกับน้ำเวย์ นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลแล็กโทสของสูตรเติมอินนูลินและเติมพอลิเดกซ์โทรสมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสมีปฏิสัมพันธ์กับน้ำตาลแล็กโทส ซึ่งทำให้น้ำตาลแล็กโทสยังคงอยู่ในเนื้อกรีกโยเกิร์ตในปริมาณสูงกว่าสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมพรีไบโอติก

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณผลผลิต (%) ของกรีกโยเกิร์ต

Treatment	Moisture content (% wet basis)[1]	a_w[2]	Yield (%)[3]
Control	68.43 ± 1.51[a]	1.00 ± 0.00[a]	49.41 ± 1.58[a]
Inulin	68.23 ± 0.54[a]	1.00 ± 0.00[a]	52.77 ± 0.05[a]
Polydextrose	66.64 ± 0.50[b]	1.00 ± 0.00[a]	50.76 ± 1.61[a]

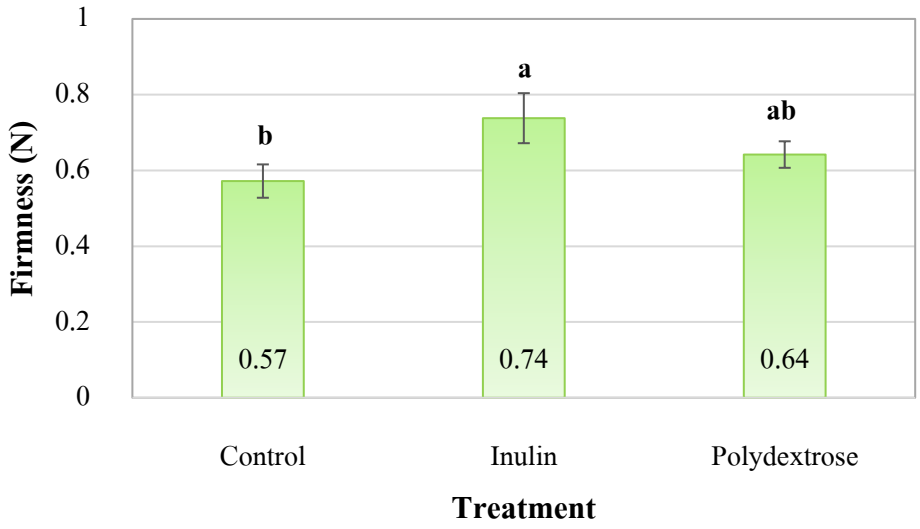
[1,2,3] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w) และปริมาณผลผลิต (Yield) ของกรีกโยเกิร์ต พบว่า ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณผลผลิตของกรีกโยเกิร์ตทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณความชื้นของกรีกโยเกิร์ตอยู่ระหว่าง 66.64 – 68.23% ซึ่งมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Dias et al. (2021) และ Serafeimidou et al. (2012) ที่รายงานว่า กรีกโยเกิร์ตมีค่าความชื้นระหว่าง 72.98 – 79.55% และ 77.02 – 88.03 % ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณความชื้นอาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการแยกน้ำเวย์ออกแตกต่างกันจึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นของกรีกโยเกิร์ตรวมทั้งชนิดของส่วนประกอบ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการแยกน้ำเวย์ 2 hr ซึ่งพบว่าสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (Control) และสูตรเติมอินนูลิน (Inulin) นอกจากนี้ อินนูลินสามารถดูดน้ำได้ดีจึงอาจทำให้การแยกน้ำออกได้ยาก ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความชื้นของกรีกโยเกิร์ต (Junyusen et al., 2017) นอกจากนี้

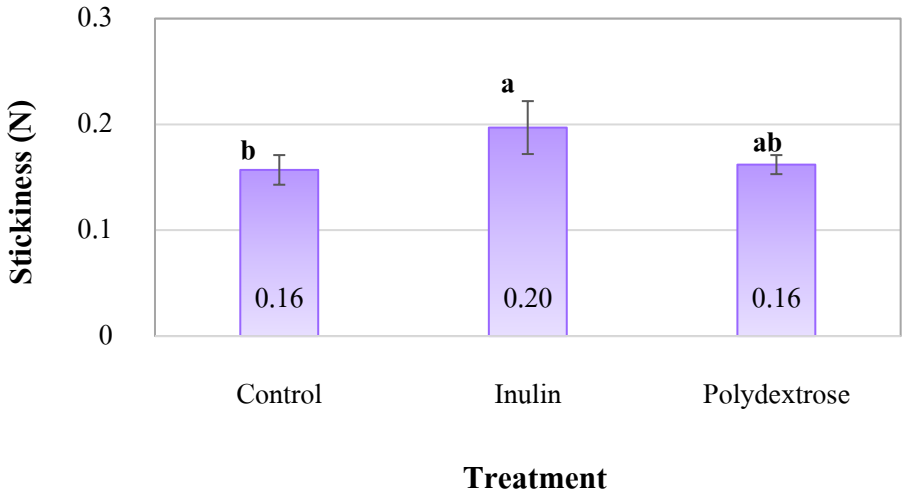
พอลิเดกซ์โทรสเป็นเส้นใยที่ช่วยสนับสนุนการสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล (Internalmolecular Interactions) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียของแข็งระหว่างการแยกน้ำออกได้ (Dias et al., 2021)

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต

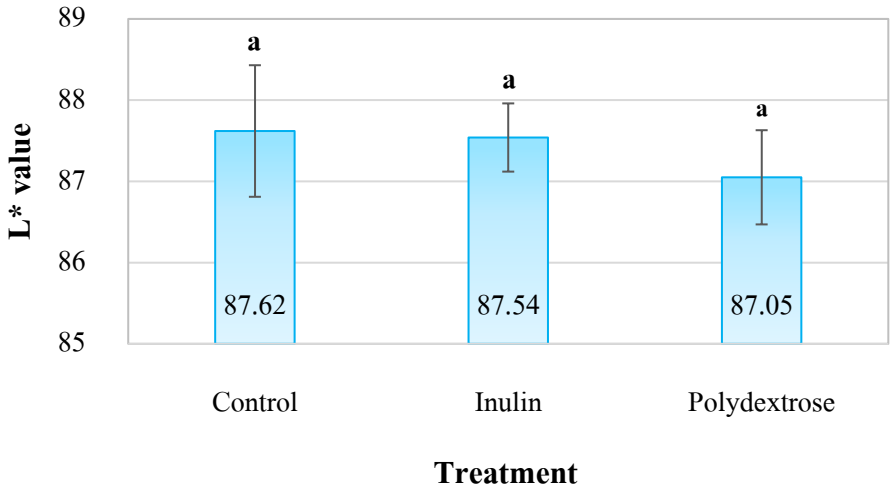
รูปที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของกรีกโยเกิร์ตด้านด้านความแน่นเนื้อ (Firmness) ของกรีกโยเกิร์ต ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 – 0.74 N โดยพบว่า การเติมอินนูลิน (Inulin) มีผลต่อการเพิ่มค่าความแน่นเนื้อของกรีกโยเกิร์ตอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่การเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (Control) ค่าความแน่นเนื้อจากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Dias et al., 2021 ซึ่งพบว่า ค่าความแน่นเนื้อของกรีกโยเกร์ตมีค่าระหว่าง 1.01 – 2.53 N ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดของวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของกรีกโยเกิร์ตด้านความเหนียว (Stickiness) ของกรีกโยเกิร์ต มีค่าอยู่ระหว่าง 0.16 – 0.20 N โดยพบว่าการเติมอินนูลิน (Inulin) มีผลต่อการเพิ่มค่าความเหนียว (Stickiness) ของกรีกโยเกิร์ต อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่การเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียว (Stickiness) ของกรีกโยเกิร์ต เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (Control) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอินนูลินเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับสารต่าง ๆ ในโยเกิร์ตได้ดี ซึ่งมีผลทำให้กรีกโยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่เนียน แน่น และเหนียว (Dias et al., 2021) นอกจากนี้ Li et al. (2020) รายงานว่า ความแน่นเนื้อของโยเกิร์ตอาจจะเกิดจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ขององค์ประกอบทางเคมีภายในเนื้อโยเกิร์ต Marini et al. (2022) รายงานว่า ค่าความแน่นเนื้อของโยเกิร์ตอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ค่าความแน่นเนื้อและความเป็นเนื้อเดียวกัน (Consistency) ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างโปรตีนเคซีน ซึ่งทำให้ค่าความแน่นเนื้อหรือความแข็ง (Hardness) และการดูดน้ำสูงขึ้น ทำให้ลดการแยกน้ำ (Syneresis) ได้ อย่างไรก็ตาม Dias et al., 2021 และ Li et al. (2020) พบว่า การเก็บรักษาโยเกิร์ตมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและเนื้อสัมผัส ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวทางที่จะศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกรีกโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาต่อไป จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวของกรีกโยเกิร์ตเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมพอลิเดกซ์โทรส



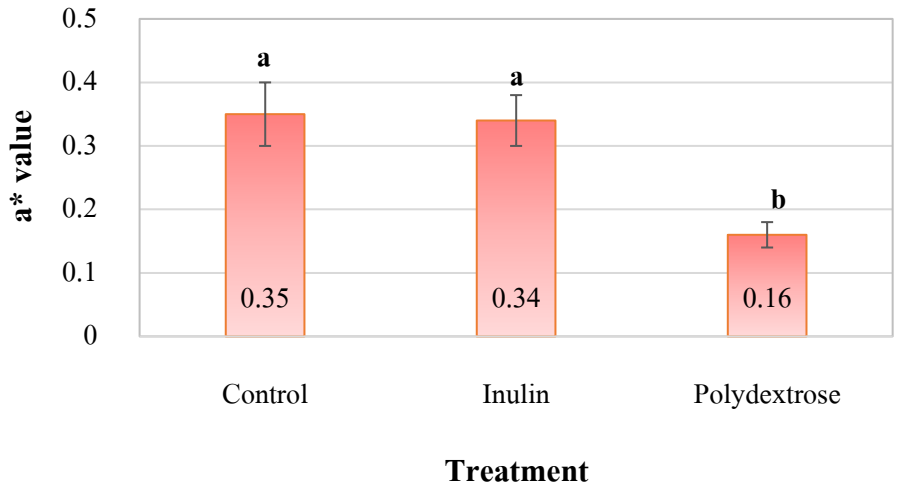
รูปที่ 1 ความแน่นเนื้อของกรีกโยเกิร์ต (ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



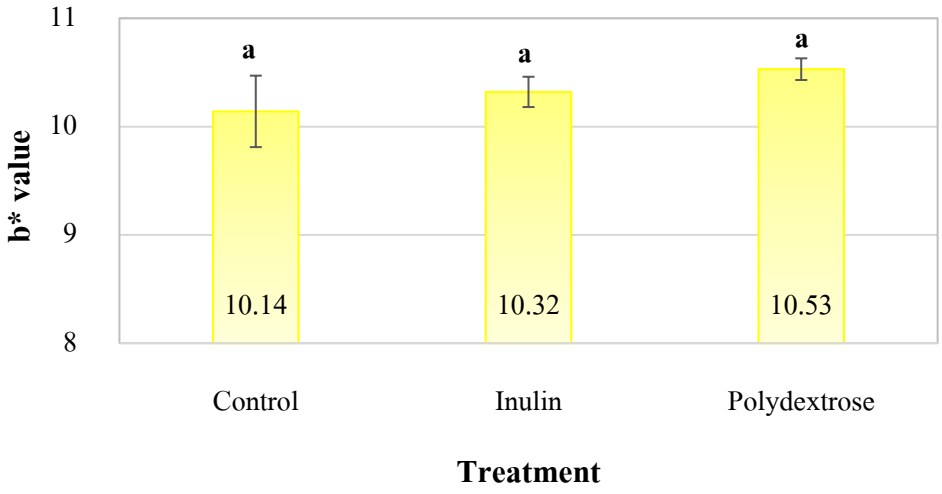
รูปที่ 2 ความเหนียวของกรีกโยเกิร์ต (ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



รูปที่ 3 ค่าความสว่าง (L*) ของกรีกโยเกิร์ต (ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันบนคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



รูปที่ 4 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของกรีกโยเกิร์ต (ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

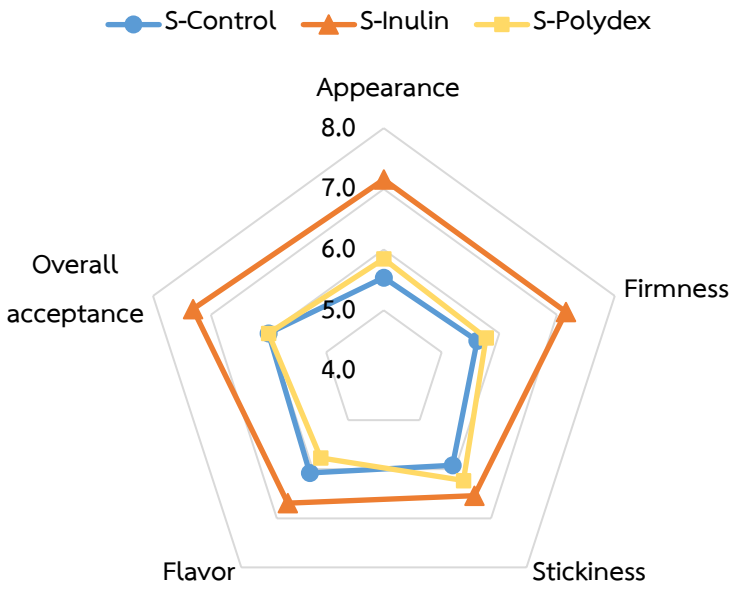


รูปที่ 5 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกรีกโยเกิร์ต (ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่เหมือนกันบนคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

รูปที่ 3, 4, และ 5 แสดงค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ของกรีกโยเกิร์ต ซึ่งมีค่าระหว่าง 87.05 – 87.62, 0.16 – 0.35, และ 10.14 – 10.53 ตามลำดับ ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์การเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพด้านสีของกรีกโยเกิร์ต พบว่า การเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดงของกรีกโยเกิร์ตลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (Control) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกรีกโยเกิร์ต และการเติมอินนูลิน (Inulin) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกรีกโยเกิร์ต จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกรีกโยเกิร์ต โดยใน รูปที่ 6 แสดงลักษณะปรากฏ (appearance) ของกรีกโยเกิร์ต จากงานวิจัยของ Dias et al. (2021) ได้เปรียบเทียบผลของการเติมพรีไบโอติกต่อค่าสีของกรีกโยเกิร์ต ซึ่งพบว่า ทั้งอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกรีกโยเกิร์ต แต่หากเก็บรักษากรีกโยเกิร์ตนาน 21 และ 28 วัน ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการย่อยสลายของโปรตีนเคซีนซึ่งทำให้ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลืองลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวทางในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและสีของผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตระหว่างการเก็บรักษาต่อไป



รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต



รูปที่ 7 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของกรีกโยเกิร์ต โดยคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 1 - 9 (1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด 5 หมายถึง เฉย ๆ และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด)

รูปที่ 7 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านแน่นเนื้อและความเหนียว กลิ่นรส และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตสูตร Control, Inulin และ Polydextrose จากผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 15 คน โดยระดับคะแนนความชอบตั้งแต่ 1-9 ทั้งนี้ 1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด 5 หมายถึง เฉย ๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว กลิ่นรส และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตสูตรเติมอินนูลิน (Inulin) มากที่สุด ($p<0.05$) โดยมีระดับความชอบอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6-7) โดยผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว กลิ่นรส และ

ความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินช่วยเพิ่มคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตของผู้ทดสอบชิม

สรุป

จากการศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติก ได้แก่ อินนูลิน (Inulin) และพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต พบว่า การเติมอินนูลินช่วยสนับสนุนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ดีกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส เนื่องจากการเติมอินนูลินทำให้ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของโยเกิร์ตต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ เมื่อใช้เวลาหมักเท่ากัน การเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลง แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณผลผลิต (yield) ของผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต ส่วนการเติมอินนูลิน (Inulin) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณผลผลิต อินนูลิน (Inulin) ช่วยเพิ่มค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความเหนียว (Stickiness) แต่การเติมพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ต การเติมผงพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของกรีกโยเกิร์ตลดลง แต่การเติมพรีไบโอติก (อินนูลินและพอลิเดกซ์โทรส) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) และค่าความเหลือง (b*) ของกรีกโยเกิร์ต จากผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว กลิ่นรส และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์กรีกโยเกิร์ตสูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) มากที่สุด โดยมีระดับความชอบอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความสนับสนุน“1 ทุนวิจัย 1 บัณฑิตศึกษา” (External Grants and Scholarships for Graduate Students, OROG) รวมทั้งสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Allen, M. M., Pike O. A., Kenealey J. D., & Dunn M. L. (2021). Metabolomics of acid whey derived from Greek yogurt. **Journal of Dairy Science** Vol. 104 No. 11

Dias, S. S., de Souza Vergílio D., Pereira A. M., Klososki S. J., Marcolino V. A., da Cruz R. M. S., Costa G. N., Barão C. E., & Pimentel T. C. (2021). Probiotic Greek yogurt: effect of the addition of prebiotic fat

substitutes on the physicochemical characteristics, probiotic survival, and sensory acceptance. **Journal of Dairy 88**, 98–104

Do Carmo, M. M. R., Walker, J. C. L., Novello, D., Caselato, V. M., Sgarbieri, V. C., Ouwehand, A. C., Andreollo, N. A., Hiane, P. A., & Dos Santos, E. F. (2016). Polydextrose: Physiological function, and effects on health. **Nutrients 2016**, 8, 553

Junyusen, T., Ngampang, N., Sangmuang, A., Suthada, S., & Chatchavanthatri, N. (2017). The effects of inulin on the textural, thermal, and microstructural properties of reduced-fat cheese. **Suranaree Journal Science Technology 24** (1), 23–30

Li, S., Ye, A., & Singh, H. (2020). Effects of seasonal variations on the quality of set yogurt, stirred yogurt, and Greek-style yogurt. **Journal of Dairy Science,** Vol. 104 No. 2

Marini, T., Gallina, D. A., Nabeshima, E. H., Ponezi, A. N., Anaya, K., Antunes, A. E. C., & Pacheco, M. T. B. (2022). Development of probiotic yoghurts with high protein content by ultrafiltration. **NFS Journal 29** , 16–25.

Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., & Poutanen. K. (2 0 1 0). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. **Nutrition Reviews,** Vol. 69 (1), 9–21

Rapaille, A., Goosen, J., & Heume, M. (2016). Sugar alcohols. **Food Science**, pp. 211-216.

Rubel, I. A., Iraporda, C., Manrique G. D., Genovese, D. B., & Abraham, A. G. (2021). Inulin from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) : From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre 26,** 100281

Serafeimidou, A., Zlatanos, S., Laskaridis, K., & Sagredos, A. (2012). Chemical characteristics, fatty acid composition and conjugated linoleic acid (CLA) content of traditional Greek yogurts. **Food Chemistry 134**, (2012), 1839–1846

Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C., & Subhimaros, S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. **LWT - Food Science and** Technology 51, 30-36

Wang, Y., Zhao, Y., Xue, F., Nan, X., Wang, H., Hua, D., Liu, J., Yang, L., Jiang, L., & Xiong, B. (2020). Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a neotype feed resource. **Animal Nutrition 6** (2020), 429-437

Zumbé, A., Lee, A., & Storey, D. (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. **The British Journal of Nutrition**, vol. 85, no. S1, 31-S45

FE-N05

Application of a low-cost microwave to reduce the oil absorption of industry instant noodles

Yuppadee Samseemoung[1], Grianggai Samseemoung[2*], Grittin Samseemoung[3], Grittaya Samseemoung[3] and Malarin Samseemung[4]

[1]Rangsit NakornNayok Rd, Lam Phak Kut, Thanyaburi, Pathum Thani, 12110, THAILAND

[*2]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[3]Innovation Demonstration School of RMUTT, Klong hok, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[4]Sub ICU-CVT Department, Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital, Chiang Mai, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: grianggai.s@en.rmutt.ac.th

Abstract

Importance of the work: Microwave frying could reduce oil content and increase rehydration rate of fried instant noodles. Objectives: The commercial instant noodles were evaluated for general quality comparing deep frying and microwave frying methods. Materials & Methods: Evaluation of frying temperature's impact and frying time on physicochemical properties in deep fried and microwave fried instant noodles, all samples were determined the qualities (oil content, moisture content, and color, size, rehydration ratio and texture profile analysis), Every measurement was made in triplicates. Data from the experiment were evaluated using the SPSS 11.5 program. Results: The effects of deep frying and microwave frying for 2, 2.5 and 3 min, both at 160ºC and at 800W, were evaluated. The results revealed that microwave oven needed less preheat time for oil than deep fryer containing 400 ml of palm oil (6 and 8 min respectively). The instant noodles fried using microwave had less moisture and oil contents, yellowness and hardness and greater rehydration rate compared with those that were deep fried. Main finding: Microwave frying could reduce oil content and enhance the rate at which fried instant noodles rehydrate, compared to the standard method of frying, a reduction of 7.67, 8.13 and 6.91% in oil content was observed for instant noodles fried using microwave oven for 2, 2.5 and 3 min respectively. The sensory test justified microwave frying for 3 min.

Keyword: Deep frying, Frying temperature, Frying time, Microwave frying, Rehydration ratio

Introduction

After the crisis of the epidemic of COVID-19 until having to work from home, it is found that the most popular product that every home must have is instant noodles. Until now, an instant noodle sold in Thailand have been adjusted to higher selling prices, due to increased production costs whether the cost of raw materials, transportation, fuel price and inflation. Therefore, in terms of research, it is very challenging for researchers to invent, modify and develop a method for producing instant noodles to have a lower cost but still high quality to help the poor people in another way. In order to improve production efficiency and reduce production costs, many researchers (Jarimopas et al., 2008; Sirisomboon et al., 2009; Samseemoung et al., 2011; Samseemoung et al., 2012; Sammseemoung et al., 2016; Samseemoung et al., 2017a; Samseemoung et al., 2017b; Sirikun et al., 2021; Gupta et al., 2022) have conducted this research by applying the knowledge of precision agriculture technology to help local farmers in the country. An analysis of samples from eight Asian nations revealed that the typical oil level of commercially available deep-fried instant noodles was between 16% and 24% (Khalil, 1999). Widespread deep-fried instant noodles favored by consumer because of their excellent flavor, convenience and easy for preparation (Wu et al, 1998) but they have high oil content like other deep-fried product (Saguy and Dana, 2003). In recent years, many researches have been involved the creation of dietary items that can lower cholesterol and fat levels (Krokida et al, 2001a) because consumer prefer low fat products. Microwave frying is used for food products may be considered as a new way to improve the quality of the fried foods (Oztop et al, 2007). Microwave energy through food material and creates a heat source that is evenly spread throughout space. Heat produced by molecular friction brought on by polar liquids rotating dipolar and by the conductivity of dissolved ions.

Microwaves shorten the drying time during food dehydration by speeding up the so-called falling rate stage. On the other hand, there hasn't been much research on using microwaves for frying. Potato slices fried by microwave compared to deep frying has less oil absorption, high moisture content loss and short frying time. Food cooked by microwave does not heat uniformly and how deeply a microwave can penetrate food depends on the size of the portions, the composition and moisture content of the food.

The main qualities tests of fried instant noodles are texture, color, rehydration rate and oil content. The application of process engineering methods can be developed to decrease oil consumption and enhance qualities of instant fried noodles such as microwave for deep frying or used gum additives to mix with dough. The following image shows the manufacturing process of Thai instant fried noodles product.

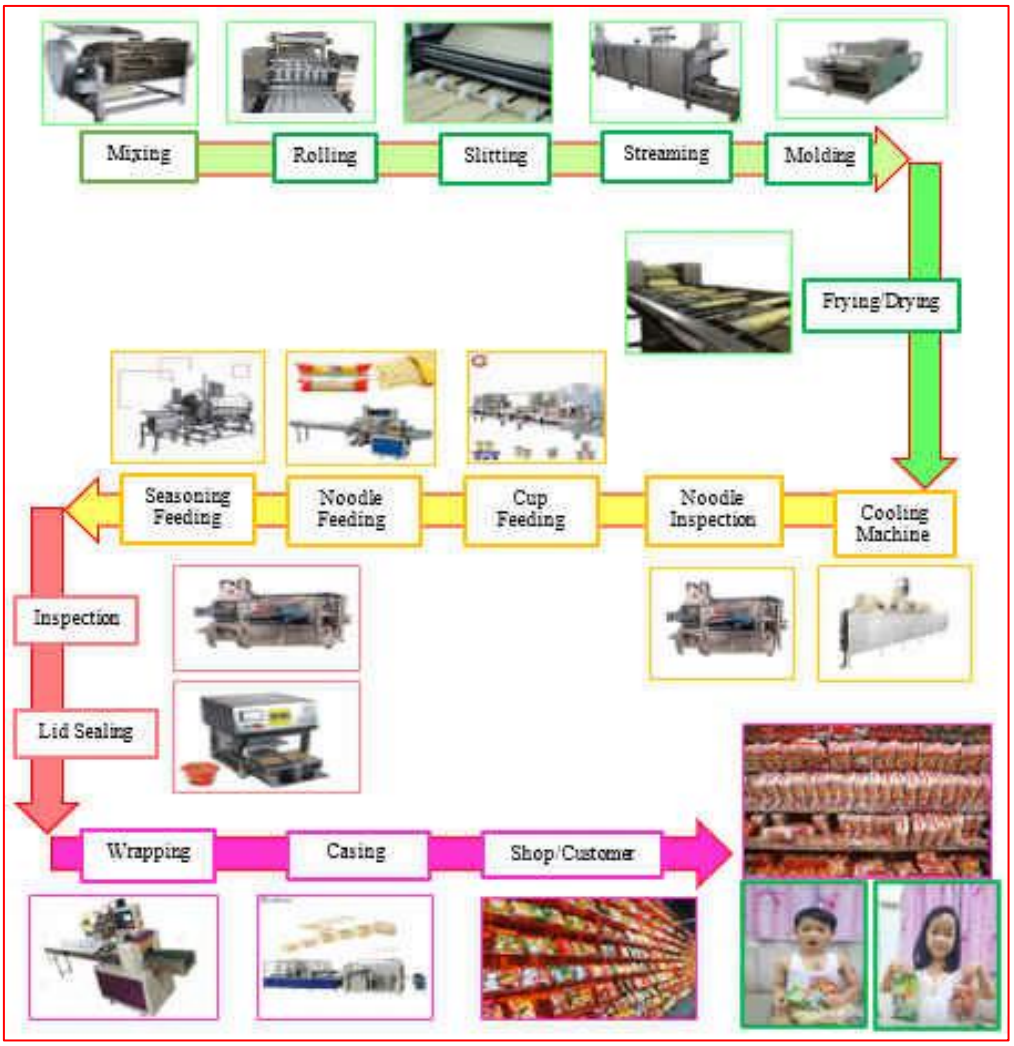


Fig. 1 The manufacturing process of industry instant fried noodles product

Materials and Methods

1. Experimental set up and field preparation

The experimental site was located at the Asian Institute of Technology (AIT), Thailand (14.03°N, 100.61°E). Noodles preparation was done according to the procedure describes by Yu and Ngadi (2004) with a slight modification. The dough for the instant noodles was made by combining 100% flour (12%MC); 1.5% salt (kg/kg of flour); 0.4% alkaline salt (potassium carbonate and sodium carbonate mixed 1:1) and 27.3-40.7% water. First, wheat flour was sieved through a 100-mesh screen. Then, wheat flour (150g) was placed in blender. The dough was properly and uniformly formed after 4 minutes of mixing water that had salts dissolved in it. Experienced individuals used trial and error to discover the ideal water absorption for creating noodles dough;

this depends on the appearance of the dough, the dough sheet, and the handling characteristics of the dough sheet. The dough was taken out of the blender and divided into three even, little pieces. The dough was run through a noodles machine's roller (Imperia 150 Silver, 7.6 pounds, CucinaPro, Inc., Italy) creating a 1 mm gap sheet and then the sheet will be folded in half and run through the roller one again.

The dough sheet was run through the noodles machine with the roller gap lowered to 1.5 mm to create the instant noodles. The pastry sheet was cut with 1.5 mm grooves to form noodles strand. The dimension of sheet was width of 1.5 mm and thickness of 0.8 mm. The noodles were cooked for two minutes in a steamer that had been warmed to 100 degrees Celsius, put into 4% saline solution (NaCl) and then frying in palm oil at a specified temperature (160 ºC ± 1 ºC) containing 4,000 ml of palm oil and 40 g of noodles strands were fried for 2, 2.5 and 3 min in each experiment. All samples were determined the qualities (moisture content, oil content, color, size, rehydration ratio and analyses of texture profiles). Figure 2 has shown the flow chart of the experiment design at different concentration between deep frying and microwave frying.

2. Evaluation of the impact of frying time and temperature on physicochemical properties in deep fried instant noodles

Deep frying was conducted at a specified temperature (160 ºC ± 1 ºC) in deep fryer (Model JAS-STEDF-2425, Jas Enterprise Co, Ltd, Gujarat, India) containing 4,000 ml of palm oil and 40 g of noodles strands were fried for 2, 2.5 and 3 min in each experiment. All samples were determined the qualities (oil content, moisture content and color, size, rehydration ratio and evaluation of texture characteristics)

3. Evaluation of the impact of frying time and temperature on physicochemical properties in microwave fried instant noodles

Microwave frying was done in accordance with the process describes by Oztop, et al (2007) with a slight modification. Frying in a microwave was accomplished utilizing a glass bottle that has 400 cc of palm oil in it. First, the oil was heated to a predetermined temperature from room temperature (160 ºC ± 1 ºC) using the microwave's highest power setting (Panasonic NN-ST25JMQPQ 20L Compact 800W Microwave Oven, China). Then, noodles strands were placed frying at the same power level in heated oil of microwave oven (800W) and 40 g of noodles strands were fried for 2, 2.5 and 3 min in each experiment. All sample were determined the qualities (oil content, moisture content and color, size, rehydration ratio and texture profile analysis).

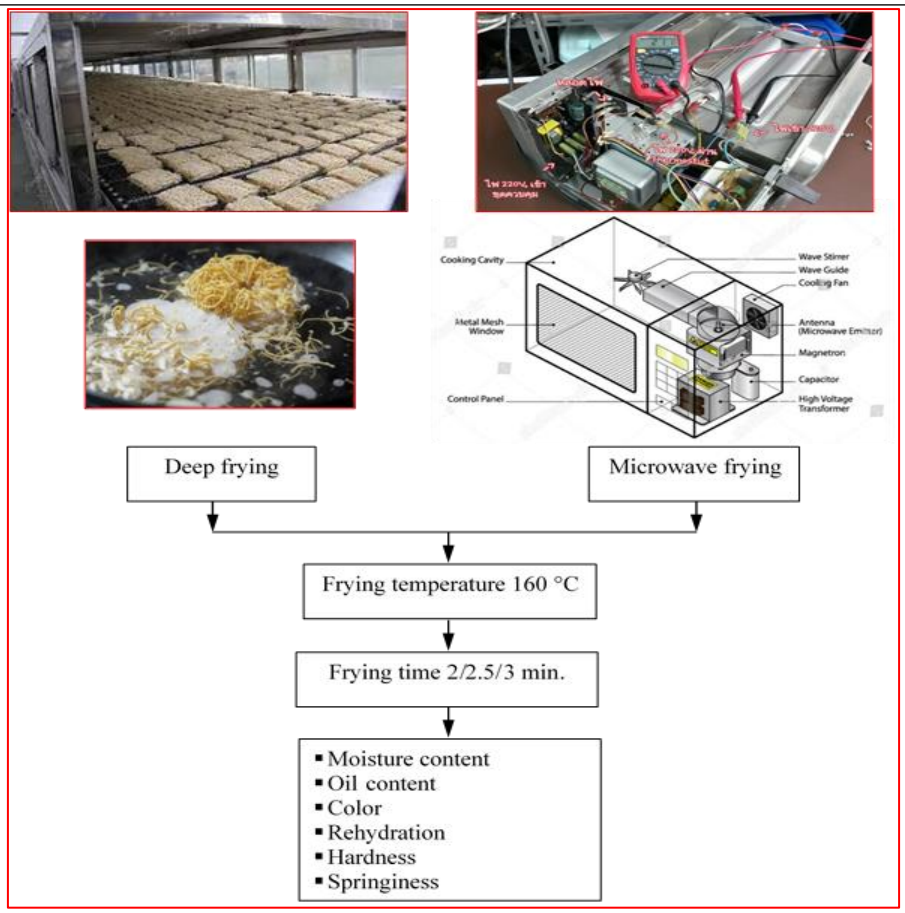


Fig. 2 Flow chart of the experiment design at different concentration between microwave frying and deep frying

4. Evaluation of the effect of deep frying and microwave frying at the same power level, effects of frying temperature and time on physicochemical characteristics in instant fried noodles

Using a container, deep frying was done on deep fryer containing 400 ml of palm oil. Microwave frying was accomplished using a glass container containing 400 ml of palm oil. On two methods of frying, samples were fried at the same power level, frying temperature and frying time. The oil is heated to room temperature first to 160ºC ± 1ºC at 800W. Then, 40 g of noodles strands placed in a hot oil bath and were fried at 160ºC ± 1ºC for 2, 2.5 and 3 min at 800W. All sample were determined the qualities (moisture content, oil content, color, rehydration ratio and texture profile analysis).

5. Determine properties of instant fried noodles

5.1 Moisture content

The moisture amount was performed according to AOAC (2000). The instant fried noodles were grounded in blender until all samples pass through No.20 sieve (The 19B236, ASTM E11 certified, U.S.A). Two grams of grounded instant fried noodles were weighted in a known dish weight, and then dried at 130 ºC until constant weight. Next, it was transferred to desiccator (D-0009 plastic knop and porcelain plate, Simax, Czech) and weight soon after reaching room temperature. For each measurement, three replications were performed, and the average data gathered was used for statistical analysis.

5.2 Analysis of the texture profile

For texture profile analysis, the experiment was done according to the method of Park and Baik (2004). The cooked noodles strands were determined by TA-XT plus texture analyzer (TA.XT. plus, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA). On a plexiglass plate, three parallel strands of cooked noodles were compressed crosswise twice to a height of 70% utilizing an aluminum cylindrical probe (3.5 cm, probe model P/35) at a speed of 1.0 mm/sec. From the TPA curve, texture parameters of hardness, springiness and cohesiveness were obtained. Each measurement was performed three times, and statistical analysis was done using the average data that was gathered.

5.3 Oil content

In oil extraction, Soxtec system was used. Oil content was performed by using Soxhlet method (AOAC, 2000), which was followed the manual of tecator soxtec system. Two grams of grounded instant fried noodles after obtained moisture content were placed in tube of soxtec extraction (Tecator soxtec system ht 1043 extraction unit, TX, USA). Using a solvent extractor, oil was extracted using petroleum ether. Each measurement was performed three times, and statistical analysis was done using the average data that was gathered.

5.4 Color measurement

A color difference meter was used to measure the color of the instant fried noodles (Model TC-P III A, Tokyo Denshoku Co, Ltd. Tokyo, Japan) based on CIE system (L* a* and b*). For each measurement, three replications were performed, and the average data gathered was used for statistical analysis.

5.5 Rehydration test

According to the method of Beta and Cork (2001). The instant fried noodles strands were cooked for 4 min until the white inner core disappeared and then was drained, dried with paper towels, and kept covered in plastic container after being submerged in cold water for one minute. The gain in noodles weight after cooking was recorded as rehydration ratio. For each measurement, three replications were performed, and the average data gathered was used for statistical analysis.

5.6 Statistical analysis

Every measurement was made in triplicates. The study results were analyzed by using SPSS 11.5 software. Analysis of variance (ANOVA) was utilized to compare treatments' significance and Duncan's Multiple Range test (DMRT) was used to compare of the mean at 95% confidence level. Regression analysis and Pearson's correlation coefficients were also computed using SPSS 11.5 software.

Results and Discussion

1. Effect of Frying Temperature and Frying Time on Physicochemical Properties in Deep Fried and Microwave Fried Instant Noodles

Use of microwave frying could be viewed as a novel approach to improve the standard of fried food items. But there hasn't been much research on the use of microwave for cooking fried foods (Oztop et al, 2007). Therefore, the performance of deep frying and microwave frying were investigated. The temperature profiles of instant noodles during heating oil and during frying noodles, deep frying was performed using a container of deep fryer and microwave frying using a glass container that containing 400 ml of palm oil. On two methods of frying, samples were fried at the same power level (800W), frying temperature 160 ºC and frying time (2, 2.5 and 3 min). Microwave oven was used shorter time to heat oil than deep fryer to a temperature of 160±1 ºC (8 min and 6 min for deep frying and microwave frying, respectively) at the same power level (800W). For microwave frying, the heat generated by molecular friction brought on by the dipolar rotation of polar liquids as well as by the conductivity of dissolved ions Magnetic and electrical fields within the product are what cause the dipolar rotation (Romano et al., 2005). Due to its dipolar nature, water is the primary source of microwave interactions. The material is heated evenly, resulting in faster heating rates and shorter processing periods compared with conventional heating (Ozge Sakiyan et al., 2007). The temperature profiles of deep frying and microwave frying of instant noodles during frying were similar. The cycling of temperature was due to the on-off cycling of microwave oven and deep fryer.

2. Moisture content of instant fried noodles

Moisture content of instant noodles in deep frying and In Table 1, microwave frying is described. Deep-fried instant noodles' moisture content and microwave fried instant noodles was ranged from 3.62 to 5.25 % (wet basis). The ANOVA result revealed a significant difference of moisture content among all instant noodles ($P< 0.05$). The moisture content decreased with increasing frying time. Moisture content of deep fried instant noodles was higher than microwave fried instant noodles. The lowest moisture content was obtained when noodles were fried with microwave for the longest frying time (3 min). The moisture content of instant fried noodles in microwave oven frying for 2, 2.5 and 3 min were 4.42, 4.04 and 3.62, respectively and moisture content of deep fried instant noodles were 5.25, 4.75 and 4.03, respectively. Oztop et al (2007) found that moisture content of deep frying was higher than microwave frying. Several academics have showed that microwave dried vegetables lost moisture content more than conventionally dried ones (Sharma and Prasad,2001; Sumnu et al, 2005).

3. Oil content of deep frying and microwave frying

Table 1 shows oil content of instant noodles in deep frying and microwave frying. When ANOVA was performed, it was seen that there was significant difference of oil content among all instant noodles in different frying methods. Oil content of deep frying and microwave frying was in the range of 25.99-31.82 % (dry basis). Oil content of samples increased as frying time increased. Oil content of deep fried instant noodles was higher than microwave fried instant noodles. Oil content of instant noodles cooked in a microwave for 2, 2.5 and 3 min were 25.99, 27.47 and 29.62, respectively and deep fried instant noodles were 28.15, 29.90 and 31.82, respectively. Microwave frying can reduce oil content when compared with conventionally fried ones. In conventionally frying, food with less moisture content also show more oil uptake (Pinthus et al, 1993). Oztop et al (2007) found that microwave frying resulted in high moisture loss, it's anticipated that microwave frying would result in higher oil content as compared to conventional frying. However, the oil content of microwave-fried potatoes was lower than oil content of potatoes fried conventionally. This could be explained by the fact that water evaporates at a higher rate than oil diffuses in microwave frying. Compared to the conventional frying, a reduction of 7.67%, 8.13% and 6.91% in oil content of instant fried noodles was observed for instant noodles frying with microwave oven for 2, 2.5 and 3 min, respectively. Therefore, from the oil content, microwave frying could be a suitable frying method for the next experiment.

4. Color of instant fried noodles

The color of a product is typically used by the consumer to indicate when the frying process is complete. The ultimate color of the fried product is determined by the oil absorption as well as the chemical reaction that causes protein sources and reducing sugars to brown (Baixauli et al, 2002). Table 2 shows color of deep fried and microwave fried instant noodles in terms of L* (lightness) and b* value (yellowness). There was significant difference of L* and b* value among all samples in different frying methods They were ranged of 63.51-66.53 and 27.32-32.54 for L* and b* value, respectively. L* value of samples decreased with increasing frying time and b* value increased as frying time increased. The effect of frying methods on L* and b* value is showed in Figure 6 and 7, respectively. L* and b* value of deep fried instant noodles were higher than microwave fried ones. L* value of instant noodles in microwave oven for 2, 2.5 and 3 min were 64.23, 64.19 and 63.51, respectively and L* value of deep fried instant noodles were 66.53, 65.70 and 63.96, respectively. b* value of microwave fried instant noodles were 27.32, 28.58 and 30.10, respectively and b* value of deep fried instant noodles were 27.78, 29.33 and 32.54, respectively.

5. Cooking quality

Table 1 summarizes the rehydration ratio of quick fried noodles fried using various frying techniques. There was significant difference of rehydration ratio among all instant noodle's samples ($P < 0.05$). Rehydration ratio of deep fried and microwave fried instant noodles was ranged from 1.25 to 1.48. Rehydration ratio increased as frying time increased. Figure 4 shows results of frying methods on rehydration ratio of instant fried noodles. Rehydration ratio of conventional frying was lower than microwave frying. Microwave frying can improve rehydration rate of instant fried noodles as compared to conventional frying. Therefore, from rehydration ratio, microwave was used to be a suitable frying method in the next experiment.

6. Texture quality of cooked instant fried noodles

Texture properties in terms of hardness, springiness and cohesiveness are summarized in Table 1. According to ANOVA results for hardness, springiness and cohesiveness of deep frying and microwave frying of instant noodles were significant difference at $P < 0.05$. They were ranged of 27.08-34.90, 0.83-0.88, and 0.58-0.64 for hardness, springiness and cohesiveness, respectively. Hardness of samples decreased as frying time increased. Springiness and cohesiveness of deep-fried instant noodles and microwave instant noodles were slightly different. Figure 4 and 5 shows results of frying methods on hardness of noodles. Hardness of conventional frying was higher than microwave frying. Hardness of samples from microwave frying was 29.71,

28.74 and 27.08, respectively and hardness of samples from deep frying was 34.90, 33.53 and 32.45, respectively for the frying time 2, 2.5 and 3 min.

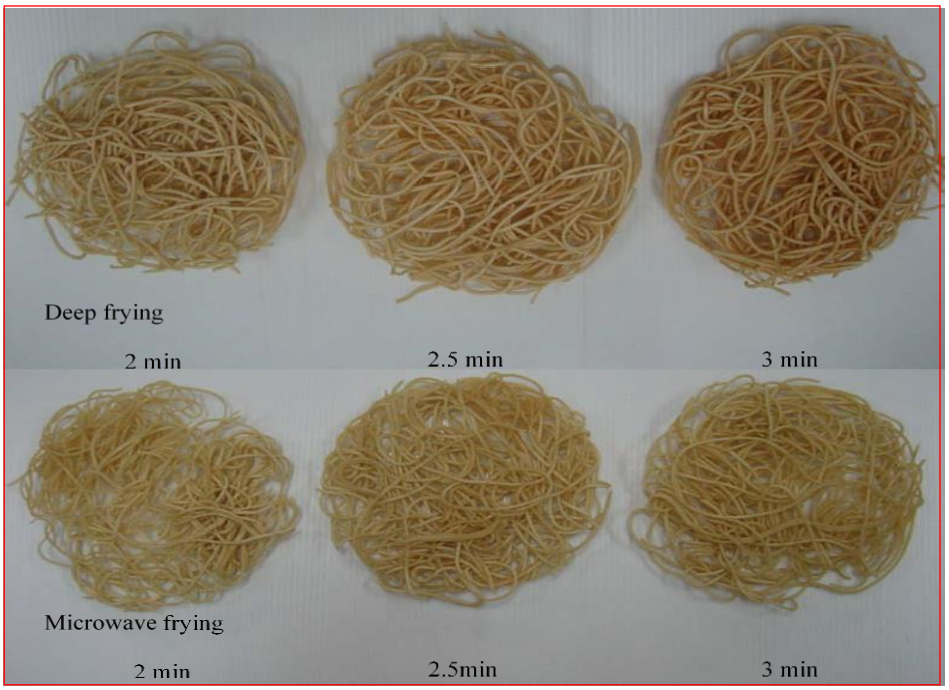


Fig. 3 The Instant fried noodles made from deep frying and microwave frying

Table 1 Moisture content hardness springiness rehydration ratio and oil content of instant fried noodles

Frying method	Temperature (ºC)	Frying time (min)	Moisture content (%wb)	Hardness (N)	Springiness	Rehydration ratio	Oil content (%db)
Deep frying	160ºC	2	5.25±0.03e	34.90±0.44f	0.87±0.02b	1.25±0.01a	28.15±0.13c
Deep frying	160ºC	2.5	4.75±0.04d	33.53±0.16e	0.86±0.03ab	1.34±0.02b	29.90±0.15e
Deep frying	160ºC	3	4.03±0.05b	32.45±0.16d	0.88±0.02b	1.42±0.02d	31.82±0.09f
Microwave	160ºC	2	4.42±0.01c	29.71±0.23c	0.83±0.01a	1.27±0.02a	25.99±0.11a
Microwave	160ºC	2.5	4.04±0.05b	28.74±0.13b	0.85±0.03ab	1.37±0.02c	27.47±0.23b
Microwave	160ºC	3	3.62±0.02a	27.08±0.24a	0.87±0.02ab	1.48±0.01e	29.62±0.17d

Data were reported in mean ± standard error. Means for each characteristic followed by the same column are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's Multiple Range test.

Table 2 Color of instant fried noodles

Experiment	Frying method	Temperature (ºC)	Frying time (min)	Color	
				L*	b*
1	Deep frying	160ºC	2	66.53±0.11e	27.78±0.21b
2	Deep frying	160ºC	2.5	65.70±0.06d	29.33±0.12d
3	Deep frying	160ºC	3	63.96±0.07b	32.54±0.12f
4	Microwave	160ºC	2	64.23±0.03c	27.32±0.09a
5	Microwave	160ºC	2.5	64.19±0.02c	28.58±0.09c
6	Microwave	160ºC	3	63.51±0.02a	30.10±0.02e

Data were reported in mean ± standard error. Means for each characteristic followed by the same column are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's Multiple Range test.

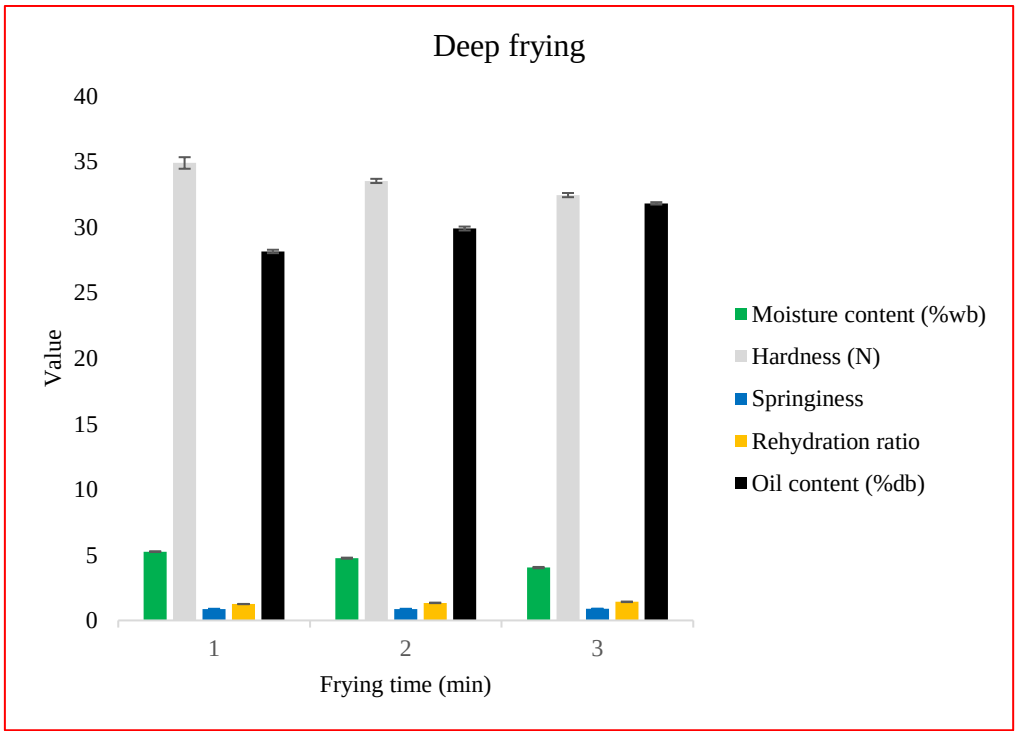


Fig. 4 Effect of moisture content, hardness, springiness, rehydration ratio and oil content with frying time in deep fried instant noodles

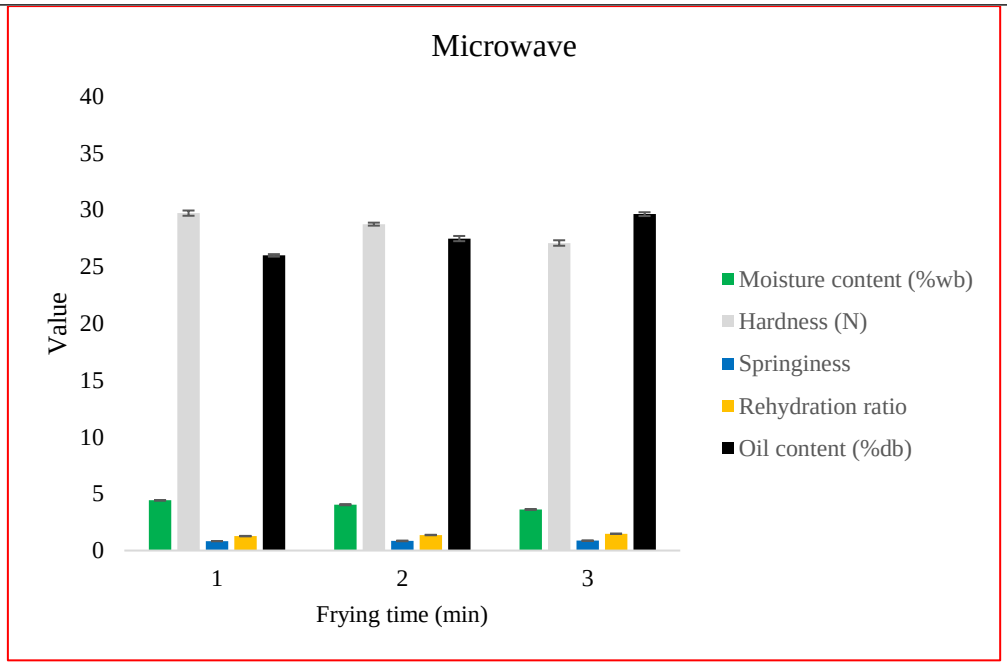


Fig. 5 Effect of moisture content, hardness, springiness, rehydration ratio and oil content with frying time in microwave fried instant noodles

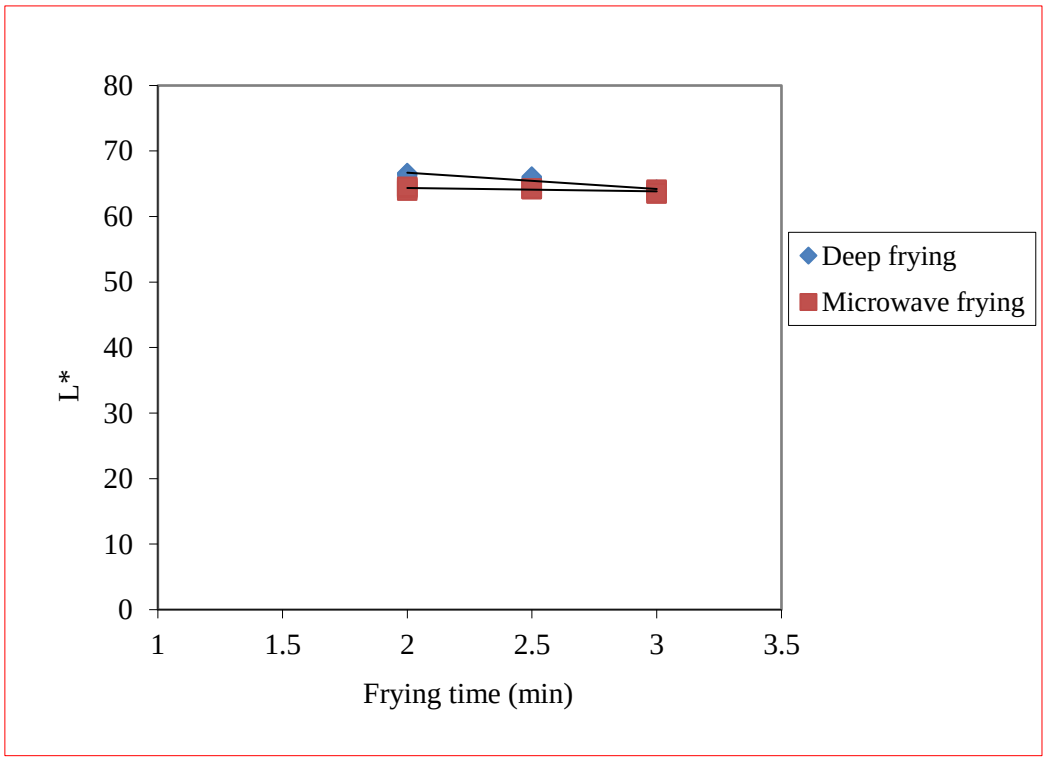


Fig. 6 Impact of the frying process on L* value

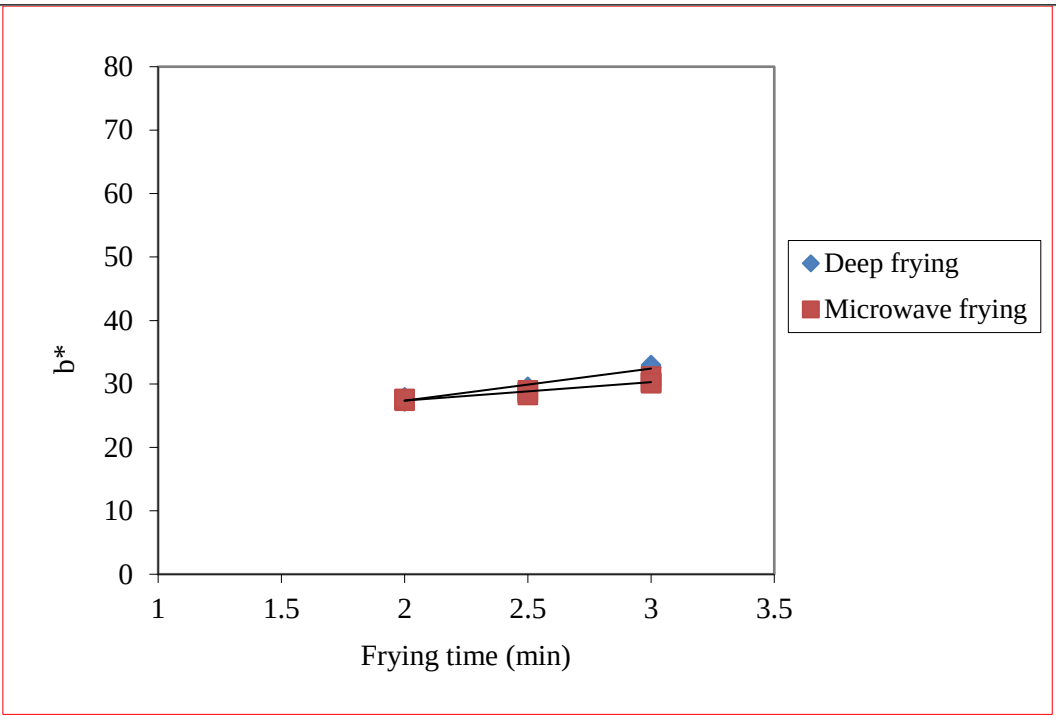


Fig. 7 Impact of the frying process on b* value

Conclusions

There are numerous elements that affect the quality of fried instant noodles, including processing conditions (frying method, temperature, and time) and gum addition. The effects of deep frying and microwave frying on instant noodles were investigated.

When the effect of deep frying was evaluated, the primary interactions impact of frying temperature was observed and frying time on physicochemical properties of fried instant noodles were significantly different at $p < 0.05$. The moisture content decreased and oil content increased as frying temperature and frying time increased. L* value decreased and b* value increased with increasing frying temperature and time. Rehydration ratio increased as frying temperature and frying time increased. Hardness of instant noodles decreased using longer frying times and higher temperatures.

When the effect of microwave fried instant noodles was evaluated, all the properties - moisture content, oil content, color, rehydration ratio and hardness - were affected by frying temperature and frying time. The moisture content decreased and oil content increased with increasing frying temperature and time. L* value decreased and b* value increased as frying temperature and time increased. Rehydration ratio increased with increasing frying

temperature and frying time. Hardness of instant noodles decreased using longer frying times and higher temperatures.

The effects of deep frying and microwave frying were evaluated. It was found that microwave frying affected physiochemical properties of instant noodles. Less oil, less moisture, less L* value, and less b* value and hardness and increased rehydration rate were obtained in noodles fried using microwave. The fried instant noodles made using microwave could reduce oil content and increase rehydration rate of instant noodles. From sensory evaluation, panelists gave significantly higher overall acceptability score for fried instant noodles fried using microwave for 3 min.

Acknowledgments

The authors thank Asian Institute of Technology (AIT), School of Environment, Resources and Development, Agricultural Systems and Engineering, Pathumthani, for providing experimental facilities. This work was financially supported by Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Faculty of Engineering, Agricultural Engineering, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand. Rajamangala University of Technology Thanyaburi is not necessary to agree with the results of this study.

References

AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Washington, DC: Association of Official Analysis Chemists. https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129.

Beta, T., Corke, H. (2001). Noodle quality as related to sorghum starch properties. Cereal Chemistry, https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.4.417., 78(4), 417-420.

Baixauli, R., Salvador, A., Fiszman, S. M., Calvo, C. (2002). Effect of addition of corn flour and colorants on the color of fried, battered squid rings. European Food Research and Technology 215: 457-461. In: M. H. Oztop, S. Sahin, and G. Sumnu (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. Journal of Food Engineering, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.031., 79, 83-91.

Gupta, A. K., Pathak, U., Tongbram, T., Medhi, M., Terdwongworakul, A., Magwaza, L. S., Mishra, P. (2022). Emerging approaches to determine maturity of citrus fruit. Critical Reviews in Food Science and Nutrition https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1883547., 62(19), 5245-5266.

Jarimopas, B., Jaisin, N. (2008). An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind. Journal of food engineering, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.007., 89(3), 291-297.

Khalil, A. H. (1999). Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. Food Chemistry https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00045-X., 66, 201-208.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., Marinose-Kouris, D. (2001a). Effect of pre-drying on quality of french fries. LWT https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00233-8., 40, 1459-1465.

Oztop, M. H., Sahin, S., Sumnu, G. (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. Journal of Food Engineering, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.031., 79, 83-91.

Ozge Sakiyan, G. Sumnu, S. Sahin, V. Meda. (2007). Investigation of Dielectric Properties of Different Cake Formulations during Microwave and Infrared-Microwave Combination Baking. Journal of food science, https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00325.x., 72(4), 205-213.

Pinthus, E. J., Weinberg, P., Saguy, I. S. (1993). Criterion for oil uptake during deep- fat frying. Journal of Food Science. 58: 204. In: M.Mellema (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trends in Food Science and Technique, https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03245.x., 14, 364-373.

Park, C. S., Baik, B.-K. (2004). Relationship between protein characteristics and instant noodles making quality of wheat flour.Cereal Chem, https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.2.159., 81, 159-163.

Romano, V.R., Marra, F. and Tammaro, U., (2005). Modelling of microwave heating of foodstuff: study on the influence of sample dimensions with a FEM approach. Journal of food engineering, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.036., 71(3), 233-241.

Sharma, G. P., Prasad, S. (2001). Drying of garlic (Allium sativum) cloves by microwave-hot air combination.Journal of Food Engineering, 50: 99-105. In: M. H. Oztop, S. Sahin, and G. Sumnu, (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. Journal of Food Engineering, https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00200-4.,79, 83-91.

Saguy, I.S., Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering 56: 143–152. In: J. Wu, R.E. Aluko, H. Corke (2006). Partial least-squares regression study of the effects of wheat flour composition, protein and starch quality characteristics on oil content of steamed-and-fried instant noodles Journal of Cereal Science, https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1., 44, 117–126.

Sumnu, G., Turabi, E., Oztop, M. (2005). Drying of Carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. Lebensmittel- Wissenschaft und-Technologie. 38: 549–553. In: M. H. Oztop, S. Sahin, and G. Sumnu (2007). Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. Journal of Food Engineering, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.006., 79, 83-91.

Sirisomboon, P., Hashimoto, Y., Tanaka, M. (2009). Study on non-destructive evaluation methods for defect pods for green soybean processing by near-infrared spectroscopy. Journal of Food Engineering, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.019., 93(4), 502-512.

Samseemoung, G., Jayasuriya, H. P., Soni, P. (2011). Oil palm pest infestation monitoring and evaluation by helicopter-mounted, low altitude remote sensing platform. Journal of Applied Remote Sensing, https://doi.org/10.1117/1.3609843., 5(1), 053540.

Samseemoung, G., Soni, P., Jayasuriya, H. P., Salokhe, V. M. (2012). Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. Precision Agriculture, https://doi.org/10.1007/s11119-012-9271-8., 13(6), 611-627.

Samseemoung, G. (2016). Development of a Remote Control System for Orchid Diseases Monitoring Using Image Processing Technique for Precision Application of Chemicals in Standard Greenhouses. Thai Society of Agricultural Engineering Journal, https://li01.tci-thaijo.org/index.php/TSAEJ/article/view/68886., 22(1), 7-20.

Samseemoung, G., Soni, P., Suwan, P. (2017a). Development of a variable rate chemical sprayer for monitoring diseases and pests infestation in coconut plantations. Agriculture, https://doi.org/10.3390/agriculture7100089., 7(10), 89.

Samseemoung, G., Soni, P., Sirikul, C. (2017b). Monitoring and precision spraying for orchid plantation with wireless WebCAMs. Agriculture, https://doi.org/10.3390/agriculture7100087., 7(10), 87.

Sirikun, C., Samseemoung, G., Soni, P., Langkapin, J., Srinonchat, J. (2021). A Grain Yield Sensor for Yield Mapping with Local Rice Combine Harvester. Agriculture, https://doi.org/10.3390/agriculture11090897., 11(9), 897.

Wu, T. P., Kuo, W. Y., Chen, M. C. (1998). Modern noodles based foods-product range and production methods. In: J. Wu, R. E. Aluko, and H. Corke. Partial least- squares regression study of the effects of wheat flour composition, protein and starch quality characteristics on oil content of steamed-and-fried instant noodles. Journal of Cereal Science, https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.05.008., 44, 117-126.

Yu, L. J., Ngadi, M. O. (2004). Textural and Other Quality Properties of Instant Fried Noodles as Affected by Some Ingredients. Cereal Chem, https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.6.772., 81(6), 772-776.

FE-N06

การศึกษาเชิงทดลองของสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต

Experimental investigation of water chiller performance using a condensing unit

ชาญณรงค์ วันทา[1] วสันต์ ขันทอง[1] และ ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ[1*]

Channarong Wantha[1], Wasan Khanthong[1] and Supachai Krittasudthacheewa[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: cwantha@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการทดลองสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต ชุดคอนเดนซิ่งยูนิตประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น และท่อแคพิลลารี เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดเป็นวงแนวตั้งถูกออกแบบเพื่อใช้เป็นเครื่องระเหยและจะถูกจุ่มในน้ำที่มีปริมาตร 50 ลิตรในระหว่างการศึกษา ระดับของอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำจำนวนสี่ระดับถูกใช้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อเวลาการทำงานและผลการทำความเย็นรวมถึงพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้โดยเครื่องทำน้ำเย็น นอกจากนี้ การทดลองแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นนั้นขึ้นอยู่กับผลการทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้โดยเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่สัมพันธ์กับของระยะเวลาที่ต้องใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำ ผลการทดลอง พบว่า เมื่อเทียบกับความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ $30\,^{\circ}C$ เครื่องผลิตน้ำเย็นนี้ต้องใช้เวลาเพิ่มประมาณ 6.66%, 9.09% และ 20% สำหรับอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของ 32, 34 และ $36\,^{\circ}C$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทำความเย็น การหล่อเย็น เครื่องปรับอากาศ ชิลเลอร์ สมรรถนะ

Abstract

The purpose of this study was to conduct an experimental investigation into the performance of a water chiller that uses a condensing unit. The main components of the condensing unit are a compressor, condenser, and capillary tube. A helical coil tube heat exchanger was used as an evaporator and immersed in 50 liters of water. Four different initial water temperature levels were used to research the water temperature's impact on a

water chiller's performance. The results showed that the initial water temperature influences the operation time and refrigerating effect, as well as the water chiller's total electrical energy consumption. Furthermore, experiments have shown that a water chiller's performance depends on the water chiller's refrigerating effect and total electrical energy consumption. When comparing this water chiller's capacity related to the time required to reduce the water temperature, the results indicated that when comparing its ability to reduce the water temperature to 30 $^{\circ}C$, this water chiller required approximately 6.66%, 9.09%, and 20% more time based on initial water temperatures of 32, 34, and 36 $^{\circ}C$, respectively.

Keyword: Refrigeration, Cooling, Air condition, Chiller, Performance

1. บทนำ

เครื่องผลิตน้ำเย็น มีหน้าที่ดึงความร้อนออกจากน้ำและแทนที่ด้วยความเย็นจนน้ำมีอุณหภูมิลดลงตามที่ต้องการและควบคุมอุณหภูมินั้นไว้ เครื่องผลิตความเย็นที่พบกันในปัจจุบัน ได้แก่ เครื่องผลิตน้ำเย็นชนิด Thermoelectric cooler (TEC) ซึ่งเป็นวิธีการทำความเย็นแบบ Active cooling วิธีหนึ่ง โดยใช้แผ่นเพลเทียร์ (Peltier) ที่มีสารกึ่งตัวนำชนิดพีกับเอ็น (P-N Type) เมื่อแผ่นเพลเทียร์ได้รับกระแสไฟฟ้าชนิดตรง ผิวที่ด้านหนึ่งจะเย็นอีกด้านหนึ่งจะร้อน แต่ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำเย็นประเภทนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นเพลเทียร์ กระแสไฟฟ้า และการระบายความร้อนที่ผิวด้านร้อนของมัน (Wantha, 2017) และเครื่องผลิตน้ำเย็นอีกประเภทหนึ่งที่รู้จักกันดี ก็คือเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ทำงานตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เช่น เครื่องชิลเลอร์ (Chiller) ในระบบปรับอากาศ (Sathe, Sonawane, Dhatrak, Patil, & Momin, 2019) เป็นต้น

เครื่องผลิตน้ำเย็นนอกจากจะสามารถลดความร้อนของน้ำ หรือทำให้ระดับอุณหภูมิของน้ำลดลงได้แล้ว ยังต้องมีความยืดหยุ่นในการทำงานด้วยเช่นกัน เนื่องจากลักษณะของงานที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิมีความหลากหลาย เช่น ใช้ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอาหาร เครื่องดื่ม อุตสาหกรรมพลาสติก ใช้งานด้านการเกษตรเพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเพื่อการเลี้ยงสัตว์หรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ใช้หล่อเย็นในกระบวนการผลิตทั่วไป ใช้หล่อเย็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะการทำงานสูง รวมทั้งการใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยที่เครื่องผลิตน้ำเย็นควรมีความสามารถรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำเย็นให้คงที่ได้ตลอดเวลาการใช้งาน มีความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นสู่อุณหภูมิน้ำเย็นที่ต้องการ นอกจากนี้เครื่องควรต้องสามารถส่งน้ำเย็นที่ผลิตได้ออกไปให้อุปกรณ์อื่น ๆ ได้โดยง่าย แต่ปัจจุบันกลับพบว่า เครื่องผลิตน้ำเย็นที่มีใช้กันอยู่แล้วมีข้อจำกัดยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวนี้ได้ทั้งหมดและมีราคาค่อนข้างสูง

เครื่องผลิตน้ำเย็นมีการออกแบบและวิจัยตามวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7690 ซึ่งประดิษฐ์เครื่องปรับอากาศระบบน้ำเย็น ลักษณะเครื่องที่ประดิษฐ์มีชุดทำความเย็นให้กับน้ำเพื่อ

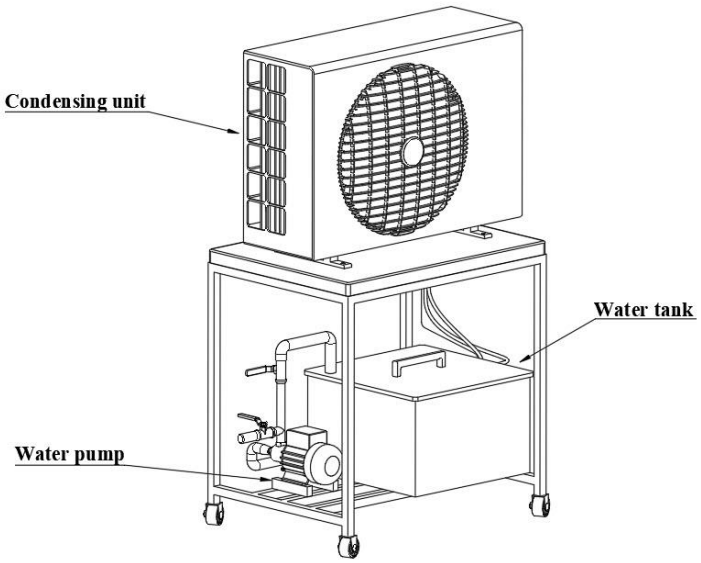
เปลี่ยนให้เป็นน้ำเย็นและแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมร้อนของเครื่องปรับอากาศ (มงคล ธุระ, 2555) และอนุสิทธิบัตรไทยเลขที่ 14354 ได้ประดิษฐ์ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำและชุดระบายความร้อนด้วยอากาศในภายระบบเดียวกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหย (อังกูร โชตินิสากรณ์, 2561) Chan, Yang, & Yu (2011) ศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของเครื่องชิลเลอร์ที่มีละอองน้ำช่วยชุดคอนเดนเซอร์ที่มีระบบการระบายความร้อนด้วยอากาศ ผลการศึกษาพบว่าค่า COP ของเครื่องชิลเลอร์เพิ่มขึ้นระหว่าง 7.1 ถึง 72.9% จากระบบดั้งเดิม Arya, & Chavda (2014) ทำการศึกษาการออกแบบและสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าคอมเพรสเซอร์แบบ Scroll compressor และเครื่องระเหยความร้อนแบบแผ่น (Plate heat evaporator) สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอมเพรสเซอร์แบบ Scroll compressor และเครื่องระเหยแบบเปลือกและท่อ(Shell and tube evaporator) Sathe, Sonawane, Dhatrak, Patil, & Momin (2019) ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องชิลเลอร์ ภายใต้เงื่อนไขออกแบบของการลดอุณหภูมิของน้ำจาก 20$^{\circ}C$ สู่อุณหภูมิ 15$^{\circ}C$ ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 1000 l/h ภาระการทำความเย็น 18 TR ใช้สารทำความเย็น R-407C ผลการศึกษาแสดงถึงขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบชิลเลอร์ที่คำนวณได้ Sob (2021) ได้ศึกษาการจำลองการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ Chiller เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน โดยการใช้สารแขวนลอยในระบบ ผลการวิจัยเผยให้เห็นว่ามีการแปรผันของค่าระดับ pH ค่าอัตราการไหลของมวลและอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการทำงาน Zarei, Seddighi, Elahi, & Örlü, (2022) ทำการศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดเกลียวโดยใช้การฉีดฟองอากาศสำหรับระบบกักเก็บพลังงานความร้อนเย็น เครื่องระเหยแบบท่อขดเป็นเกลียวจะจุ่มในถังน้ำ ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าการฉีดฟองในถังมีผลต่อการเพิ่มค่า COP และอัตราการถ่ายเทความร้อนจากถังน้ำ โดยค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 124%

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นมักถูกใช้ในระบบการทำความเย็นขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องชิลเลอร์ หรือความพยายามจะเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องชิลเลอร์ ซึ่งในเอกสารที่เผยแพร่แบบเปิดที่สำรวจได้นั้น ยังขาดการศึกษาการประเมินสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิตจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นต้นกำลัง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบและทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นขนาดเล็กแบบลดอุณหภูมิรวดเร็วที่ใช้เครื่องคอนเดนซิ่งยูนิตจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะตอบโจทย์ความต้องการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นดังกล่าวข้างต้นได้ ทั้งสามาถประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยและงานอุตสาหกรรมที่ต้องการหล่อเย็นอุปกรณ์ที่สะสมความร้อนไว้ และสามารถพัฒนาผลการวิจัยสู่การเป็นนวัตกรรมเชิงพาณิชย์ได้

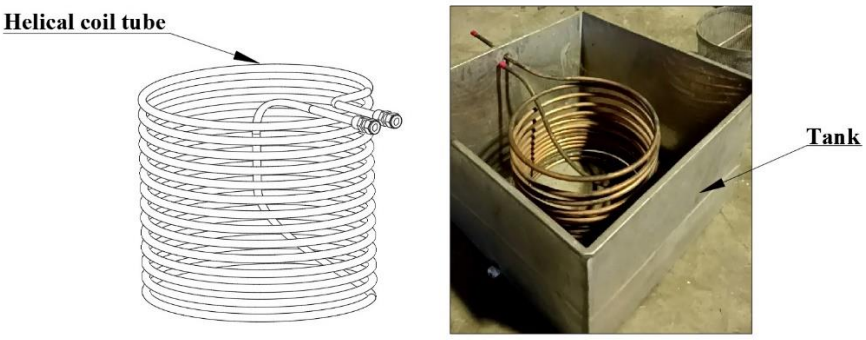
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดลองและเครื่องมือวัด

รูปที่ 1 แสดงแบบแปลนชุดทดลองเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนชุดคอนเดนซิ่งยูนิตที่ออกแบบขึ้น โดยจัดวางให้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิตอยู่บริเวณด้านบนของเครื่องระเหย ชุดทดลองใช้สารทำความเย็น R22 โดยมีชุดคอนเดนซิ่งยูนิต เครื่องระเหย ถังน้ำ และระบบปั๊มน้ำ สำหรับชุดคอนเดนซิ่งยูนิตมีอุปกรณ์สำคัญในระบบการทำความเย็นติดตั้งได้แก่ ท่อแคพิลลารี (Capillary Tube) แบบสองหัว เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องอัดไอชนิด Rolling piston type rotary ขนาดความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating capacity) 18,769 Btu/h ในส่วนของเครื่องระเหย ซึ่งรับหน้าที่เป็นพื้นที่สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับสารทำความเย็นนั้น ในงานวิจัยนี้ดำเนินการออกแบบเครื่องระเหยเป็นลักษณะของท่อแบบขดเป็นวงแนวตั้ง (Helical coil tube) ดังแสดงในรูปที่ 2 ท่อแบบขดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดท่อ 300 mm โดยทำจากท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 6.35 mm และมีความยาวรวม 1500 mm สำหรับถังน้ำ เป็นถังทรงสี่เหลี่ยม โดยออกแบบให้เครื่องระเหยสามารถวางสัมผัสกับผนังด้านล่างของของถังน้ำได้ ถังน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ มีปริมาตร 0.0508 m^3 เป็นถังสแตนเลส เกรด 304 ภายนอกถังน้ำหุ้มฉนวนยาง Aeroflex ความหนา 1 นิ้วทั้ง 6 ด้านของถัง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากถังน้ำ ปั๊มน้ำแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump) มีไว้สำหรับการส่งน้ำที่ลดอุณหภูมิสำเร็จแล้วในระบบออกสู่ภายนอกระบบ

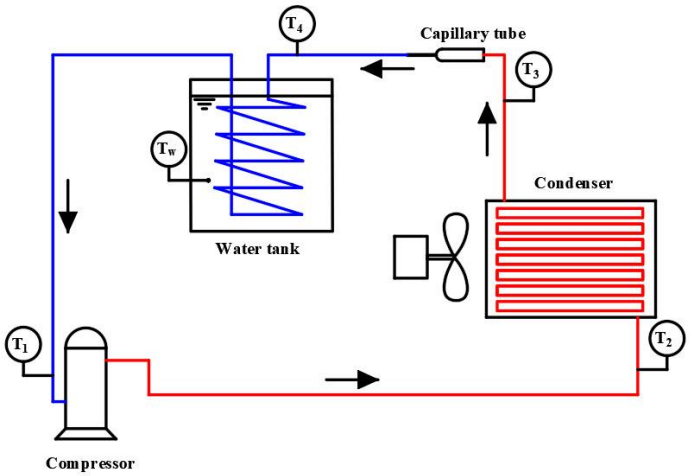


รูปที่ 1 ชุดทดลองเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนชุดคอนเดนซิ่งยูนิต



รูปที่ 2 แบบแปลนและภาพถ่ายท่อแบบขดเป็นวง

สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องนั้น ได้ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ T ตามตำแหน่งดังแสดงในแบบไดอะแกรมแผนผัง (Schematic diagram) ในรูปที่ 3 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ นั้นจะใช้สำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิตามวัฏจักรการทำความเย็น โดยที่ตำแหน่งของ T_w นั้นสายเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ T จะจุ่มไว้ในน้ำถึงกลางของถังน้ำบริเวณใกล้กับเครื่องระเหยเพื่อใช้คำนวณ (T_{w1}-T_{w2}) ตามสมการที่ (1) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ของ Fluke รุ่น 2625A ใช้เพื่อเก็บข้อมูลของอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ ที่กล่าวมา ส่วนเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Multi-Function Meter) ของ D52-2048 ใช้สำหรับแสดงกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องผลิตน้ำเย็น ได้แก่ กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอและกำลังไฟฟ้าของพัดลมของเครื่องควบแน่น อุณหภูมิของน้ำถูกควบคุมด้วยเทอร์โมสตัทแบบมือหมุน น้ำถูกอุ่นด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3,000 Watt ในตารางที่ 1 แสดงถึงคุณสมบัติความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของเครื่องมือวัดที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 3 แบบไดอะแกรมแผนผัง

ตารางที่ 1 ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด

เครื่องมือ	ความไม่แน่นอน (%)
Data logger, $^{\circ}C$	± 0.15
Multi-Function Meter,	± 0.05
Thermocouple Type T, $^{\circ}C$	± 0.004

2.2 วิธีการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรต้นของการทดลอง โดยชุดทดลองเครื่องผลิตน้ำเย็นเป็นแบบระบบปิด อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมถูกรักษาไว้ที่ 32 $^{\circ}C$ น้ำสะอาดปริมาตร 50 ลิตร ถูกเติมใส่ในถังน้ำ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าถูกใช้เพื่ออุ่นน้ำตามระดับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (T_{w1}) ที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเริ่มการทดลองน้ำร้อนจะถูกแลกเปลี่ยนกับความเย็นที่ได้จากสารทำความเย็นของเครื่องผลิตน้ำเย็น และทำให้ระดับอุณหภูมิของน้ำลดลง ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงนี้ ตามเวลาการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น ข้อมูลนี้จะถูกบันทึกจนกระทั่งถึงระดับอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (T_{w2}) ที่ประมาณ 2.5 $^{\circ}C$ ในขณะที่เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าจะเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ตารางที่ 2 การทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ T_{w1} ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ T_{w2} ($^{\circ}C$)	ปริมาตรน้ำในถัง (liter)
Exp.1	30	2.5	50
Exp.2	32	2.5	50
Exp.3	34	2.5	50
Exp.4	36	2.5	50

2.3 สมการวิเคราะห์ข้อมูล

สมการที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลของสมรรถนะเครื่องผลิตน้ำเย็นมีดังนี้

ผลของการทำความเย็น (Refrigeration effect) (Golabhanvi, & Navadagi, 2018)

$$Q = \frac{mC_p\left(T_{w1} - T_{w2}\right)}{t} \tag{1}$$

เมื่อ Q คือ ผลของการทำความเย็น (kw)

m คือ มวลของน้ำในถังน้ำ (kg)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg-K)

T_{w1} คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (K)

T_{w2} คือ อุณหภูมิน้ำสุดท้ายที่ต้องการ (K)

t คือ เวลา (s)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวม

$$E_t = E_{comp} + E_{cond} \tag{2}$$

เมื่อ E_t คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวม (kw)

E_{comp} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องอัดไอ (kw)

E_{cond} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องควบแน่น (kw)

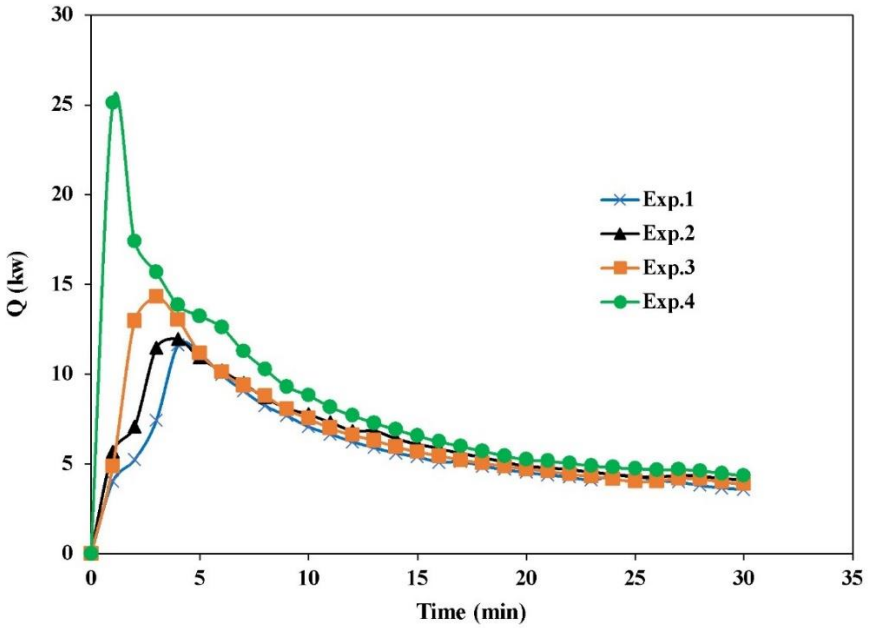
สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of performance, COP) (Golabhanvi, & Navadagi, 2018)

$$COP = \frac{Q}{E_t} \tag{3}$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

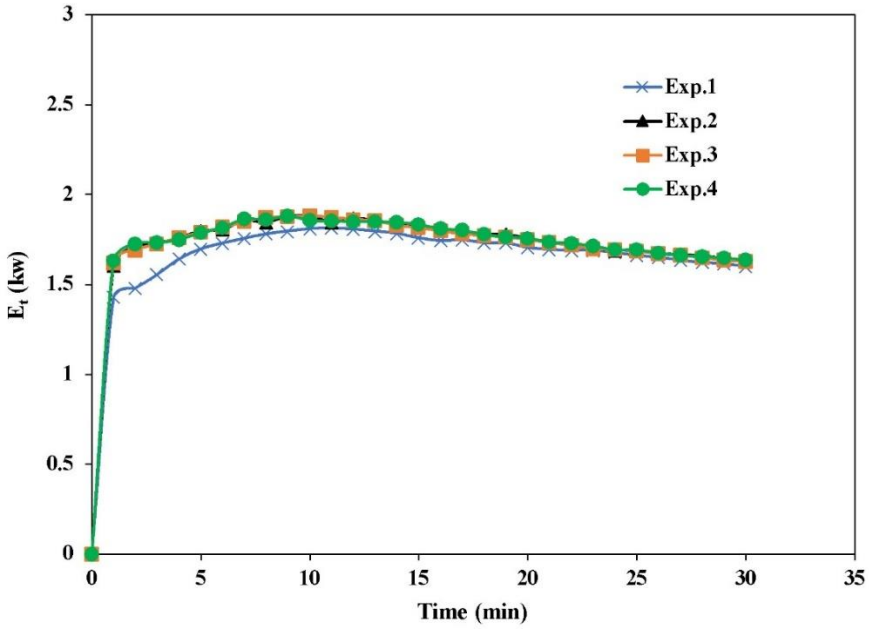
การทดลองดำเนินการเพื่อหาค่าสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่ง โดยคำนวณจากสมการที่ (3) ค่าสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นจะสัมพันธ์กับผลของการทำความเย็น(Q) และกำลังไฟฟ้าของชุดคอนเดนซิ่งที่ต้องการ ผลของการทำความเย็นคำนวณจากสมการที่ (1) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับเวลาและอุณหภูมิของน้ำ ผลการ

ทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 4 คือผลของการทำความเย็นของเครื่อง ซึ่งแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลของการทำความเย็นกับเวลาในช่วง 0-30 นาทีของการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น จากกราฟในรูปที่ 4 พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลของการทำความเย็นที่คล้ายกันจากการทดลองทั้งสี่การทดลอง กล่าวคือ ในช่วงเวลา 0-5 นาทีของการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นจะมีค่าผลของการทำความเย็นที่สูงสุด เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิ ณ เวลาที่ใช้วิเคราะห์ค่าผลของการทำความเย็นมีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผ่านช่วง 5 นาทีแรก ผลของการทำความเย็นจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา นั่นคือ มีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและพบว่าทุกการทดลองมีค่าผลของการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกันประมาณอยู่ในช่วง 3-5 kw สาเหตุมาจากเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้นแต่ความแตกต่างของอุณหภูมิตามเวลามีค่าค่อนข้างน้อยลง สำหรับผลของการทำความเย็นของกรณีการทดลองที่ Exp.4 ที่สูงที่สุดนั้น สาเหตุมาจากปัจจัยของความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีมากกว่าการทดลองอื่นๆ เครื่องผลิตน้ำเย็นจึงแสดงผลของการทำความเย็นมากที่สุดที่กรณีการทดลองที่ Exp.4

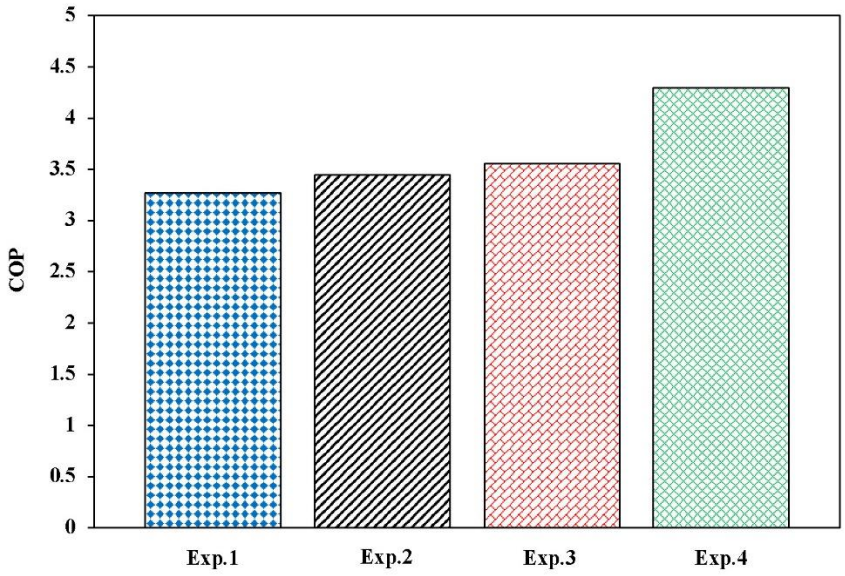


รูปที่ 4 กราฟผลของการทำความเย็นกับเวลาการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น

ในรูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ารวมกับเวลาในช่วง 0-30 นาทีของการทำงานของเครื่องค่ากำลังไฟฟ้ารวมคำนวณตามสมการที่ (2) ผลการทดลองพบว่าเมื่อเครื่องผลิตน้ำเย็นเริ่มทำงานความร้อนจากน้ำจะถูกแลกเปลี่ยนกับความร้อนกับสารทำความเย็น จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำไม่เท่ากัน จะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องผลิตน้ำเย็น กล่าวคือ กำลังไฟฟ้ารวมจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่ำ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่า แม้ว่าทั้งสี่การทดลองจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำไม่เท่ากันก็ตาม แต่กำลังไฟฟ้ารวมที่เครื่องผลิตน้ำเย็นต้องการใช้นั้นจะแกว่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน คือช่วงประมาณ 1.6-1.8 kw



รูปที่ 5 กราฟกำลังไฟฟ้ารวมกับเวลาการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น



รูปที่ 6 กราฟสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็น

สำหรับค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (3) โดยใช้ข้อมูลการทดลองของอุณหภูมิน้ำเย็นสุดท้ายที่ 2.5$^{\circ}C$ ในการคำนวณ จากรูปที่ 6 พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมีผลต่อค่า COP ของเครื่อง โดยที่ค่า COP ของกรณีการทดลองที่ Exp.2, Exp.3 และ

Exp.4 เมื่อเทียบกับกรณีการทดลองที่ Exp.1 จะมีค่าประมาณ 5.43%, 8.65%, และ 31.22% ตามลำดับ สาเหตุอาจเพราะว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นนี้มีกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันประมาณ 1.63-1.69 kw ดังนั้น ทำให้ผลของการทำความเย็นจึงมีอิทธิพลอย่างโดดเด่นต่อค่า COP ของเครื่องผลิตน้ำเย็น

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของอุณหภูมิน้ำ

การทดลอง	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ T_{w1} ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ T_{w2} ($^{\circ}C$)	เวลาในการลดอุณหภูมิ (min)	เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (%)
Exp.1	30	2.5	30	Baseline
Exp.2	32	2.5	32	6.66
Exp.3	34	2.5	33	9.09
Exp.4	36	2.5	36	20

จากตารางที่ 3 ซึ่งแสดงผลทดลองการลดอุณหภูมิน้ำจากจุดเริ่มต้นสู่อุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการนั้น ผลการทดลองพบว่าเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต โดยมีท่อแบบขดเป็นวงแนวตั้งเป็นเครื่องระเหยที่ออกแบบขึ้นมานี้ มีความสามารถดึงความร้อนออกจากน้ำเพื่อลดอุณหภูมิลงได้อย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นจาก $30^{\circ}C$ เครื่องต้องการเวลาเพื่อลดอุณหภูมิน้ำนั้น สู่อุณหภูมิน้ำสุดท้ายที่ต้องการประมาณ 6.66%, 9.09% และ 20% สำหรับอุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้น 32, 34 และ $36^{\circ}C$ ตามลำดับ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ใช้ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต โดยเครื่องระเหยที่ใช้กับเครื่องผลิตน้ำเย็นนี้เป็นลักษณะท่อแบบขดเป็นวงแนวตั้งทำจากทองแดง น้ำสะอาดปริมาตร 50 ลิตรถูกใช้สำหรับการศึกษาสมรรถนะเครื่อง การทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำเย็นใช้ระดับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่สี่ระดับ คือ 30, 32, 34 และ 36 $^{\circ}C$ สำหรับกรณีการทดลองของ Exp.1, Exp.2, Exp.3 และ Exp.4 ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ผลของการทำความเย็นของเครื่องผลิตน้ำเย็นจะได้รับอิทธิจากความแตกต่างของอุณหภูมิกับเวลาทำงานของเครื่อง ในขณะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ต้องการ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำสูง และลดลงเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต่ำ สำหรับค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของเครื่องผลิตน้ำเย็น ผลจากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมีผลต่อค่า COP ของเครื่อง โดยที่ค่า COP ของกรณีการทดลองที่ Exp.2, Exp.3 และ Exp.4 เมื่อเทียบกับกรณีการทดลองที่ Exp.1 จะมีค่าประมาณ 5.43%, 8.65%, และ 31.22% ตามลำดับ และสำหรับผลการทดลองด้านเวลาในการลด

อุณหภูมิ พบว่าเครื่องที่ออกแบบนี้ต้องการเวลาในการลดอุณหภูมิน้ำประมาณ 6.66%, 9.09% และ 20% สำหรับอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 32, 34 และ 36 $^{\circ}C$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 30 $^{\circ}C$

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นายมงคล ธุระ และคณะ. (2555). เครื่องปรับอากาศระบบน้ำเย็น. อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 7690

นายอังกูร โชตินิสากรณ์. (2561). เครื่องทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ.อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 14354

Arya, J. S., & Chavda, N. K. (2014). Design and performance analysis of water chiller-a research. International journal of engineering research and applications, 4(6), 19-25.

Chan, K. T., Yang, J., & Yu, F. W. (2011). Energy performance of chillers with water mist assisted air-cooled condensers. In The 12th Conference of International building performance simulation association (pp. 2088-2095. Sydney.

Golabhanvi, S., & Navadagi, V. (2018). Thermal and performance analysis of R600a in vapour compression cycle. International journal of engineering research & technology, 7(1), 35-40.

Sathe, S., Sonawane, P., Dhatrak, P., Patil, A., & Momin, G. G. (2019). Design and manufacturing of water chiller for process industry. International journal for research in applied science & engineering technology,7(5), 2747-2760.

Sob, P. B. (2021). Improving the performance of a chiller system during operation. International journal of engineering research and technology, 14(5), 488-495.

Wantha, C. (2020). Experimental investigation of the influence of thermoelectric subcooler on the performance of R134a refrigeration systems. Applied thermal engineering, 180, 115829.

Zarei, A., Seddighi, S., Elahi, S., & Örlü, R. (2022). Experimental investigation of the heat transfer from the helical coil heat exchanger using bubble injection for cold thermal energy storage system. Applied thermal engineering, 200, 117559.

บทความวิจัยระดับปริญญาตรี

FE-A01

การปรับปรุงโปรแกรมคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

Improved Algorithm for Classifying Shape of Spur Peppers by Image Processing

นรินี พลทิพย์ มาริษา กลิ่นถือศิล จุฑารัตน์ คล้ายเจ๊ก ปวรวรรณ ชุมหล่อ และ โสพส จิวานุวงศ์*

Narinee Pontip, Marisa Klinthuesin, Chutarat Klayjek, Pawonwan Choomlor and Solos Jivanuwong*

ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงสน จ.นครปฐม

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,

Amphoe Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: fengslj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าให้ถูกต้อง รวดเร็ว และประหยัดแรงงานคน เป็นปัจจัยสำคัญต่อการแปรรูปพริกให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพสูงและส่งเสริมการส่งออกพริกไปยังต่างประเทศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงอัลกอริทึมของโปรแกรมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) ซึ่งมีข้อจำกัดในการทำงาน กล่าวคือ โปรแกรมจะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อผลพริกจะต้องถูกป้อนในทิศทางขนานกับสายพานลำเลียงและหันขั้วพริกเข้าเครื่องเท่านั้น เทคนิคประมวลผลภาพดิจิทัลและอัลกอริทึมใหม่ถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถคัดแยกรูปร่างพริกได้โดยไม่ขึ้นกับทิศทางการวางผลพริก ในการทดสอบการทำงาน พริกชี้ฟ้า 30 เม็ด ถูกนำมาถ่ายภาพและนำภาพไปหมุนในทิศทางต่าง ๆ จำนวน 11 มุม ได้ภาพทั้งหมด 330 ภาพ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมใหม่สามารถคัดแยกรูปร่างพริกได้ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบการวางพริกที่ 0 องศากับมุมต่าง ๆ ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกัน โดยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยกพริกตรงและพริกงอมีค่า 91.98 % และ 92.31 % ตามลำดับ ความถูกต้องในการคัดแยกรูปร่างโดยรวมมีค่าเท่ากับ 92.14 % ซึ่งมากกว่าของอัลกอริทึมเดิม (83.33 %) นอกจากนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใหม่ยังสามารถวัดขนาดของผลพริกได้อย่างถูกต้อง และสามารถใช้ตรวจจับตำหนิบนพริกชี้ฟ้าได้อีกด้วย

คำสำคัญ: พริกชี้ฟ้า, การคัดแยกรูปร่าง, การประมวลผลภาพ

Abstract

Rapid and accurate sorting system of spur peppers is needed for producing high-quality food products and promoting export of spur peppers. This research aims to improve an algorithm of the program which is part of the shape sorting system of spur peppers developed by Natthida and Naphanat (2016). The previous program had a limitation in operation. The program would work properly only if the pepper was fed into the system in a direction parallel to the conveyor belt and top end of the pepper was facing the machine. This practice was inconvenient and inefficient. In order to classify shape of spur peppers correctly regardless of laying orientation of a pepper on the conveyer, digital image processing techniques and newly developed algorithms were used. For program performance evaluation, a total of 30 spur peppers were used. Images of the peppers were taken and then rotated in 11 different directions to yield a total of 330 images. All the images were then sent to the program for evaluations. The results showed that the new algorithm was able to correctly distinguish pepper shapes regardless of their orientation on the conveyor. The classifying accuracy of straight and curled peppers were 91.98% and 92.31%, respectively. The overall classifying accuracy was 92.14%, which was better than that of the previous algorithm (83.33% accuracy). In addition, the new program was able to accurately measure the size and detect flaws of the peppers.

Keyword: spur pepper, shape classification, image processing

บทนำ

พริกเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารเมนูต่าง ๆ มากมาย พริกสามารถนำมาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น น้ำพริก พริกป่น ซอสพริก ในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากจะใช้เป็นวัตถุดิบและเครื่องปรุงแล้ว พริกที่มีคุณภาพยังสามารถเป็นสินค้าที่เพิ่มมูลค่าและส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้ ในปี พ.ศ. 2560 ปริมาณการส่งออกพริกสดแช่เย็นอยู่ที่ 14,931.87 ตัน มีมูลค่า 395.09 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2561 มีการส่งออกพริกสดแช่เย็นอยู่ที่ 20,349.88 ตัน มูลค่า 536.17 ล้านบาท (รุ่งนภา, 2562) จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการคัดแยกคุณภาพพริกที่มีประสิทธิภาพ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการส่งออกพริกสด ได้แก่ พริกแคระแกร็น มีขนาดเล็ก รูปร่างไม่สวยงาม มีตำหนิที่เกิดจากรอยช้ำ แมลง และเชื้อราต่าง ๆ ส่งผลให้ราคาพริกต่ำลง ไม่ได้คุณภาพตามที่ผู้ซื้อต่างประเทศต้องการ จึงมีแนวความคิดที่จะหาวิธีการตรวจสอบคุณภาพพริกสดที่มีความถูกต้องและรวดเร็ว



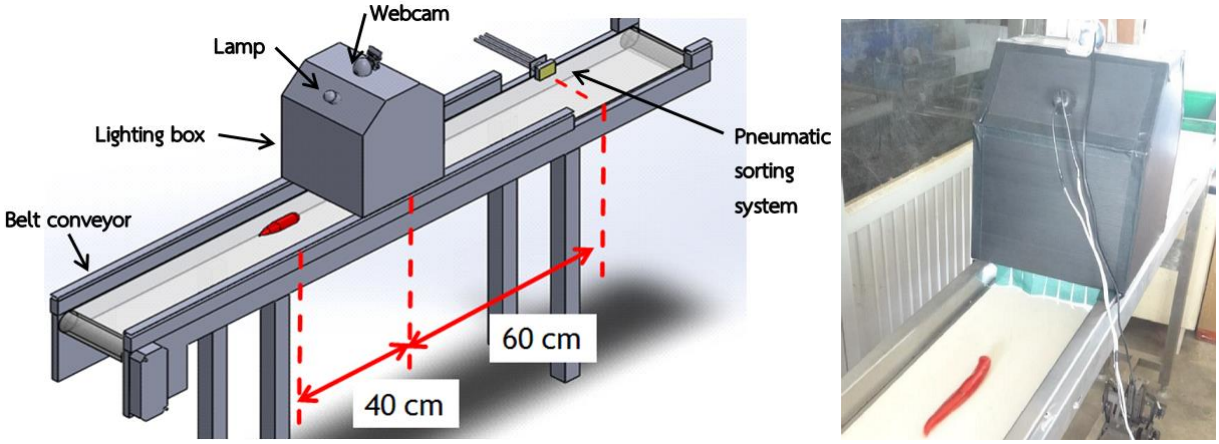
รูปที่ 1 พริกชี้ฟ้าที่คัดคุณภาพแล้ว บรรจุลงลังกระดาษพร้อมส่งออก

การคัดแยกผลผลิตเกษตรจำนวนมาก ๆ ด้วยแรงงานคนเป็นงานที่ใช้เวลามาก และอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ และภาคการเกษตรยังมีปัญหาการขาดแคลนแรงงานเป็นจำนวนมาก เทคนิคการประมวลผลภาพก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาช่วยในการคัดแยกคุณภาพ เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำ ใช้เวลาสั้น และประหยัดแรงงานคน (Moreda *et al*., 2012) มีการประยุกต์เทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตเกษตรมากมายหลายรูปแบบ ภูมิและสุริยงค์ (2547) ได้ทำการตรวจหาตำหนิในพริกด้วยการประมวลผลภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรมสามารถระบุตำหนิของพริกที่เป็นจุดดำขนาดไม่เล็กมากได้ ณัฏฐพงค์ และคณะ (ม.ป.ป.) ได้พัฒนาระบบการคัดแยกพริกหวานแบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งจากการทดสอบกับพริกหวานจำนวน 100 ผล สามารถคัดแยกสีได้ถูกต้อง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถคัดแยกขนาดได้ถูกต้อง 91 เปอร์เซ็นต์ Khuriyati *et al*. (2019) ได้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลและเครือข่ายประสาทเทียม (ANN) ทำการคัดแยกพริกแดง โดยใช้กล่องเครื่องมือเครือข่ายประสาทเทียมในโปรแกรม MATLAB การออกแบบ ANN ประกอบด้วย 3 layer คือ input layer, hidden layer และ output layer ภาพถูกถ่ายจากกล้องของสมาร์ทโฟน ทำการประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ แล้วส่งผ่านเข้าโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์อินพุตพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคัดแยก ได้พารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ค่า คือ ค่าสีแดง ค่าพลังงาน และค่าสหสัมพันธ์ ซึ่งจะทำให้สามารถคัดแยกพริกแดงตามเกรดชั้นส่งออกโดยกำหนดให้เอาต์พุตเป็นพริกปกติ มีความแม่นยำ 84.46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเอาต์พุตที่ตกเกรด ได้แก่ พริกที่มีสีเขียว พริกหัก และพริกเน่า

ในปี 2559 ณัฏฐิดาและนภณัฐได้พัฒนาระบบคัดแยกและวัดขนาดพริกชี้ฟ้าขึ้นมา ประกอบด้วยชุดสายพานลำเลียง กระบอกลม กล่องควบคุมแสง กล้องเว็บแคม และตัวโปรแกรมคัดแยก อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดพริกตรง-พริงงอ ได้ถูกต้องโดยรวม 83.33 เปอร์เซ็นต์ แต่ปัญหา คือ ในการคัดแยกจะต้องวางพริกบนสายพานลำเลียงให้ขนานกับแนวยาวของสายพานลำเลียง และจะต้องวางพริกในทิศทางที่หันขั้วพริกเข้าหาชุดถ่ายภาพ

โปรแกรมถึงจะแสดงผลการคัดแยกรูปร่างและวัดขนาดของพริกได้อย่างถูกต้อง นอกจากนั้นพริกชี้ฟ้าที่นำมาใช้ต้องทำการเด็ดขั้วออกเสียก่อนที่จะนำไปวางบนสายพานลำเลียง ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงโปรแกรมคัดแยกที่เขียนโดยณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลและเพิ่มอัลกอริทึมเพื่อให้โปรแกรมสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการเด็ดขั้วพริกออกก่อน ทิศทางในการวางผลพริกสามารถวางในทิศทางใดก็ได้โดยไม่จำเป็นต้องขนานกับสายพานลำเลียง



(ก) (ข)

รูปที่ 2 ระบบคัดแยกพริกชี้ฟ้าที่พัฒนาโดย ณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559)

วัสดุและวิธีการทดลอง

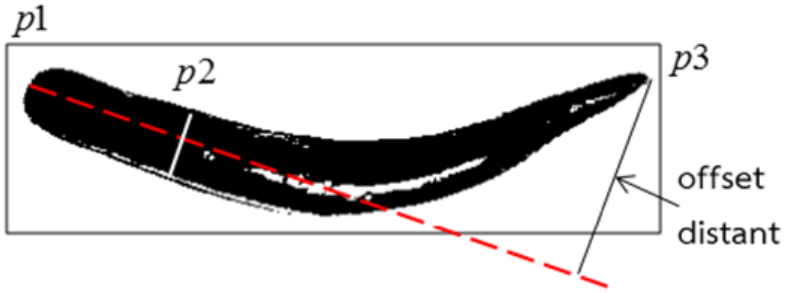
- การเตรียมตัวอย่าง

พริกชี้ฟ้าจำนวน 30 เม็ดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 3 หาซื้อมาจากรตลาดสดของตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อใช้สำหรับวัดคุณลักษณะทางกายภาพของพริก ได้แก่ รูปร่าง (พริกตรง-งอ) และความยาวจริง และใช้ทดสอบอัลกอริทึมคัดแยกพริกด้วยเทคนิคประมวลผลภาพที่พัฒนาขึ้นใหม่

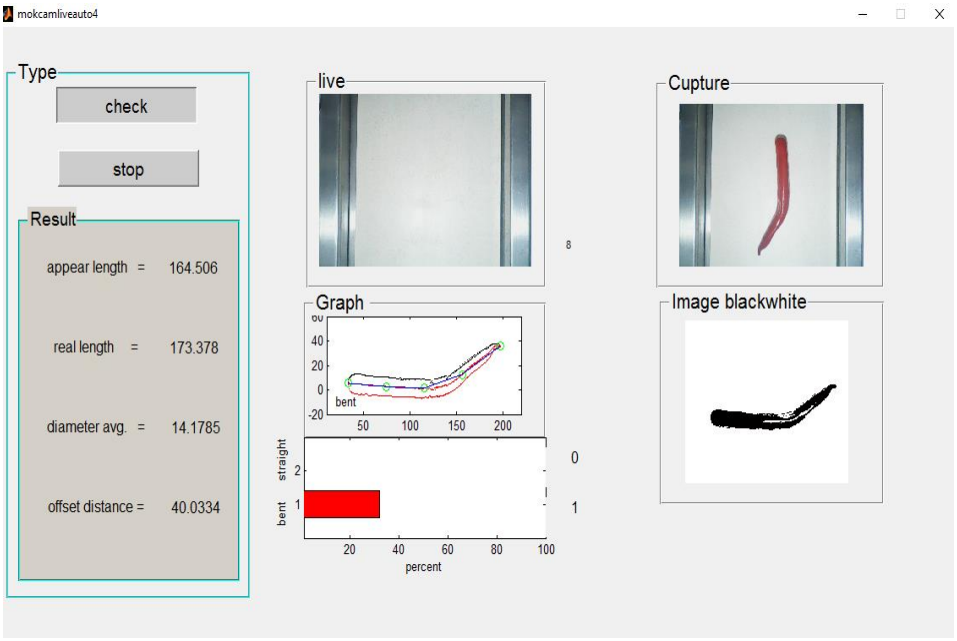


รูปที่ 3 พริกชี้ฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ในการจะนำพริกชี้ฟ้าจำนวน 30 เม็ดไปทดสอบการคัดแยกรูปร่าง (พริงตรง-พริกงอ) จำเป็นจะต้องมีเกณฑ์ในการคัดแยก เอกสารมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.1502-2560 ในหมวดพริก (Chili Pepper) ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2560) ได้จำแนกเกรดพริกตามลักษณะรูปร่างออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ (ก) ชั้นพิเศษ หรือ Extra Class เป็นพริกไม่มีความผิดปกติด้านรูปทรง (ข) ชั้นหนึ่ง หรือ Class I เป็นพริกที่มีความผิดปกติด้านรูปทรงเล็กน้อย และ (ค) ชั้นสอง หรือ Class II เป็นพริกที่มีความผิดปกติด้านรูปทรง แต่ไม่ได้ระบุปริมาณตัวเลขที่ใช้ตัดสิน งานวิจัยนี้จะทำการคัดแยกพริกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พริกตรง-พริกงอ โดยอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) ที่ใช้ระยะห่างจากแนวแกนกลางจนถึงปลายแหลมของพริก เรียกสั้น ๆ ว่า ระยะ offset (offset distant) โดยในพริกชี้ฟ้านั้น ถ้ามีระยะมากกว่าหรือเท่ากับ 21 มิลลิเมตร จะถือว่าเป็นพริกงอ ซึ่งเทียบได้กับชั้นคุณภาพ ชั้นสอง แต่ถ้ามีระยะน้อยกว่า 21 มิลลิเมตร จะจัดอยู่ในกลุ่มพริกตรง ซึ่งอาจอยู่ในชั้นคุณภาพ ชั้นพิเศษหรือชั้นหนึ่งก็ได้



รูปที่ 4 ระยะ offset ของพริกชี้ฟ้า



รูปที่ 5 โปรแกรมคัดแยกพริกชี้ฟ้าที่พัฒนาโดย ณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559)

- การปรับปรุงระบบคัดแยกพริกชี้ฟ้า

ระบบคัดแยกพริกชี้ฟ้าที่พัฒนาโดย ณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) ประกอบด้วย องค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ (1) ชุดสายพานลำเลียง (2) กลไกคัดแยกด้วยกระบอกลมนิวเมติกส์ (3) กล่องควบคุมแสงและกล้องเว็บแคม (4) โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและประมวลผลภาพ ส่วนที่ 4 เปรียบเสมือนมันสมองของระบบคัดแยกซึ่งมีความสำคัญที่สุด

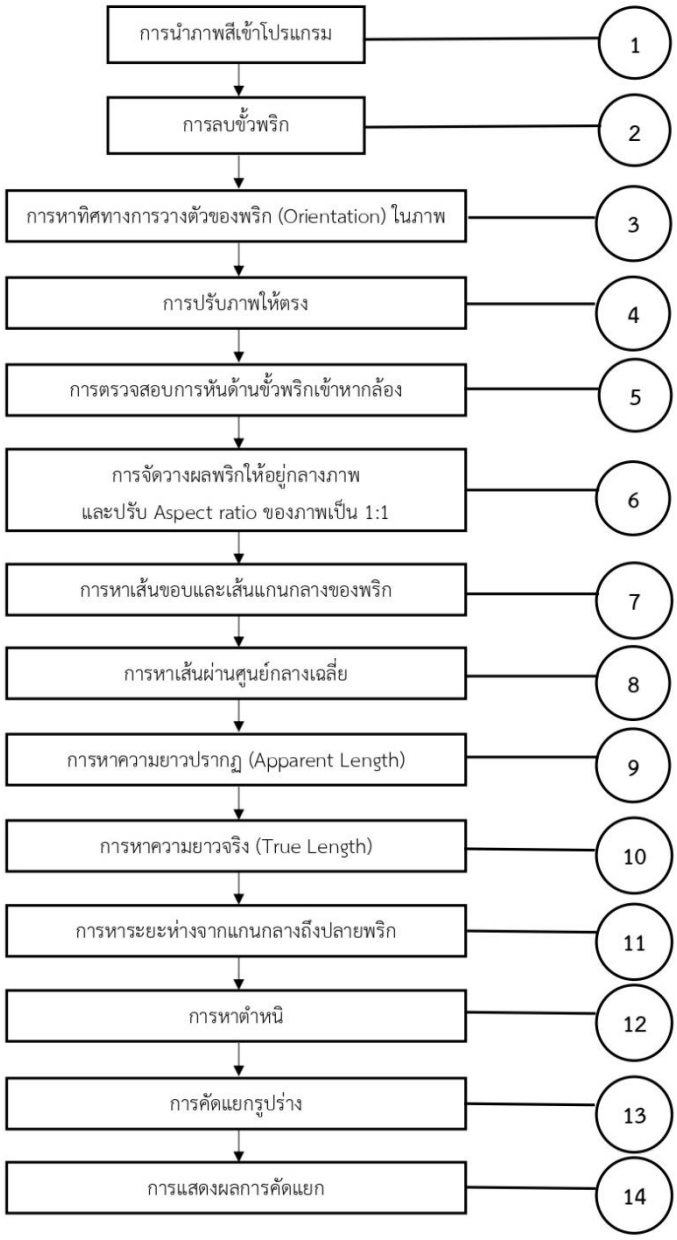
โปรแกรมคัดแยกพริกชี้ฟ้า (เดิม)

โปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่พัฒนาโดย ณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) เขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB มีลักษณะตามรูปที่ 5 โปรแกรมนี้มีข้อจำกัดในการทำงาน คือ การวางพริกจะต้องขนานกับสายพานลำเลียง โดยวางพริกให้หันขั้วพริกเข้าหาชุดถ่ายภาพ จะต้องทำการเด็ดขั้วด้วย

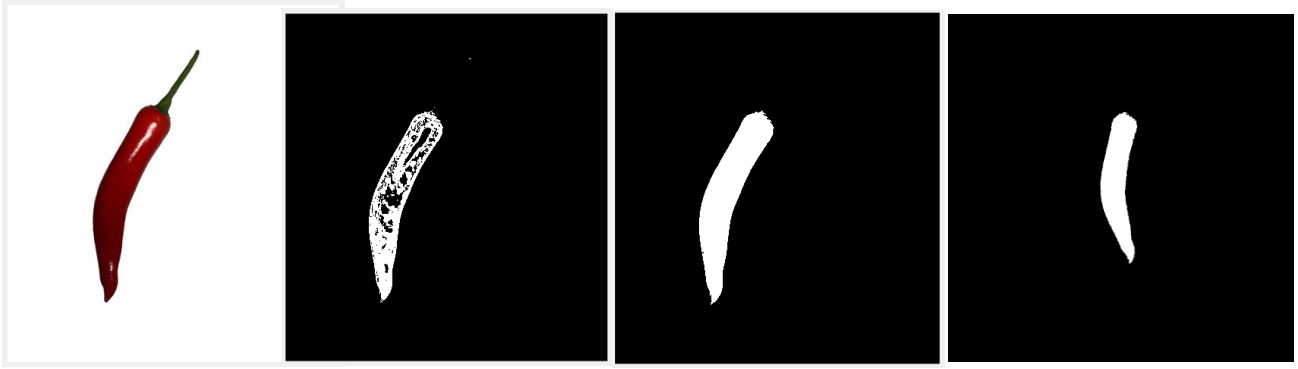
การออกแบบและการปรับปรุงอัลกอริทึมของโปรแกรมใหม่

โปรแกรมคัดแยกพริกชี้ฟ้าที่เขียนขึ้นใหม่จะมีขั้นตอนการทำงานรวมทั้งหมด 14 ขั้นตอน ดังรูปที่ 6 โดยเริ่มจากการนำภาพสีของพริกชี้ฟ้าข้าโปรแกรม ดำเนินการเรื่อยไปจนถึงขั้นตอนสุดท้าย คือ การคัดแยกรูปร่าง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นพริกตรง-พริกงอ อัลกอริทึมแรกที่เพิ่มเติมเข้ามา คือ ขั้นตอนที่ (2) การลบขั้วพริก ซึ่งกระทำโดยการเปลี่ยนส่วนที่เป็นเนื้อพริกสีแดงให้กลายเป็นสีขาว และส่วนอื่น ๆ ของภาพรวมถึงขั้วพริกให้กลายเป็นสีดำ จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 7 (ข) ตัวพริกสีขาวจะยังไม่สมบูรณ์ เพราะเกิดจากแสงเงาบนภาพสีของพริกในขั้นตอนการถ่ายภาพ จึงต้องทำการซ่อมภาพตัวพริกสีขาวให้สมบูรณ์ ด้วยคำสั่ง `bwareaopen()` และ `imfill()` ของโปรแกรม MATLAB

เป้าหมายต่อไปคือให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ โดยไม่ขึ้นกับทิศทางการวางผลพริกบนสายพานลำเลียง ฉะนั้นจะต้องทราบ orientation ของพริกในภาพ ซึ่งทำได้โดยใช้คำสั่ง `regionprops()` ค่ามุมที่ได้จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหมุนภาพพริกให้มาอยู่ในแนวตั้งฉาก ซึ่งในระบบจริงก็คือทิศทางที่ขนานกับสายพานลำเลียง จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าด้านขั้วพริกอยู่ด้านบนหรือไม่ โดยอาศัยความแตกต่างของจำนวนพิกเซลที่ด้านปลายแหลมจะน้อยกว่าด้านขั้วพริก และจะทำการหมุนรูปอีกครั้ง นี่คือขั้นตอนที่ (4) และ (5) ที่เพิ่มเข้ามาในแผนผังขั้นตอนการทำงาน ผลลัพธ์จะได้ตามรูปที่ 7 (ง) ซึ่งเมื่อได้รูปในทิศทางนี้แล้วอัลกอริทึมในโปรแกรมเดิมก็จะสามารถทำงานได้



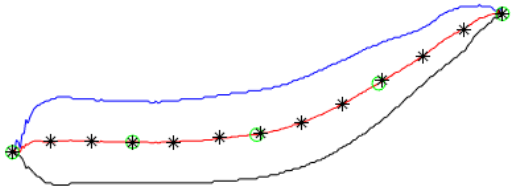
รูปที่ 6 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคัดแยกพริกชี้ฟ้า



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 7 ขั้นตอนในการหมุนภาพพริกให้ถูกทิศทาง

การหาความยาวจริง (True Length) ของผลพริกในขั้นตอนที่ (10) ก็ได้รับการปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเพิ่มการแบ่งส่วนของเส้นแกนกลางพริก จากเดิม 4 ส่วน เป็น 12 ส่วน จะทำให้การคำนวณความยาวจริงของพริกมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการรวมความยาวเส้นตรงย่อย ๆ 12 ส่วนเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์จะเห็นได้ชัดในกรณีที่ลำตัวของพริงมีความโค้งงอ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การแบ่งเส้นแกนกลางผลพริกเป็น 12 ส่วน

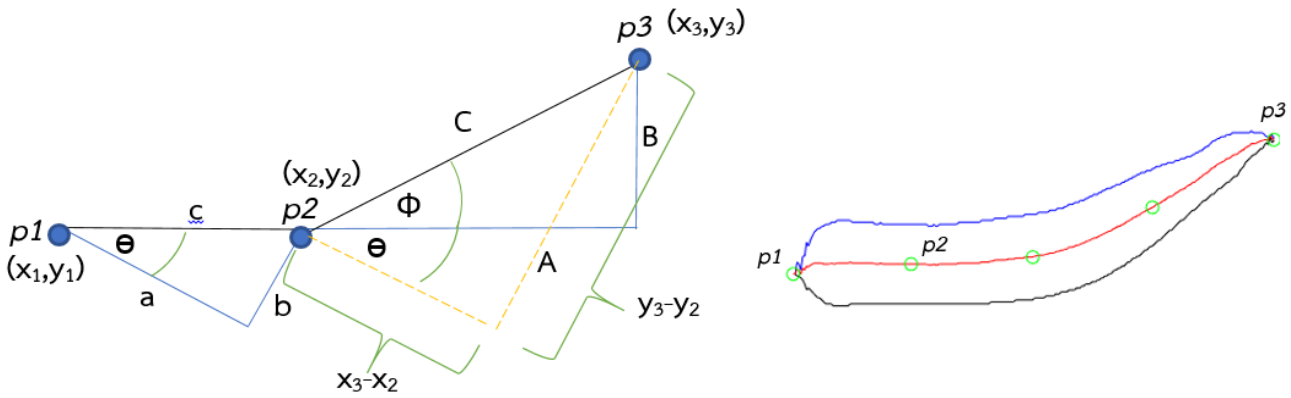
สมการสำหรับหาระยะจากแนวแกนกลางถึงปลายพริก หรือระยะ offset (ระยะ B) ในขั้นตอนที่ (11) ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย ณัฏฐิดาและนภณัฐ (2559) ดูได้จากสมการ (1) - (4) สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องสามารถดูความหมายได้จากรูปที่ 9 เมื่อทราบระยะ offset แล้วก็สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดแยกพริงตรง-พริกงอในขั้นตอนที่ 13 ได้

$$B = C \times \sin \phi \quad (1)$$

$$C = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} \quad (2)$$

$$\phi = \tan^{-1}[(y_3-y_2)/(x_3-x_2)] - \theta \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1}[(y_2-y_1)/ (x_2-x_1)] \quad (4)$$



(ก) (ข)

รูปที่ 9 ภาพแสดงการหาระยะ offset และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

-การทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมและอัลกอริทึมใหม่

วิธีการทดลอง

1. นำพริกชี้ฟ้า 30 เม็ด มาวัดขนาดด้วยไม้บรรทัดและเวอร์เนียคาลิปเปอร์ นำมาคัดรูปร่างผลพริกตามเกณฑ์ของผู้ส่งออกพริก จะได้พริก 2 กลุ่ม จากนั้นกำหนดหมายเลขลำดับพริก และบันทึกผล

2. ทำการถ่ายภาพพริกชี้ฟ้าทั้ง 30 เม็ด โดยมีไม้บรรทัดวางที่ด้านล่างและด้านขวาของขอบภาพ กล้องที่ใช้คือกล้องจากโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ iPhone 13 (ความละเอียด 12MP, กล้องเลนส์ Wide รูรับแสงขนาด f/1.6) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพพริก และมีระยะการถ่ายภาพ 25 cm

3. ทำการเปลี่ยนหน่วยจากพิกเซลไปเป็น mm โดยนำภาพพริกไปเปิดในโปรแกรม Microsoft Photo Editor ทำการ crop ภาพเป็นระยะ 100 mm ของไม้บรรทัดในภาพ คำนวณค่า pixel/mm ทำทั้งหมด 3 ภาพจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.42 pixel/mm ใช้ค่านี้ในโปรแกรมเพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับขนาด

4. นำภาพพริกที่ได้จากการถ่าย มาทำการหมุนด้วยโปรแกรม Microsoft Photo Editor โดย 1 ภาพ จะหมุนอีก 10 ทิศทาง ได้แก่ 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, -15, -30, และ -45 องศา รวมกับภาพต้นฉบับที่ไม่หมุน (0 องศา) เป็นทั้งหมด 11 มุม ได้ภาพทั้งหมด 330 ภาพ

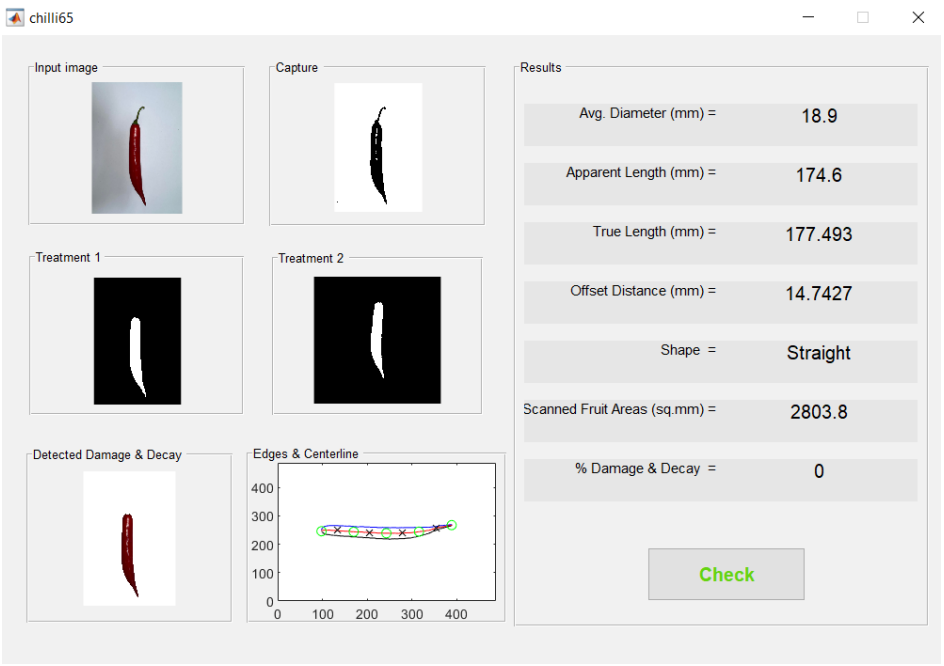
5. นำภาพพริกที่ได้จากหมุน ไปทดสอบด้วยกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใหม่ แล้วบันทึกค่าที่ได้

6. เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

พริกชี้ฟ้าจำนวน 30 เม็ด ถูกนำมาวัดขนาดและทำการคัดแยกรูปร่าง ได้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญตามตาราง-ที่ 1 จากตารางจะเห็นว่า พริกลำดับที่ 1-17 คือ พริกตรง มีจำนวน 17 เม็ด และพริกลำดับที่ 18-30 เป็นพริงงอ มีจำนวน 13 เม็ด ดูรูปร่างผลพริกในรูปที่ 3 ประกอบกับข้อมูลในตารางที่ 1

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรมและอัลกอริทึมใหม่ โดยการป้อนภาพทีละภาพ จำนวนทั้งหมด 330 ภาพ (พริงตรง 187 ภาพ, พริงงอ 113 ภาพ) เพื่อประมวลผล พบว่า โปรแกรมทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ตัวอย่างลักษณะการทำงานของโปรแกรมจะเป็นตามรูปที่ 10 และ 11 เมื่อพิจารณประสิทธิภาพในการวิเคราะห์รูปร่างของพริกชี้ฟ้าโปรแกรมสามารถคัดแยกรูปร่างพริกตรง-พริกงอได้ถูกต้องโดยรวมเป็นจำนวน 304 ภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 92.14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้องการวิเคราะห์ความถูกต้องในการคัดแยกรูปร่างของพริกในแต่ละกรณี เราจะใช้ Confusion Matrix เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 12

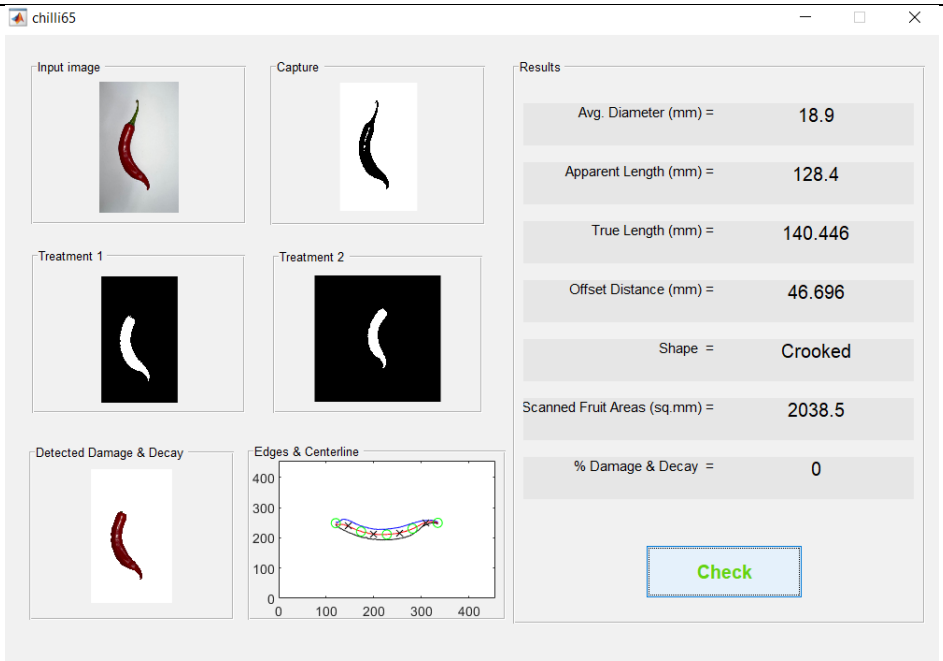


รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการทดลองของพริกตรง

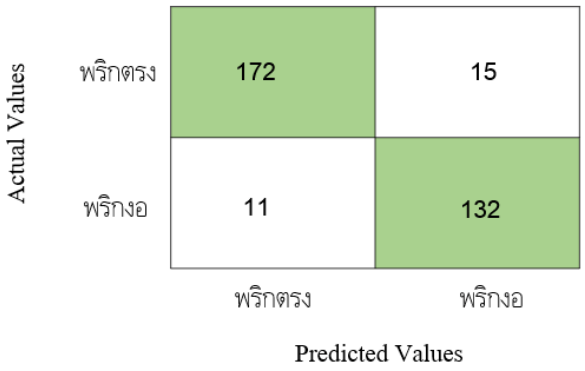
ตารางที่ 1 ขนาดและรูปร่างของพริกชี้ฟ้าจากการวัด

ลำดับ	รูปร่างของพริก	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)					ความยาวของผลพริก (mm)		ระยะห่างจากแกนกลางถึงปลายพริก (mm)
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	ค่าเฉลี่ย	ความยาวปรากฏ	ความยาวจริง	
1	ตรง	18	20	16	10	16.00	155	160	11
2	ตรง	17	19	14	10	15.00	140	150	20
3	ตรง	21	24	25	10	20.00	165	170	18
4	ตรง	18	20	20	9	16.75	148	150	10
5	ตรง	23	25	25	9	20.50	146	148	5
6	ตรง	23	26	24	8	20.25	144	148	5
7	ตรง	19	20	20	9	17.00	150	160	13
8	ตรง	20	20	21	10	17.75	139	145	19
9	ตรง	20	21	20	10	17.75	147	150	5
10	ตรง	19	20	20	10	17.25	149	158	20
11	ตรง	22	20	20	9	17.75	162	171	8
12	ตรง	22	23	24	9	19.50	165	170	8
13	ตรง	18	20	20	8	16.50	155	162	8
14	ตรง	15	16	15	8	13.50	150	160	20
15	ตรง	19	22	22	9	18.00	150	152	7
16	ตรง	22	23	23	9	19.25	154	157	7
17	ตรง	20	22	24	9	18.75	162	166	5
18	งอ	20	23	22	8	18.25	139	148	35
19	งอ	19	21	21	8	17.25	157	170	80
20	งอ	18	15	13	9	13.75	128	140	40
21	งอ	20	21	22	8	17.75	129	148	53
22	งอ	19	18	15	7	14.75	125	160	75
23	งอ	15	19	20	7	15.25	130	140	64
24	งอ	20	20	20	8	17.00	166	173	50
25	งอ	15	17	18	9	14.75	136	145	42
26	งอ	17	20	16	9	15.50	135	145	45
27	งอ	16	16	15	9	14.00	150	164	40
28	งอ	18	17	15	8	14.50	145	153	43
29	งอ	22	24	19	9	18.50	136	143	43
30	งอ	16	20	18	9	15.75	130	140	35

เฉลี่ย	**16.95**	**146.23**	**154.87**	**27.80**



รูปที่ 11 ตัวอย่างผลการทดลองของพริกงอ



รูปที่ 12 Confusion Matrix ของการคัดแยกรูปร่างพริกตรง-พริกงอ

จากรูปที่ 12 แกนนอนของ Confusion Matrix เป็นการบอกจำนวนพริกตรงและพริกงอ ที่ได้จากการทำนายของโปรแกรม ส่วนแกนตั้งเป็นการบอกจำนวนพริกตรงและพริกงอที่ได้จากการวัดจริง เมื่อพิจารณาในแกนนอนของแถวแรก ภาพพริกตรงทั้งหมด 187 ภาพ จะแบ่งออกเป็นภาพพริกตรงที่คัดแยกได้ถูกต้อง 172 ภาพ คิดเป็น 91.98 เปอร์เซ็นต์ และพริกตรงที่โปรแกรมระบุผิดพลาดว่าเป็นพริกงอจำนวน 15 ภาพ ส่วนในแถวที่สองมีภาพพริก

งอทั้งหมด 143 ภาพ แบ่งเป็นภาพพริกงอที่คัดแยกได้ถูกต้อง 132 ภาพ คิดเป็น 92.31 เปอร์เซ็นต์ และพริกงอที่โปรแกรมระบุผิดพลาดว่าเป็นพริกตรงจำนวน 11 ภาพ

การเปรียบเทียบค่าความยาวจริงของพริกชี้ฟ้าจากการวัดและค่าที่ได้จากโปรแกรมของภาพพริกชี้ฟ้าที่หมุนในทิศทางต่าง ๆ 11 มุม แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความยาวจริงพริกชี้ฟ้าจากการวัดและที่ได้จากโปรแกรมที่มุมภาพต่าง ๆ

มุม	ความยาวจริง (mm)		
	วัดจริง	จากโปรแกรม	Error (%)
0	154.87	152.82	-1.32
15	154.87	153.42	-0.93
30	154.87	153.53	-0.86
45	154.87	154.17	-0.45
60	154.87	153.24	-1.05
90	154.87	153.88	-0.64
120	154.87	153.20	-1.08
180	154.87	153.92	-0.61
-15	154.87	153.14	-1.11
-30	154.87	156.36	-0.96
-45	154.87	148.69	-3.99
เฉลี่ย	**154.87**	**153.04**	**-1.18**

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความยาวจริงของผลพริกค่าที่ได้จากการวัดจริง มีค่าเท่ากับ 154.87 มิลลิเมตร ส่วนค่าที่ได้จากโปรแกรม ทั้ง 11 มุมเฉลี่ย เท่ากับ 153.04 มิลลิเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าตั้งแต่ 0.45-3.99 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละมุมจากโปรแกรมที่เทียบกับการวางพริก 0 องศา ค่าความยาวจริงที่ได้ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ หรืออัลกอริทึมที่เขียนขึ้นมาใหม่สามารถแก้ไขความแปรปรวนหรือความไม่แน่นอนอันเกิดจากการวางพริกในทิศทางต่าง ๆ บนสายพานลำเลียงได้

เมื่อพิจารณาภาพพริกชี้ฟ้าที่โปรแกรมทำนายผิด ทั้ง 26 ภาพ จากทั้งหมด 330 ภาพ พบว่า เกิดจากภาพที่มีการลบขั้วออกไม่หมด อาจเกิดขึ้นจากขณะถ่ายภาพไม่ได้ควบคุมแสง-เงาให้ดี ทำให้ค่าสีที่ใช้ลบขั้วในโปรแกรมไม่ตรงกัน ส่งผลให้ภาพผลพริกนั้นถูกลบขั้วออกไม่หมด มีผลทำให้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับขนาดคลาดเคลื่อน

สรุป

1. อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมาใหม่สามารถคัดแยกรูปร่างพริกชี้ฟ้าได้โดยไม่ขึ้นกับทิศทางการวางพริก

2. โปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถคัดแยกรูปร่างของพริกชี้ฟ้าได้ถูกต้องโดยรวม 92.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าของอัลกอริทึมเดิม (83.33 %)

3. ความสามารถคัดแยกพริกตรงมีความถูกต้อง 91.98 เปอร์เซ็นต์ และคัดแยกพริกงอได้ถูกต้อง 92.31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการคัดแยกด้วยตาคนทำการวัดจริง

เอกสารอ้างอิง

ณัฏฐพงค์ เฉลิมธำรง, ณรงค์ชัย โพธิ์เจริญ, และปาริฉัตร เสริมวุฒิสาร. (ม.ป.ป.) *เครื่องคัดแยกพริกหวานอัตโนมัติ*. โครงงานวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ณัฏธิดา ยามหรรษา และ นภณัฐ ตากิ่มนอก. (2559) .*ระบบคัดแยกและวัดขนาดพริกชี้ฟ้า*. โครงงานวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ภูมิ กฤติยาภิชาตกุล และ สุริยงค์ พิพิธวณิชการ. (2546). *การตรวจหาตำหนิในพริกด้วยการประมวลผลภาพถ่าย*. โครงงานวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

รุ่งนภา โบวิเชียร. (2562). *การส่งออกและราคาของพริก*. สืบค้นจาก http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2563/37-38.pdf.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2560). *มาตรฐานสินค้าเกษตร พริก CHILLI PEPPER*. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 1502-2560, 17 หน้า.

Khuriyati, N., Pamungkas, A., & Anggraito, A. P. (2019). The Sorting and Grading of Red Chilli Peppers Using Digital Image Processing, *International Journal of Agriculture & Environmental Science, 6*(4). 17-23.

Moreda, G.P., Munoz M.A., Ruiz-Altisent M., & Perdigones A. (2012). Shape determination of horticultural produce using two-dimension computer vision - A review. *Journal of Food Engineering, 108*, 245-261.

FE-A02

ผลของกระบวนการผลิตฟักทองผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ต่อคุณสมบัติของฟักทองผง และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

Effect of hot air oven drying and double drum drying on the properties and beta-carotene content of pumpkin powder

ศิริวรรณ ค้ายาดี[1] ปัทมาพร ขุนณรงค์[1] ชยาภรณ์ สามคุ้มพิมพ์[1] สุพรรณษา ขำเจริญ[1] และ ธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์[1*]

Siriwan Kayadee[1], Pattamaporn Khunnarong[1], Chayaporn Samkumpim[1], Suphansa Khamcharoen[1] and Thitipong Phothisoot[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

[1]Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom

[*]Corresponding Author E-mail: fengttp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผลิตฟักทองผง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ต่อคุณสมบัติของฟักทองผง และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ในการวิจัยนี้ได้ทำการนำเนื้อฟักทองมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ส่วนกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ควบคุมที่อุณภูมิ 130, 140 และ 150°C โดยใช้ความเร็วลูกกลิ้ง 1.2, 0.8 และ 0.5 rpm จากนั้นนำตัวอย่างไปบดและร่อน พบว่าผงฟักทองจากตู้อบลมร้อนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้น้อยที่สุด ส่วนสีของฟักทองผงที่ได้มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด, ค่าความแดง (a*) สูงที่สุด และค่าความเหลือง (b*) น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับฟักทองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เมื่อใช้อุณภูมิต่ำและความเร็วรอบสูง จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะ 150°C ความเร็วลูกกลิ้ง 0.5 rpm มีความสามารถในการละลายน้ำและดูดซับน้ำได้ดีที่สุด พบปริมาณเบต้าแคโรทีนในฟักทองสด 5.79 mg/100g ผลสด ในผงฟักทองจากกระบวนการทำแห้งโดยตู้อบลมร้อน 3.14 mg/100g ผลสด และพบจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ในช่วง 0.57-1.38 mg/100g ผลสด การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนจะคงเหลือเบต้าแคโรทีนสูงกว่า ส่วนกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ การใช้อุณหภูมิการอบแห้งต่ำ และความเร็วรอบสูง จะสามารถรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนในฟักทองผงได้ดี

คำสำคัญ: การทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่; การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน; เบต้าแคโรทีน; ฟักทองผง

Abstract

The purposes of this study were to study the effect of hot air oven drying and double drum drying on the properties and beta-carotene content of pumpkin powder. In this study, the pumpkin flesh was dried by hot air oven dryer at 55˚C for 20 h. The double drum dryer was controlled at temperature 130, 140 and 150˚C, the rolling speed at 1.2, 0.8 and 0.5 rpm. The dried pumpkin in each process was ground and sieved to obtain pumpkin powder. The total soluble solid (TSS) shown, the pumpkin powder from hot air oven drying had lowest TSS. Moreover, the color of the powder was highest brightness (L*), highest redness (a*) and lowest yellowness (b*). Similar results were found by the pumpkin powder from lower temperature with higher roller speed of double drum drying. In terms of water solubility index (%) and water absorption index (%), the double drum dried pumpkin powder at 150˚C with roller speed 0.5 rpm, had the strongest water solubility and water absorption. In this investigation, the beta-carotene content of fresh pumpkin was determined to be 5.79 mg/100 g of fresh fruit, whereas the beta-carotene content of pumpkin powder dried in a hot air oven was 3.14 mg/100 g of fresh fruit. The pumpkin powder prepared by a double drum drying method contained between 0.57 and 1.38 mg/100g of fresh fruit. To preserve a high beta-carotene content in pumpkin powder, the double drum drying process was controlled with low drying and high roller speed.

Keyword: Beta-carotene, Double drum drying, Hot air oven drying, Pumpkin powder

บทนำ

ฟักทอง (pumpkin) เป็นพืชมีเถา ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae สกุล Cucurbita สามารถปลูกได้ทั่วไปทั้งในเขตร้อนและเขตหนาว (วรวลัญช์ และคณะ, 2561) แหล่งปลูกฟักทองในประเทศไทย มีการปลูกแพร่หลายทั่วประเทศ จึงทำให้มีฟักทองขายตลอดทั้งปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) โดยทั่วไปฟักทองถูกนำไปบริโภคอย่างหลากหลายทั้งคาวและหวาน มักจะนำไปต้มหรือนึ่ง หรือนำไปแปรรูปเป็น แกง, ซุปฟักทองหรือแม้กระทั่งอาหารหวาน เช่น แกงบวดฟักทอง เป็นต้น (Pongjanta *et al.*, 2006) ฟักทองเมื่อแก่จัดจะมีสีเหลืองอมส้ม เนื้อฟักทองมีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณใยอาหารและวิตามินสูง อีกทั้งมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ เช่น โพแทสเซียม, ฟอสฟอรัส, แม็กนีเซียม, เหล็ก และซีลีเนียม ฟักทองอุดมไปด้วยเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) ซึ่งให้สีเหลืองหรือส้มในฟักทอง (วรวลัญช์ และคณะ, 2561) สารเบต้าแคโรทีนในพืชเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ หรือโปรวิตามินเอ (Provitamin A) ซึ่งมีความสำคัญในการเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ การบริโภคอาหารที่มีเบต้าแคโรทีน มีส่วนช่วยป้องกันโรคผิวหนัง ความผิดปกติของตา และโรคมะเร็ง อีกทั้งยังพบว่าสารเบต้าแคโรทีน มีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในร่างกาย (ทัศนีย์, 2540)

ฟักทองสดมีน้ำเป็นส่วนประกอบสูงทำให้เสียได้ง่าย อีกทั้งเป็นพืชหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจในการปลูกกันมาก ส่งผลให้ฟักทองมีปริมาณมากเกินความต้องการของประชากรในประเทศ จึงได้มีการนำฟักทองมาแปรรูปโดยการทำแห้ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผลิตฟักทองผง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (Hot-air oven drying) และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum drying) ต่อคุณสมบัติของฟักทองผง และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum dryer) มีลักษณะการทำงานที่สำคัญคือ ให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้งโลหะกลวงโดยภายในมีน้ำร้อนหรือไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงในช่วง 120-170 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผิวนอกร้อนและนำความร้อนสู่อาหาร การทำงานก็จะมีการป้อนอาหารเหลวที่มีความหนืดมากพอที่จะเคลือบผิวภายนอกลูกกลิ้งในขณะที่ลูกกลิ้งหมุน สามารถป้อนโดยการ จุ่ม ป้าย พ่นหรือหยอดบนช่องว่างของลูกกลิ้งในขณะที่ลูกกลิ้งหมุน ซึ่งจะสามารถปรับความเร็ว ปรับอุณหภูมิและปรับระยะห่างของลูกกลิ้งได้ เพื่อให้เหมาะสมต่อวัตถุดิบแต่ละชนิด เมื่ออาหารที่เคลือบผิวนอกของลูกกลิ้งหมุนไป 3/4 รอบก็จะแห้งและมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัฑ์ที่ได้ ต่อมาก็จะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งได้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความร้อนจนสุกและแห้ง เช่น อาหารสำหรับเด็ก (วิไล, 2545)

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. การผลิตฟักทองผงจากการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน

ใช้วัตถุดิบเป็นฟักทองลูกผสม พันธุ์ประกายเพชร นำมาปอกเปลือกได้เป็นตัวอย่างฟักทองสด (Fresh) ส่วนที่เหลือนำมาสไลด์ด้วยเครื่องสไลด์ (Meat Slicer รุ่น 275ST-11) ที่กำหนดความหนา 2 mm นำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น UF110) ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ได้เป็นฟักทองอบแห้งจากตู้อบลมร้อน ส่วนการผลิตฟักทองผงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ จะนำฟักทองลูกผสมพันธุ์ประกายเพชร มานึ่งเป็นเวลา 20 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จากนั้นสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปปั่นกับน้ำด้วยอัตราส่วน 1:0.5 นำน้ำแป้งที่ได้เทลงในเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ควบคุมที่อุณภูมิ 130, 140 และ 150°C โดยใช้ความเร็วลูกกลิ้ง 1.2, 0.8 และ 0.5 rpm จากนั้นนำฟักทองที่ได้จากการทำแห้งแต่ละกระบวนการมาบดด้วยเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) และร่อนด้วยเครื่องคัดแยกขนาดด้วยตะแกรง (Retsch รุ่น AS200 digit) ที่ 170 mesh ได้เป็นฟักทองผงจากตู้อบลมร้อน (HA) และฟักทองผงจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (DD-130-0.5, DD-130-0.8, DD-130-1.2, DD-140-0.5, DD-140-0.8, DD-140-1.2, DD-150-0.5, DD-150-0.8 และ DD-150-1.2)

2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content)

นำฟักทองผงมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) โดยนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นฐานเปียก (% wet basis)

3. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS)

นำตัวอย่างฟักทองสดบด หรือฟักทองผงปริมาณ 1 g มาผสมน้ำกลั่น 5 ml ผสมแต่ละตัวอย่างให้เข้ากัน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้โดยการหยดน้ำฟักทองลงบนเครื่อง Hand Refractometer (ATAGO) โดยแสดงผลเป็น °Brix ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 25°C ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์หาค่าสี

การวิเคราะห์หาค่าสีของฟักทองผงด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, Hunter lab รุ่น Miniscan EZ) โดยใช้ระบบ CIELAB วัดค่า L*, a* และ b*

5. การวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ และดัชนีการดูดซับน้ำ

วิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index, WSI) และดัชนีการดูดซับน้ำ (Water absorption index, WAI) ของตัวอย่างฟักทองสด และฟักทองผงโดยชั่งตัวอย่างลงใน 1 g ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 10 ml จากนั้นคนให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, Centurion Scientific รุ่น 1040 series) ที่ความเร็ว 3000 x g เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ใส่ลงในกระป๋องอบความชื้น (moisture can) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ได้เป็นน้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส ส่วนที่เหลือจากการเหวี่ยงแยกคือตะกอน (sediment) นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณค่า WSI และ WAI ตามสมการ 1 และ 2 (น้ำทิพย์, 2555)

$$\text{WSI (\%)} = \text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส} \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่าง} \quad (1)$$

$$\text{WAI} = \text{น้ำหนักตะกอน} / \text{น้ำหนักตัวอย่าง} \quad (2)$$

6. การวัดปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

วิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองสดโดยนำเนื้อฟักทองสับละเอียด 5 g เติม acetone และ hexane อัตราส่วน 2 : 3 ปริมาตร 1000 ml ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเตรียมโดยนำผงฟักทอง 0.2 g ใส่ลงในหลอดทดลอง (centrifuge tube) เติมน้ำกลั่น 2 ml แช่ไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นเติม acetone และ hexane อัตราส่วน 2 : 3 ปริมาตร 40 ml ปิดฝา แล้วจึงนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ ไปผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer จากนั้นพักไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Jasco รุ่น V-770 UV/Vis/NIR) ที่ความยาวคลื่น 663, 545, 505 และ 453 นาโนเมตร แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนดังสมการ 3 (ภูวไนย และคณะ, 2562)

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g fresh fruit)} = A_{663} - A_{545} - A_{505} + A_{453} \quad (3)$$

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS (SPSS program version 19.0, USA) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ผลการทดลองและวิจารณ์ (Result and Discussion)

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณความชื้นของฟักทองผลสด และฟักทองผง พบว่าปริมาณความชื้นของฟักทองผลสดลดลงหลังการแห้ง เนื่องจากกระบวนการทำแห้ง ทำให้มีการระเหยของน้ำออกจากเนื้อฟักทอง อาหารแห้งที่ดีควรมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 14% หากมีปริมาณความชื้นสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการแปรรูป อายุการเก็บรักษา ความสามารถในการใช้งาน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สมบัติ, 2529) ฟักทองผงจากการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน มีความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ส่วนฟักทองผงจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 150°C และความเร็วรอบ 0.5 rpm จะมีความชื้นที่ต่ำที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ ซึ่งทำให้ตัวอย่างใช้เวลาสัมผัสความร้อนสูงและนานที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นและของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ของฟักทองผลสดและฟักทองผง

ตัวอย่างฟักทอง	ปริมาณความชื้น (% wet basis)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS, °brix)
Fresh	85.22 ± 0.58 ^{f}	9.7 ± 0.6 ^{a}
HA	11.3 ± 0.87 ^{e}	12.6 ± 0.6 ^{b}
DD-130-0.5	9.83 ± 0.64 ^{d}	14.2 ± 0.7 ^{cde}
DD-130-0.8	10.21 ± 0.64 ^{d}	13.7 ± 0.8 ^{bcd}
DD-130-1.2	10.53 ± 0.3 ^{de}	13.3 ± 0.8 ^{bc}
DD-140-0.5	7.96 ± 0.71 ^{ab}	15.1 ± 0.8 ^{ef}
DD-140-0.8	8.13 ± 0.12 ^{ab}	14.8 ± 0.3 ^{def}
DD-140-1.2	8.48 ± 0.21 ^{c}	14.6 ± 0.3 ^{def}
DD-150-0.5	5.54 ± 0.11 ^{a}	15.5 ± 0.9 ^{f}
DD-150-0.8	7.32 ± 0.49 ^{b}	15.3 ± 0.8 ^{ef}
DD-150-1.2	7.59 ± 0.13 ^{ab}	14.6 ± 0.4 ^{def}

$^{a, b, c, \cdots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของผลฟักทองสดและฟักทองผง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่าฟักทองผลสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุด และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการทำแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างฟักทองผง ฟักทองผงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุด คือ ฟักทองผงจากตู้อบลมร้อน เพราะใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้ง ในส่วนของฟักทองผงจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 150°C และความเร็วรอบ 0.5 rpm มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงที่สุด จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของกระบวนการทำแห้ง มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เพราะหากใช้อุณหภูมิที่สูงผงฟักทองก็จะยิ่งเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น ความหวานก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ค่าสีของฟักทองผลสด และฟักทองผง

ค่าสีของฟักทองผลสด และผงฟักทองถูกแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทำการแสดงผลค่าสีเป็นค่า L*, a* และ b* เมื่อพิจารณาค่า L* ซึ่งบ่งบอกถึงความสว่างของตัวอย่าง พบว่าผงฟักทองจากตู้อบลมร้อน มีความสว่างมากที่สุด ส่วนฟักทองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีความสว่างน้อยกว่าผงฟักทองจากตู้อบลมร้อน เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 150°C และความเร็วรอบ 0.5 rpm จะพบว่าฟักทองผงที่ได้มีค่าความสว่างน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและความเร็วรอบจะส่งผลต่อค่า L* ของฟักทองผง ถ้าอุณภูมิต่ำความเร็วรอบสูงขึ้น ฟักทองผงก็จะมีความสว่างมาก แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงความเร็วรอบต่ำฟักทองผงก็จะมีความสว่างน้อย พิจารณาค่า a* ถ้าหากเป็นบวกจะบ่งบอกถึงการเข้าใกล้สีแดง ค่า a* ของตัวอย่างฟักทองผงจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ มีค่าในช่วงที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเร็วรอบต่ำ ในส่วนของค่า b* หากมีค่าเป็นบวก จะบ่งบอกได้ถึงความเข้าใกล้สีเหลือง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า ฟักทองผงที่มีค่า b* มากที่สุดคือผงฟักทองจากตู้อบลมร้อน

ในการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น และความเร็วรอบต่ำลง จะส่งผลให้ฟักทองผงที่ได้มีค่า L* และ b* ต่ำลง ในขณะที่ค่า a* สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้มีความสว่างน้อยลง เข้าใกล้ความเป็นสีเหลืองน้อยลง แต่จะมีสีเข้าใกล้สีแดงมากขึ้น ซึ่งค่า L* และ b* ที่ต่ำลง ซึ่งผงการทดลองสอดคล้องกับ นฤดี และคณะ (2544) ที่ทำการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140°C พบว่าการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization reaction) เช่นเดียวกับ กฤติยา และคณะ (2562) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Song *et al.* (2017) พบว่ามีความสัมพันธ์กับการลดลงของเบต้าแคโรทีน ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่ปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลง

ตารางที่ 2 ค่าสีของฟักทองผลสด และฟักทองผง

ตัวอย่างฟักทอง	L*	a*	b*
Fresh	61.76 ± 0.40 [a]	6.08 ± 0.08 [a]	60.52 ± 0.62 [a]
HA	75.24 ± 0.42 [b]	6.15 ± 0.04 [ab]	57.09 ± 0.24 [ab]
DD-130-0.5	69.67 ± 0.16 [c]	7.76 ± 0.16 [bc]	48.94 ± 0.49 [b]
DD-130-0.8	70.85 ± 0.30 [cd]	6.62 ± 0.31 [c]	49.38 ± 0.50 [b]
DD-130-1.2	71.05 ± 1.65 [de]	6.42 ± 0.07 [d]	51.42 ± 0.23 [c]
DD-140-0.5	67.94 ± 0.17 [de]	8.28 ± 0.06 [d]	45.11 ± 0.76 [d]
DD-140-0.8	68.78 ± 0.53 [ef]	7.21 ± 0.02 [e]	46.51 ± 0.49 [de]
DD-140-1.2	70.54 ± 0.12 [fg]	6.95 ± 0.44 [f]	48.33 ± 0.29 [e]
DD-150-0.5	65.93 ± 0.28 [g]	9.81 ± 0.12 [f]	43.83 ± 0.82 [f]
DD-150-0.8	67.03 ± 0.73 [g]	9.39±0.14 [g]	44.49 ± 0.42 [g]
DD-150-1.2	69.02 ± 0.12 [h]	8.44±0.06 [h]	45.26 ± 0.39 [h]

[a, b, c,…] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. ดัชนีการละลายน้ำ และดัชนีการดูดซับน้ำ

ค่าดัชนีการละลายน้ำ และดัชนีการดูดซับน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำในแป้ง แป้งที่มีความชื้นไม่เกิน 14 % จะสามารถละลายน้ำและดูดซับน้ำได้ดีกว่าแป้งที่มีความชื้นสูง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) ดัชนีการละลายน้ำเป็นค่าที่แสดงถึง ปริมาณองค์ประกอบในอาหารที่ถูกละลายได้ด้วยน้ำ อีกทั้งบ่งบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเชิงซ้อนของผลิตภัณฑ์ ส่วนดัชนีการดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ช (กฤติยา และคณะ, 2563) ทำการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการดูดซับน้ำของฟักทองผง (ตารางที่ 3) พบว่าความสามารถในการละลายน้ำของฟักทองผง อยู่ในช่วง 27.20 ถึง 33.40 % ฟักทองผงที่ได้จากตู้อบลมร้อนมีค่าดัชนีการละลายและค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่น้อยที่สุด และฟักทองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ที่อุณหภูมิ 150°C ความเร็วรอบ 0.5 rpm มีค่าดัชนีการละลายและค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่มากที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) และดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) ของฟักทองผง

ตัวอย่างฟักทองผง	WSI (%)	WAI
HA	27.2 ± 1.50 [a]	4.49 ± 0.05 [a]
DD-130-0.5	30.83 ± 0.94 [c]	5.54 ± 0.21 [b]
DD-130-0.8	28.45 ± 1.74 [ab]	5.35 ± 0.09 [b]
DD-130-1.2	28.37 ± 1.28 [ab]	5.24 ± 0.37 [b]
DD-140-0.5	31.13 ± 0.99 [c]	6.71 ± 0.52 [cd]
DD-140-0.8	31.05 ± 1.25 [c]	6.45 ± 0.36 [c]
DD-140-1.2	29.21 ± 0.09 [bc]	6.16 ± 0.18 [c]
DD-150-0.5	33.40 ± 0.54 [d]	7.33 ± 0.23 [e]
DD-150-0.8	31.13 ± 0.79 [c]	7.25 ± 0.27 [de]
DD-150-1.2	29.24 ± 0.07 [bc]	7.04 ± 0.54 [de]

[a, b, c,…] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5. ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองสดและฟักทองผง พบว่ากระบวนการทำแห้งทั้งการใช้ตู้อบลมร้อน และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนของฟักทองผลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กระบวนการทำแห้งทั้งสองวิธีมีผลให้เบต้าแคโรทีนมีปริมาณลดน้อยลง กระบวนการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเหลือมากกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและความเร็วรอบต่ำลง ทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนในฟักทองผง มีปริมาณที่น้อยลง การสูญเสียปริมาณเบต้าแคโรทีน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักในการสูญเสีย ถ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีการสูญเสียปริมาณเบต้าแคโรทีนมาก และความเร็วรอบเป็นปัจจัยรอง ในอุณหภูมิเดียวกันแต่ความเร็วรอบต่างกันทำให้เกิดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในปริมาณที่ต่างกัน ความเร็วรอบที่สูงจะทำให้ตัวอย่างฟักทอง สัมผัสกับความร้อนในเวลาสั้น จึงเกิดการสูญเสียน้อย ถ้าความเร็วรอบต่ำจะเกิดการสัมผัสกับความร้อนที่นานทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณเบต้าแคโรทีนที่มาก เช่นเดียวกับงานวิจัยที่วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่ 50, 60 และ 70°C ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น (Onwude *et al*., 2017)

ตารางที่ 4 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในฟักทองสดและฟักทองผง

ตัวอย่างฟักทอง	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (mg/100g ผลสด)
Fresh	5.89 ± 1.17^{e}
HA	3.14 ± 0.13^{d}
DD-130-0.5	1.31 ± 0.01^{bc}
DD-130-0.8	1.34 ± 0.00^{bc}
DD-130-1.2	1.38 ± 0.02^{c}
DD-140-0.5	0.94 ± 0.08^{abc}
DD-140-0.8	1.03 ± 0.01^{abc}
DD-140-1.2	1.18 ± 0.02^{abc}
DD-150-0.5	0.57 ± 0.02^{a}
DD-150-0.8	0.60 ± 0.01^{a}
DD-150-1.2	0.68 ± 0.01^{ab}

$^{a, b, c,\cdots}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

กระบวนการทำแห้งทั้งการใช้ตู้อบลมร้อน และการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีผลต่อคุณสมบัติของฟักทองผง โดยในกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อใช้อุณหภูมิสูง และความเร็วรอบต่ำ ส่งผลให้ได้ฟักทองผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง ในส่วนของลักษณะปรากฏพบว่าฟักทองผง มีความสว่างน้อยลง เข้าใกล้ความเป็นสีเหลืองน้อยลง แต่จะมีสีเข้าใกล้สีแดงมากขึ้น ส่วนดัชนีการละลายและค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่มีมากขึ้น แต่จะทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้โครงการ โครงงานวิศวกรรมการอาหาร จากภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. *ข้อมูลที่เพาะปลูกศูนย์สารสนเทศกรมส่งเสริมการเกษตร*. [Online]. Available: http://production.doae.go.th.

กฤติยา เขื่อนเพชร, เปี่ยมสุข สุวรรณกูฏ, รวิพร พลพืช, และ รวิภา จารุอารยนันท์. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยหอมทองผงเพื่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27(*6), 1023-1037.

กฤติยา เขื่อนเพชร, รวิพร พลพืช, กนกพร ลีวาณิชยกูล, และศิริยา กาวีเขียว. (2563). ผลของชนิดข้าวและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปผสมแก่นตะวัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28*(10), 1813-1833.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. *เทคโนโลยีของแป้ง*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. 2540. บทบาทใหม่ของเบต้าแคโรทีน, *วารสารFitness, 8*(90), 101-104.

นฤดี พงศ์กิจวิทูร, สุวิช ศิริวัฒนโยธิน, สายลม สัมพันธ์เวชโสภา และ ทิพาพร อยู่วิทยา. (2544). ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 24*(1), 69-84.

น้ำทิพย์ เรืองดี. (2555). *การผลิตเครื่องดื่มผงชงพร้อมดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวเหนียวก่ำกล้องงอก โดยเทคโนโลยีเอ็กซ์ทรูชัน* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นจาก http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/20469.

ภูวไนย ไชยชุมภู, วชิรญา อิ่มสบาย, วรลักษณ์ ประยูรมหิศร, ยงยุทธ พลับจะโปะ, และ อัญมณี อาวุชานนท์. (2562). การประเมินปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของฟักทองพันธุ์ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 ที่เหมาะสมต่อการแปรรูป. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 37*(4), 581-589.

วรวลัญช์ รุ่งเรืองศรี. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักทอง แผ่นขึ้นรูปทอดกรอบ. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, 2*(2), 49-53.

วิไล รังสาดทอง. (2545). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุเทพฯ.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2529). *กรรมวิธีการอบแห้ง*. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AOAC. (2000). *Methods of Association of Official Chemists*. 17th ed. Arlington, VA, USA: Official Analytical International.

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2017). Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature. *Italian Journal of Food Science, 29*(1), 1-18.

Pongjanta, J., Naulbunrang, A., Kawngdang, S., Manon, T., & Thepjaikat, T. (2006). Utilization of pumpkin powder in bakery products. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 28(1), 71-79.

Song, J., Wang, X., Li, D., & Liu, C. (2017). Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in pumpkin (Cucurbita maxima L.) slices during microwave-vacuum drying. International journal of food properties, 20(sup1), S632-S643.

FE-A03

การออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก

Design and Manufacture of Small Coffee Roaster

ปณิดา ปิดตาระโพธิ์ เกวลี ปริมานนท์ เมสินี จันทยงค์ สุวภัทร กาญจน์ธีรโชติ และ สยุมพร รัตนพันธ์*

Panida Pidtarapho, Kewalee Parimanon, Masinee Junthayong, Suwapat Kanjateerachote and Sayumporn Rattanapan*

ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: fengsypr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็กแบบถังหมุนให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม (LPG) ถังคั่วทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) รูปทรงกระบอกแนวนอนมีความหนา 3 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และยาว 250 mm ภายในถังมีครีบ 6 ครีบเพื่อให้เมล็ดกาแฟเกิดการเคลื่อนที่ขณะคั่ว การควบคุมอุณหภูมิภายในถังคั่วกาแฟด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ โดยใช้ RTD ชนิด PT100 วัดอุณหภูมิภายในตัวถังพร้อมแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังที่หน้าตู้ควบคุมการทำงาน ใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุมการเปิด – ปิดของแก๊ส และการจุดเตาแก๊สด้วยระบบไฟฟ้า สามารถตั้งค่าเวลาการคั่วเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องตั้งเวลาแบบอนาล็อก และใช้อินเวอร์เตอร์สำหรับการปรับความเร็วรอบในการหมุนถังคั่วกาแฟโดยมีความเร็วสูงสุดที่ 72 rpm ทำการทดลองคั่วกาแฟด้วยกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าโดยใช้ขนาดเมล็ดกาแฟรหัสขนาด 1 (ขนาดเมล็ดกาแฟ $\geq$ 7.14 mm) จำนวน 100, 150 และ 200 g ของสารกาแฟต่อรอบการคั่ว และความเร็วรอบของถังคั่ว 30, 40 และ 50 rpm ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 11 นาที พบว่าที่กำลังการผลิต 100 g ของสารกาแฟต่อรอบการคั่ว และใช้ความเร็วรอบของถังคั่ว 40 rpm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดหลังการคั่วสูงสุดที่ 85.19 %

สำคัญ: เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ, เมล็ดกาแฟ, กาแฟ

Abstract

The objective of this research was to design, manufacture and testing the small rotary drum coffee been roaster. The designed coffee been roaster was horizontal rotary drum type, which was heated up by gas LPG direct heating. The roasting tank was 3 mm thickness of stainless steel (SUS 304) with diameter of 100 mm and length of 250 mm, which coffee beans were spread by 6 fins inside roasting tank. The controller of coffee roasting tank temperature was on-off automatic controller, RTD-PT100 temperature sensor was used to measure inside roasting tank temperature that was showed at controller box and controlled gas supply with solenoid valve, ignition of gas stove with electrical systems and coffee roasting time with analog timer. Inverter was used to control speed of rotary coffee roasting tank, which 72 rpm of maximum coffee roasting tank speed. For the experiment, the code size no. 1 (coffee bean size $\geq$ 7.14 mm) of Arabica coffee bean was roasted at 230°C for 11 mim, capacity 100, 150 and 200 g of coffee bean per batch and coffee roasting tank speed 30, 40 and 50 rpm. The researcher found that the maximum percentage of seed color uniformity was 85.19% at 100 g capacity of coffee bean per batch and 40 rpm of drum speed.

Keyword: coffee roaster, coffee bean, coffee

บทนำ

กาแฟเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการค้าขายสูงเป็นอันดับที่ 2 ของโลก รองจากปิโตรเลียม และมีการเติบโตของตลาดอย่างต่อเนื่อง โดยการบริโภคกาแฟของประชากรโลกเติบโตเฉลี่ยปีละ 1.2% (สุวัชรี, 2563) และประเทศไทยในระหว่างปี 2558 – 2562 มีความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในประเทศ เฉลี่ย 78,953 ตันต่อปี แต่สามารถผลิตเมล็ดกาแฟได้ เฉลี่ย 26,161 ตันต่อปี (สำนักข่าวแห่งชาติ กรมประชาสัมพันธ์, 2563) และนำเข้าเมล็ดกาแฟปริมาณ 5.25 เมตริกตัน (กรมการค้าต่างประเทศ, 2563) ในปัจจุบันอุตสาหกรรมกาแฟเป็นธุรกิจที่มีความสำคัญและสร้างมูลค่าให้กับเศรษฐกิจไทยเป็นอย่างมาก(กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2562) จากการเก็บข้อมูลในปี 2561 พบว่ามีร้านกาแฟอยู่ประมาณ 27,000 ร้านทั่วประเทศ ยังไม่นับรวมถึงร้านกาแฟที่อยู่ตามโรงแรม ภัตตาคาร ร้านสะดวกซื้อต่างๆ โดยคนไทยบริโภคกาแฟเพิ่มขึ้นเป็น 3.7 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในขณะเดียวกัน รัฐบาลไทยได้ให้การสนับสนุนธุรกิจกาแฟ โดยได้จัดทำยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564 เพื่อกำหนดวิสัยทัศน์ให้ประเทศไทยเป็นผู้นำการผลิต และการค้ากาแฟคุณภาพในภูมิภาคอาเซียนอีกด้วย (มติชน จำกัด, 2562)

ความต้องการบริโภคกาแฟโดยเฉพาะกาแฟสดที่จำหน่ายในร้านกาแฟต่าง ๆ มีปริมาณมากขึ้น โดยคาดว่าตลาดร้านกาแฟอาจมีแนวโน้มความต้องการใช้เมล็ดกาแฟคั่วเพิ่มขึ้น 8-10 % และกาแฟคั่วนั้นจะต้องผ่านกระบวนการคั่วด้วยรูปแบบคั่วแบบดั้งเดิมโดยการใช้กระทะหรือการใช้เครื่องคั่วกาแฟ โดยการใช้เครื่องคั่วกาแฟที่สามารถคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ทำให้ได้คุณภาพของเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่ดีและมีความสม่ำเสมอ ซึ่งเครื่องคั่วกาแฟ

ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบมีทั้งแบบขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และมีราคาหลักพันไปจนถึงหลายล้านบาท ซึ่งนับเป็นลงทุนที่สูงสำหรับร้านกาแฟขนาดเล็ก หรือกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกเมล็ดกาแฟที่ต้องการพัฒนากระบวนการแปรรูปกาแฟเอง จึงทำให้เกษตรกรที่ปลูกกาแฟไม่สามารถแปรรูปเป็นเมล็ดกาแฟคั่วเอง รวมทั้งร้านกาแฟส่วนมากก็ซื้อเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วจากโรงคั่ว โครงการนี้จึงได้ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับใช้ศึกษากระบวนการคั่วกาแฟ โดยสามารถใช้เมล็ดกาแฟในปริมาณน้อยได้ และสามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆ ได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาแฟให้มีความหลากหลายต่อไป รวมทั้งเป็นต้นแบบให้กลุ่มผู้สนใจนำไปพัฒนาต่อไป

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. การออกแบบและจัดสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก

เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็กในงานวิจัยนี้เลือกเป็นแบบเครื่องคั่วแบบถังหมุน (rotary drum roaster) มีกำลังการผลิตที่ 200 g เมล็ดกาแฟดิบต่อการคั่ว 1 ครั้ง ถังคั่วทำจากท่อเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ความยาว 250 มิลลิเมตร และ หนา 3 มิลลิเมตร ภายในถังมีครีบ 6 ครีบ แต่ละครีบมีความกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 230 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ติดตั้งในแนวเดียวกับตัวถังเพื่อช่วยในการเกลี่ยเมล็ดกาแฟขณะคั่ว ฝาถังสามารถเปิดด้วยการดึงขึ้นด้านบน มีช่องสำหรับวัดอุณหภูมิภายในถัง ช่องสำหรับดึงตัวอย่างเมล็ดกาแฟออกมาตรวจสอบ และช่องสำหรับการใส่เมล็ดกาแฟเข้าถังคั่ว มีแบบเครื่องคั่วกาแฟ การหมุนของถังคั่วด้วยชุดขับประกอบด้วยมอเตอร์เกียร์ทดยี่ห้อ Motovario ขนาด 0.18 kW 1 P ความถี่สูงสุดที่ 50 Hz ใช้ไฟ 220 V อัตราทด 1:20 ความเร็วรอบสูงสุด 72 rpm ควบคุมความเร็วรอบการหมุนของถังคั่วกาแฟด้วยอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น REQROL-D700 Series ขนาด 1P 0.4 kW ความถี่ 50 Hz ความต่างศักย์ 220 V สามารถปรับความเร็วรอบของถังคั่วได้ตามต้องการ

การให้ความร้อนของถังคั่วเมล็ดกาแฟใช้เตาแก๊สที่ใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ใช้บอลวาล์วทองเหลืองสำหรับเปิดให้แก๊สไหลเข้าท่อเพื่อส่งไปยังเตาแก๊ส มีเกจวัดความดันสำหรับวัดแรงดันแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบท่อ ใช้โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) ยี่ห้อ Parker เพื่อควบคุมการเปิด – ปิดของแก๊ส เตาแก๊สที่ใช้เป็นเตาแก๊สแรงดันสูงหัวเตาแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ติดตั้งเตาแก๊สด้านล่างถังคั่ว จุดแก๊สด้วยชุดสปาร์คหัวเตาแก๊สไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ (On – Off temperature controller) ยี่ห้อ OMRON รุ่น E5CC-8 โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) ประเภท RTD ชนิด PT100 วัดอุณหภูมิภายในถังคั่ว เพื่อใช้ความคุมการเปิดปิดเตาแก๊สและแสดงค่าอุณหภูมิภายในถังคั่วกาแฟ

2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับความเร็วรอบของถังคั่ว

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาสมการทำนายค่าความเร็วถังคั่วจากค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ โดยการทดลองปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขับถังที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ

45 Hz วัดจำนวนรอบการหมุนของถังคั่วด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบแกนเพลา (ยี่ห้อ Promax, Dual Digital Tachometer รุ่น MR-275 ผลิตจากประเทศฝรั่งเศส) และนำค่าไปพลอตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของความถี่และความเร็วรอบการหมุนของถังคั่ว

3. การศึกษาผลของความเร็วรอบและกำลังการผลิตของเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็ก

การศึกษาผลของความเร็วรอบของถังคั่วและกำลังผลิตของเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็กที่จัดสร้างขึ้นมา เมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 (ขนาดเมล็ดกาแฟ $\geq$ 7.14 mm) จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาวได้ถูกนำมาคั่ว กำหนดค่าอุณหภูมิที่ 230°C เป็นเวลา 11 นาที โดยทำการคั่วที่ความเร็วของถังคั่วที่ 30, 40 และ 50 rpm และใช้จำนวนน้ำหนักของสารกาแฟ (เมล็ดกาแฟก่อนการคั่ว) ที่ 100, 150 และ 200 g ต่อรอบการคั่ว โดยก่อนการคั่วทำการอุ่นถังคั่วกาแฟที่อุณหภูมิ 170°C จึงเริ่มใส่เมล็ดกาแฟเข้าไปคั่วและจับเวลาเป็นเวลา 11 นาที นำตัวอย่างที่ได้มาคัดแยกเมล็ดกาแฟด้วยสีของเมล็ดโดยใช้ชุดควบคุมเป็นเมล็ดกาแฟจากแหล่งปลูกเดียวกันคั่วแบบเข้มโดยเครื่องคั่วกาแฟทางการค้าของโรงคั่วกาแฟ Poss Coffee Roasters โดยหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังคั่วได้ดังสมการ (1)

$$\%\ \text{ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดที่สีสม่ำเสมอหลังการคั่ว}}{\text{น้ำหนักเมล็ดกาแฟทั้งหมดหลังการคั่ว}} \times 100 \quad (1)$$

4. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance (anova)) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม R วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (least significant difference)

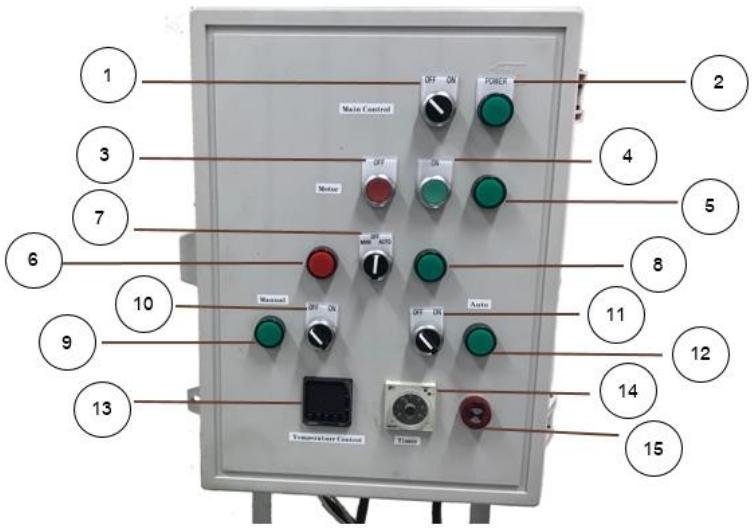
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การออกแบบและจัดสร้างเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก

เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟขนาดเล็กแบบถังหมุนที่ออกแบบและจัดสร้างเครื่องต้นแบบนี้ใช้วัสดุเป็น SUS304 เฉพาะส่วนที่สัมผัสกับเมล็ดกาแฟ (อาหาร) โครงสร้างและส่วนอื่น ๆ ที่ไม่สัมผัสกับเมล็ดกาแฟใช้เป็นเหล็กและทาสีกันสนิทเคลือบแสดงดังรูปที่ 1 และส่วนของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานติดตั้งภายในตู้ควบคุมที่เป็นพลาสติกโดยอุปกรณ์ของตู้ควบคุมแสดงดังรูปที่ 2 มีรายละเอียดอุปกรณ์ที่ติดตั้งในตู้ควบคุมแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็กที่สร้างขึ้นพร้อมอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2 ตู้ควบคุมไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์ของตู้ควบคุมตามรูปที่ 2

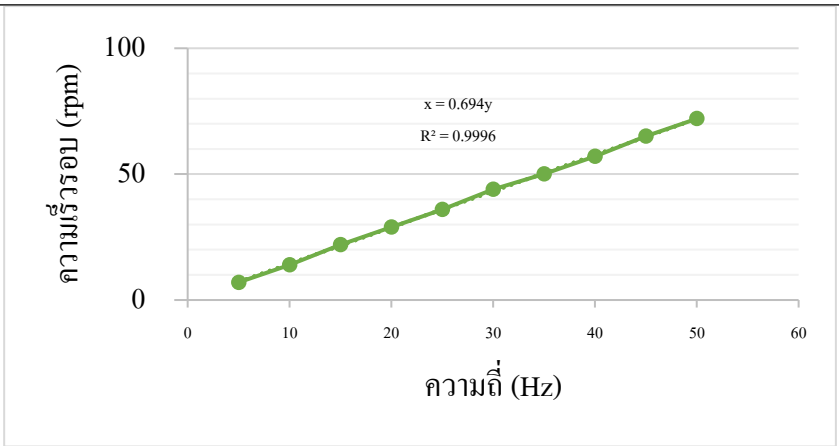
หมายเลข	อุปกรณ์ตู้คอนโทรล(Control Station Equipment)
1	สวิสต์เลือกเปิด – ปิดเครื่องคั่วกาแฟ (Selector Switch On – Off)
2	ไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง
3	สวิตช์สีแดงปิดมอเตอร์ (Push Button Switch On)
4	สวิตช์สีเขียวเปิดมอเตอร์ (Push Button Switch Off)
5	ไฟแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์
6	ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบ Manual
7	สวิตช์เลือกระบบทำงานแบบ Manual - Auto
8	ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบ Auto
9	ไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ชุดจุดเตาแก๊สในระบบ Manual
10	สวิตช์เลือกระหว่างเปิด - ปิดอุปกรณ์ชุดจุดเตาแก๊สในระบบ Manual
11	สวิตช์เลือกระหว่างเปิด – ปิดการจุดเตาแก๊สด้วยระบบ Auto
12	ไฟแสดงสถานะการทำงานของการจุดเตาแก๊สด้วยระบบ Auto
13	เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ (on – off temperature controller)
14	เครื่องตั้งเวลาแบบอนาล็อก (analog timer)
15	ไฟแสดงการแจ้งเตือนและเสียงแจ้งเตือนของ timer

2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับความเร็วรอบของถังคั่ว

ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ และความเร็วรอบในการหมุนของถังคั่วกาแฟแสดงดังรูปที่ 3 การหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง**ค่า**ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ และ ความเร็วรอบในการหมุนของถังคั่วกาแฟได้ดังสมการ (2) ที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.9996

$$X = 0.694Y \quad (2)$$

เมื่อ X คือ ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ และ Y คือ ความเร็วรอบของถังคั่วกาแฟ จากสมการ (2) ที่ความเร็วรอบในการหมุนของถังคั่วที่ใช้ในการทดสอบการคั่ว 30, 40 และ 50 rpm มีค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 20.82, 27.78 และ 34.70 Hz ตามลำดับ เพื่อใช้ในการทดลองคั่วกาแฟต่อไป



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของอินเวอร์เตอร์ และ ความเร็วรอบของถังคั่วกาแฟ

3. การศึกษาผลของความเร็วรอบและกำลังการผลิตของเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็ก

จากตารางที่ 2 ค่าความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังคั่วด้วยเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 11 นาที สำหรับการคั่วกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 (ขนาดเมล็ดกาแฟ $\geq$ 7.14 mm) จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาว พบว่าความเร็วรอบในการหมุนของถังคั่ว (30, 40 และ 50 rpm) และน้ำหนักของเมล็ดกาแฟก่อนการคั่ว (100, 150 และ 200 g) มีผลค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้ความเร็วรอบของถังคั่วที่ 40 rpm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่สูงสุดสำหรับทุกน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนการคั่ว โดยพบว่าที่ความเร็วในการหมุนของถังคั่วกาแฟที่ 40 rpm การใช้น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนการคั่วที่ 100 g มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่สูงสุดที่ 85.19 % แต่ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับการใช้น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนการคั่วที่ 150 g ที่ความเร็วเดียวกัน และที่ความเร็วรอบของถังคั่วที่ 30 rpm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ทุก ๆ น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (100, 150 และ 200 g) เนื่องด้วยสำหรับการคั่วกาแฟด้วยถังคั่วกาแฟแบบหมุนนั้นการหมุนของถังเป็นการทดแทนการค้นเมล็ดกาแฟโดยมีครีบที่ติดตั้งภายในถังเป็นตัวช่วยในการพาเมล็ดกาแฟให้เกิดการเคลื่อนที่ตามการหมุนของถัง ดังนั้นการหมุนที่เร็วเกินไป (50 rpm) ทำให้ช่วงเวลาการสัมผัสพื้นถังของเมล็ดกาแฟจะน้อยลงเหมือการค้นแบบเร็วทำให้การได้รับความร้อนของเมล็ดกาแฟน้อย ส่วนการหมุนที่ช้า (30 rpm) เปรียบเสมอการค้นแบบช้าเมล็ดกาแฟที่อยู่ติดกับพนังของถังได้รับความร้อนที่สูงกว่าเป็นเวลานานจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีไปก่อน

สำหรับปัจจัยเรื่องน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่วจากตารางที่ 2 พบว่าการคั่วเมล็ดกาแฟที่น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว 200 g มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ทุก ๆ ความเร็วรอบการหมุนของถังคั่วในการคั่วกาแฟ โดยจากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการคั่วกาแฟที่

น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว 200 g นั้นมีจำนวนเมล็ดสีที่สีอ่อนกว่าสีมาตรฐานมีจำนวนมากที่สุด เนื่องด้วยถังคั่วกาแฟในงานวิจัยนี้ยาว 250 mm แต่เตาแก๊สที่ใช้ให้ความร้อนมีความยาวแค่ 170 mm ดังนั้นบริเวณหัวกับท้ายถังไม่ได้รับความร้อนโดยตรงจากเตาแก๊สทำให้เมล็ดกาแฟภายในถังได้รับความร้อนที่ไม่เท่ากันตลอดระยะเวลาในการคั่ว และการใช้น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว 200 g ปริมาณกาแฟที่มากขึ้นโอกาสที่เมล็ดส่วนที่ไม่ได้รับความร้อนเท่ากันมีจำนวนมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงพบว่าการคั่วกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 (ขนาดเมล็ดกาแฟ $\geq$ 7.14 mm) จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาวด้วยเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็กที่จัดสร้างขึ้นมีสภาวะเหมาะสมในการคั่วที่การใช้ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 40 rpm มีค่ากำลังการผลิตที่ 100 g ของสารกาแฟ ต่อรอบการผลิต

ตารางที่ 2 ค่าความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังคั่วด้วยเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 11 นาที ด้วยความเร็วรอบของถังคั่ว 30, 40 และ 50 rpm และน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว 100, 150 และ 200 g ของกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาว

ความเร็วรอบของถังคั่ว (rpm)	น้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (g)	ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่ว (%)
30	100	$61.25^{d} \pm 3.14$
	150	$68.31^{c} \pm 2.56$
	200	$62.65^{d} \pm 2.95$
40	100	$85.19^{a} \pm 2.21$
	150	$80.54^{ab} \pm 2.59$
	200	$69.21^{c} \pm 2.43$
50	100	$77.34^{b} \pm 1.89$
	150	$77.68^{b} \pm 2.78$
	200	$69.87^{c} \pm 2.65$

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในตารางที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4 สีเของเมล็ดกาแฟหลังคั่วด้วยเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 11 นาที ด้วยความเร็วรอบ 30, 40 และ 50 rpm และน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว 100, 150 และ 200 g ของกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาว

สรุป

การออกแบบ และสร้างเครื่องคั่วกาแฟขนาดเล็กแบบถังหมุน (rotary drum roaster) เมื่อทำการทดลองคั่วกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา รหัสขนาด 1 (ขนาดเมล็ดกาแฟ $\geq$ 7.14 mm) จากแหล่งเพาะปลูกที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากซอง ประเทศลาว ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 11 นาที พบว่ามีกำลังการผลิต 100 g ของสารกาแฟต่อรอบการคั่ว ด้วยอัตราเร็วในการหมุนของถังคั่วที่ 40 รอบต่อนาที ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของสีเมล็ดกาแฟหลังการคั่วที่สูงสุดที่ 89.19 % โดยจากที่กล่าวมาเป็นการทดลองกับกาแฟสายพันธุ์เดียวและขนาดเมล็ดขนาดเดียวดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ขึ้นเกิดการใช้งานเครื่องคั่วกาแฟที่ออกแบบและจัดสร้างมาได้ดียิ่งขึ้นทางคณะผู้จัดทำจะดำเนินการ

ทดสอบกับกาแฟที่มีหลายขนาด จากหลากหลายสถานที่ปลูกรวมทั้งเพิ่มสายพันธุ์อื่นด้วย รวมทั้งเพิ่มสภาวะของการทดลองทั้งเรื่องของอุณหภูมิและเวลาในการคั่วเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครื่องคั่วกาแฟต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2562). การยื่นคำขอรับการจัดสรรปริมาณการนำเข้าในโควตาสินค้าเกษตร ตามความตกลง WTO TAFTA และ TNZCEPสำหรับปี 2562. สืบค้นจาก https://www.dft.go. th/th-th/DetailHotNews/ArticleId/12174/-WTO-TAFTA-TNZCEP-2562

กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. (2562). ธุรกิจผลิตกาแฟ.
สืบค้นจาก https://www.dbd.go.th/download /document_file/Statisic/2562/T26/T26_201901.pdf

มติชน จำกัด มหาชน. (2561). กาแฟไทยก้าวสู่ตลาดโลก. สืบค้นจาก https://www.prachachat.net/facebook-instant-article/news-172606

สุวัชรี พรหมบุญมี. (2563). โอกาส และการเติบโตธุรกิจกาแฟในไทย. สืบค้นจาก http://gotomanager.com,

กรมประชาสัมพันธ์ สำนักข่าวแห่งชาติ. (2563). กระทรวงพาณิชย์ขยายตลาดกาแฟไทยสู่ต่างประเทศ. สืบค้นจาก http://nwnt.prd.go.th/centerweb/News/NewsDetail?NT01_NewsID=TCATG200121153552078

FE-A04

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Development of Melon Freeze Dried Product

นิชากร ดงใจ[1] ปาริชาติ เจริญราษฎร์[1] วิจิตรา สายสุข[1] และวันวิสาข์ ทวีชื่นสกุล[1*]

Nichakorn Dongjai[1], Parichart Chareanrad[1], Wijittra Saisuk[1] and Wanvisa Thaweechuensakul[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

[1]School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang Nakhon Ratchasima THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: Wanvisa.sri@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและแปรรูปเมล่อนผลสดเป็นผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งในการแปรรูปจะมีการทดลองสูตรตั้งต้น 3 สูตร ได้แก่ ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อน ไอศกรีมเมล่อน และเมล่อนปั่น จากนั้นนำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อให้ได้เพียง 1 สูตรที่จะนำไปพัฒนาต่อ จนได้สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อน โดยเริ่มทำการปรับอัตราส่วน และเปรียบเทียบสัดส่วนความหวานของสารให้ความหวานแต่ละชนิด ได้แก่ นมข้นหวาน น้ำเชื่อม และน้ำตาลทราย หลังจากนั้นได้นำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสอีกครั้งและปรับปรุงสูตร จนสูตรที่ได้มีคะแนนความชอบมากที่สุด จึงได้นำไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ สีและเนื้อสัมผัส พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.41±0.16 ปริมาณน้ำอิสระคือ 0.25±0.10 ค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 87.86±0.50, 7.34±0.68 และ 42.20±0.68 ตามลำดับ และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งมีค่าเท่ากับ 40.75±2.60 นิวตัน

คำสำคัญ: ไอศกรีมเมล่อน, เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง, การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Abstract

The objectives of this research were to develop and process melons into dried melon products with a freeze-dried method. In the processing, 3 formulas initials were experimented with: melon yogurt ice cream, melon ice cream, and melon smoothie, and then sensory tests to obtain only 1 formula. That was a melon yogurt ice cream recipe. Therefore, it was developed by adjusting the component ratio and comparing the sweetness ratio of each sweetener such as, condensed milk, syrup, and white sugar. After that, they were tested for sensory tests again and improved formulas, respectively,

exhibited the highest overall acceptability score. It was then used for physical and chemical properties of food, including moisture content, water activity, color measurement and texture. The result showed that moisture content of 8.41%, water activity of 0.25, color measurement as L*, a* and b* of 87.86±0.50, 7.34±0 .6 8 and 42.20±0 .6 8 , respectively, and hardness texture characteristics were 40.75±2.60 N.

Keyword: Melon Ice Cream, Freeze Dried Melon, Freeze Drying

บทนำ

เมล่อนเป็นพืชชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมบริโภคในปัจจุบัน เนื่องจากมีรสชาติดี เนื้อนุ่ม หวานฉ่ำและมีกลิ่นหอม นอกจากนั้นเมล่อนญี่ปุ่นพันธุ์หนักที่มีลักษณะเป็นลายตาข่ายสวยงามยังเป็นที่นิยมอย่างมาก อาทิ เช่น พันธุ์คิโมจิ พันธุ์คูนามิ และพันธุ์โมมิจิเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์แตง วาไรตี้เรติคูลาตัส (Reticulatus) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Cucumis Melo L. var. reticulatus มีชื่อเรียกทั่วไปว่า เน็ตท์เมลอน (netted melon) มัสค์เมลอน (muskmelon) หรือเปอร์เซียนเมลอน (persian melon) เป็นชนิดที่ผิวนอกของผลมีลักษณะขรุขระเป็นร่างแหคลุมทั้งผล และผลมีกลิ่นหอม เนื้อผลเป็นสีเขียว หรือสีส้ม (รักกล้า, 2563)

สถานการณ์เมล่อนของไทยในปัจจุบันปี 2566 ยังมีผลกระทบจากวิกฤตสถานการณ์โควิด 19 ที่เริ่มเข้าสู่ประเทศไทยเมื่อปี 2563 ทำให้ผลผลิตเมล่อนที่ได้ล้นตลาด การส่งออกหยุดชะงัก ทางผู้ประกอบการบริษัทคลีน ฟาร์มเมล่อนประสบปัญหานี้ จึงได้ทำการแปรรูปผลเมล่อนสด เป็นน้ำปั่นเมล่อน ไอศกรีม และบิงซูเมล่อน นอกจากนี้ทางสถานประกอบการ ได้เปิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร จำหน่ายสินค้าผลผลิตเมล่อน มะเขือเทศ และผักออแกร์นิค ปลอดสารพิษ และยังให้ผู้ที่เข้ามาเที่ยวได้เข้าไปเก็บผลผลิตสดๆ จากต้นด้วยตนเอง เพื่อนำมารับประทานหรือซื้อเป็นของฝากนั้น ทำให้ไม่สามารถเปิดได้ตามวัตถุประสงค์ จึงได้หาทางออกเพื่อทำการแปรรูปผลผลิตเมล่อนที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์เมล่อนชนิดอื่นเพิ่มเติม ซึ่งเมล่อนของทางสถานประกอบการเป็นเมล่อนสายพันธุ์ญี่ปุ่น ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความหวาน หอม อร่อย และมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยสายพันธุ์ที่นำมาแปรรูปได้แก่ สายพันธุ์ อาซาฮี เนื้อสีส้ม (จินดารัตน์, 2564)

การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เป็นกระบวนการที่ดึงเอาน้ำออกจากอาหารด้วยการทำให้อาหารแข็งโดยการแช่เยือกแข็ง แล้วทำการระเหิดผลึกน้ำแข็งในอาหารนั้นให้กลายเป็นไอน้ำโดยไม่ผ่านความร้อน เหมือนเทคโนโลยีการอบแห้งชนิดอื่นๆ ทำให้อาหารสามารถเก็บรักษาไว้ในภาวะอุณหภูมิห้องได้นานถึง 15-25 ปี โดยที่คุณค่าสารอาหาร รสชาติ กลิ่นของอาหารนั้นยังคงถูกรักษาไว้ได้อย่างดี (ปัณณธร, 2547) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล่อนผลสดเป็นไอศกรีม โยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการ

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. การเตรียมสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเริ่มจาก ดำเนินการทดสอบผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนเป็นสูตรพื้นฐาน 3 สูตร ได้แก่ สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อน สูตรไอศกรีมเมล่อน และสูตรเมล่อนโยเกิร์ตปั่น โดยให้ทางผู้ประกอบการ เป็นผู้คัดเลือก ด้วยการใช้วิธีการตรวจวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์เมล่อนทางประสาทสัมผัส ผลการคัดเลือกได้ สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนเป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และมีการนำมาพัฒนาต่อ โดยนำสูตรที่ได้มาปรับอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ Completely Randomized Design, CRD จำนวน 15 สูตร โดยการปรับลดความหวาน และการกรองเอาเยื่อออก

2. การเตรียมไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนแบบแช่เยือกแข็ง

นำเมล่อนผลสดมาปอกเปลือกสับเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นปั่นให้ละเอียดแล้วกรองเอากากเนื้อเมล่อนออก โดยใช้น้ำเมล่อนทั้งหมดร้อยละ 52.92 โยเกิร์ต วิปปิ้งครีม น้ำเชื่อม น้ำตาลทรายและเกลือร้อยละ 18, 21, 6, 2 และ 0.08 ตามลำดับ นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ทั้งหมดลงไปปั่นรวมกันเป็นเวลา 3 วินาที แล้วเทใส่เครื่องทำไอศกรีมปั่นไอศกรีมเป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบกำหนดนำไอครีมที่ได้ใส่ในแม่พิมพ์ยางที่เตรียมไว้ แล้วนำไปแช่ ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำออกจากตู้เย็น ทำการแกะไอศกรีมที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ใส่ถาดฟรีสดรายที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟรอย แล้วจึงนำเข้าตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -86 ºC เป็นเวลา 4 – 6 ชั่วโมง เพื่อเตรียมตัวอย่างนำเข้ากระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อไป

นำไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนที่แช่เยือกแข็งไว้มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer, CoolSafeTouch, LaboGene, Denmark) โดยสภาวะในการอบแห้งมีดังนี้ อุณหภูมิของ condenser -95ºC อุณหภูมิถาดวางตัวอย่าง 3ºC ความดันระหว่างการอบแห้ง 0.05 hPa ระยะเวลาในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 36-48 ชั่วโมง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเก็บในถุงซิป และเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Auto Desiccator) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อคงสภาพสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วนำไปอบแห้งหาความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert universal oven UF110) ตามมาตรฐาน AOAC (2010)โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter, AquaLab Pre, METER Group, Inc, WA, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3 การวิเคราะห์ค่าสี (Color analysis)

การวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, Hunter Lab, MiniScan EZ 4500L, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA, USA) ในระบบ L* a* b* โดยค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย ค่า 0 หมายถึง สีที่ได้จะมืดเป็นสีดำ และค่า 100 หมายถึง สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว ค่า a* มีค่าตั้งแต่ positive a*, (+a*) หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง (Redness) ถึง negative a*, (-a*) หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว (Green) และ ค่า b* มีค่าตั้งแต่ positive b*, (+b*) หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) ถึง negative b*, (-b*) หมายถึงค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTPlus, texture technologies corp. and stable micro systems, ltd., MA, USA) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ Texture profile analysis (TPA) คือ การจำลองการเคี้ยวด้วยฟันกราม 2 ครั้ง โดยเลือกหัวกดอลูมิเนียม Cylinder probe P/36, Pre speed 1 mm/s, Posttest speed 2 mm/s, Compress 70% strain พารามิเตอร์ที่ใช้ค่าที่ได้จากการวัดได้แก่ ความแข็ง (Hardness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.5 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) สำหรับการประเมินประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ซึ่งมีคะแนนตั้งแต่ 1-9 โดยคะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบอย่างยิ่ง คะแนน 5 หมายถึงไม่ชอบหรือไม่ชอบเลย และคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด ทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม มีผู้ทดสอบที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการจำแนกเรื่องสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส จำนวน 10 คน ทำการทดสอบ 2 ครั้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากการทดสอบผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนเป็นสูตรพื้นฐาน 3 สูตร ได้แก่ สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อน สูตรไอศกรีมเมล่อน และสูตรเมล่อนโยเกิร์ตปั่น โดยให้ผู้ประกอบการ เป็นผู้คัดเลือก ด้วยการใช้วิธีการตรวจวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์เมล่อนทางประสาทสัมผัส ผลการคัดเลือกได้ สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนเป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตขั้นต่อไป ซึ่งมีส่วนผสม แสดงดังตารางที่ 1 จากการทดสอบสูตรในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนมาจากการออกแบบการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เมล่อนที่นำไปอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อน	สูตรไอศกรีมเมล่อน	สูตรเมล่อนโยเกิร์ตปั่น
1. เมล่อน	52.92	65	72.93
2. วิปปิ้งครีม	21	28.6	-
3. โยเกิร์ต	18	-	5
4. น้ำเชื่อม	6	-	22
5. น้ำตาลทราย	2	1.6	-
6. นมข้นหวาน	-	0.8	-
7. นมสด	-	4	-
8. เกลือ	0.08	-	0.07

2. การศึกษาหาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะในการผลิตผลิตภัณฑ์เมล่อน

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ประกอบการ พบว่าทางผู้ประกอบการได้เลือกสูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนเป็นสูตรพื้นฐานที่จะนำมาพัฒนาต่อเป็นไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ซึ่งได้สูตรการทดลอง แสดงในตารางที่ 2

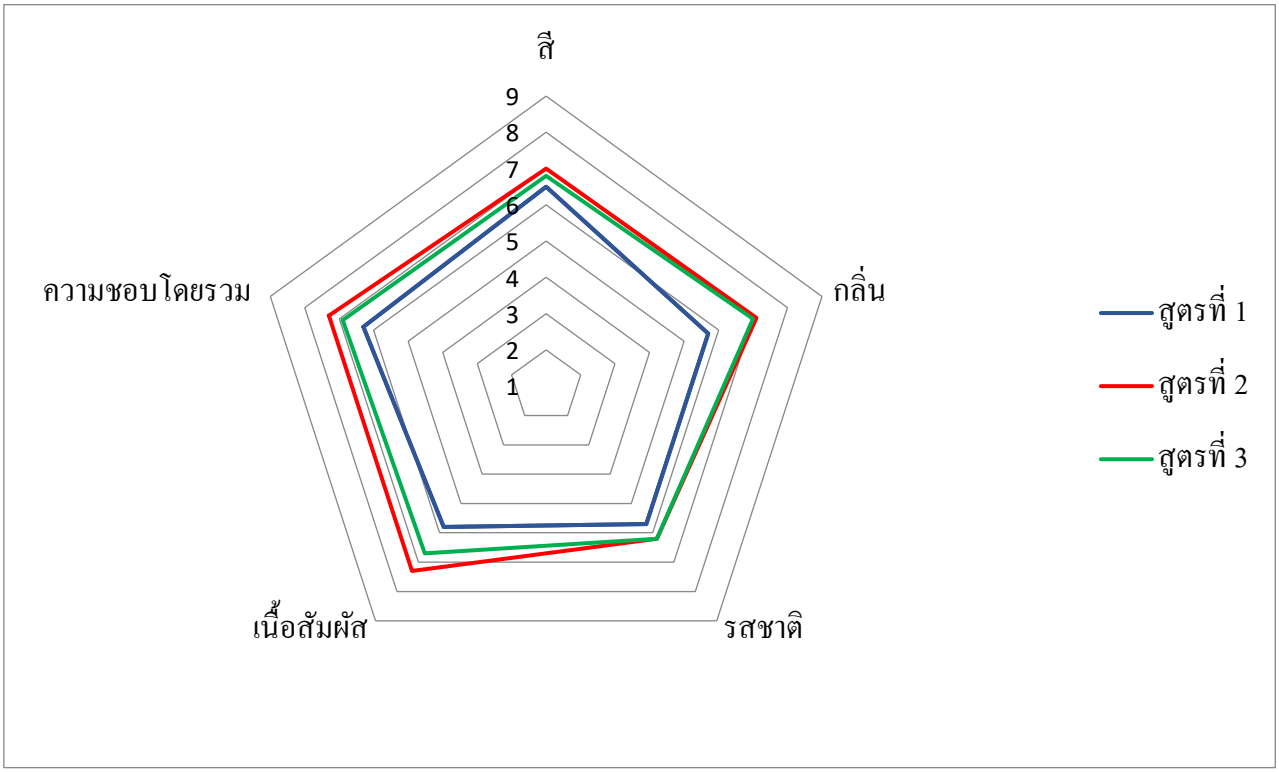
ตารางที่ 2 ส่วนประกอบแต่ละสูตรของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
1. เมล่อน	62.66	55	55
2. วิปปิ้งครีม	19.58	10	10
3. โยเกิร์ต	13.32	15	15
4. น้ำเชื่อม	4.44	3	7
5. นมข้นหวาน	-	5	3
6. น้ำสะอาด	-	12	10

การทดสอบทางประสาทสัมผัสตัวอย่างไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับผู้ทดสอบจำนวน 10 คนโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส 9 Point Hedonic Scale วัดคะแนนความชอบของกลุ่มผู้ทดสอบที่มีต่อลักษณะปรากฏ เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ผู้ทดสอบใน

ครั้งนี้ประกอบด้วยอาจารย์ ผู้ประกอบการ และนักศึกษา โดยก่อนการทดสอบชิม ผู้ทดสอบทุกคนรับทราบขั้นตอนวิธีการทดสอบชิม และการให้คะแนนในแบบประเมินเป็นอย่างดี

การเตรียมตัวอย่างไอศกรีมเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับการทดสอบการชิมจะแบ่งการทดสอบชิมออกเป็นครั้งละ 3 ตัวอย่าง นำตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อคที่ติดรหัสตัวเลข 3 หลัก เสิร์ฟพร้อมน้ำสะอาดให้ผู้ทดสอบชิม จากการทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 10 คน พบว่า สูตรที่ 2 ได้รับคะแนนในด้าน สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากที่สุดร้อยละ 77.78, 78.89, 81.11 และ 81.11 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 1 ได้รับข้อเสนอแนะว่า ควรปรับลดความหวานลง และตัวผลิตภัณฑ์มีเนื้อเมล่อนที่ปั่นไม่ละเอียดอยู่ จึงได้ทำการแก้ไขโดยการปั่นและกรองเอากากเนื้อของเมล่อนออกใช้เฉพาะน้ำเมล่อนเท่านั้น แล้วทำการปรับสูตรใหม่โดยลดอัตราส่วนของสารให้ความหวานลง แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 1 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ครั้งที่ 1 โดยใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับ ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ตามวิธี 9-point hedonic scale

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบแต่ละสูตรของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งหลังปรับแก้ตามการประเมินลักษณะสัมผัสครั้งที่ 1

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
1. เมล่อน	55	55	55
2. วิปปิ้งครีม	10	10	10
3. โยเกิร์ต	18	18	18
4. น้ำเชื่อม	1	-	-
5. นมข้นหวาน	-	1	-
6. น้ำสะอาด	16	16	17

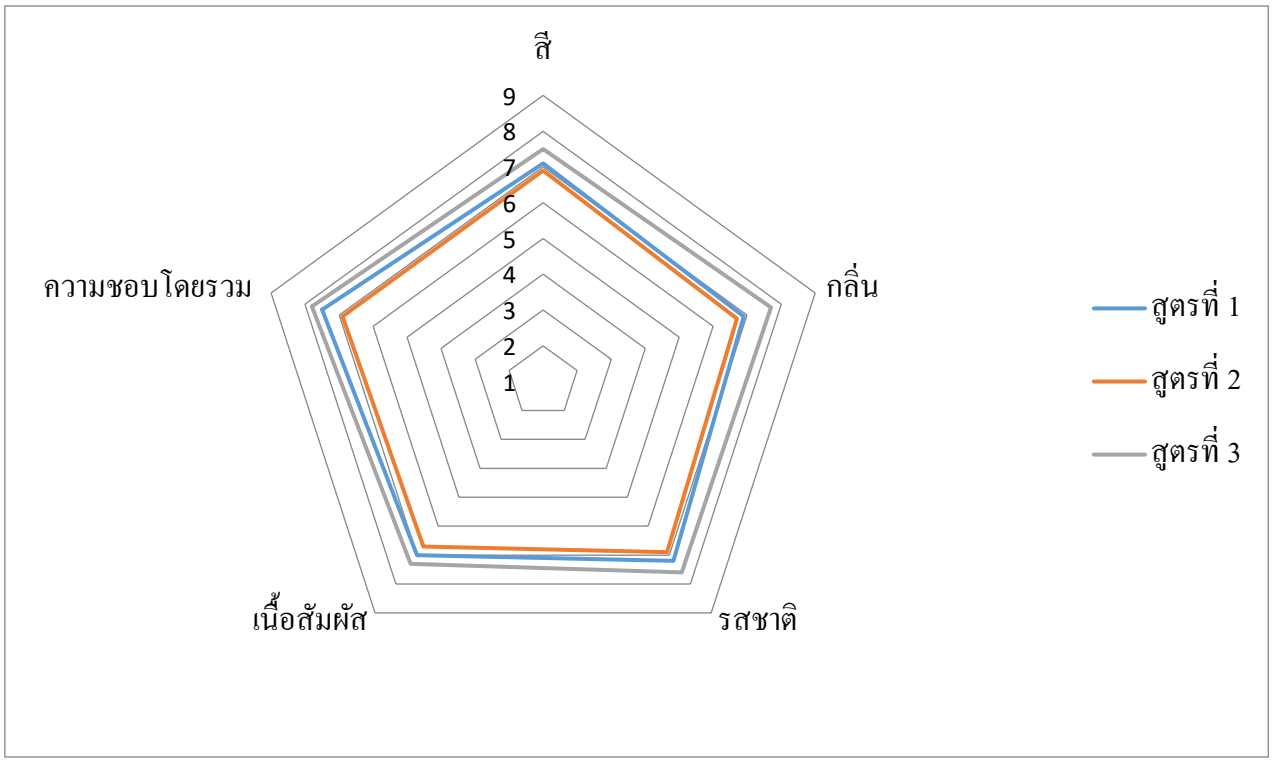
หลังจากการทดลองปรับสูตรโดยการปรับลดอัตราส่วนผสมแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ซึ่งทำการปรับสูตรครั้งละ 3 สูตรนั้น ในแต่ละสูตรจะทำการเปรียบเทียบปริมาณการใส่สารให้ความหวาน เช่น นมข้นหวาน และน้ำเชื่อมในสัดส่วนเท่ากัน ต่างกัน และไม่ใส่สารให้ความหวานในแต่ละสูตร แสดงในตารางที่ 3 และได้ทำการปรับอัตราส่วนผสมใหม่ โดยรวมทั้งหมด 4 ครั้ง คิดเป็นจำนวน 12 สูตร ทำการปรับหลังจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจนได้ 3 สูตรสุดท้าย แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสครั้งที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบแต่ละสูตรของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งหลังปรับแก้ตามการประเมินลักษณะสัมผัสครั้งที่ 2

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
1. เมล่อน	56	56	55
2. วิปปิ้งครีม	10	10	10
3. โยเกิร์ต	15	15	15
4. น้ำเชื่อม	3	1	1
5. นมข้นหวาน	1	3	2
6. น้ำสะอาด	15	15	17

การทดสอบทางประสาทสัมผัสครั้งที่ 2 ของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจำนวน 3 สูตร แสดงดังตารางที่ 4 ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสวิธี 9 Point Hedonic Scale

วัดค่าคะแนนความชอบที่มีต่อลักษณะที่ปรากฏของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ผู้ทดสอบในครั้งนี้ประกอบด้วย อาจารย์ ผู้ประกอบการ นักศึกษา และบุคลากรในสังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยผู้ทดสอบทุกคนรับทราบขั้นตอน วิธีการชิมและการให้คะแนนในการทดสอบเป็นอย่างดี การเตรียมไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับการทดสอบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ตัวอย่าง คือสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 โดยจะทำการนำตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อคที่ติดรหัสตัวเลข 3 หลัก เสิร์ฟพร้อมน้ำสะอาดให้ผู้ทดสอบชิม จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุดร้อยละ 80, 85.56, 84.44, 81.11 และ 86.67 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 จึงนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพต่อไป



รูปที่ 2 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ครั้งที่ 2 โดยใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับ ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ตามวิธี 9-point hedonic scale

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเฉลี่ย ได้แก่ ค่าปริมาณความชื้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี (L*, a*, b*) และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสความแข็ง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเฉลี่ย		ค่าสี		
		L*	a*	b*
ปริมาณความชื้น (%)	8.41±0.16			
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.25±0.10	87.86±0.50	7.34±0.68	42.20±0.68
ค่าความแข็ง (N)	40.75±2.60			

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.41±0.16 และค่าปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ย (a_w) เท่ากับ 0.25±0.10 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่กำหนดไว้ว่าควรมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 15 และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อยกว่า 0.6 จึงปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Jay et al., 2005) ค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness) เท่ากับ 40.75±2.60 N เนื่องจากไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีส่วนผสมของแข็งในปริมาณที่น้อย ส่วนผสมส่วนใหญ่เป็นของเหลว เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหิดออกไป เนื้อสัมผัสที่ได้จึงมีลักษณะร่วนและ ละลายในปาก

จากผลการวัดค่าสีในรูปค่า L*a*b* พบว่า ตัวผลิตภัณฑ์มีค่า L* เท่ากับ 87.86±0.50 บอกถึงความสว่างของตัวผลิตภัณฑ์ ค่า +a* เท่ากับ 7.34±0.68 บอกถึงความเป็นสีแดง และ +b* เท่ากับ 42.40±0.68 บอกถึงความเป็นสีเหลือง แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สีเหลืองสว่าง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเฉลี่ย ได้แก่ ค่าปริมาณความชื้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี (L*, a*, b*) และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสความแข็ง ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยทำการเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator) แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเฉลี่ย		ค่าสี		
		L*	a*	b*
ปริมาณความชื้น (%)	8.90±0.13			
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.42±0.01	70.42±0.01	9.48±0.00	50.27±0.01
ค่าความแข็ง (N)	5.48±7.32			

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยทำการเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator) พบว่า ตัวผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.90±0.13 และค่าปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ย (a_w) เท่ากับ 0.42±0.01 ซึ่งยังปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Jay et al., 2005) ค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness) เท่ากับ 5.48±7.32 N เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย ค่าปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ย (aw) และ ค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness) จากตารางที่ 5 และ 6 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการทดสอบครั้งแรก และผลการวัดค่าสีในรูปค่า L*a*b* พบว่า ตัวผลิตภัณฑ์มีค่า L* เท่ากับ 70.42±0.01 ค่า +a* เท่ากับ 9.78±0.00 และ +b* เท่ากับ 50.27±0.01 เมื่อเทียบกับการทดสอบครั้งแรกพบว่า ค่า L* มีค่าลดลง ค่า +a* มีค่าเพิ่มขึ้น และ +b* มีค่าเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าค่าต่างๆในการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากการทดสอบในครั้งแรกโดยการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย (Moisture content) และค่าปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ย (a_w) เกิดจากการดูดความชื้นกลับของตัวผลิตภัณฑ์ ส่วนการเข้มขึ้นของสีเหลือง มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสารให้ความหวาน คือ น้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ทำปฏิกิริยากับกรดอามิโน (Amino acid) สารเอมี (Amine) หรือโปรตีน (Protein) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยา Maillard หรือการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (พรพิมล, 2553)

สรุป

จากการทำวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงจนได้เป็นสูตรไอศกรีมโยเกิร์ตเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ พบว่ามีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.41±0.16 และค่าปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ย (a_w) เท่ากับ 0.25±0.10 ซึ่งปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ มีค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 87.86±0.50, 7.34±0.68 และ 42.40±0.68 ตามลำดับ ในการตรวจวัดเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness) เท่ากับ 40.75±2.60 N ซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ร่วน และละลายในปาก หลังจากทำการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเป็นระยะเวลา 5 เดือน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพอีกครั้ง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 8.90±0.13 และปริมาณน้ำอิสระเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (a_w) เท่ากับ 0.42±0.01 ซึ่งปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ มีค่าสี L* ลดลง a* เพิ่มขึ้น และ b* เพิ่มขึ้น เท่ากับ 70.42±0.01, 9.48±0.00 และ 50.24±0.01 ตามลำดับ และเนื้อสัมผัสมีค่าความแข็งเฉลี่ย (Hardness) ลดลง เท่ากับ 5.48±7.32 N

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้ สำเร็จได้เนื่องจาก อาจารย์ ดร.วันวิสาข์ ทวีชื่นสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงาน ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คอยให้คำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหา ด้วยความเต็มใจ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาอบรมสั่งสอน ให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอบคุณ อาจารย์พรพิมล มูลแก้ว คุณณัฐพร ชัชวาลธาตรี คุณพีรวัฒน์ แตงโสภา ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือต่างๆ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบให้คำปรึกษาในการทดสอบทางกายภาพจนกระทั่งทำการทดสอบสำเร็จลุล่วง ขอบคุณ ผู้ประกอบการ คลีนฟาร์มเมล่อน ที่ให้การสนับสนุนเมล่อนสดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเมล่อนอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งตลอดมา สุดท้ายนี้ ขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

จินดารัตน์ สิริวิจักษณ์. (2564). เมล่อน ผลไม้หวานฉ่ำ อร่อยล้ำ คุณประโยชน์มากมาย. สืบค้นจาก: https://hellokhunmor.com/โภชนาการเพื่อสุขภาพ/ข้อมูลโภชนาการ/เมล่อน-คุณประโยชน์- โภชนาการ/ (สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566)

ธิราพร จุลยุเสน.(2565) การประเมินคุณภาพอาหารทางประสาทสัมผัส. เอกการประกอบการสอนรายวิชา 521432 นวัตกรรมและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ชีวภาพ. 11-12.

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. (2547). เทคโนโลยีการอบแห้งแบบเยือกแข็ง ตอนที่ 1. วารสารสมาคมเครื่อง ทำความเย็นไทย. Keep Cool.

พรพิมล ม่วงไทย. (2553). เคมีของการเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). ปีที่ 4 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-ธันวาคม.

รักกล้า. (2563). คู่มือแนวทางปลูกเมล่อนญี่ปุ่นเบื้องต้น. สืบค้นจาก: https://www.rukkla.com/content/คู่มือแนวทางปลูกเมล่อนญี่ปุ่นเบื้องต้น (สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566)

สุนัดดา โยมญาติ. (2557). โยเกิร์ต. สืบค้นจาก: https://pantip.com/topic/40012464/comment8 (สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566)

Ahmed, J., Thomas, L., & Khashawi, R. (2020). Influence of hot-air drying and freez-drying on functional, rheological, structural and dielectric properties of green banana flour and dispersions. FoodHydrocolloids, 99, doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105331

AOAC. (2010). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

Jay, J.M., Loessner, M.J., & Golden, D.A. (2005). Modern food microbiology. New York: Springer.

FE-A05

การออกแบบเครื่องลำเลียงอาหารผงแบบแยกสองท่อ

Pneumatic vacuum conveyor machine design using two separate pipes

ญาณิศา หนูประสิทธิ์[1] อรวรรณ วิเท[1] และ ชาญณรงค์ วันทา[1*]

Yanisa Nooprasit1, Aorrawan Wite1 and Channarong Wantha[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: cwantha@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินพัฒนาเครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบแยกสองท่อ เพื่อลำเลียงวัสดุประเภทผงจากเครื่องลำเลียงสุญญากาศจำนวนหนึ่งเครื่องไปให้กับเครื่องบรรจุภัณฑ์จำนวนสองเครื่อง ถังรับทรงกระบอกและช่องปล่อยสองช่อง มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมติดตั้งไว้ที่ผนังของถังรับทรงกระบอกจะถูกออกแบบขึ้นใหม่สำหรับนำไปติดตั้งกับเครื่องลำเลียงสุญญากาศระบบเดิม วัสดุทดสอบคือผงเกลือแร่ อัตราการไหลของผงเกลือแร่เข้าสู่ถังรับทรงกระบอกคือ m_t= 0.194 kg/s และวัสดุทดสอบจะไหลผ่านช่องปล่อยทั้งสองโดยแรงโน้มถ่วง ผลการทดลอง พบว่า เครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบแยกสองท่อสามารถทำงานได้ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราการไหลของช่องปล่อยทั้งสองไม่เท่ากัน เพราะมีการสูญเสียของการไหล เนื่องจากความเสียดทานของผิวช่องปล่อย

คำสำคัญ: การขนถ่ายวัสดุ การขนถ่ายด้วยลม เครื่องลำเลียงสุญญากาศ โรงงานอาหาร

Abstract

The aim of this research is to develop a vacuum conveyor using two separate discharging ports to transport powder materials from one vacuum conveyor to two packaging machines. A container with two discharging ports constitutes a rectangular cross-sectional tube mounted in such a way that the container is designed for use with the original vacuum conveyor system. The flow of the mineral powder test into container A is mt= 0.194 kg/s and flows through the two discharging ports through gravitational force. The results showed that the two discharging port vacuum conveyors work, but the mass flow rates of the two discharging ports do not have the same rate because the loss of flow occurred due to the friction of the discharging port surfaces.

Keyword: Material Handling, Pneumatic conveyor, Vacuum conveyor, Food factory

1. บทนำ

เครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบนิวแมติก (Vacuum conveyor or pneumatic conveyor) เป็นเครื่องลำเลียงวัสดุประเภทหนึ่งมักมีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และสารเคมี ด้วยเพราะมันไม่มีการปนเปื้อนระหว่างกระบวนและการทำงานเป็นตามมาตรฐานของ GMP โดยที่เครื่องลำเลียงดังกล่าวนี้มีความสามารถในการลำเลียงวัสดุปริมาณมวลได้หลายชนิด เช่น ผงอาหาร ผงเคมี เม็ดพลาสติก และเมล็ดพืช เป็นต้น โดยวัสดุมักอยู่ในสถานะแห้ง ความชื้นน้อย ลอยตัวได้ เพื่อให้ลมสามารถพาวัสดุไปตามระบบท่อ ไม่ว่าจะเป็นระบบท่อในแนวตั้ง แนวนอน หรือแนวท่อลาดเอียงก็ตาม โดยเครื่องจะทำงานภายใต้วิธีการลำเลียงด้วยแรงดันลบใช้ระบบปั๊มสร้างแรงดูดวัสดุปริมาณมวลผ่านระบบท่อ เหมาะกับการขนถ่ายระยะทางไม่ไกลมานัก (บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ, 2524) ด้วยข้อดีหลายอย่างทำให้เครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบนิวแมติกถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ หรือเครื่องจักรอื่นๆ เช่น เครื่องผสม และเครื่องบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

เครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบนิวแมติก มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อค้นหาวิธีการลำเลียงวัสดุด้วยลมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด Fahimian, Kortschot, and Sain (2016) ได้ออกแบบเบื้องต้นและทดลอง วิธีการลำเลียงด้วยลมแบบใหม่เพื่อกระจายเส้นใยธรรมชาติในเทอร์โมเซ็ตโพลิเมอร์ (Thermoset Polymers) Klinzing, 2018 ได้ทำการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องลำเลียงแบบนิวแมติก พบว่า วัสดุที่มีอนุภาคน้อยกว่า 200 μm จะเหมาะสมต่อการลำเลียงด้วยลม และจากการสำรวจเอกสาร พบด้วยว่า โดยมากงานวิจัยให้ความสำคัญในการออกแบบด้านประสิทธิภาพของการลำเลียง โดยการศึกษาใช้วิธีการจำลองเป็นส่วนมาก ด้วยเพราะการทดลองจะใช้ทรัพยากรที่ยุ่งยากกว่า Raksha, Bohomaz, Shcheka, Stefanov, and Nesterenko, (2018) ได้ศึกษาอัลกอริทึม (Algorithm) สำหรับการคำนวณของระบบลำเลียงแบบนิวแมติก งานวิจัยแสดงให้เห็นว่า กำลังของคอมเพรสเซอร์ตัวขับของการขนส่งด้วยลมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพบว่าในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารผง มีปัญหาในส่วนของกระบวนการผลิต คือการพยายามลดต้นทุนโดยการใช้เครื่องลำเลียงด้วยสุญญากาศหนึ่งเครื่องต่อเครื่องบรรจุภัณฑ์หนึ่งเครื่อง ทำให้เมื่อมีความต้องการกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น เครื่องลำเลียงด้วยสุญญากาศจึงไม่เพียงพอ การสลับใช้งานส่งผลกระทบต่อการสูญเสียเวลาผลิต การใช้พลังงานไฟฟ้าไม่คุ้มค่าและพนักงานเกิดความสับสนในกระบวนการผลิต วิธีการดำเนินการจัดซื้อเครื่องเพิ่มทำให้เกิดต้นทุนการผลิตแบบคงที่ เมื่อพิจารณาเครื่องลำเลียงด้วยสุญญากาศจะมีหนึ่งส่วนประกอบที่เรียกว่า Vacuum receiver เป็นส่วนประกอบของระบบลำเลียงประเภทนี้ ภายใน Vacuum receiver จะมี Filter, Container, Discharging valve และ Vacuum pump ทำงานสอดคล้องกันเพื่อลำเลียงวัสดุตามต้องการ เมื่อวัสดุเข้ามาสู่ Container จนเต็ม ระบบควบคุมจะให้ Discharging valve เปิดออก และวัสดุจะไหลผ่านช่องปล่อย

หรือ Discharging port และทิ้งลงในภาชนะจัดเก็บหรือเครื่องบรรจุภัณฑ์โดยตรง ซึ่งปกติเครื่องลำเลียงด้วยสุญญากาศจะมีช่องปล่อยเพียงหนึ่งช่องเท่านั้น แต่ถ้าเครื่องมีความจุวัสดุได้ค่อนข้าง การปรับปรุงช่องปล่อย โดยการออกแบบให้แยกออกเป็นสองทางเพื่อเข้าสู่เครื่องบรรจุภัณฑ์สองเครื่องโดยตรง จะเกิดประโยชน์ต่อการเพิ่มกำลังการผลิตของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารผง หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ ดังนั้น งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบเครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบแยกสองท่อ โดยออกแบบถังรับทรงกระบอกและช่องปล่อยสองช่อง วัสดุปริมาณมวลจะไหลโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง การทดลองดำเนินการร่วมกับภาคอุตสาหกรรม

2. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแบบไดอะแกรมแผนผัง (Schematic diagram) ของชุดทดลอง ซึ่งภายในตัว Vacuum receiver มีอุปกรณ์มาตรฐานทั่วไป เช่น Filter, Container และ Discharging valve โดยที่ถังรับทรงกระบอก (Container) และช่องปล่อย (Discharge port) คือ ส่วนที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง ถังรับทรงกระบอก ทำจากสแตนเลสเกรด 304 ภายในมีแผ่นเอียง (Sloping plate) ติดตั้งไว้ เพื่อใช้บังคับทิศทางการไหลของผงเกลือแร่ ส่วนช่องปล่อยมีลักษณะเป็นท่อกลวงหน้าตัดสี่เหลี่ยมทำจากสแตนเลสเกรด 304 ขึ้นรูปโดยวิธีการเชื่อม มีความยาว 96 cm ช่องปล่อยถูกติดตั้งให้รับวัสดุผงที่บริเวณผนังด้านหนึ่งใกล้บริเวณก้นถังของถังรับทรงกระบอก ในการทดลองถังรับทรงกระบอกถูกติดตั้งที่ความสูงจากพื้น 193 cm ช่องปล่อยเอียงทำมุม 45 องศากับแนวระดับ เพื่อให้เกิดการไหลโดยแรงโน้มถ่วง

สำหรับเครื่องลำเลียงด้วยสุญญากาศที่ใช้ทดลองมีคุณสมบัติ ดังนี้ มีอัตราการดูด 350 kg/hr และความดันลมเข้า 0.6 MPa ปริมาณลม 180 l/min วัสดุทดลองคือ ผงเกลือแร่ปริมาณ 7.7 kg สำหรับขั้นตอนการทดลองเมื่อ Vacuum producer สร้างสุญญากาศ ผงเกลือแร่ปริมาณ 7.7 kg จะถูกดูด และถูกแยกจากอากาศโดย Filter จะตกลงในถังทรงกระบอกที่ออกแบบไว้ เมื่อผงเกลือแร่ภายในถังทรงกระบอกได้ปริมาณตามที่จะ ทดสอบแล้ว ตัววาล์วปล่อย (Discharging valve) จะเปิดออก ทำให้ผงเกลือแร่ไหลด้วยอัตราการไหลรวม m_t= 0.194 kg/s เข้าสู่ช่องปล่อย 1 และ 2

3. สมการความต่อเนื่องของมวล

จากการออกแบบให้ผงเกลือแร่ไหลออกทางช่องปล่อยจำนวนสองช่อง ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของช่องหรือท่อเท่ากัน ดังนั้นจากสมการความต่อเนื่องของมวล (Continuity Equation) หรืออนุรักษ์มวล (White, F. M., 2016) จะเขียนได้เป็น

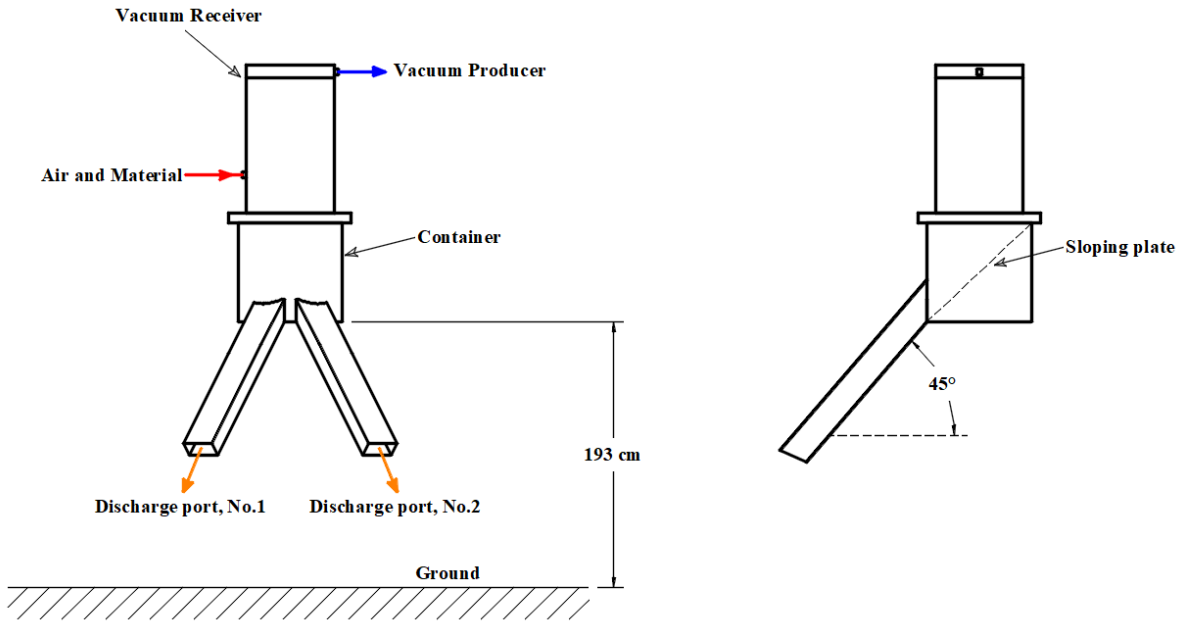
$$m_t = m_1 + m_2 \tag{1}$$

เมื่อ

m_t คือ อัตราการไหลรวม (kg/s)

m_1 คือ อัตราการไหลของช่องปล่อย 1 (kg/s)

m_2 คือ อัตราการไหลของช่องปล่อย 2 (kg/s)



รูปที่ 1 แบบไดอะแกรมแผนผัง

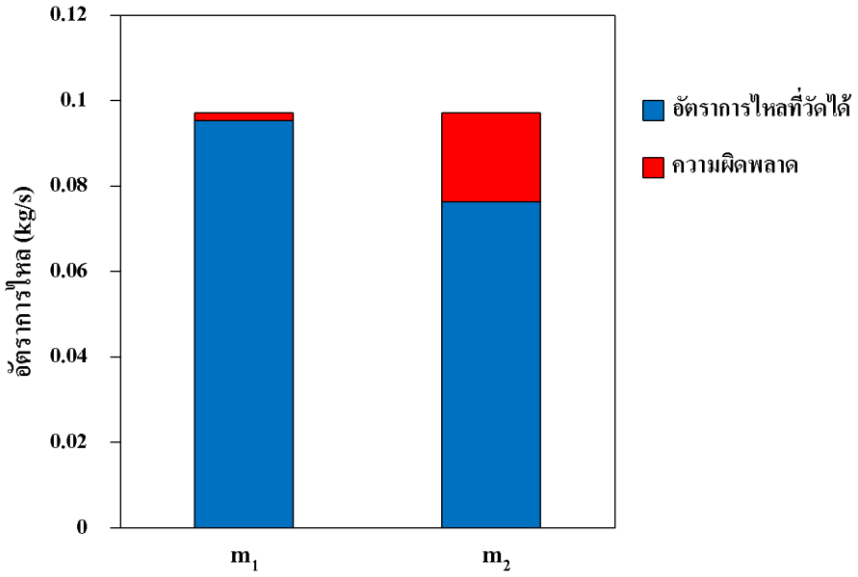
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ผงเกลือแร่อัตราการไหลรวม m_t= 0.194 kg/s จะไหลออกจากช่องปล่อยที่ 1 และ 2 ที่ออกแบบไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ช่องปล่อยที่ 1 มีผงเกลือแร่ที่ไหลออกด้วยอัตราการไหลเฉลี่ย m_1= 0.095 kg/s ในขณะที่ช่องปล่อยที่ 2 มีผงเกลือแร่ที่ไหลออกด้วยอัตราการไหลเฉลี่ย m_2= 0.076 kg/s ซึ่งจะพบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น โดยคิดเป็นความผิดพลาดเฉลี่ย 6.178% และ 21.493% สำหรับช่องปล่องที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งช่องปล่อยที่ 1 มีอัตราการไหลของผงเกลือมากกว่าอัตราการไหลของผงเกลือแร่ที่ช่องปล่อยที่ 2 ประมาณ 20% สาเหตุที่ผงเกลือแร่ที่ไหลผ่านช่องปล่อยไม่สามารถไหลที่อัตราการไหลได้เท่า ๆ กัน อาจเกิดจากการใช้ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมทำให้เกิดการสูญเสีย มีความเสียดทานต่อการไหล การขึ้นรูปท่อของช่องปล่อยใช้วิธีการเชื่อม จึงเกิดผิวไม่เรียบ จึงเพิ่มความเสียดทานต่อการไหล มีเศษผงเกลือแร่ติดค้างในช่องปล่อย แม้ว่าจะมีแผ่นเอียงในถังทรงกระบอกเป็นตัวช่วยเร่งอัตราการไหลของผงเกลือแร่ก็ตาม โดยที่สาเหตุดังกล่าวนี้จะพบมากในช่องปล่อย

ที่ 2 สำหรับในรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของผงเกลือแร่ในแต่ละช่องปล่อย ซึ่งพบว่า ช่องปล่อยที่ 1 มีอัตราการไหลที่ผิดพลาดน้อยกว่าช่องปล่อยที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

การทดลอง	อัตราการไหลเข้าถัง (kg/s)	อัตราการไหลออก (kg/s)		ความผิดพลาด (%)	
	m_t	m_1	m_2	m_1	m_2
1	0.194	0.100	0.081	2.960	16.860
2	0.194	0.100	0.083	2.703	14.286
3	0.194	0.100	0.086	2.960	11.197
4	0.194	0.082	0.055	16.088	43.629
เฉลี่ย	0.194	0.095	0.076	6.178	21.493



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของผงเกลือแร่ของแต่ละช่องปล่อย

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและทดสอบเครื่องลำเลียงสุญญากาศแบบแยกสองท่อ โดยออกแบบถังรับทรงกระบอกและช่องปล่อยสองช่อง มีลักษณะเป็นท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมติดตั้งไว้ที่ผนังของถังรับทรงกระบอก ซึ่งช่องปล่อยสองช่องถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากัน วัสดุทดสอบคือผงเกลือแร่น้ำหนัก 7.7 kg ซึ่งจะถูกลำเลียงผ่าน

ช่องปล่อยทั้งสองช่องโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ผงเกลือแร่มีอัตราการไหลรวม m_t= 0.194 kg/s ผลการทดลอง พบว่าช่องปล่อยทั้งสองช่องที่ออกแบบสามารถลำเลียงผงเกลือแร่ออกจากถังรับทรงกระบอกได้ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าช่องปล่อยทั้งสองช่องอัตราการไหลไม่เท่ากัน โดยช่องปล่อยที่ 1 มีอัตราการไหลเฉลี่ย 0.095 kg/s ในขณะที่ช่องปล่อยที่ 2 มีอัตราการไหลเฉลี่ย 0.076 kg/s ซึ่งไม่สอดคล้องกับกฎการอนุรักษ์มวล สาเหตุที่อัตราการไหลของช่องปล่อยไม่เท่ากัน อาจเพราะช่องปล่อยถูกออกแบบเป็นท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมทำให้เกิดการสูญเสียในการไหล ท่อมีลักษณะผิวไม่เรียบจึงสร้างความเสียดทานต่อการไหล และพบเศษผงเกลือแร่ติดค้างที่ผิวท่อจำนวนหนึ่งซึ่งจะเหนี่ยวนำให้ผงเกลือแร่ไหลช้าลง และสาเหตุที่ช่องปล่อยที่ 2 มีการติดค้างมากกว่าช่องปล่อยที่ 1 เพราะเนื่องจากการขึ้นรูปช่องปล่อยด้วยวิธีการเชื่อมไม่ดีเท่ากับช่องปล่อยที่ 1

ดังนั้นในการออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้งานจริง ควรใช้ช่องปล่อยที่มีหน้าตัดกลม และมีพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยที่สอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. (2524). *เครื่องขนขนถ่าย ระบบการขนถ่ายต่อเนื่อง*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics*. (8th ed). New York. McGraw-Hill.

Fahimian, M., Kortschot, M., & Sain, M. (2016). Preliminary design and experimental investigation of a novel pneumatic conveying method to disperse natural fibers in thermoset polymers. *Materials*, *9*(7), 548.

Klinzing, G. E. (2018). A review of pneumatic conveying status, advances and projections. *Powder technology*, *333*, 78-90.

Raksha, S., Bohomaz, V., Shcheka, I., Stefanov, V., & Nesterenko, A. (2018). Research of the dependence of pneumatic conveyor compressors power on project parameters of transport machines. In MATEC Web of Conferences (Vol. 230, p. 01009). EDP Sciences.

FE-A06

ฟิล์มอินดิเคเตอร์ธรรมชาติสำหรับบ่งชี้คุณภาพเนื้อไก่

Natural indicator film for indicating chicken meat quality

ณัฐธิดา มากมี[1] ปลายฟ้า บุญสา[1] สุชัญญา กุลนิรัติศัย[1] และ อังคณา อ.สุวรรณ[1]

Natthida Makmee[1], Plaifa Boonsa[1], Suchanya Klunnirattisai[1] and Aungkana Orsuwan[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[1]Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Campus

*Corresponding Author E-mail: Aungkana.or@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวโพดผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (Butterfly Pea Flower; BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (Red Roselle Flower, RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (Butterfly Pea Flower mix with Red Roselle Flower, BRF) สำหรับประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มอินดิเคเตอร์บ่งชี้การเน่าเสียของเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ 35±5°C ฟิล์ม BPF RSF และ BRF ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อสารละลาย มีสีเริ่มต้นเป็นสีน้ำเงินเข้ม สีชมพูหม่น และสีน้ำเงินม่วง ฟิล์ม BPF และ BRF มีการเปลี่ยนสีที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนเมื่อทดสอบกับสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 และ pH 10 เปลี่ยนจากสีเริ่มต้นเป็นสีแดง และสีเขียวตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการเน่าเสียของเนื้อสัตว์ ฟิล์มทั้งสองจึงถูกเลือกมาประยุกต์ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของฟิล์มและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเนื้อไก่บดในภาชนะบรรจุช่วง 0 6 12 26 และ 30 hrs พบว่าที่ 12 hrs ฟิล์ม BPF และ BRF มีสีซีดลง และ 26 hrs เปลี่ยนเป็นสีเขียว ฟิล์ม BRF มีการเปลี่ยนสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนกว่าฟิล์ม BPF อย่างไรก็ตามฟิล์ม BPF และ BRF มีแนวโน้มการเปลี่ยนสีสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุ ดังนั้นฟิล์ม BPF และ BRF สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นฟิล์มอินดิเคเตอร์ธรรมชาติสำหรับบ่งชี้การเสื่อมเสียของเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุได้

คำสำคัญ: อินดิเคเตอร์; ฟิล์มบริโภคได้; ดอกอัญชัน; ดอกกระเจี๊ยบแดง; อายุการเก็บรักษา

Abstract

This research aimed to study the properties of biodegradable films from corn starch mixed with the extract from butterfly pea flower (BPF), red roselle flower (RSF), and butterfly pea mixed with red roselle flower (BRF) for application as a freshness indicator for chicken meat in the containers at 35±5°C. The films of BPF, RSF, and

BRF were formed by solution casting, and their default colors are dark blue, magenta, and blue violet, respectively. BPF and BRF films showed a noticeable discoloration when tested with pH 1 and pH 10 buffer solutions by changing from their initial color to red and green color, respectively. This result is consistent with the spoilage mechanism of meats. Therefore, BPF and BRF films were selected to be applied as an indicator to study the correlation between film discoloration and the properties of ground chicken meat in containers at 0, 6, 12, 26, and 30 hrs. It was found that the color of BPF and BRF films faded at 12 hrs and turned green at 26 hrs, with BRF having a more noticeable discoloration than BPF. However, BPF and BRF have discoloration tendencies consistent with a change in the physical and chemical properties of chicken meat in containers. Consequently, BPF and BRF films can be applied as a natural indicator film for indicating spoilage of chicken meat in containers.

Keywords: Indicator; edible film; butterfly pea flower; red roselle flower; shelf life

บทนำ

เนื้อไก่สดเป็นวัตถุดิบประกอบอาหารที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สามารถหาซื้อได้ง่ายทั่วไปตามท้องตลาด และห้างสรรพสินค้า มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัว และเนื้อหมู เนื้อไก่สดในทุกชิ้นส่วนเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง ย่อยง่าย ไขมันต่ำ สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู อย่างไรก็ตามเนื้อไก่สดมีเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนอยู่จำนวนมาก ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น อีกทั้งประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนและระบบการควบคุมอุณหภูมิขณะขนส่งยังมีการควบคุมคุณภาพที่ไม่ได้มาตรฐาน และมีต้นทุนในการจัดการสูง ดังนั้นการกำหนดวันหมดอายุบนบรรจุภัณฑ์นั้นเป็นเพียงการคาดคะเนจากวันที่เริ่มผลิตไปจนวัดหมดอายุ การบ่งชี้คุณภาพและการเสื่อมเสียของเนื้อไก่สดด้วยแถบวัดสีหรืออินดิเคเตอร์ในบรรจุภัณฑ์อาหารในรูปแบบบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (smart packaging) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาปริมาณขยะจากการทิ้งอาหารหมดอายุและอาหารที่ยังไม่เสื่อมเสียจริง อย่างไรก็ตามอินดิเคเตอร์ที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีการใช้สารเคมีที่มีรายงานการเป็นสารก่อมะเร็งมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของอาหารในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนลงไปในอาหาร และอาจส่งเสียผลต่อผู้บริโภคได้ ฟิล์มอินดิเคเตอร์จากสารสกัดจากธรรมชาติ จึงเป็นอีกทางเลือกที่จะนำมาใช้ วัตถุดิบจากธรรมชาติหลายชนิดมีสมบัติใกล้เคียงอินดิเคเตอร์สังเคราะห์และถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกเฟื่องฟ้า ดอกชบา ช้องนาง ขมิ้นชัน ใบเตย กะหล่ำปลีม่วง เปลือกมังคุด กระเจี๊ยบ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ในการบ่งชี้ที่แตกต่างกัน ดอกอัญชันเป็นตัวอย่างที่ถูกนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในฟิล์มเป็นจำนวนมาก รัชฎาพร และคณะ (2562) ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มอินดิเคเตอร์จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร่วมสารสกัดดอกอัญชัน เพื่อบ่งชี้ความสดของเนื้อปลาแซลมอนและเนื้อปลาดอลลี่

(dolly fish) โดยทดลองเบื้องต้นให้ฟิล์มสัมผัสกับไอระเหยของกรดอะซิติกและแอมโมเนียเพื่อสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ทันที เมื่อฟิล์มสัมผัสกับไอระเหยของกรดจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง แล้วจึงเปลี่ยนเป็นสีชมพู ในขณะที่เมื่อสัมผัสกับไอระเหยของด่างจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปจนกระทั่งเป็นสีเขียว เมื่อนำฟิล์มอินดิเคเตอร์ไปประยุกต์ใช้กับเนื้อปลาแซลมอนและปลาดอลลี่ ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น 4°C เป็นระยะเวลา 15 วัน โดยเก็บข้อมูลทุก 3 วันพบว่าฟิล์มอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนสีตามระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อปลา โดยเริ่มเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำเงินซีดจนกระทั้งเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งการเปลี่ยนสีของฟิล์มอินดิเคเตอร์สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามคุณภาพของเนื้อปลา นอกจากสมบัติการเป็นอินดิเคเตอร์แล้ว ดอกอัญชันยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย เนื่องจากสารสำคัญในอัญชัน คือ สารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารที่มีสีตั้งแต่สีม่วงแดงจนถึงสีน้ำเงิน ทั้งนี้ขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่างของดิน ช่วยต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นในบรรจุภัณฑ์ และการรักษาคุณภาพให้อาหารมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นได้อีกเล็กน้อย กระเจี๊ยบแดงเป็นอีกหนึ่งพืชสมุนไพรพื้นเมืองที่มีการปลูกทั่วไปในประเทศไทยและมีสารแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับดอกอัญชัน กระเจี๊ยบสามารถใช้บริโภค และใช้เพื่อการรักษาโรค เช่น ยาขับปัสสาวะ รักษาภาวะผิดปกติของระบบทางเดินอาหารและไขมันในเลือดสูง ใช้ขับเหงื่อและลดความดันเลือด และยังพบมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางอีกด้วย (พนิดาและเกศศิรินทร์, 2562) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อินดิเคเตอร์จากธรรมชาตินั้น ต้องเลือกใช้วัตถุดิบมีกลไกการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตุได้ด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน และมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหรือการเสื่อมเสียที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของอาหาร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษากลไกการทำงานของฟิล์มอินดิเคเตอร์จากสารสกัดดอกอัญชันและเพิ่มความสามารถในการบ่งชี้ของฟิล์มอินดิเคเตอร์ด้วยสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบในฟิล์มแป้งข้าวโพดเพื่อประยุกต์ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพและการเสื่อมเสียของเนื้อไก่

วัสดุและวิธีการทดลอง

1.การสกัดสารสำคัญจากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชันผสมกระเจี๊ยบแดง โดยประยุกต์วิธีการสกัดจาก รัชฎาพรและคณะ (2562) เริ่มจากชั่งน้ำหนักดอกอัญชันแห้งบดละเอียดเติมลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นและเอทานอลในอัตราส่วน 1:10:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สกัดเป็นเวลา 1 hrs ที่อุณหภูมิ 30±2°C จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ปรับค่า pH ของสารสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ ให้มีค่าเท่ากับ 5 ก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป และทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นดอกกระเจี๊ยบแห้งและดอกอัญชันแห้งผสมดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ

2.วัดค่าสีของสารสกัดที่ได้ในข้อ 1 และฟิล์มแป้งข้าวโพด และฟิล์มแป้งข้าวโพดร่วมกับสารสกัด ในระบบ CIE (L*,a*,b*) ด้วยเครื่องวัดสีแบบพกพา สำหรับสารสกัด นำสารสกัดใส่ในถ้วย quartz cup ที่วางไว้ภายในถ้วยพลาสติกสีดำ แล้วจึงใช้เครื่องวัดสีแบบพกพาทำการวัดค่าตัวอย่างสารสกัดจำนวน 3 ซ้ำ/ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนั้นๆ สำหรับฟิล์ม นำแผ่นฟิล์มลงบนกระดาษสีขาว แล้วจึงนำเครื่องวัดสีมาวัดค่าสีจำนวน 5 จุดต่อแผ่นตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนั้นๆ

3.ขึ้นรูปฟิล์มร่วมกับสารสกัด โดยชั่งแป้งข้าวโพด 5 กรัม ผสมน้ำกลั่น 85 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85-95 °C จากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงที่ 40-50°C เติมกลีเซอรอล 2.5 กรัม สารสกัด 10 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นปรับ pH ของสารละลายฟิล์มให้มีค่า pH เท่ากับ 5 ก่อนเทลงบนเพลตพลาสติกแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 13 h เก็บฟิล์มที่ได้ในโหลควบคุมความชื้นที่ 58±5% RH และ25±5°C

4.วัดความชื้นของฟิล์มด้วยวิธี (AOAC, 2000) ในตู้อบแบบลมร้อน (Air Oven Method) เริ่มจากอบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105-107 °C ประมาณ 15 นาที นำมาใส่ในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัมใส่ถ้วย นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105-107 °C นาน 24 hrs แล้วนำออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำซ้ำ อบครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักที่แตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม ใช้น้ำหนักสุดท้ายที่น้อยที่สุดเป็นน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W} \times 100 \quad \text{(Wet basis)} \tag{1}$$

เมื่อ W = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียม (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

5.วัดความหนาของฟิล์มโดยการเฉลี่ยจำนวน 5 จุด/แผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่องวัดความหนา thickness gauge

6.ทดสอบการเปลี่ยนสีของฟิล์ม ประยุกต์จากคุณาธิป (2559) โดยนำฟิล์มมาตัดให้ได้ขนาด 1x1 เซนติเมตร ใส่ในเพลตพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และหยดสารละลายบัฟเฟอร์ pH1-11 ปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงบนฟิล์มตัวอย่างแล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีโดยการถ่ายภาพ

7.ทดสอบการละลาย ตามวิธีของ Ekthamasut and Akesowan (2001) นำตัวอย่างฟิล์มไปอบแห้งที่ 105°C เป็นเวลา 3 hrs เมื่อครบเวลาแล้วนำไปชั่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มแห้ง จากนั้นผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กวนด้วย Magnetic Stirrer เป็นเวลา 1 hrs แล้วนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1 เพื่อแยกฟิล์มที่เหลือ นำ

กระดาษกรองพร้อมฟิล์มที่เหลือไปอบที่ 105°C เป็นเวลา 3 hrs หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละการละลายจากสูตร

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{W - (a_2 - a_1)}{W} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของฟิล์มหลังจากอบ 3 hrs

a_1 = น้ำหนักของกระดาษกรอง

a_2 = น้ำหนักของกระดาษกรองและฟิล์มที่เหลืออยู่

8. นำเนื้อไก่สดบดใส่ถ้วยพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm ถ้วยละ 40 กรัม จำนวน 30 ถ้วย แปะฟิล์มขนาด 1x1 เซนติเมตร บนตำแหน่งตรงกลางฝาพลาสติกใสภายในถ้วย โดยเป็นฟิล์ม BPFและฟิล์ม BRF อย่างละ15 ถ้วย จากนั้นนำทั้งหมดไปเก็บใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35±5°C และสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม BPF และ BRF สมบัติของเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุ ได้แก่ ลักษณะปรากฏทางกายภาพ และค่า pH ของเนื้อไก่สดบดที่เวลา 0 6 12 26 30 hrs อุณหภูมิ 35±5°C พร้อมทั้งถ่ายภาพและวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีแบบพกพา

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของสารสกัดดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (BRF)

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าความสว่าง (ค่า L*) ของสารสกัด RSF มีค่าความสว่างสูงสุด รองลงมาคือสารสกัด BRF และสารสกัด BPF มีค่าความสว่างน้อยที่สุด ค่าความเป็นสีแดงสีเขียว (ค่า ±a*) สารสกัด RSF มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด รองลงมาคือสารสกัด BRF และสารสกัด BPF มีค่าความเป็นสีแดงน้อยที่สุด สอดคล้องกับสีของวัตถุดิบที่นำมาสกัด เนื่องจากสีของดอกกระเจี๊ยบมีลักษณะสีแดงและดอกอัญชันเป็นสีม่วงอมน้ำเงิน ซึ่งพบว่าค่า b* มีเครื่องหมายเป็นลบในสารสกัด BPF และ BRF หมายความว่ามีสีออกไปทางสีน้ำเงินมากกว่าสีเหลือง อย่างไรก็ตามสารสกัด RSF เป็นเพียงสารสกัดเดียวที่มีค่า b* มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่ามีสีออกไปทางสีเหลืองมากกว่าสีน้ำเงิน ซึ่งค่าสีที่วัดได้แสดงในตารางที่ 1 สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของสารสกัดที่ได้จากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบ

ตารางที่ 1 ค่าสีของสารสกัดดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (BRF)

ชนิดสารสกัด	ค่าสี		
	L*	a*	b*
BPF	0.12 ± 0.03^{a}	0.81 ± 0.13^{a}	-0.04 ± 0.13^{a}
RSF	0.57 ± 0.13^{c}	2.02 ± 0.07^{b}	0.64 ± 0.58^{b}
BRF	0.30 ± 0.11^{b}	1.17 ± 0.23^{a}	-0.59 ± 0.41^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับท้ายตัวเลขที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกับของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ0.05

ตารางที่ 2 ค่าสีของฟิล์มแป้งข้าวโพด ที่ไม่เติม (Control) และเติมสารสกัดดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (BRF)

ชนิดฟิล์ม	ค่าสี		
	L*	a*	b*
Control	85.18 ± 0.19^{d}	-1.44 ± 0.02^{a}	3.63 ± 0.11^{b}
BPF	40.33 ± 0.60^{a}	-0.95 ± 0.44^{a}	-15.51 ± 1.31^{a}
RSF	61.18 ± 0.28^{c}	10.04 ± 0.19^{b}	6.63 ± 0.45^{c}
BRF	46.47 ± 0.96^{b}	-1.50 ± 0.15^{a}	-13.87 ± 0.22^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับ ท้ายตัวเลขที่แตกต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05

2. สมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าวโพดผสมสารสกัดดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบ

2.1 ลักษณะปรากฏและค่าสีของฟิล์ม

ฟิล์มแป้งข้าวโพด (Control) และฟิล์มแป้งข้าวโพดผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSP) และดอกอัญชันดอกผสมกระเจี๊ยบ (BRF) มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีฟองอากาศแทรกอยู่บริเวณขอบของแผ่นฟิล์มเล็กน้อย มีสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าเป็นสีขาว สีน้ำเงินเข้ม สีชมพูหม่น และสีน้ำเงินม่วง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 (Before) และเมื่อทำการวัดค่าสีของฟิล์มทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มแป้งข้าวโพด (Control) และฟิล์มแป้งข้าวโพดผสมสารสกัดทั้ง 3 ชนิด (BPF, RSF, and BRF) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2 พบว่า การเติมสารสกัดลงในสารละลายฟิล์ม มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของฟิล์ม โดยสารสกัด BPF มีผลให้ฟิล์มมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ BRF และ RSF ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าสีของสารสกัดในตารางที่ 1 ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่าการเติมสารสกัด RSF ส่งผลให้มีค่า a* เป็นบวก และมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งข้าวโพดที่ไม่ได้เติมสารสกัด (control) และที่เติมสารสกัดชนิดอื่นลงไปซึ่งมีค่า a* เป็นลบ หมายความว่ามีความเป็นสีเขียวมากกว่า

สีแดง ส่วนค่า b* พบว่าฟิล์ม RSF มีค่า b* เป็นบวกและมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ BPFและ BRF มีค่า b* ติดลบ แสดงว่าฟิล์มทั้งสองนี้มีสีน้ำเงินมากกว่าสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีของสารสกัดที่

2.2 ความหนา ความชื้นและการละลายของฟิล์ม

จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนา ความชื้น และการละลายของฟิล์มแป้งข้าวโพด (control) และฟิล์มแป้งข้าวโพดที่ผสมสารสกัดทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 3) พบว่าฟิล์มทั้ง 4 ตัวอย่างมีความหนาและค่าการละลายใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากการควบคุมน้ำหนักของสารละลายก่อนเข้าอบในตู้อบลมร้อน จากตารางที่ 3 พบว่า BPF และ RSF มีความชื้นสูงกว่า Control เล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างขององค์ประกอบแอนโทไซยานินในเมทริกซ์ของ BPF และ RSF ที่เพิ่มเข้ามาจาก Control ทำให้มีโมเลกุลของน้ำที่ยึดติดอยู่ในโครงสร้างหรือโมเลกุลของส่วนประกอบฟิล์มแตกต่างกัน (พิมพ์เพ็ญ, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ตามพบว่าฟิล์ม BRF มีความชื้นน้อยกว่า BPF และ RSF และใกล้เคียงกับ Control มากที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าความหนา %ความชื้น และการละลาย(%)ของฟิล์มแป้งข้าวโพดที่ไม่เติม (Control) และเติมสารสกัดดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (BRF)

ชนิดฟิล์ม	คุณสมบัติ		
	ความหนา (mm)	ความชื้น (%)	การละลาย (%)
control	0.22 ± 0.03^{a}	20.22 ± 0.05^{a}	32.07 ± 3.07^{a}
BPF	0.21 ± 0.01^{a}	23.24 ± 1.93^{b}	33.41 ± 0.53^{a}
RSF	0.21 ± 0.02^{a}	22.70 ± 0.11^{b}	34.62 ± 1.72^{a}
BRF	0.20 ± 0.01^{a}	19.57 ± 0.85^{a}	32.73 ± 2.32^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับท้ายตัวเลขที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.3 ทดสอบการเปลี่ยนสีของฟิล์มด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-11

เมื่อนำฟิล์มแป้งข้าวโพดผสมสารสกัดทั้ง 3 ชนิดมาทดสอบด้วยการหยดสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-11ลงบนแผ่นฟิล์ม มีผลดังแสดงในตารางที่ 4 จะสังเกตได้ว่าสีฟิล์มแป้งข้าวโพดที่ผสมสารสกัดต่างชนิดกัน มีช่วงการเปลี่ยนสีของฟิล์มที่แตกต่างกัน จากการทดสอบด้วยการหยดสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ต่างกันลงไปบนตัวอย่าง เช่น ฟิล์ม RSF เมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 ลงไป พบว่ามีการเปลี่ยนสีจากสีชมพูหม่น เป็นสีแดงสว่าง และ pH 2-9 ไม่พบการเปลี่ยนสี pH 10-11 เปลี่ยนเป็นสีเทาอมเขียว ในขณะที่ฟิล์ม BPF เมื่อหยดสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 ลงไป เปลี่ยนจากเดิมสีน้ำเงินเข้มเป็นสีแดงเข้ม pH 2 เปลี่ยนเป็นสีม่วง pH 3-7 เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินทึบฟิล์ม pH 8-9 เริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอมเขียว และ pH 10-11 เปลี่ยนเป็นสีเขียวทึบ ส่วนของฟิล์ม BRF เดิมมีสีน้ำเงินคราม เมื่อ

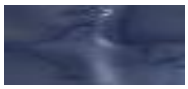
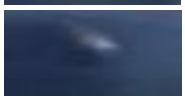
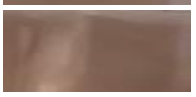
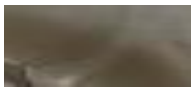
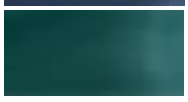
หยดสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 ลงไปมีการเปลี่ยนเป็นสีแดงทึบ pH 2 เปลี่ยนเป็นสีม่วง pH 3-7 เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินคราม pH 8-9 เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมคราม pH 10 เปลี่ยนเป็นสีเขียวมากขึ้น และสุดท้าย pH 11 เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟิล์ม BPF และ BRF มีการเปลี่ยนสีที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนในหลายช่วง pH เมื่อเทียบกับฟิล์ม RSF โดยฟิล์ม BRF จะมีความทึบแสงน้อยกว่าฟิล์ม BPF ทำให้สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนมากกว่า อย่างไรก็ตามฟิล์ม BPF และ BRF ถูกเลือกไปทดสอบเป็นฟิล์มอินดิเคเตอร์สำหรับภาชนะบรรจุเนื้อไก่สดต่อไป

3. การประยุกต์ใช้ฟิล์มอินดิเคเตอร์เพื่อวัดการเสื่อมเสียของเนื้อไก่

3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และค่าสีของเนื้อไก่สดในภาชนะบรรจุที่ระยะเวลา 0-30 hrs

ตารางที่ 5 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อไก่สดในระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0-30 hrs อุณหภูมิ 35±5°C หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะสีของเนื้อไก่ พบว่าในช่วงก่อนการทดลองสีของเนื้อไก่ยังคงเป็นสีขาวอมชมพูตามธรรมชาติ เมื่อเวลาผ่านไป 12 hrs สีของเนื้อไก่ เริ่มซีดสีอมเหลืองเล็กน้อย และเนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัดที่เวลาประมาณ 26 hrs เนื้อไก่เป็นสีเหลือง บริเวณผิวสัมผัสด้านบนของเนื้อไก่ มีสีดำหม่นเป็นวงกว้าง ในส่วนของกลิ่น จะเห็นได้ว่ากลิ่นก่อนการทดลองของเนื้อไก่มีกลิ่นคาวเล็กน้อยตามธรรมชาติของเนื้อไก่สด เมื่อเวลาผ่านไป 12 hrs ไก่เริ่มมีการเหม็นเน่าขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งเนื้อไก่เริ่มมีกลิ่นเหม็นเน่าชัดเจนมากขึ้นที่เวลา 26 hrs และมีกลิ่นเหม็นเน่าค่อนข้างแรง และที่เวลา 30 hrs เนื้อไก่มีกลิ่นเหม็นเน่ารุนแรงมาก จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ชัดเจนตั้งแต่เวลาประมาณ 26 hrs เป็นต้นไป และมีแนวโน้มการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการจัดเก็บที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลจากจุลินทรีย์ในเนื้อไก่ คือ แบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียมีเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้ (proteolytic enzyme) เกิดเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นเหม็นเน่า เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ indole และ skatole เป็นต้น

ตารางที่ 4 การทดสอบการเปลี่ยนสีของฟิล์มแป้งข้าวโพดที่เติมสารสกัดดอกอัญชัน (BPF) ดอกกระเจี๊ยบแดง (RSF) และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง (BRF) ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-11

ค่า pH	ชนิดของฟิล์ม		
	BPF	**RSF**	**BRF**
Before			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุที่ระยะเวลา 0 6 12 26 และ 30 hrs ที่อุณหภูมิ 35±5°C

รูปเนื้อไก่	ระยะเวลาเก็บรักษา (hrs)	ลักษณะปรากฏทางกายภาพ		
		สีเนื้อไก่	กลิ่น	เนื้อสัมผัส
	0	สีขาวอมชมพูตามธรรมชาติเนื้อไก่	เนื้อไก่สดมีกลิ่นคาวเล็กน้อยตามธรรมชาติ	สดใหม่ยังคงสภาพดี กดแล้วไม่ติดมือไม่เหลว
	6	สีเหลืองอมแดงตามธรรมชาติเนื้อไก่	เนื้อไก่มีกลิ่นคาวมากขึ้นตามธรรมชาติ	เนื้อไก่แห้ง ยังคงสภาพดี กดแล้วไม่ติดมือไม่เหลว
	12	สีเนื้อไก่เริ่มซีดและอมเหลืองมากขึ้น	เนื้อไก่เริ่มมีกลิ่นเหม็นเน่า	เนื้อสัมผัสมีค่อนข้างมีความเละ กดแล้วติดมือเล็กน้อย
	26	เริ่มมีสีเหลือง มีจุดสีดำหม่นเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสด้านบนของเนื้อไก่	เนื้อไก่เริ่มมีกลิ่นเหม็นเน่าที่ค่อนข้างแรง	เนื้อสัมผัสเละมากขึ้น เริ่มมีน้ำเละจากเนื้อไก่
	30	เนื้อไก่เหลืองซีด มีสีเขียวเป็นวงกว้าง ชัดเจนตรงผิวสัมผัสด้านบนของเนื้อไก่	เนื้อไก่มีกลิ่นมีเน่าอย่างรุนแรง	เนื้อสัมผัสนิ่ม เละ มีน้ำค่อนข้างมาก สัมผัสแล้วติดมือ

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าค่าสีของเนื้อไก่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ค่า L* อยู่ในช่วง 45-56 บ่งบอกถึงสีที่ค่อนข้างไปทางสีขาวสว่าง โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อไก่มีการเสื่อมเสียลงทำให้ค่าความสว่างมีผลที่เพิ่มขึ้น โดยมีรายงานของ Zhang and Barbut (2005) กล่าวไว้ว่าในเนื้อไก่ควรมีค่า L* ระหว่าง 46-53 ซึ่งถือเป็นลักษณะสีเนื้อปกติ แต่ถ้าเนื้อมีค่า L* สูงกว่า 53 จะถือว่าเป็นลักษณะสีของเนื้อที่ผิดปกติ จากตารางผลการทดลองพบว่าเนื้อไก่เริ่มมีค่าสีที่มากกว่า 53 ที่ 26 hrs และมีค่า a* อยู่ในช่วง 0.45-2.73 อยู่ในทางบวก บ่งบอกถึงสีที่ค่อนข้างไปทางสีแดง โดยมีค่าที่ลดลง เนื่องจาก เนื้อไก่เริ่มมีการเสื่อมเสียที่มากขึ้นทำให้เนื้อมีสีที่ซีดลง มีผลให้ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อลดน้อยลง โดยสอดคล้องกับค่า L* ที่ค่าความสว่างของเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น และค่า b* อยู่ในช่วง 12.38-14.48 อยู่ในทางบวก บ่งบอกสีที่ค่อนข้างไปทางสีเหลือง โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเนื้อไก่มีการเริ่มเสื่อมเสียลงทำให้ค่าสีมีการเปลี่ยนจากสีขาวอมแดง เป็นสีเหลืองหม่น เป็นต้น และค่า pH เนื้อไก่สดก่อนการทดลองจะมีค่า 6.52±0.04

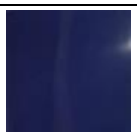
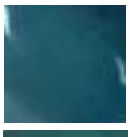
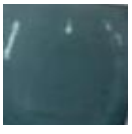
เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะเห็นได้ว่า ค่า pH มีการเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 6 hrs และที่ 26 hrs อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเนื้อไก่ และมีการสร้างสารที่มีฤทธิ์เป็นด่างขึ้นมา ได้แก่ แอมโมเนีย หรือไตรเมทิลเอมีน ทำให้ค่า pH ของเนื้อไก่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเนื้อไก่ในรูปตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ค่าสีและ ค่า pH ของเนื้อไก่ที่ระยะเวลา 0 6 12 26 และ 30 hrs ที่อุณหภูมิ 35±5°C

ระยะเวลา (hrs)	ค่าสี			pH
	L*	a*	b*	
0	45.16 ± 0.49^{a}	2.51 ± 0.35^{c}	13.28 ± 0.71^{a}	6.52 ± 0.04^{a}
6	50.76 ± 0.29^{b}	1.34 ± 0.19^{b}	12.38 ± 0.27^{a}	6.61 ± 0.02^{b}
12	52.22 ± 0.65^{b}	0.75 ± 0.34^{a}	12.56 ± 0.49^{a}	6.68 ± 0.04^{b}
26	54.12 ± 1.30^{c}	0.52 ± 0.39^{a}	13.85 ± 0.27^{b}	7.32 ± 0.05^{c}
30	56.50 ± 0.24^{d}	0.42 ± 0.13^{a}	14.48 ± 0.40^{c}	7.53 ± 0.21^{d}

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับ ท้ายตัวเลขที่แตกต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม BPF และ BRF หลังทดสอบกับเนื้อไก่สดในภาชนะบรรจุเป็นเวลา 0 6 12 26 และ 30 hrs ที่อุณหภูมิ 35±5°C

เวลา (hrs)	**ชนิดฟิล์ม**	
	BPF	**BRF**
0		
6		
12		
26		
30		

หมายเหตุ : ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดทดสอบกับเนื้อไก่สดที่12 hrs ถูกถ่ายภาพเก็บผลในช่วงกลางคืน อาจทำให้ผลผิดพลาด เนื่องจากปริมาณแสงน้อย

3.2 การเปลี่ยนสีของฟิล์มอินดิเคเตอร์ในภาชนะบรรจุไก่สดบด

จากตารางที่ 7 ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดที่เมื่อนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในภาชนะบรรจุเนื้อไก่มีการเปลี่ยนแปลงสีดังนี้ โดยเริ่มต้นที่ 0 hrs ฟิล์ม BPF และBRF เป็นสีน้ำเงินเข้มและอ่อน ตามลำดับ เมื่อผ่านไป 6 และ 12 hrs ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดมีสีน้ำเงินอ่อนลงจากเดิม เนื่องจากบริเวณด้านในของฝาบรรจุภัณฑ์มีหยดน้ำที่เกิดจากการควบแน่นของน้ำในเนื้อไก่เกาะตัวอยู่จำนวนมาก ทำให้ฟิล์มเสียรูปไปจากเดิมเล็กน้อย และเมื่อเวลาผ่านไป 26 hrs ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดเริ่มเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว และเวลาผ่านไป 30 hrs เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลืองมากขึ้น โดยการเปลี่ยนสีของฟิล์ม เนื่องมาจากเนื้อสัตว์เกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์จะปลดปล่อยสารประกอบเอมีน เช่น แอมโมเนีย หรือไตรเมทิลเอมีน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเม็ดสีที่อยู่บนฟิล์ม เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าในที่แสงเท่ากัน พบว่าฟิล์ม BRF สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มได้ชัดเจนกว่าฟิล์ม BPF และผลจากการวัดค่าสีของฟิล์มทั้งสองชนิดหลังจากทดสอบกับเนื้อไก่ (ตารางที่ 8) จะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE*) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนที่ 26 hrs ค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงสีที่ค่อนข้างไปทางสว่าง ค่า a* มีค่าสีที่เป็นลบ บ่งบอกถึงสีที่ค่อนข้างไปทางสีเขียว มีแนวโน้มที่ลดลงไปทางสีเขียวที่ชัดเจน และค่า b* มีค่าสีเริ่มต้นเป็นลบและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใกล้ค่าบวก ฟิล์มจึงมีแนวโน้นเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นชัดเจนที่ 26 hrs

ตารางที่ 8 ค่าสีของฟิล์ม BPF และ BRF หลังทดสอบกับเนื้อไก่ในภาชนะบรรจุที่ระยะเวลา 0 6 12 26 และ 30 hrs ที่อุณหภูมิ 35±5°C

ชนิดฟิล์ม	เวลา (hrs)	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ΔE*
BPF	0	40.33 ± 0.60^{a}	-0.95 ± 0.44^{d}	-19.04 ± 1.31^{a}	-
	6	49.14 ± 1.00^{b}	-7.79 ± 0.34^{c}	-15.62 ± 0.11^{b}	12.14 ± 2.93^{a}
	12	49.05 ± 0.02^{b}	-11.04 ± 0.02^{b}	-12.61 ± 0.03^{b}	15.34 ± 1.96^{a}
	26	54.51 ± 0.14^{c}	-17.88 ± 0.16^{a}	-4.99 ± 0.13^{c}	26.42 ± 1.96^{b}
	30	59.07 ± 0.08^{c}	-19.08 ± 0.03^{a}	-0.96 ± 0.06^{c}	31.75 ± 1.59^{c}
BRF	0	46.47 ± 0.96^{a}	-1.50 ± 0.15^{c}	-13.87 ± 0.22^{a}	-
	6	47.73 ± 0.95^{a}	-3.24 ± 0.13^{b}	-13.40 ± 0.42^{a}	8.07 ± 0.28^{a}
	12	50.14 ± 0.25^{b}	-3.97 ± 0.02^{b}	-12.08 ± 0.10^{b}	10.90 ± 1.43^{a}
	26	58.02 ± 0.02^{c}	-14.36 ± 0.03^{a}	-1.64 ± 0.03^{c}	26.27 ± 2.05^{b}
	30	63.57 ± 0.08^{d}	-15.84 ± 0.03^{a}	-1.30 ± 0.03^{c}	31.41 ± 2.39^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับ ท้ายตัวเลขที่แตกต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05

สรุปผลการทดลอง

ฟิล์มแป้งข้าวโพดผสมกับสารสกัดจากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบแดง และดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบแดง ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อสารละลาย มีสีตั้งต้นของฟิล์มที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบสมบัติของฟิล์มในการเป็นอินดิเคเตอร์ที่ช่วยบอกการเน่าเสีย (freshness indicator) ด้วยวิธีการหยดสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH แตกต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 11 ลงบนฟิล์มทั้ง3ชนิด พบว่าฟิล์มผสมสารสกัดจากดอกอัญชันและฟิล์มผสมสารสกัดจากดอกอัญชันผสมดอกกระเจี๊ยบ มีการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดเจนในช่วงที่ต้องการ จึงเลือกฟิล์ม 2 ชนิดนี้มาทดสอบกับเนื้อไก่สดบดในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ 35±5°C โดยเมื่อฟิล์มสัมผัสกับไอระเหยของด่างที่เกิดจากการย่อยโปรตีนของจุลินทรีย์และเอนไซม์จะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว ผลที่ได้ยืนยันให้เห็นว่าการเปลี่ยนสีของฟิล์มอินดิเคเตอร์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อไก่สด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

เอกสารอ้างอิง

คุณาธิป ศิริมงคล อังคณา ไปบล และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2559). แอคทีพไคโทซาน/พีวีเอ ฟิล์มผสมแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ฟิล์ม. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พนิดา แสนประกอบ และ เกศศิรินทร์ แสงมณี. (2562). *การประยุกต์ใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงในบลัชครีม*. สืบค้น 18 กุมภาพันธ์ 2566, จาก https://scijournal.kku.ac.th>

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *การวัดความชื้นของอาหาร*. สืบค้นจาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99

รัชฎาพร ใจมั่น วรัญญา หล้าดวงดี ณัฐพงศ์ กันหา. (2562). การประยุกต์ใช้ฟิล์มอินดิเคเตอร์จากสารสกัดดอกอัญชันเพื่อบ่งบอกความสด ของเนื้อปลา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

วลัยพร สินสวัสดิ์ กาญจนา พิศาภาค ดารานัย รบเมือง และพรชัย สินสวัสดิ์. (2555). การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมันเลือดไก่ , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

Ekthamasut, K. and Akesowan, A. (2001). Effect of Vegetable Oils on Physical Characteristics of Edible Konjac Films. *AU Journal of Technology*. 5: 73-78.

Zhang, L. and Barbut, S. (2005). Rheological characteristics of fresh and frozen PSE, normal and DFD chicken breast meat. *British Poultry Science.* 46(6): 687-93. doi: 10.1080/00071660500391516.

FE-A07

การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Development of Monitoring and Control System for Probiotics Craft Soda Production with Internet of Things Technology

นวมินทร์ หนูจิตร[1]* อนันตชัย มณีฉาย[1] ชัญญา จอมสีลาด[1] และ จิตติมณฑน์ วงศ์ษา[1,2]

Nawamin Nuchit[1]*, Anantachai Maneechai[1], Chanya Jomsilad[1] and Jittimon Wongsa[1,2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี

[2]ศูนย์วิจัยเฉพาะทางด้านอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

[1]Department of Agricultural Engineering for Industry, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi, THAILAND

[2]Food and Agro-Industry Research Center, Science and Technology Research Institute
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: pnwm.44@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การทดลองประกอบด้วย (1) การศึกษากระบวนการและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดื่มโพรไบโอติกคราฟท์โซดาจากจินเจอร์บัคและน้ำหมากเม่า ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของจินเจอร์บัคต่อน้ำหมากเม่าคือ 1:50 (v/v) ค่าความหวาน 16 ± 0.5 องศาบริกซ์ อุณหภูมิการหมัก 26 ± 1 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง 2.5 ± 0.2 ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 2.8 ± 0.2 volumes และไม่เกิดแอลกอฮอล์ (2) การออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าติดตามและควบคุมกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนชุดคำสั่งสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP32 เพื่อรับค่าจากเซนเซอร์โดยติดตามและควบคุมค่าอุณหภูมิการหมัก ความเป็นกรดด่าง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ ให้อยู่ในสภาวะการผลิตที่เหมาะสมผ่านแอพพลิเคชัน Blynk และการแจ้งเตือนในกรณีที่ค่าสภาวะการผลิตอยู่นอกเงื่อนไขที่กำหนด ผลการทดลองพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดและแสดงผลค่าข้อมูลได้ถูกต้อง สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะที่กำหนดและแจ้งเตือนสภาวะการทำงานที่ผิดปกติได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: คราฟต์โซดา, โพรไบโอติก, ระบบควบคุม, ระบบติดตาม, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This research aimed to develop a monitoring and control system for probiotic craft soda production using Internet of Things technology. The experiment consisted of (1) studying the process and optimum production conditions for probiotic craft soda from ginger bug and Mak Mao (*Antidesma* spp.) juice. The experimental results showed that the optimal ratio of ginger bug to Mak Mao juice was 1:50 (v/v), sweetness value 16 ± 0.5 °Brix, fermentation temperature 26 ± 1 °C, pH 2.5 ± 0.2 carbon dioxide level was 2.8 ± 0.2 volumes and did not produce alcohol. (2) Design and development of monitoring and control systems for the production process by using an Arduino IDE program to write commands to the Node MCU ESP32 microcontroller board to receive the value from the sensor by monitoring and controlling the fermentation temperature value, pH, carbon dioxide, and alcohol. Display results through the Blynk application and send alerts if the production conditions are out of specified conditions. The results show that the developed system can accurately measure and display data values, control the production process under the specified conditions, and accurately alert to abnormal operating conditions.

Keyword: Controlling, Craft Soda, Internet of Things, Monitoring, Probiotics

บทนำ

คราฟท์โซดา (Craft Soda) เป็นเครื่องดื่มประเภทไม่มีแอลกอฮอล์ (Soft drinks) มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์จากวัตถุดิบส่วนผสมที่มาจากธรรมชาติ เช่น น้ำผลไม้ (บดินทร์ ศักดาเยี่ยงยงค์, 2561) คราฟท์โซดาในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมมีความซ่าเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการอัดก๊าซเป็นน้ำอัดลม (Force carbonate soda) ส่วนคราฟท์โซดาที่ผลิตในระดับวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการร้านอาหารเกิดจากการหมักด้วยยีสต์เป็นโพรไบโอติกคราฟท์โซดา (Probiotic craft soda) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ โพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ขนาดเล็กชนิดดี ช่วยในการทำงานของระบบทางเดินอาหารและระบบอื่นๆ ของร่างกาย มีคุณสมบัติทนต่อกรดและด่าง ช่วยผลิตสารต่อต้านหรือกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และช่วยทำให้เกิดความสมดุลทั้งระบบของร่างกาย การผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดา ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ กล้าเชื้อ (Starter) ได้จากการหมักขิงด้วยน้ำตาล เรียกว่าจินเจอร์บัค (Ginger Bug) ขิงเป็นพืชสมุนไพรในวงศ์ Zingiberaceae มีถิ่นกำเนิดในเอเชีย มีเหง้าเป็นหัวเรียกว่าขิงหรือรากขิง มีกลิ่นหอมและรสฉุน (Mahomoodally et al., 2021) ขิงเป็นยาสมุนไพรดั้งเดิมใช้เพื่อรักษาโรคต่างๆ เช่น ปวดหัว หวัด ปวดกล้ามเนื้อ เหงือกอักเสบ ปวดฟัน และหอบหืด ประโยชน์ของขิงมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่างๆ เช่น จินเจอรอล (Gingerols) พาราดอล (Paradols) และซิงเจอโรน (Zingerones)

(Srinivasan, et al., 2017) ส่วนประกอบที่ 2 คือน้ำผลไม้ ซึ่งสามารถคั้นสกัดแยกส่วนกากออกโดยไม่ผ่านความร้อน ผลไม้ทุกชนิดล้วนมีประโยชน์ต่อร่างกาย หมากเม่า (*Antidesma puncticulatum* Miq.) เป็นผลไม้พื้นถิ่นของไทย ลักษณะผลกลม เมื่อสุกมีสีแดงเข้ม มีผลผลิตจำนวนมาก หาได้ง่าย ราคาถูก และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยวิตามิน เช่น วิตามิน C และ E และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตัน ทนทานต่อการเปลี่ยนสีในกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร (Khoo, et al., 2017) หมากเม่าจึงเป็นวัตถุดิบตัวอย่างที่น่าสนใจสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโพรไบโอติกคราฟท์โซดา

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) คือการที่สิ่งต่าง ๆ ถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันในโลกของอินเทอร์เน็ต ส่งผลให้มนุษย์สามารถสั่งการและควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ (FuturIst, 2022) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กับระบบรับข้อมูล เช่น เซนเซอร์ต่างๆ ที่สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมได้ การสื่อสารและนำข้อมูลไปใช้ เช่น การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อติดตาม ส่งข้อมูล และจัดเก็บข้อมูล รวมถึงการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ เพื่อช่วยควบคุมการผลิต การตรวจติดตามคุณภาพและความปลอดภัย (ITO, 2022)

ปัจจุบันเครื่องดื่มคราฟท์โซดาเป็นที่นิยมอย่างมาก การผลิตในระดับครัวเรือนได้ยกระดับขึ้นเป็นระดับวิสาหกิจชุมชนและวิสาหกิจขนาดลางและขนาดย่อม (SMEs) แต่การผลิตผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟท์โซดาให้ได้คุณภาพดี มีคุณภาพสม่ำเสมอ และมีปริมาณการผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ยังขาดการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีที่จะช่วยควบคุมตัวแปรสภาวะการผลิต เช่น อุณหภูมิ, ค่า pH, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การเกิดแอลกอฮอล์ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟท์โซดาจากหมากเม่า และพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อช่วยกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดามีความสะดวก มีมาตรฐาน และได้ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟท์โซดาที่มีคุณภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมจินเจอร์บัค

กระบวนการทำจินเจอร์บัคเตรียมโดยนำขิงแก่ (จัดซื้อจากตลาดสดนเรศวร จังหวัดปราจีนบุรี) มาล้างทำความสะอาด หั่นขิงแก่เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำน้ำสะอาดเทใส่โหลแก้ว เติมน้ำตาลและขิงแก่ที่หั่นเรียบร้อยแล้วลงไปในโหล ปิดฝาและเขย่าเบาๆให้เข้ากัน หมักไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยหลีกเลี่ยงการถูกแสงแดด โดยในแต่ละวันให้ทำการเปิดฝาเพื่อระบายก๊าซออก ในวันที่ 3 ของการหมักทำการเติมน้ำตาล ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักจิงเจอร์บัคที่เหมาะสมคือ 3-5 วัน จึงสามารถนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมน้ำหมากเม่าสกัด

กระบวนการทำน้ำหมากเม่าสกัดเตรียมโดยนำผลหมากเม่า (ได้รับจากกลุ่มเกษตรกร จังหวัดสกลนคร) มาคัดเลือกโดยคัดเฉพาะผลสุก-สุกมาก มีสีแดงเข้มและดำ นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ 30 นาที จากนั้นนำมาสกัดเย็นด้วยเครื่องสกัด (CUIZIMATE รุ่น RBSFOODPREPN ประเทศสเปน) นำน้ำหมากเม่าสกัดเก็บใส่ภาชนะปิดสนิทรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในขั้นตอนต่อไป

3. การศึกษากระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาจากจินเจอร์บัคและน้ำหมากเม่า

ศึกษาอัตราส่วนของจินเจอร์บัคต่อน้ำหมากเม่าที่ระดับ 1:50, 1.5:50 และ 2:50 (v/v) และทำการหมักที่ระดับความหวาน 13-17 องศาบริกซ์ ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมัก โดยหมักที่อุณหภูมิห้องเย็น 25-27 องศาเซลเซียส และการหมักที่อุณหภูมิห้องปกติ 35-37 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการหมักตรวจวัดค่า pH ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณแอลกอฮอล์ของผลิตภัณฑ์ และทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการให้คะแนน 5-Point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 5 = ชอบมากที่สุด) ในด้านกลิ่น สี รสชาติ และความชอบโดยรวม

4. การออกแบบระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การออกแบบระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิต 4 ค่า ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ, pH, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณแอลกอฮอล์ เขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino IDE โดยในชุดอุปกรณ์จะประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP32, Arduino mega 2560, Relay Switch, Temperature Sensor, pH Sensor, CO_2 Sensor และ Alcohol Sensor เพื่อติดตามค่าตัวแปรในกระบวนการหมักและแสดงผลผ่านแอพลิเคชัน Blynk โดยชุดอุปกรณ์การผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาต้นแบบจะติดตั้ง Compressor ขนาดเล็กสำหรับระบบทำความเย็น เพื่อทำการควบคุมสภาวะการหมักให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส โดยหากอุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าอุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่า 26 องศาเซลเซียส บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน ส่งผลให้ระบบทำความเย็นทำงานเพื่อลดอุณหภูมิตัวอย่างและจะสั่งให้หยุดการทำงานเมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 26 องศาเซลเซียส โดยชุดคำสั่งเพื่อควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหมักแสดงดังรูปที่ 1

```
if(setmode == 1){
    Serial.println("Auto");
    if(temp >= 26){
        Serial.println("Compressor ON");
        digitalWrite(relay1, HIGH);
    }else{
        Serial.println("Compressor OFF");
        digitalWrite(relay1, LOW);
    }
}
```

รูปที่ 1 การเขียนชุดคำสั่งเพื่อควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหมักโพรไบโอติกคราฟท์โซดา

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษากระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาจากจินเจอร์บัคและน้ำหมากเม่า

ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดาที่หมักในอุณหภูมิห้องปกติ 35-37 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองด้านลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์ โดยเมื่อหมักระยะเวลา 2 วัน ตัวอย่างเกิดฟอง มีกลิ่นหมักแรง และมีแอลกอฮอล์เกิดขึ้น จึงยุติการทดลองที่สภาวะดังกล่าว ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดาที่หมักในอุณหภูมิห้องเย็น 25-27 องศาเซลเซียส ให้ลักษณะปรากฏที่ดี เมื่อหมักระยะเวลา 2 วัน มีค่าความหวาน 8.1°Brix โดยเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก ก่อนบรรจุขวดจะปรับความหวานโดยเติมน้ำตาลด้วยวิธีเพียร์สันสแควร์ แสดงดังรูปที่ 2 เพื่อปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเท่ากับ 2.6 โพรไบโอติกคราฟต์โซดาเกิดความซ่าโดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 2.8 volumes และไม่พบปริมาณแอลกอฮอล์ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่า pH และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวอย่างที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม Soft drinks ที่ระบุค่าเท่ากับ 2.5-4.0 และ 1.5-5.0 volumes ตามลำดับ (Azeredo, et al, 2016)

ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนน 5-Point Hedonic Scale ในด้านกลิ่น สี รสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดาที่หมักในอุณหภูมิห้องเย็น 25-27 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนจินเจอร์บัคสูง (2:50) ได้รับคะแนนด้านกลิ่น สี รสชาติ และความชอบโดยรวมลดลง อาจเนื่องมาจากตัวอย่างมีกลิ่นขิงและกลิ่นหมักแรงและมีรสชาติเผ็ดซ่าเล็กน้อย การเติมจินเจอร์บัคในอัตราส่วนที่มากยังช่วยเร่งกระบวนการหมักให้เกิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจส่งผลต่อกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ อัตราส่วนที่ให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงคือ 1:50 ซึ่งสอดคล้องกับสูตรการทำคราฟท์โซดาจากราสเบอร์รีที่ใช้อัตราส่วนจินเจอร์บัคต่อน้ำราสเบอร์รี่ 2 mL : 100 mL (Bank, 2020) โดยระดับความหวานที่ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมสูงคือ 15 และ 17 °Brix

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดา

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ความหวาน (°Brix)	pH	แอลกอฮอล์ (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (volumes)
0	8.8	2.84	ND	ND
1	8.5	2.58	ND	1.6
2	8.1	2.60	ND	2.8
3	7.4	2.62	0.486	2.9
4	7.1	2.60	0.486	2.8
5	6.5	2.53	0.775	1.8

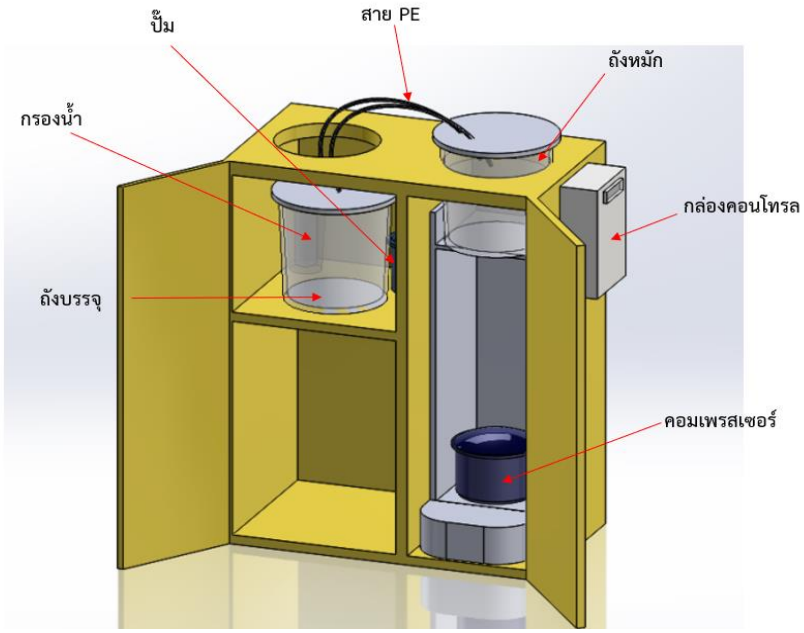
*ND=Not detected



รูปที่ 2 ตัวอย่างการปรับความหวานด้วยวิธีเพียร์สันสแควร์

ตารางที่ 2 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดา

สูตรที่	อัตราส่วน (v/v) จินเจอร์บัค:น้ำหมากเม่า	ความหวาน (°Brix)	กลิ่น	สี	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	1:50	13	3.22	3.35	1.93	2.95
2	1.5:50	13	3.13	3.28	1.82	3.03
3	2:50	13	2.83	3.24	1.73	2.84
4	1:50	15	3.82	3.44	3.82	3.80
5	1.5:50	15	3.43	3.36	3.64	3.59
6	2:50	15	3.12	3.33	3.52	3.31
7	1:50	17	3.80	3.42	3.90	3.76
8	1.5:50	17	3.36	3.35	3.71	3.52
9	2:50	17	3.24	3.30	3.47	3.40

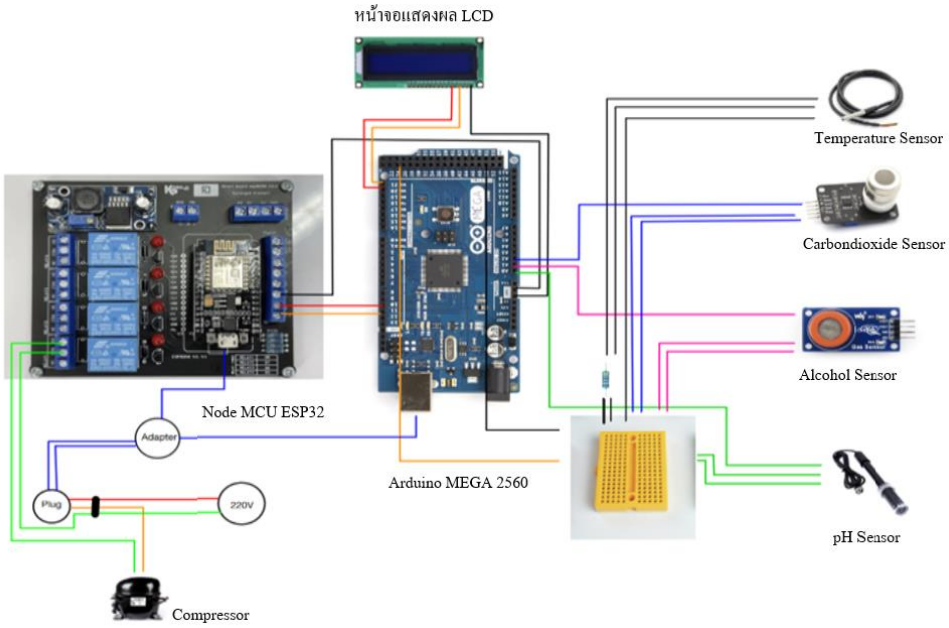


รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์การผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาต้นแบบ

2. ผลการพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ชุดอุปกรณ์การผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาต้นแบบ (รูปที่ 3) ประกอบด้วย ถังหมักพลาสติก Food Grade ขนาด 10 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยถังแรกคือถังหมัก เจาะรูที่ฝาสำหรับติดตั้งเซ็นเซอร์ แอร์ล็อควาล์ว และสาย PE สำหรับดูดลำเลียงตัวอย่างไปยังถังที่สองหรือถังบรรจุ ฝาถังถูกเจาะรูที่ฝาสำหรับติดตั้งสาย PE, ปั๊มดูดน้ำขนาด 150 GDP 24V, กรองน้ำ PP ขนาด 5 ไมครอน, สาย PE ขนาด ¼ นิ้ว ยาว 3 เมตร, บอลวาล์ว จำนวน 4 ตัว, ข้อต่อฟิตติ้งตรงขนาด ¼ นิ้ว จำนวน 4 ตัว, คอมเพรสเซอร์ขนาดเล็กสำหรับระบบทำความเย็น

การออกแบบระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการผลิตโพรไบโอติกคราฟท์โซดาประกอบด้วย กล่องควบคุมและปลั๊ก AC , หน้าจอแสดงผล LCD, บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP32, บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560, 4 Channel Relay Module 5 V 1 0 A, Protoboard, สาย Wiring, Temperature Sensor, pH Sensor, Alcohol Sensor, Carbondioxide Sensor



รูปที่ 4 การออกแบบระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง



(ก) อุปกรณ์ระบบติดตามและควบคุม (ข) หน้าจอแสดงผลค่าตัวแปรที่ติดตาม

รูปที่ 5 ชุดอุปกรณ์ระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ระบบควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหมัก ถูกกำหนดค่าคำสั่งให้ควบคุมอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25-27 องศาเซลเซียส โดยหากอุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าหรือเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน ส่งผลให้ระบบทำความเย็นทำงานเพื่อลดอุณหภูมิตัวอย่างในระหว่างกระบวนการหมัก และจะสั่งให้หยุดการทำงานเมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 26 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบระบบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ สามารถควบคุมอุณหภูมิการหมักของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟท์โซดาให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ (ตารางที่ 3)โดยค่าตัวแปรต่างๆ จะแสดงผลบนโทรศัพท์มือถือผ่านหน้าจอหลักของแอพลิเคชัน Blnyk ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแสดงผลค่าตัวแปรบนหน้าจอของแอพลิเคชัน Blnyk

ตารางที่ 3 ผลการติดตามค่าอุณหภูมิในกระบวนการหมัก

ข้อมูลอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (°C)												
	0 h	6 h	12 h	18 h	24 h	30 h	36 h	42 h	48 h	54 h	60 h	66 h	72 h
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ	28.52	25.61	25.93	26.25	26.42	25.87	26.32	25.84	26.12	26.42	26.44	26.31	25.80

สรุป

การศึกษากระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาจากจินเจอร์บัคและน้ำหมากเม่า ทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของจินเจอร์บัคต่อน้ำหมากเม่าคือ 1:50 (v/v) อุณหภูมิการหมัก 26 ± 1°C ค่าความหวานเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเท่ากับ 16 ± 0.5 °Brix ค่า pH 2.5 ± 0.2 คาร์บอนไดออกไซด์ 2.8 ± 0.2 volumes การพัฒนาระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่าระบบสามารถตรวจวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ pH คาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์ได้ ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิกระบวนการหมักให้อยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียสได้อย่างแม่นยำ ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกคราฟต์โซดาหมากเม่าอยู่ในระดับดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่และอุปกรณ์การทดลอง ขอขอบคุณผู้ประกอบการ D-Craft ที่ให้คำแนะนำด้านการผลิตคราฟโซดาและนำต้นแบบระบบติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตโพรไบโอติกคราฟต์โซดาด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

บดินทร์ ศักดาเยี่ยงยงค์. (2561). คราฟต์โซดา ซอฟต์ดริ๊งค์. ช่องทางทำกิน 3 มีนาคม 2561, เดลินิวส์ สืบค้นจาก https://d.dailynews.co.th/article/630138.

Azeredo, D. R. P., Alvarenga, V., Sant'Ana, A. S., & Sabaa Srur, A. U. O. (2016). An overview of microorganisms and factors contributing for the microbial stability of carbonated soft drinks. *Food Research International*, 82, 136–144.

Bank Haruki. (2020). ลองทำคราฟต์โซดา Raspberry ดื่มเอง. สื่อวิดีโอออนไลน์บน YouTube. สืบค้นจาก https://www.youtube.com/watch?v=iCBwJS2Y1Qk.

FuturIst. (2022). สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า), อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง, JANUARY 5, 2022. สืบค้นจาก https://futurist.nida.ac.th /อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง-internet/.

ITO (THAILAND) LTD. (2022). เทคโนโลยีไอโอทีกับอุตสาหกรรมอาหาร. IoT Thailand Hygiene Blog on February 28, 2022. สืบค้นจาก https://www.itohygiene.com/th/blog/2022/02/193/.

Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T. & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits, *Food & Nutrition Research*. 61, 1-21.

Mahomoodally, M.F., Aumeeruddy, M.Z., Kannan R.R. Rengasamy, Roshan, S., Hammad, S., Pandohee, J., Xuebo Hu, & Zengin, G. (2021). Ginger and its active compounds in cancer therapy: From folk uses to nano-therapeutic applications. *Seminars in Cancer Biology*, 69, 140-149.

Srinivasan, K. (2017). Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials. *Pharma Nutrition*. 5, 18-28.

FE-A08

ผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสและทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

The effects of inulin and polydextrose addition on the texture and sensory characteristics of freeze-dried yogurt

ฐิตา ขันทอง[1] กชมนปภานัน ทองมณี[1] ชนิฎา สีคันทา[1] พีรวัฒน์ แตงโสภา[1] และ ธิราพร จุลยุเสน[1*]

Thita Khanthong[1], Kotchamonpapanan Thongmanee[1], Chanida Sikunta[1], Peerawat Taengsopha[1] and Tiraporn Junyusen [1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา

[1]School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: tirapo@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติก ได้แก่ อินนูลินและพอลิเดกซ์โทรส ต่อสมบัติทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมพรีไบโอติก ในการทดลองได้ใช้น้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ สี ความแข็ง ความกรอบ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า การเติมอินนูลินช่วยลดระยะเวลาการหมักของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ต การเติมพรีไบโอติกทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดของโยเกิร์ตสูงขึ้น การเติมอินนูลินมีผลทำให้ปริมาณน้ำอิสระของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลง แต่พอลิเดกซ์โทรสทำให้ปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม การเติมพรีไบโอติกทำให้ค่าความแข็งและความกรอบของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น การเติมอินนูลินทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลง จากผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 18 คน พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมอินนูลิน (7.80) สูงกว่าสูตรควบคุม (7.40) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (6.63) อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านสี ความแข็ง ความกรอบ และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมพรีไบโอติกไม่แตกต่างกัน แต่สูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบต่ำกว่า จากผลการทดลอง

แสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินช่วยลดระยะเวลาการหมักโยเกิร์ต และการเติมพรีไบโอติกช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี ทางเนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

คำสำคัญ: โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พรีไบโอติก ลักษณะเนื้อสัมผัส การทดสอบทางประสาทสัมผัส

Abstract

In this study, the effects of prebiotic addition (i.e., inulin and polydextrose) on the chemical, textural, and sensory properties of freeze-dried yogurt (FDY) were investigated and compared with FDY without prebiotic addition (control). Sucrose was used as a sweetener. Moisture content, water activity (a_w), color, hardness, crispness, and sensory were evaluated. The results showed that inulin enhanced the fermentation of set yogurt by reducing the incubation time. Incorporation of inulin and polydextrose significantly increased acidity of set yogurt. Inulin addition resulted in decreasing a_w of FDY, while presence of polydextrose reduced a_w of FDY, compared to control. Prebiotic addition significantly enhanced the hardness and crispness of FDY. Redness value of inulin-containing FDY significantly lower than those of control and polydextrose-containing FDY. Sensory evaluation by eighteen panelists revealed that acceptable score of the flavor of inulin-containing FDY (7.80) were significantly higher than that of control (7.40) and polydextrose-containing FDY (6.63). However, the acceptable scores of color, hardness, crispness, and overall acceptance of inulin-containing FDY were comparable to polydextrose-containing FDY, while control FDY exhibited less acceptable scores. In short, inulin addition shortens fermentation time and prebiotics improves the chemical, textural, and sensory properties of the FDY.

Keyword: Freeze-dried yogurt, prebiotics, textural characteristics, sensory evaluation

บทนำ

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำนมด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก (Probiotics) เช่น *Streptococcus Thermophiles* และ *Lactobacillus Bulgaricus* การหมักนี้ทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยว มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาอาการท้องผูกจึงช่วยในระบบขับถ่าย ป้องกันการเกิดความดันโลหิตสูง และการควบคุมน้ำหนัก โยเกิร์ตจึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (Serafeimidou, et al., 2012) โยเกิร์ตสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ โยเกิร์ตชนิดคงตัว (Set Yogurt) และโยเกิร์ตชนิดกวน (Stirred Yogurt) แบคทีเรียโพรไบโอติกสามารถย่อยพรีไบโอติก (Prebiotics) ได้ อย่างไรก็ตามร่างกายปกติของมนุษย์ไม่สามารถย่อยและดูดซึมพรีไบโอติกในระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติกทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานและส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก สารที่จัดอยู่ในกลุ่มของพรีไบโอติกมีหลายชนิดส่วนใหญ่พบในผักและผลไม้ เช่น สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant Starch) พบในกล้วยดิบ ฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharide, FOS) และอินนูลิน (Inulin)

พบในแก่นตะวันและกระเทียม เป็นต้น สารเหล่านี้ถูกนำมาผสมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายรูปแบบ เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ อาหารเช้าธัญพืช และผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เป็นต้น (Rubel et al., 2021; Davani-Davari et al., 2022)

อินนูลิน (Inulin) คือ คาร์โบไฮเดรตที่จัดเป็นเส้นใยอาหาร โดยร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารและไม่ให้พลังงาน อินนูลินสามารถถูกย่อยได้ด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ อินนูลินจึงถูกจัดเป็นพรีไบโอติก (Prebiotics) ส่วนใหญ่อินนูลินถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (Fat Replacer) เนื่องจากอินนูลินมีผลช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ลดไขมันหรือมีไขมันต่ำ เช่น ในผลิตภัณฑ์จำพวกไอศกรีม เนยแข็ง และโยเกิร์ต เป็นต้น (Junyusen et al., 2017; Rubel et al., 2021; Wang et al., 2020) พอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากน้ำตาลกลูโคส (Glucose) โครงสร้างทางเคมีของพอลิเดกซ์โทรสประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosic Bond) ซึ่งมีการจัดเรียงโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสแบบกิ่งก้านและมีความซับซ้อน (Davani-Davari et al., 2022) พอลิเดกซ์โทรสทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกายโดยให้พลังงานต่ำ (1 kcal/g) แต่พอลิเดกซ์โทรสสามารถถูกย่อยด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติกและสนับสนุนการเจริญของแบคทีเรียเหล่านี้ พอลิเดกซ์โทรสจึงจัดเป็นพรีไบโอติกและถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันและสารช่วยปรับปรุงสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร (Raninen et al., 2010; Carmo et al., 2016; Srisuvor et al., 2013)

การอบแห้ง (Drying) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร การอบแห้งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยการอบแห้งจะช่วยลดปริมาณน้ำหรือความชื้น (Moisture Content) และปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น การทำงานของเอนไซม์ เป็นต้น และปฏิกิริยาทางเคมีที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ (Ahmed et al., 2020) วิธีการอบแห้งแต่ละวิธีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาด รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าขนส่งและค่าใช้จ่ายสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-Drying) เป็นวิธีการอบแห้งโดยเริ่มจากเปลี่ยนสถานะของน้ำซึ่งเป็นของเหลวให้เป็นผลึกน้ำแข็ง (สถานะของแข็ง) ด้วยการแช่เยือกแข็ง และทำให้ผลึกน้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอ (Sublimation) ระหว่างการอบแห้งด้วยการลดความดันและอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 0.61 kPa และ 0.01ºC ตามลำดับ (Garcia-Amezquita et al., 2016) การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถช่วยคงคุณค่าทางโภชนาการ คงรูปร่าง สี และเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดี อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและระยะเวลาการอบแห้งนาน (Ahmed et al., 2020) ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นและจำเป็นต้องเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการทำแห้งโยเกิร์ตเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้ง จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโยเกิร์ตและลดค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษาและการขนส่งผลิตภัณฑ์ได้

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสซึ่งจัดเป็นสารพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมโยเกิร์ต

โยเกิร์ตชนิดคงตัวแบ่งออกเป็น 3 สูตร ได้แก่ สูตรไม่เติมพรีไบโอติก (สูตรควบคุม, S-Control) สูตรเติมอินนูลิน 2% (S-Inulin) สูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส 2% (S-Polydex) โดยมีส่วนผสมหลักของการผลิตโยเกิร์ตคือ นมสดพาสเจอร์ไรซ์ไขมันเต็ม (Whole Milk) น้ำตาลทราย (Sugar) ผงสตอว์เบอร์รี่ และเชื้อโยเกิร์ต (Yogurt Culture) ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* และ Bifidobacterium species ส่วนผสมทั้งหมด (ยกเว้นเชื้อโยเกิร์ต) (ตารางที่ 1) ถูกนำมาผสมกันและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85ºC นาน 10 min จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (อุณหภูมิ 45ºC) ก่อนเติมเชื้อโยเกิร์ต คนให้เข้ากัน และเทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แม่พิมพ์ 2 รูปแบบได้แก่ รูปทรงหัวใจและรูปทรงสี่เหลี่ยม จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45ºC เป็นเวลา 2-3 hr จนกระทั่งได้ pH 4.8-4.9 จากนั้นโยเกิร์ตถูกนำมาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -86ºC เพื่อรอการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) ต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของโยเกิร์ตชนิดคงตัว

Ingredients	S-Control	S-Inulin	S-Polydex
นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม (%)	83	83	83
น้ำตาล (%)	10	10	10
อินนูลิน (%)	0	2	0
พอลิเดกซ์โทรส (%)	0	0	2
ผงสตอว์เบอร์รี (%)	0.5	0.5	0.5
กลิ่นสตอว์เบอร์รี (ml) ต่อ 100 g	0.2	0.2	0.2
น้ำสะอาด (%)	6.1	4.1	4.1
เชื้อโยเกิร์ต	0.2	0.2	0.2

2. การอบแห้งโยเกิร์ตแบบแช่เยือกแข็ง

นำโยเกิร์ตผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -86ºC มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer, CoolSafe Touch, LaboGene, Denmark) โดยสภาวะในการอบแห้งมีดังนี้ อุณหภูมิของ Condenser เท่ากับ -95ºC

อุณหภูมิถาดวางตัวอย่าง 3ºC ความดันระหว่างการอบแห้ง 0.05 hPa (or mbar) ระยะเวลาในการอบแห้ง 48 hr จากนั้นนำโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเก็บในถุงซิป และเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Auto Desiccator) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอการวิเคราะห์ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของตัวอย่างต่อไป

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) โดยการชั่งตัวอย่างครั้งละ 3 g แล้วนำไปวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer, OHAUS, MB-25, OHAUS Instruments Co., Ltd., Shanghai, China) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) โดยชั่งตัวอย่างครั้งละ 1 g แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter, AquaLab Pre, METER Group, Inc, WA, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เคซีน น้ำตาลแล็กโทส ปริมาณของแข็งทั้งหมด และความเป็นกรด (Acidity) ด้วยเครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำนม (MilkoScan TM FT2, FOSS, Denmark) นอกจากนี้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter (pH700 Bench meter, Oakton, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ค่าสีของด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, HunterLab, MiniScan EZ 4500L, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA, USA) ในระบบ L* a* b* โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง (Redness) และค่า b* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

2. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTPlus, texture technologies corp. and stable micro systems, ltd., MA, USA) ตัวเครื่องต่อกับหัววัดชนิดอลูมิเนียม Cylinder probe P/25 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ Pre-test, Test, and Post-test speed เท่ากับ 1, 2, และ 10 mm/s ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความกรอบ (Crispness) ด้วย Texture Exponent Software (version 7.0.6.0, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ

3. การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale ซึ่งให้คะแนนตั้งแต่ 1 - 9 (1 หมายถึงชอบน้อยที่สุด ไปถึง 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ในด้านสี ความหวาน กลิ่นรส ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวม สำหรับผู้ทดสอบบุคคลทั่วไปจำนวน 18 คน

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาผลของการเติมอินนูลินต่อสมบัติทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัส ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยใช้โปรแกรม Minitab® 17 (Minitab Inc., USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีของโยเกิร์ตชนิดคงตัวก่อนและหลังการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พรีไบโอติกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ อินนูลิน (Inulin) และพอลิเดกซ์โทรส (Polydextrose) และได้เตรียมโยเกิร์ตชนิดคงตัวก่อนนำโยเกิร์ตไปอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบกรอบ ผลของการเติมพรีไบโอติกในโยเกิร์ตชนิดคงตัว (ก่อนการนำไปอบแห้ง) ต่อปริมาณความชื้น (Moisture Content) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) แสดงในตารางที่ 2 พบว่า การเติมพรีไบโอติกมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตชนิดคงตัว ($p>0.05$) เนื่องจากการเติมพรีไบโอติกมีผลทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นของโยเกิร์ตสูตรไม่เติมพรีไบโอติก (S-Control) มีค่า 73.95% ส่วนโยเกิร์ตสูตรเติมอินนูลิน (S-Inulin) มีค่า 71.65% และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (S-Polydex) มีค่าอยู่ระหว่าง 71.57% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Srisuvor et al., 2013 (75.80 – 78.76%) นอกจากนี้ในการทดลองนี้ได้ควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ตชนิดคงตัว (ก่อนการนำไปอบแห้ง) ให้อยู่ระหว่าง 4.80 – 4.90 ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้ได้รสชาติของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตกรอบไม่เปรี้ยวจนเกินไป ซึ่งพบว่าการเติมอินนูลินช่วยสนับสนุนการดำเนินกิจกรรมของแบคทีเรียโพรไอติกที่ใช้ในการทดลองนี้ ทำให้ลดระยะเวลาบ่มลงเหลือประมาณ 1.0 – 1.5 hr เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาบ่มของโยเกิร์ตชนิดคงตัวสูตรไม่เติมพรีไบโอติกและสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรสนาน 3.0 – 4.0 hr จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของโยเกิร์ตทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง 4.84 – 4.86 ซึ่งมีค่าสูงกว่างานวิจัยของ Srisuvor et al., 2013 (4.28 – 4.51)

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดด่างของโยเกิร์ตชนิดคงตัว (ก่อนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง)

Treatment	Moisture content (%)[1]	pH[2]
S-Control	73.95 ± 0.26[a]	4.85 ± 0.01[a]
S-Inulin	71.65 ± 1.33[b]	4.84 ± 0.01[a]
S-Polydex	71.57 ± 0.25[b]	4.86 ± 0.01[a]

[1,2] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตชนิดคงตัวก่อนนำไปอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลแล็กโทส เคซีน ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) และค่าความเป็นกรด (Acidity) ของโยเกิร์ตชนิดคงตัวมีค่าอยู่ระหว่าง 3.07 – 3.13%, 5.51 – 6.23%, 14.32 – 18.76%, 3.61 – 4.83%, 19.01 – 23.60%, และ 91.77 – 115.71 ตามลำดับ การเติมพรีไบโอติกทั้ง 2 ชนิด มีผลทำให้ปริมาณไขมัน (Fat) น้ำตาลแล็กโทส (Lactose) เคซีน (Casein) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) และค่าความเป็นกรด สูงกว่าสูตรควบคุม (S-Control) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการที่เติมพรีไบโอติกช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งซึ่งทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น และค่าความเป็นกรดได้จากกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียโพรไบโอติก การเติมพรีไบโอติกจึงมีส่วนช่วยการทำให้เกิดกรดในโยเกิร์ตมากขึ้น เนื่องจากพรีไบโอติกช่วยสนับสนุนการดำเนินกิจกรรมของแบคทีเรียโพรไบโอติก (Davani-Davari et al., 2022; Raninen et al., 2010; Srisuvor et al., 2013) ในงานวิจัยนี้ อินนูลินมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดของโยเกิร์ตสูงกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส แต่อย่างไรก็ตาม จากรายงานของ Srisuvor et al., 2013 พบว่า พรีไบโอติกต่างชนิดกัน (อินนูลินและพอลิเดกซ์โทรส) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของโยเกิร์ตชนิดคงตัว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการเตรียมโยเกิร์ต ระยะเวลาการหมักและชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ใช้แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เชื้อโยเกิร์ตได้แก่ *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* และ Bifidobacterium species

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Treatment	Chemical composition (%)[1]					
	Protein	Fat	Lactose	Casein	TS	Acidity
S-Control	3.07 ± 0.01^{a}	5.51 ± 0.01^{c}	14.32 ± 0.00^{c}	3.61 ± 0.07^{b}	19.01 ± 0.01^{c}	91.77 ± 0.13^{c}
S-Inulin	3.09 ± 0.01^{a}	5.85 ± 0.01^{b}	17.42 ± 0.03^{b}	4.77 ± 0.01^{a}	21.41 ± 0.35^{b}	115.12 ± 0.14^{a}
S-Polydex	3.13 ± 0.01^{a}	6.23 ± 0.04^{a}	18.76 ± 0.00^{a}	4.83 ± 0.69^{a}	23.60 ± 0.06^{a}	113.24 ± 0.23^{b}

[1] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

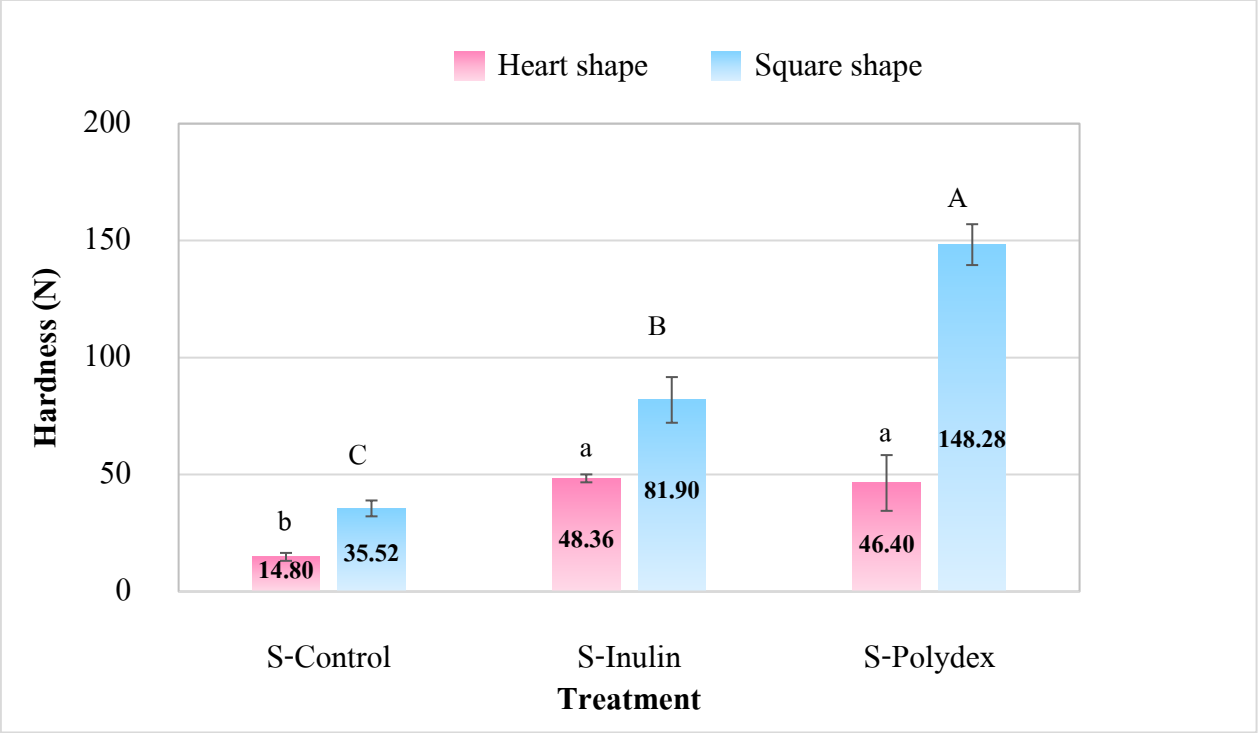
ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Treatment	Moisture content (%)[1]	a_w[2]
S-Control	2.23 ± 0.40^{a}	0.14 ± 0.01^{b}
S-Inulin	2.07 ± 0.21^{a}	0.08 ± 0.00^{c}
S-Polydex	2.73 ± 0.51^{a}	0.19 ± 0.01^{a}

[1,2] ค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture Content) และปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การเติมอินนูลิน (S-Inulin) มีผลต่อการลดปริมาณน้ำอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรไม่เติมพรีไบโอติก (S-Control) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (S-Polydex) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอินนูลินมีปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้างโปรตีนและสารอื่น ๆ ในโยเกิร์ตได้ดี ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งทุกสูตร มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 5% และ 0.6 ตามลำดับ ทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความปลอดภัยทางด้านจุลชีววิทยาและเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น (Santana et al., 2017)

2. ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

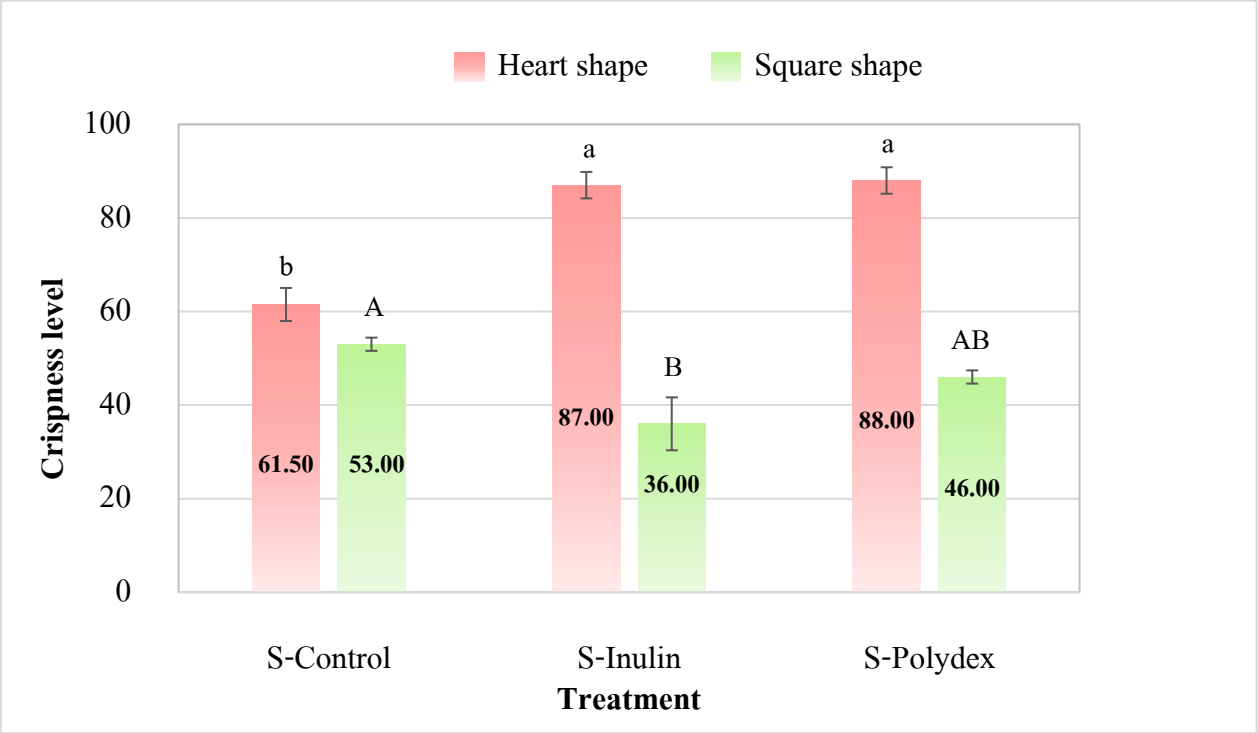


รูปที่ 1 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยค่าเฉลี่ยได้จากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของรูปทรงหัวใจและตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของรูปทรงสี่เหลี่ยม

รูปที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้านความแข็ง (Hardness) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรูปทรงหัวใจและทรงสี่เหลี่ยม มีค่าอยู่ระหว่าง 14.80 – 48.36 N และ 35.52 – 148.28 N ตามลำดับ โดยการเติมพรีไบโอติกทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (Hardness) โดยการเติมอินนูลิน (S-Inulin) และพอลิเดกซ์โทรส (S-Polydex) ทำให้ค่าความแข็งของโยเกิร์ตอบแห้ง

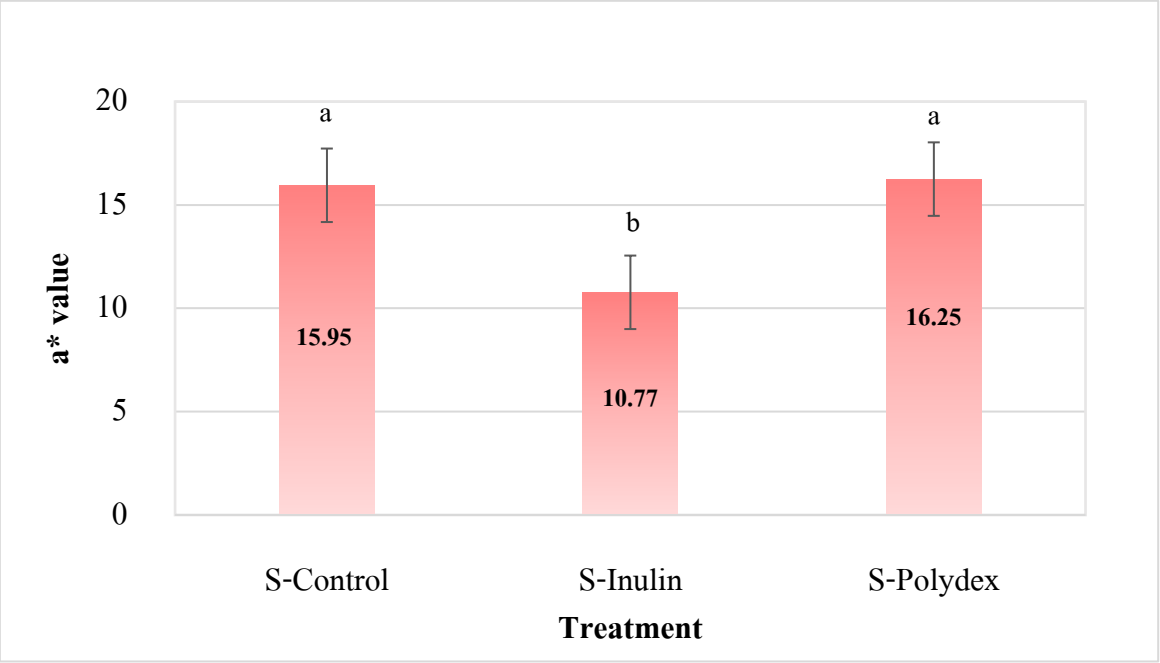
แบบแช่เยือกแข็งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (S-Control) ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ใช้แม่พิมพ์รูปทรงหัวใจและรูปทรงสี่เหลี่ยมในการทดลอง ซึ่งพบว่า รูปทรงของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความแข็ง โดยรูปทรงสี่เหลี่ยมมีค่าความแข็งมากกว่ารูปทรงหัวใจอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถต้านทานแรงกดหรือทนต่อการเสียรูปได้ดีกว่ารูปทรงหัวใจ

รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้านความกรอบ (Crispness) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรูปทรงหัวใจและทรงสีเหลี่ยม มีค่าอยู่ระหว่าง 61.50 – 88.00 และ 36.00 – 53.00 ตามลำดับ การเติมพรีไบโอติกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบ (Crispness) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรูปทรงหัวใจเช่นเดียวกับค่าความแข็ง อย่างไรก็ตามการเติมอินนูลินมีผลทำให้โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความกรอบต่ำกว่าสูตรไม่เติมพรีไบโอติก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอินนูลินช่วยทำให้โครงสร้างโปรตีนแข็งแรงและช่วยทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารอื่น ๆ ในโยเกิร์ต (Dias et al., 2021; Junyusen et al., 2017) ซึ่งทำให้โครงสร้างของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งแน่นขึ้นและมีลักษณะรูพรุนน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการไม่เติมพรีไบโอติก (S-Control) และการเติมพอลิเดกซ์โทรส (S-Polydex) จึงทำให้ค่าความกรอบต่ำกว่า



รูปที่ 2 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยค่าเฉลี่ยได้จากการทดลอง 6 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของรูปทรงหัวใจและตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ของรูปทรงสี่เหลี่ยม

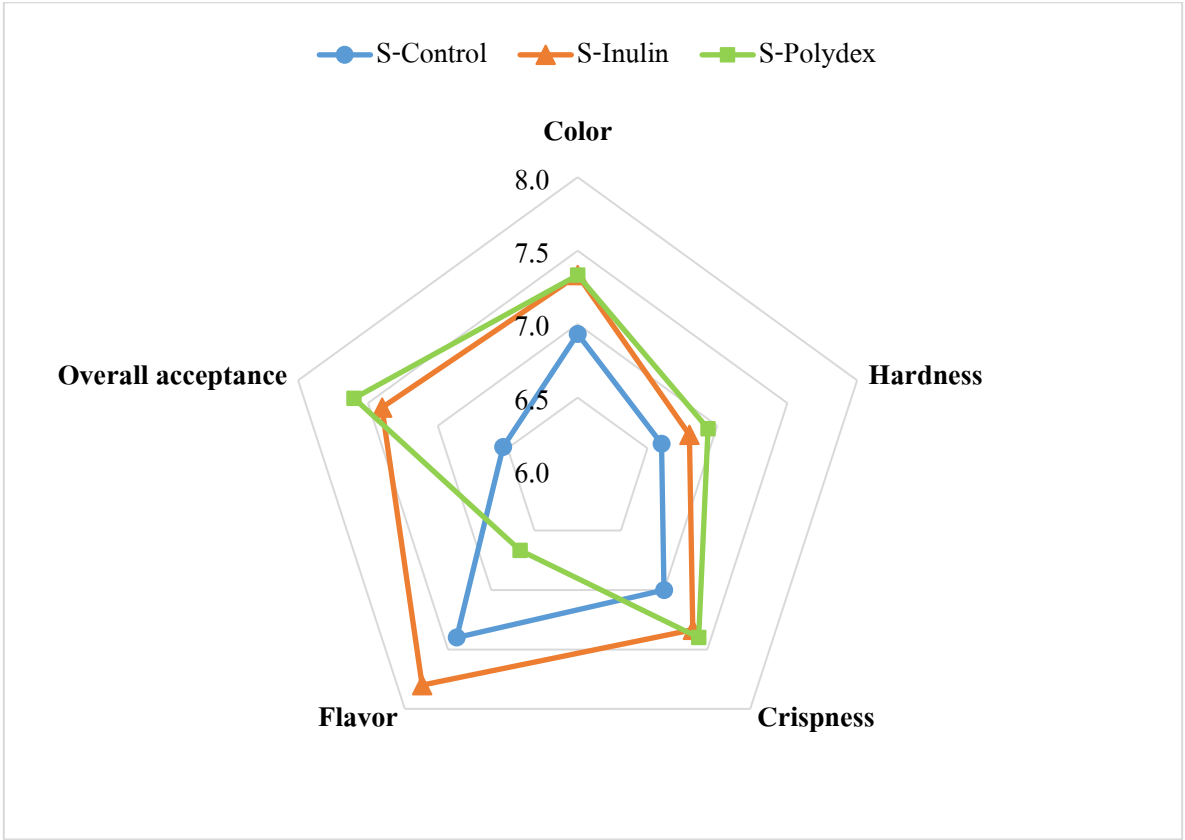
รูปที่ 3แสดงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีค่าระหว่าง 10.77 – 16.25 ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์การเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพด้านสีของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การพอลิเดกซ์โทรสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่การเติมอินนูลินทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผงอินนูลินที่เติมมีสีขาวจึงทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง นอกจากนี้ Dias et al., 2021 รายงานว่า การย่อยสลายของโปรตีนเคซีนระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตอาจทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งทั้งด้านรูปทรงหัวใจและทรงสีเหลี่ยม



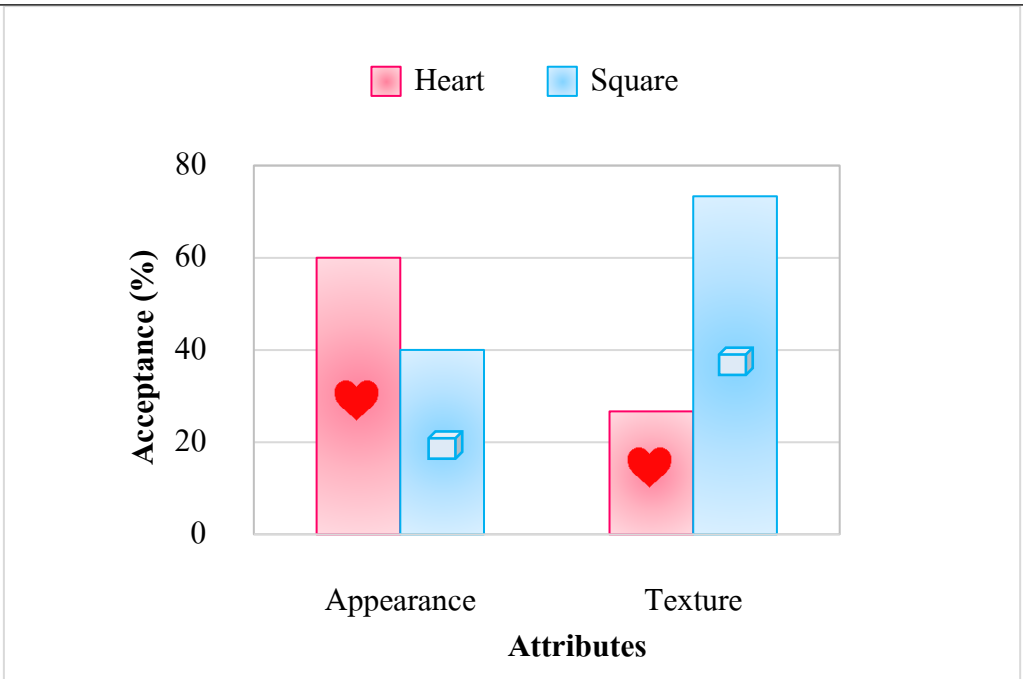
รูปที่ 3 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยค่าเฉลี่ยได้จากการทดลอง 10 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



รูปที่ 5 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง 1 - 9 (1 หมายถึงชอบน้อยที่สุด 5 หมายถึง เฉย ๆ และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด)



รูปที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบด้านลักษณะรูปร่างและเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) ของรูปทรงหัวใจและสี่เหลี่ยม

รูปที่ 5 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านสี ความแข็ง ความกรอบ กลิ่นรส และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสูตร S-Control, S-Inulin และ S-Polydex จากผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 18 คน โดยระดับคะแนนความชอบตั้งแต่ 1-9 ทั้งนี้ 1 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด 5 หมายถึง เฉย ๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมอินนูลิน (7.80) สูงกว่าสูตรควบคุม (7.40) และสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส (6.63) อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านสี ความแข็ง ความกรอบ และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมพรีไบโอติกไม่แตกต่างกัน แต่สูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบต่ำกว่า นอกจากนี้ รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความชอบด้านลักษณะรูปร่างและเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) ของรูปทรงหัวใจและสี่เหลี่ยม พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะรูปร่างรูปทรงหัวใจมากกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยม แต่ในทางตรงกันข้าม ผู้ทดสอบมีความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของรูปทรงสี่เหลี่ยมมากกว่ารูปทรงหัวใจ

สรุป

จากการศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติก ได้แก่ อินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสสมบัติทางเคมี เนื้อสัมผัส และผลการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า การเติมอินนูลินช่วยสนับสนุนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ดีกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรสเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาการหมักลง แต่การเติมพรีไบโอติกทั้งสองชนิดมีผลทำให้ได้ปริมาณ

กรดมากขึ้น การเติมอินนูลินมีผลทำให้ปริมาณน้ำอิสระของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลง นอกจากนี้การเติมอินนูลินและพอลิเดกซ์โทรสมีผลทำให้ค่าความแข็งของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่การเติมอินนูลินมีผลทำให้โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความกรอบต่ำกว่าสูตรไม่เติมพรีไบโอติก การเติมพอลิเดกซ์โทรสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของโยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่การเติมอินนูลินทำให้ค่าความเป็นสีแดงลดลง จากผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมอินนูลินสูงกว่าสูตรควบคุมและสูตรเติมพอลิเดกซ์โทรส อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบด้านสี ความแข็ง ความกรอบ และความพอใจโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกสูตรเติมพรีไบโอติกไม่แตกต่างกัน แต่สูตรควบคุมได้รับคะแนนความชอบต่ำกว่า จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมอินนูลินช่วยลดระยะเวลาการหมักโยเกิร์ต และการเติมพรีไบโอติกช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี ทางเนื้อสัมผัส และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, J., Thomas, L., & Khashawi, R. (2020). Influence of hot-air drying and freez-drying on functional, rheological, structural and dielectric properties of green banana flour and dispersions. **Food Hydrocolloids 99**, 105331

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. **Foods 2019**, 8, 92

Desai, N. T., Shepard, L., & Drake, M. A. (2013). Sensory properties and drivers of liking for Greek yogurts. **Journal of Dairy Science,** Vol. 96 No. 12

Do Carmo, M. M. R., Walker, J. C. L., Novello, D., Caselato, V. M., Sgarbieri, V. C., Ouwehand, A. C., Andreollo, N. A., Hiane, P. A., & Santos, E. F. d. (2016). Polydextrose: Physiological function, and effects on health. **Nutrients 2016**, 8, 553

Garcia-Amezquita L.E., Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F.T., & Bermudez-Aguirre,D. (2016). Freeze-drying: the basis process. **Encyclopedia of Food and Health** 2016, 104-109

Junyusen, T., Ngampang, N., Sangmuang, A., Suthada, S., & Chatchavanthatri, N. (2017). The effects of inulin on the textural, thermal, and microstructural properties of reduced-fat cheese. **Suranaree Journal Science Technology 24** (1), 23–30

Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., & Poutanen. K. (2 0 1 0). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. **Nutrition Reviews,** Vol. 69 (1), 9–21

Rubel, I. A., Iraporda, C., Manrique G. D., Genovese, D. B., & Abraham, A. G. (2021). Inulin from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) : From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre 26,** 100281

Santana, A. A., L.G.P. Martin, R.A. de Oliveira, L.E. Kurozawa and K.J. Park. (2017). Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents**. Drying Technology 35**(1) , 76-87

Serafeimidou, A., Zlatanos, S., Laskaridis, K., & Sagredos, A. (2012). Chemical characteristics, fatty acid composition and conjugated linoleic acid (CLA) content of traditional Greek yogurts. **Food Chemistry 134**, (2012), 1839–1846

Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C., & Subhimaros, S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. **LWT - Food Science and** Technology 51, 30-36

Wang, Y., Zhao, Y., Xue, F., Nan, X., Wang, H., Hua, D., Liu, J., Yang, L., Jiang, L., & Xiong, B. (2020). Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a neotype feed resource. **Animal Nutrition 6** (2020), 429-437

FE-A10

ผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

Effect of Sterilization Process on Physicochemical Properties of Mayongchid Loi Kaew in Retort Pouch Product

จันทรัตน์ เทียนประเสริฐ[1] พรธีรา ศิริศักดิ์[1] นิรุตย์ แซ่โง้ว[1] และ สุนัน ปานสาคร[1*]

Jantharat Teanprasert[1], Porntheera Sirisak [1] Nirut Saengow[1] and Sunan Parnsakhorn [1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ และคำนวณหาค่า F_0 วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ ค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหวาน ปริมาณเบต้าแคโรทีน และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 4.12, 4.27 และ 4.96 min ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด < 10 CFU/g อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ค่าความสว่าง (L*) ของมะยงชิดลอยแก้วทุกสภาวะการทดสอบมีค่าน้อยกว่า 50 โดยที่มะยงชิดลอยแก้วที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนให้ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 21.73, 9.73 และ 53.27 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังได้รับความร้อนและเวลาที่นาน ในขณะที่ค่า b* และ a* ให้ค่าระหว่าง 19.96-52.79 และ 4.48-16.63 ที่เวลาฆ่าเชื้อ 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 5-15 min ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในขณะที่ค่าความหวานลดลง นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในมะยงชิดลอยแก้วก่อนการฆ่าเชื้อเท่ากับ 0.467 mg/100 g และลดลง 0.428, 0.325 และ 0.264 mg/100 g ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ

คำสำคัญ: มะยงชิดลอยแก้ว, การสเตอริไรส์, บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์, เบต้าแคโรทีน

Abstract

The aim of research is study effect of sterilization process on physicochemical properties of Mayongchid Loi Kaew in retort pouch product that were sterilized at 115°C for 5 , 10 and 15 minutes respectively. The calculating of F value (F_0), including color value, pH value, total soluble solid, beta carotene value and overall microbial content were determined. The result showed that the F value (F_0) of retort pouches sterilized at 115°C for 5, 10 and 15 minutes are 4.12, 4.27 and 4.96 minutes consecutively and total microorganisms were found < 10 CFU/g, which is in the safe criteria for consumption. For the lightness value (L*) of Mayongchid Loi Kaew, all test conditions were less than 50. The unheated Manongchid Loi Kaew gave L*, a* and b* values of 21.73, 9.73 and 53.27, respectively. In this regard, the L* value tends to increase after heating and long time. While b* and a* values were between 19.96-52.79 and 4.48-16.63 at sterilization times of 5, 10 and 15 min, respectively. It was observed that heating at 115°C for 5-15 min did not affect the change in pH while the sweetness value was decreases. Moreover, it was found that beta-carotene content in Mayongchid Loi Kaew before sterilization was 0.467 mg/100 g and decreased by 0.428, 0.325 and 0.264 mg/100 g at sterilization temperature 115°C for 5, 10 and 15 min, respectively.

Keyword: Mayongchid Loi Kaew, Sterilization, Retort pouch, Beta-carotene

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่อุดมไปด้วย ผัก ผลไม้นานาชนิดทั้งที่มีบริโภคตลอดทั้งปี เช่น กล้วย ส้ม มะละกอ สับปะรด มะพร้าว และที่มีผลผลิตเป็นฤดูกาล เช่น เงาะ ทุเรียน ลำไย มะยงชิด และอื่นๆ ดังนั้น ผลไม้ที่ออกเป็นฤดูการจึงมีจำหน่ายในช่วงเวลาสั้นๆ มักมีราคาที่สูงในช่วงแรกที่ผลผลิตน้อย และเมื่อผลผลิตมากขึ้นราคาเริ่มตกต่ำเนื่องจากจำนวนผลผลิตที่ล้นตลาดจะตามมา ซึ่งหนึ่งในผลไม้ที่กำลังประสบปัญหาดังที่กล่าวมา คือ มะยงชิด ที่มีราคาค่อนข้างสูงในช่วงต้นฤดูประมาณ 300-400 บาทต่อกิโลกรัม และหารับประทานได้ยาก ประกอบกับปัจจุบันเกษตรกรหันมาปลูกมะยงชิดกันอย่างกว้างขวางส่งผลให้มีปริมาณที่ออกสู่ท้องตลาดค่อนข้างมากจนบางครั้งราคาต่ำกว่า 80 บาทต่อกิโลกรัม และยังพบมะยงชิดตกเกรดอีกเป็นจำนวนมาก แหล่งปลูกมะยงชิดส่วนใหญ่อยู่ที่จังหวัดนครนายก สุโขทัย ปราจีนบุรี เพชรบูรณ์ และกำแพงเพชร (มะยงชิด ผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน, 2566) ด้วยเหตุผลดังกล่าวการนำมะยงชิดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย เช่น มะยงชิดลอยแก้ว มะยงชิดอบแห้ง น้ำผลไม้มะยงชิด เป็นต้น มะยงชิดมีสารเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีสูง มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระและยังมีแคลเซียมและฟอสฟอรัส ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน มีวิตามินบี 3 หรือไนอะซิน ที่มีความจำเป็นต่อระบบประสาทและการทำงานของสมองและแถมยังช่วยบำรุงผิวพรรณเพิ่ม นอกจากนี้มะยงชิดยังมีวิตามินเอ ที่ช่วยในเรื่องให้ระบบสายตาไม่เสื่อม ยังช่วยลดความเสื่อมของเซลล์ลูกตาพร้อมกับโอกาสการเกิดต้อ

กระจกของอายุที่สูงเพิ่มมากขึ้น สารเบต้าแคโรทีนในมะยงชิดมีบทบาทอย่างยิ่งในการช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันและรักษาสุขภาพให้กับร่างกายเพราะมีผลกระตุ้นให้เซลล์ภูมิคุ้มกัน "ที-เฮลเปอร์" ช่วยต้านทานสิ่งแปลกปลอมในร่างกาย จึงทำให้ช่วยลดโอกาสความเสี่ยงที่ก่อเกิดโรคมะเร็ง มะยงชิดยังมีโปรตีนและธาตุเหล็ก ธาตุอาหารที่สำคัญและเป็นที่ต้องการของร่างกาย ที่จะช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติ เสริมสร้างกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ป้องกันอาการโรคโลหิตจาง เพิ่มภูมิต้านทานอีกด้วย (นัทยา, 2566)

ปัจจุบันสภาพการดำรงชีวิตที่เต็มไปด้วยภาวะที่เร่งรีบ ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เพราะมีความสะดวกรวดเร็ว ประหยัดเวลาในการเตรียม ผลิตภัณฑ์ยังคงคุณภาพและรสชาติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ปรุงสุกใหม่ รวมทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ได้นาน ซึ่งตอบสนองกับพฤติกรรมของผู้บริโภคเป็นอย่างดี จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์พบว่าเป็นภาชนะบรรจุที่เข้ามาแทนกระป๋อง สามารถปิดผนึกสนิท มีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อนและความดันสูงได้ ใช้บรรจุอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้าได้เหมือนกับกระป๋อง อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ อีกทั้งสะดวกต่อการขนย้าย พกพา และพร้อมรับประทาน เพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้บริโภค (Jun et al., 2006; พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2566) ทั้งนี้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้าต้องคำนึงถึงตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ ได้แก่ ค่า F_0 ซึ่งหมายถึง เวลาของการฆ่าเชื้อที่เทียบเท่า ณ อุณหภูมิ 121°C (250°F) ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอื่นๆ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 335 พ.ศ. 2556 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดให้ค่า F_0 ที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นกรดต่ำจะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 min เพื่อให้เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของ Clostridium botulinum (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556)

มีงานวิจัยที่ศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ เผยแพร่อย่างแพร่หลาย เช่น มาฤดี และธีรินทร์ (2557) ศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานในรีทอร์ทเพาซ์และรายงานว่าระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้า (F_0) ที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อการบริโภคคือ 4.02 min นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อลดอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ซึ่งทำให้ระยะเวลาฆ่าเชื้อนานขึ้น ทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น พฤกษา (2559) ได้ศึกษาผลของเวลาการให้ความร้อนต่อลักษณะทางกายภาพของปลาทูต้มเค็มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์พบว่าการฆ่าเชื้อที่ 121°C เป็นเวลา 30, 40 และ 50 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 7.7, 8.8 และ 12.1 min ตามลำดับ และตรวจไม่พบค่าจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และ Thakur and Rai (2018) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการและการประเมินอายุการเก็บของข้าวผสมเครื่องเทศหุงสุกในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์พบว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 117.67°C เป็นเวลา 22.4 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 8.7 min คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีที่สุดและสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 180 วัน ดังนั้นจากข้อมูลที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค ช่วยส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างมะยงชิดลอยแก้ว : จัดซื้อมะยงชิดพันธุ์ทูลเกล้าคุณภาพดี สีเหลืองนวล นำมาปอกเปลือกพร้อมคว้านเมล็ดออก เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปใช้ต่อไป จากนั้นเตรียมน้ำเชื่อมที่ประกอบด้วยน้ำตาลทราย 700 g ผสมกับน้ำเปล่า 1,500 ml และเกลือแกง 5 g ให้ความร้อนจนน้ำตาลละลายเป็นเนื้อเดียวกันวัดค่าความหวานได้ประมาณ 23°Brix

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อเพื่อหาค่า Fo : ชั่งตัวอย่างมะยงชิดที่คว้านเมล็ดออกแล้วน้ำหนักประมาณ 70-80 g บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาช์แบบถุงตั้ง (Stand-up pouch) ขนาด 10x15x3.5 cm จากนั้นเติมน้ำเชื่อมจนได้น้ำหนักรวม 120 g ทำการไล่อากาศ และปิดผนึกปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปใช้หาค่า F_0 ทำการเจาะรูที่ 1/3 ของความสูงจากก้นถุงรีทอร์ทเพาช์ซึ่งเป็นจุดที่ร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์และเสียบสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple type T) ปลายสายวัดอุณหภูมิด้านในถุงแล้วทำการไล่อากาศและปิดผนึก

ขั้นตอนการฆ่าเชื้อ : นำตัวอย่างมะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการเตรียมและเสียบสายวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ววาง ณ ตำแหน่งกลางหม้อฆ่าเชื้อ (รีทอร์ทแรงดันสูงชนิด Water spray retort, (National direct network Co., Ltd, Thailand)) ในขณะที่ตัวอย่างมะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ถุงอื่นๆ จัดวางในตำแหน่งชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ของหม้อฆ่าเชื้อ จากนั้นนำสายวัดอุณหภูมิต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, National Instruments Model NI 9211, Hungary) และทำการฆ่าเชื้อที่ 115°C เป็นเวลา 5 min โดยทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 min บันทึกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การให้ความร้อน (Heating) การคงอุณหภูมิ (Holding) ตามเวลาที่กำหนด และเมื่อครบเวลา ผลิตภัณฑ์จะถูกลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วด้วยการสเปรย์น้ำ (Cooling) และควบคุมแรงดันภายในรีทอร์ทเพื่อป้องกันการปริหรือแตกของถุงรีทอร์ทเพาช์ โดยเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ถูกลดลงไปถึงอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 45°C จึงจะถูกนำออกจากหม้อฆ่าเชื้อเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป ทำการทดสอบใหม่โดยการเปลี่ยนสภาวะการทดสอบเป็นการฆ่าเชื้อที่ 115°C เป็นเวลา 10 min และ 115°C เป็นเวลา 15 min ตามลำดับ

คำนวณหาค่า F_0 : ทำการคำนวณหาค่า F_0 ของแต่ละช่วงเวลาการฆ่าเชื้อโดยวิธี Patashnik's method (Shri et al., 2000) คำนวณหาค่า Lethal rate ของแต่ละช่วงเวลา ตามสมการที่ (1) และคำนวณค่า Lethal rate สะสม (Running total) เพื่อนำมาใช้คำนวณหาค่า F_0 ตามสมการที่ (2)

$$L = 10^{\left[\frac{(T-121)}{10}\right]} \quad (1)$$

$$F_0 = t\left[\frac{(L_1+L_2)}{2} + \frac{(L_2+L_3)}{2} + \cdots + \frac{(L_{n-1}+L_n)}{2}\right] \quad (2)$$

โดยที่

L คือ Lethal rate เวลาเทียบเท่าของประสิทธิผลการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งกับอุณหภูมิอ้างอิง (^{o}C)

T คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ (^{o}C)

L_1 คือ Lethal rate ณ เวลาการทดสอบเริ่มต้น

L_n คือ Lethal rate ณ เวลาการทดสอบใดๆ

t คือ ช่วงเวลาการทดสอบวัดอุณหภูมิ (1 min)

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี :

- **ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)** : อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler (2001)
- **ค่าสี (Color):** วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) โดยวิเคราะห์ในส่วนขององค์ประกอบที่เป็นมะยงชิด โดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ
- **ความเป็นกรดด่าง (pH) :** นำน้ำเชื่อมในตัวอย่างมะยงชิดลอยแก้วก่อนและหลังการให้ความร้อนนำไปวัดค่าโดยใช้เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Sartorius
- **ค่าความหวาน :** นำน้ำเชื่อมในตัวอย่างมะยงชิดลอยแก้วก่อนและหลังการให้ความร้อนวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง Hand Refractometer (Optika, Model HR-190, Italy) ที่อุณหภูมิ 25°C บันทึกค่าจากนั้นทำซ้ำอีก 2 ครั้ง รายงานผลในหน่วย ^{o}Brix
- **การสกัดและวัดปริมาณเบต้าแคโรทีน :** อ้างอิงด้วยวิธีการของ Nagata and Yamashita (1992) : ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ใช้วิธีมาตรฐานทำโดยเตรียมสารละลายอะซิโตน (Acetone) ผสมกับสารละลายเฮกเซน (Hexane) ในอัตราส่วน 2:3 นำชิ้นมะยงชิดสับละเอียดมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1 g ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวก้นแหลม เติมสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น 20 ml หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เติมสารละลายแล้วไปปั่นด้วยเครื่องเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 1 min หรือจนกว่าจะละเอียด เสร็จแล้วจึงปิดฝา พักไว้ที่อุณหภูมิ 25°C นาน 24 hr แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A_{663}, A_{645}, A_{505} และ A_{453} nm ตามลำดับ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการที่ (3)

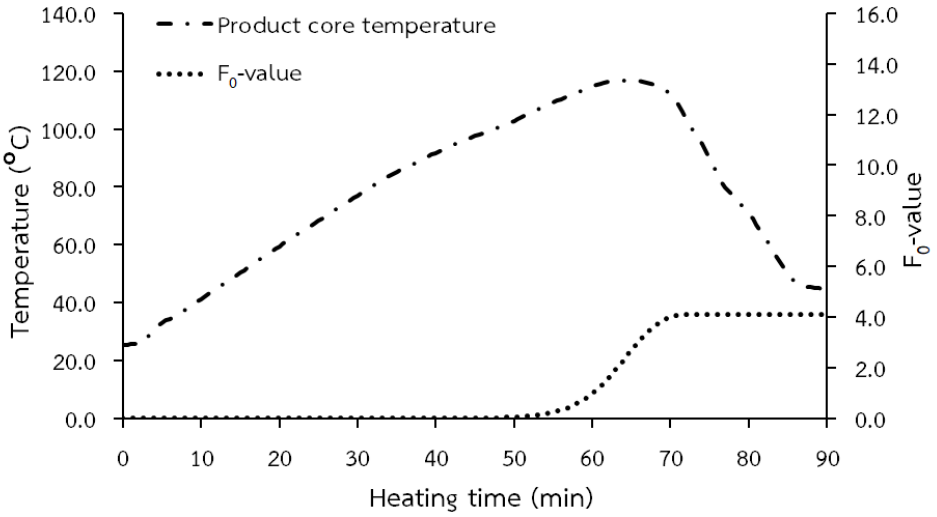
$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453} \quad (3)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

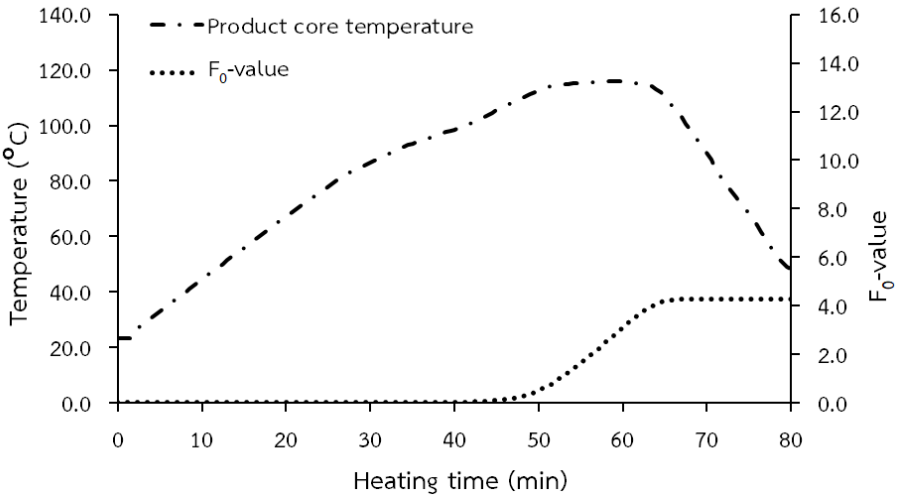
จากการศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ โดยแปรระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ 3 ระดับ ได้แก่ 115°C เป็นเวลา 5 min 10 min และ 15 min ตามลำดับ ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ได้แก่ ค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหวาน ปริมาณเบต้าแคโรทีน และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดพร้อมทั้งคำนวณหาค่า F_0 ของกระบวนการให้ความร้อน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1-4 และตารางที่ 1-2

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการคำนวณหาค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

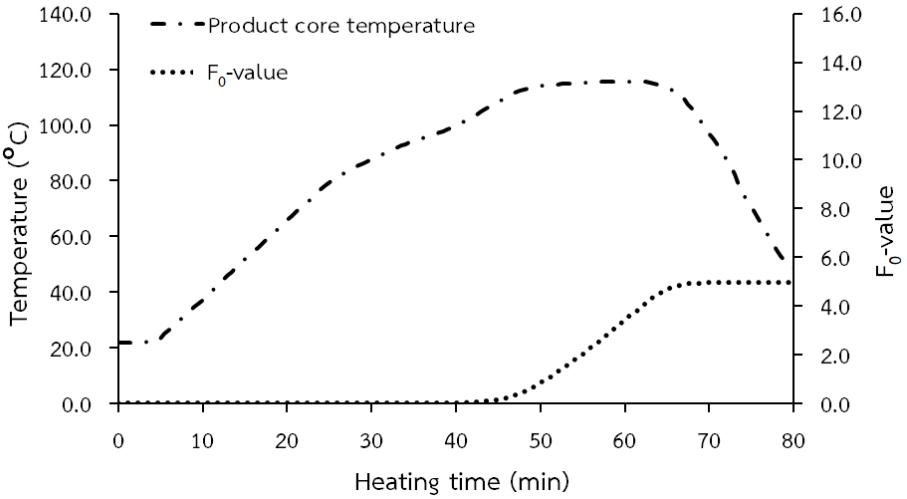
จากการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ พบว่าจากรูปที่ 1-3 แสดงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อน การคงอุณหภูมิและการทำเย็นใช้เวลาทั้งสิ้น 80-90 min จากการคำนวณหาค่า F_0 ด้วยวิธีการของ วิธี Patashnik's method (Shri et al., 2000) แสดงดังรูปที่ 1-3 พบว่าที่อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ 115°C เป็นเวลา 5, 10, และ 15 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 4.12, 4.27 และ 4.96 min ตามลำดับ ทั้งนี้เวลาที่ได้จากการคำนวณหาค่า F_0 เป็นเวลาเทียบเท่าของประสิทธิผลการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิอ้างอิง คือ 121°C (250°F) ของทั้งกระบวนการตั้งแต่การเพิ่มอุณหภูมิ การคงอุณหภูมิ และการลดอุณหภูมิ ซึ่งจากรูปที่ 1-3 พบว่าเวลาของกระบวนการทดสอบแตกต่างกันไปตามสภาวะที่ใช้ในการทดสอบจึงส่งผลต่อค่า F_0 ที่แตกต่างกัน โดยค่า F_0 ที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ F_0 ไม่ต่ำกว่า 3 min (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556) จากการทดสอบหาค่า F_0 ของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลด้านการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่มีค่า <10 CFU/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคดังแสดงในตารางที่ 2 และเมื่อพิจารณา F_0 ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันในรายงานวิจัยอื่น เช่น ผลิตภัณฑ์โจ๊กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่เหมาะสมรายงานว่ามีระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้าค่า F_0 และปลอดภัยต่อการบริโภคคือ 4.02 min (มาฤดี และ ธีรินทร์, 2557) Nalini et al., (2018) รายงานระดับการฆ่าเชื้อที่ปลอดภัยต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์ไก่พริกไทยในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ คือ 7.2 min และ Thakur and Rai (2018) ได้ศึกษาข้าวผสมเครื่องเทศหุงสุกในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์พบว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 117.67°C เป็นเวลา 22.4 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 8.7 min



รูปที่ 1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 5 min



รูปที่ 2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 10 min



รูปที่ 3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 15 min

ผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

ค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตมะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์จึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ โดยงานวิจัยทำการวัดค่าสีจากชิ้นมะยงชิดในผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วก่อนและหลังการฆ่าเชื้อแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของมะยงชิดลอยแก้วทุกสภาวะการทดสอบ อยู่ในกลุ่มสีค่อนข้างคล้ำมีค่าน้อยกว่า 50 โดยที่มะยงชิดลอยแก้วที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (MYL-control) ให้ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 21.73±1.37, 9.73±0.80 และ 53.27±2.59 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังได้รับความร้อนและเวลาที่นาน ซึ่งการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 5 min (MYL-(115-5)), 10 min (MYL-(115-10)) และ 15 min (MYL-(115-15)) ให้ค่า L* เท่ากับ 31.00±0.19, 34.75±0.57 และ 34.88±1.12 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นระหว่าง 5-15 min แสดงค่าอยู่ในช่วง 19.96-52.79 และค่าความเป็นสีแดง (a*) แสดงค่าอยู่ในช่วง 4.48-16.63 สอดคล้องกับ Majumdar et al., (2017) พบว่าค่า L*, b*, and a* ของผลิตภัณฑ์แกงกุ้งในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นปฏิกิริยาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบของอาหารระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน มักเกิดในขณะที่อาหารผ่านความร้อน (วิไล, 2557)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

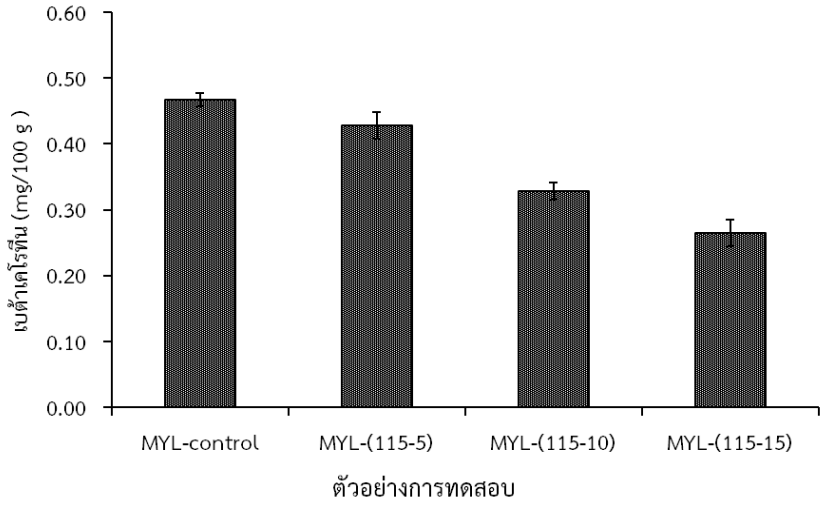
ค่าสี	กระบวนการทดสอบ			
	MYL-control	**MYL-(115-5)**	**MYL-(115-10)**	**MYL-(115-15)**
L*	21.73±1.37	31.00±0.19	34.75±0.57	34.88±1.12
a*	9.73±0.80	4.48±0.18	10.43±0.78	16.63±1.06
b*	53.27±2.59	19.96±0.42	41.31±1.76	52.79±2.54

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมด ค่าความเป็น-ด่าง และค่าความหวานของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

ตัวอย่าง	**ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)**	**ค่าความเป็น-ด่าง (pH)**	**ค่าความหวาน (^{o}Brix)**
MYL-control	$1x10^{2}$	4.08±0.02	22.93±0.05
MYL-(115-5)	<10	3.70±0.01	21.00±0.02
MYL-(115-10)	<10	3.62±0.02	21.01±0.01
MYL-(115-15)	<10	3.62±0.01	21.02±0.03

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)



รูปที่ 4 ผลการทดสอบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

การผลิตอาหารเพื่อการบริโภค สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึง คือ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทำการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ซึ่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ผลการประเมินพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนการฆ่าเชื้อให้ค่าเท่ากับ $1x10^2$ CFU/g และลดลง <10 CFU/g หลังการให้ความร้อนระดับระดับสเตอริไรส์ในทุกสภาวะการทดสอบ ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย อ้างอิงได้จากมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ.2556 กำหนดจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g ในอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เมื่อทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อพบว่าให้ค่าระหว่าง 3.62-4.08 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างต่างกัน หรือจัดอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นกรด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบคือมะยงชิดที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มีค่า pH ที่ต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cerdan et al., (2007) ที่กล่าวว่าการให้ความร้อนกับน้ำอุ่นไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดสอบค่าความหวานในหน่วย ^{o}Brix พบว่าผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนการฆ่าเชื้อให้ค่าเท่ากับ 22.93 ^{o}Brix และลดลงเล็กน้อยที่ประมาณ 21°Brix หลังการให้ค่าความร้อนที่ 115°C เป็นเวลา 5-15 min แสดงให้เห็นว่าหลังการให้ความร้อนมีชิ้นมะยงชิดบางส่วนแทรกตัวไปในน้ำเชื่อมจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหวาน จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบเบต้าแคโรทีนพบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในชิ้นมะยงชิดก่อนการฆ่าเชื้อเท่ากับ 0.467 mg/100 g และลดลง 0.428, 0.325 และ 0.264 mg/100 g ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงเนื่องมาจากการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจะทำให้สูญเสียแคโรทีน อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ชนิดทรานส์ และซีสของแอลฟาและเบต้าแคโรทีน (ยุทธพงธ์ และคณะ, 2552) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปราลี และคณะ (2556) ที่พบว่าการให้ความร้อนกับน้ำฟักข้าวที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C ส่งผลให้ปริมาณสารแบต้าแคโรทีนลดลง

สรุปผล

การศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์มะยงชิดลอยแก้วในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 4.12, 4.27 และ 4.96 min ตามลำดับ ทั้งนี้การคำนวณหาค่า F_0 เป็นเวลาเทียบเท่าของประสิทธิผลการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิอ้างอิง คือ 121°C (250°F) โดยค่า F_0 ที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ F_0 ไม่ต่ำกว่า 3 min และสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด< 10 CFU/g อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับค่าความสว่าง (L*) ของมะยงชิดลอยแก้วทุกสภาวะการทดสอบมีค่าน้อยกว่า 50 โดยที่มะยงชิดลอยแก้วที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนให้ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 21.73, 9.73 และ 53.27 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังได้รับความร้อนและเวลาที่นาน ในขณะที่ค่า b* และ a* ให้ค่าระหว่าง 19.96-52.79 และ 4.48-16.63 ที่เวลาฆ่าเชื้อ

5, 10 และ 15 min ตามลำดับ สังเกตพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115°C เวลา 5-15 min ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในขณะที่ค่าความหวานลดลง และพบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในชิ้นมะยงชิดก่อนการฆ่าเชื้อเท่ากับ 0.467 mg/100 g และลดลง 0.428, 0.325 และ 0.264 mg/100 g ที่อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ 115°C เวลา 5, 10 และ 15 min ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนทุนและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นัทยา จงใจเทศ (2566) องค์ความรู้เรื่องปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เพื่อส่งเสริมสุขภาพ (วิตามินซี วิตามินอีและ เบต้าแคโรทีน) ในผลไม้. นนทบุรี: *กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข*. สืบค้นจาก : https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/km-01/ [26 ก.พ. 2566].

ปราลี พรายชื่น, ปวีณวรรณ พรายชื่น และ สิริพร พงศ์ทองผาสุก. (2556). ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำฟักข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18 (2) : 90-96.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ.2556 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. หน้า 88-92.

พฤกษา สวาทสุข. (2559). ผลของเวลาการให้ความร้อนต่อลักษณะทางกายภาพของปลาทูต้มเค็มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์. *วารสารแก่นเกษตร*.44(2):257-264.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2566). วัสดุที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0473/retort-pouch -รีทอร์ทเพาช์ [14 ก.พ. 2566].

มะยงชิดผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน. (2566). สืบค้นจาก https://www.sgethai.com/article/มะยงชิด-ผลไม้ยอดฮิตในฤ/ [15 ก.พ.2566]

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ และ ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ. (2557). ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทเพาช์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ยุทธพงษ์ ปัญญาดา, อรณี อภิชาติสรางกูร, พนิดา รัตนปิติกรณ์ และเอกชัย ชูเกียรติโรจน์. (2552). ผลของความดันสูงและความร้อนต่อคุณภาพทางกายภาพเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำแครอท. *Food*. 29(4):331-337.

วิไล รังสาดทอง. (2557). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

Cerden, T.G., Gil, M.A. Fontanet, A.R.M., Azpilicueta, C.A. and Belloso, O.M. (2007). Effects of thermal and non-thermal processing treatments on fatty acids and free amiono acids of grape juice. Food Control. 18: 473-479.

Jun, S., Cox, L.J., Huang, A. (2006). Using the flexible retort pouch to add value to agricultural products. Honolulu (HI): University of Hawaii. 6 p. *Food Safety and Technology*; FST-18.

Majumdar, R. K., Roy, D. (2017). Sensory characteristics of retort-processed freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in curry medium. *International Journal of Food Properties*. 20(11):2487-2498.

Maturin, L., Peeler, J.T.(2001). Chapter 3. Aerobic Plate Count," In: Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual Online. 8th ed. Silver Spring, Berlin.

Nagata, M., and I. Yamashita. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit.*J. Japan Soc. Food Sci. Technol.* 39: 925-928.

Nalini, P., Robinson, J.J., Abraham, V., Appa, Rao. R.(2018). Narendra Babu T, Nobal Rajkumar R, Rajkumar, Kathiravan R.S. Shelf-Life of Ready-To-Eat Retort Processed Pepper Chicken. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(3):832-840.

Shri, K.S., Steven, J.M. and Syed, S., Rizvi, H. (2000). Food process engineering: theory and laboratory experiments. John Wiley & Sons, US.

Thakur, R.S., and Rai, D.C. (2018). Development and optimization of shelf stable ready to eat palak paneer. International Journal of Chemical Studies. 6(1):1670-1680.

FE-A11

ศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน

Study on the Physicochemical Properties of Meyongchid Sauce Suitable for Producing Beads by Reverse Spherification Technique

พลอย แสงสง่าพงษ์[1] ชญานิษฐ์ หาญประทุม[1] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์[1] และ สุนัน ปานสาคร[1*]

Ploy Seangsangapong[1], Chayanid Hanpratum [1] Jaturong Langkapin[1] and Sunan Parnsakhorn[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน การทดสอบทำการปรับสูตรซอสมะยงชิด 3 สูตร ประกอบด้วยน้ำตาลทราย 150 กรัม น้ำมะนาว 3 กรัม เกลือ 1 กรัม และมะยงชิดคั้นสด 400 กรัม เป็นสูตรที่ 1 ปรับมะยงชิดคั้นสดเป็น 600 กรัม เป็นสูตรที่ 2 และมะยงชิดคั้นสด 800 กรัม เป็นสูตรที่ 3 จากการทดสอบพบว่าที่สัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 กรัม ให้ค่าความสว่าง (L*) 31.26 และลดลงที่ 30.20 และ 26.42 เมื่อสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสดเพิ่มขึ้นเป็น 600 และ 800 กรัม เช่นเดียวกับค่า a* ที่มีค่าลดลงจาก 3.85, 3.04 และ 1.41 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า b* ไม่เปลี่ยนแปลง ซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตรให้ค่าเบต้าแคโรทีน ความหนืด และค่าความเป็น-ด่าง มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.092-0.098 มิลลิกรัม/100 กรัม, 12.63-14.60 เซนติพอยส์ และ 3.28-3.50 ตามลำดับ สอดคล้องกับเมื่อวัดค่าความหวานของซอสที่สัดส่วนมะยงชิดคั้นสด 400 กรัม ให้ค่าความหวาน 40.10 องศาบริกซ์ และลดลงที่ 33.47, 29.80 องศาบริกซ์ ที่สัดส่วนมะยงชิดคั้นสด 600 กรัม และ 800 กรัม เมื่อประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าซอสมะยงชิดสูตรที่ 1 ซึ่งมีสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 กรัม ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกด้าน จากนั้นผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันจึงได้เม็ดบีดส์ที่มีคุณสมบัติที่ดีทั้งด้านขนาด น้ำหนัก และค่าการบวมน้ำ

คำสำคัญ: ซอสมะยงชิด, เม็ดบีดส์, รีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน, ค่าการบวมน้ำ, เบต้าแคโรทีน

Abstract

This research was to study the physicochemical properties of meyongchid sauce that was suitable for producing beads by reverse spherification technique. The experiments were used Meyongchid 400, 600 and 800 g, representing formular 1, 2 and 3, respectively. Including all of them was consisted of 150 g of sugar, 3 g of lime juice and 1 g of salt. The experimental results were found that at the proportion of 400 g of fresh meyongchid, the lightness (L*) was 31.26 and decreased to 30.20 and 26.42 when the proportion of fresh meyongchid were increased to 600 and 800 g. Similarly, a* value was decreased from 3.85, 3.04 and 1.41, respectively, while b* value remained unchanged. All of 3 formulas meyongchid sauce were showed beta-carotene, viscosity and alkalinity values, i.e. 0.092-0.098 mg/100 g, 12.63-14.60 cp and 3.28-3.50 respectively. Corresponding to measuring the sweetness of the sauce, 400 g of fresh meyongchid was 40.10 °Brix and decreased at 33.47, 29.80 °Brix at 600 g and 800 g of fresh meyongchid. Sensory evaluation found that the Formula 1, which had the proportion of 400 g of fresh meyongchid, received the highest liking score in all aspects. Then the beads were produced by reverse spherification technique, resulting was found that beads with good properties in terms of size, weight and swelling capacity values.

Keyword: Meyongchid Sauce, Beads, Reverse Spherification, Swelling capacity, beta-carotene

บทนำ

มะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวาน หอม และมีคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะมีสารเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีสูง มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระ แคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน มีวิตามินบี 3 หรือไนอะซิน ที่มีความจำเป็นต่อระบบประสาทและการทำงานของสมองรวมถึงช่วยบำรุงผิวพรรณ นอกจากนี้มะยงชิดยังมีวิตามินเอที่ช่วยในเรื่องให้ระบบสายตา สารเบต้าแคโรทีนในมะยงชิดมีบทบาทอย่างยิ่งในการช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันและรักษาสุขภาพให้กับร่างกายเพราะมีผลกระตุ้นให้เซลล์ภูมิคุ้มกัน "ที-เฮลเปอร์" ช่วยต้านทานสิ่งแปลกปลอมในร่างกาย จึงทำให้ช่วยลดโอกาสความเสี่ยงที่ก่อเกิดโรคมะเร็ง มะยงชิดยังมีโปรตีนและธาตุเหล็ก ธาตุอาหารที่สำคัญและเป็นที่ต้องการของร่างกาย ที่จะช่วยในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติ แข็งแรง เสริมสร้างกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ป้องกันอาการโรคโลหิตจาง เพิ่มภูมิต้านทานอีกด้วย (นัทยา, 2566) แต่มะยงชิดเป็นผลไม้ที่ง่ายต่อการเน่าเสีย และมีอายุในการเก็บรักษาสั้น มีปริมาณน้ำสูง และปัจจัยที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลไม้ เช่น มีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์และมีลักษณะอวบน้ำเมื่อมีแรงกระแทกจากการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม จะทำให้บอบช้าได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำมะยงชิดมาแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ๆ ให้กับผู้บริโภค

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อปรับปรุงและเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยนำหลักการโมเลคิวลาร์แกสโตรมี (Molecular gastronomy) (Lane, 2013; Lightner and Rand, 2014; Tsai et al. 2017) และการขึ้นรูปทรงกลม (Spherification) ซึ่งเป็นเทคนิคในการสร้างชั้นที่กินได้ห่อหุ้มของเหลวไว้ข้างในด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอัลจิเนตซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากสาหร่าย และสารละลายแคลเซียม (Comaposada et al., 2015) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดหลากหลายขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต เรียกว่าเม็ดบีดส์ไฮโดรเจล หรือแอลจิเนตแคปซูล มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มช่วยรักษากลิ่นรสในอาหาร จิรายุ และคณะ (2563) พัฒนาการผลิตเม็ดบีดส์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน หรือการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง เม็ดบีดส์น้ำเสาวรส เป็นต้น (พัชรี และสุธีรา, 2561; อัศพงษ์ และคณะ, 2564) ในกระบวนการผลิตเม็ดบีดส์สามารถดำเนินการได้หลากหลายวิธี เช่น การทำว่าสเฟียริฟิเคชัน การทำรีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน และการใช้เอ็กซ์ทรูชันในการห่อหุ้มสารที่เป็นของเหลวภายใน เป็นต้น (Hu et al., 2008; Phawaphuthanon et al., 2014; Correia et al., 2013; Blandino et al., 1999; พัชรี และสุธีรา, 2561) ดังนั้นงานวิจัยจึงมีความสนใจศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน โดยการผสมแคลเซียมลงในน้ำซอสมะยงชิดที่ต้องการทำให้เกิดเม็ดบีดส์ เนื่องจากแคลเซียมสามารถละลายได้ดีในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (Tsai et al., 2017) เป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตร เม็ดบีดส์ยังช่วยเพิ่มรสชาติความแปลกใหม่ ความน่าสนใจในการรับประทานอาหารและประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยนำเม็ดบีดส์ไปรับประทานร่วมกับอาหารชนิดอื่นทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน

วัสดุและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมซอสมะยงชิด : นำมะยงชิดพันธุ์ทูลเกล้า ผลสมบูรณ์ สีเหลืองนวล มาทำความสะอาดด้วยการล้างด้วยน้ำเปล่า ปอกเปลือก คว้านเมล็ดออกจากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นโดยผสมกับน้ำสะอาดสัดส่วน 1:1 กรองเอาน้ำเรียกว่ามะยงชิดคั้นสด และจัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปใช้ต่อไป จากนั้นวางแผนทดลองโดยการพัฒนาสูตรซอสมะยงชิดที่มีส่วนผสมได้แก่ น้ำตาลทราย 150 g น้ำมะนาว 3 g เกลือ 1 g และมะยงชิดคั้นสด 400 g เป็นสูตรที่ 1 (MYS(400)) จากนั้นปรับอัตราส่วนมะยงชิดคั้นสด 600 g เป็นสูตรที่ 2 (MYS(600)) และมะยงชิดคั้นสด 800 g เป็นสูตรที่ 3 (MYS(800)) เรียกทั้ง 3 สูตรนี้ว่าซอสมะยงชิด แสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นนำซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตรไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65±2°C เป็นเวลา 30 min ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี เพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดในการนำไปผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันต่อไป

ตารางที่ 1 สัดส่วนขององค์ประกอบในการทำซอสมะยงชิด

องค์ประกอบของซอสมะยงชิด	MYS(400)	MYS(600)	MYS(800)
มะยงชิดคั้นสด (g)	400	600	800
น้ำตาลทราย (g)	150	150	150
น้ำมะนาว (g)	3	3	3
เกลือ (g)	1	1	1

ขั้นตอนการการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิคีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน: นำสูตรซอสมะยงชิดที่มีสมบัติที่ดีทั้งทางกายภาพเคมีและได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด มาผลิตเม็ดบีดส์โดยนำซอสมะยงชิดเติมแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 2 g/100 g ของสารละลายทั้งหมด นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5±2°C อย่างน้อย 1 hr จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.0 g/100 g ในน้ำกลั่น และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5±2°C เป็นเวลา 24 hr ขั้นตอนต่อไปทดลองหยดสารละลายซอสมะยงชิดที่ผสมแคลเซียมแลคเตท โดยใช้หลอดหยดปริมาตร 5 ml หยดลงในสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่เตรียมไว้ โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 ml บรรจุสารละลายโซเดียมแอลจิเนตปริมาตร 100 ml กวนเบาๆ เป็นเวลา 5 min กรองเม็ดบีดส์ด้วยตะแกรง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนนำไปทดสอบคุณภาพด้านน้ำหนัก ขนาด และค่าการบวมน้ำต่อไป (พัชรี และสุธีรา, 2561)

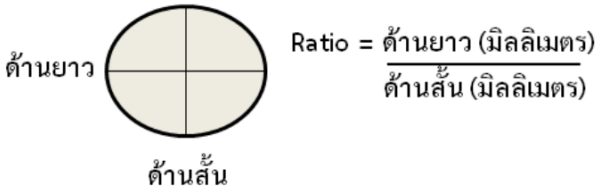
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

- **ค่าสี (Color) :** วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) โดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวก
- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH) :** วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างด้วยเครื่อง pH meter (Jenco VisionPlus630, USA) ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง
- **ค่าความหวาน :** นำตัวอย่างวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง Hand Refractometer (Optika, Model HR-190, Italy) ที่อุณหภูมิ 25°C บันทึกค่าจากนั้นทำซ้ำอีก 2 ครั้ง รายงานผลในหน่วย °Brix
- **ความหนืด : ค่าความหนืดของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความข้นหนืด Brookfield viscometer (Brookfield RVDV-II+PRO, USA) โดยใช้หัวเข็มขนาด No. 03 ปริมาณตัวอย่าง 250 ml ต่อการวัดแต่ละครั้ง อ่านค่าที่ระดับความเร็วรอบ 120 rpm บันทึกค่าความหนืดในหน่อยเซนติพอยด์ (cP) ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง**
- **การสกัดและวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธีการของ Nagata and Yamashita (1992) :** ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน โดยเตรียมสารละลายอะซิโตน (Acetone) ผสมกับสารละลาย เฮกเซน (Hexane) ในอัตราส่วน 2:3 นำซอสมะยงชิดชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1 g ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวก้นแหลม เติมสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น 20 ml หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เติมสารละลายแล้วไปปั่นด้วยเครื่อง เครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา

1 min หรือจนกว่าจะละเอียด เสร็จแล้วจึงปิดฝา พักไว้ที่อุณหภูมิ 25°C นาน 24 hr แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A_{663}, A_{645}, A_{505} และ A_{453} นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการที่ (1)

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453} \quad (1)$$

- **การทดสอบทางประสาทสัมผัส :** ทำการประเมินตัวอย่างซอสมะยงชิดด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point hedonic scale โดยมีระดับคะแนน 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านกลิ่น สี รสชาติ ความชอบโดยรวมใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคจำนวน 30 คน
- **ขนาด :** นำเม็ดบีดส์จำนวน 10 เม็ดวัดขนาดของเม็ดบีดส์ทีละเม็ด โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ บันทึกในหน่วย mm ทำการวัดขนาดด้านยาวและด้านสั้นในแต่ละเม็ดและคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างด้านยาวและด้านสั้น (ratio) เพื่อดูความกลมของเม็ดบีดส์แสดงดังรูปที่ 1 (พัชรี และสุธีรา, 2561)



รูปที่ 1 การวัดขนาดและหาค่าอัตราส่วนของเม็ดบีดส์

- ค่าการบวมน้ำ : การวัดค่าการบวมน้ำของเม็ดบีดส์ดัดแปลงจากวิธีของ Gong et al., (2011) โดยนำเม็ดบีดส์ 5 เม็ด ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 2 hr มาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30, 60 และ 120 min แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยทดลอง 3 ซ้ำ แล้วคำนวณค่าการบวมน้ำจากสูตรที่ (2)

$$\text{Swelling capacity (\%)} = (W_t - W_0)/W_0 \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_t = น้ำหนักของเม็ดบีดส์ที่เวลา t (g)

W_0 = น้ำหนักของเม็ดบีดส์เริ่มต้น (g)

- น้ำหนัก : ชั่งน้ำหนัก โดยนำตัวอย่างเม็ดบีดส์ 100 เม็ด ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยรายงานผลเป็นน้ำหนักต่อ 100 เม็ด ของเม็ดบีดส์

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันโดยแปรสูตรซอสมะยงชิด 3 สูตร ประกอบด้วยน้ำตาลทราย 150 g น้ำมะนาว 3 g เกลือ 1 g และมะยงชิดคั้นสด 400 g เป็นสูตรที่ 1 (MYS(400)) ปรับอัตราส่วนมะยงชิดคั้นสด 600 g เป็นสูตรที่ 2 (MYS(600)) และมะยงชิดคั้นสด 800 g เป็นสูตรที่ 3 (MYS(800)) จากนั้นทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีได้แก่ ค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหวาน ความหนืด ปริมาณเบต้าแคโรทีน และความพึงพอใจของผู้บริโภค สุดท้ายเลือกสูตรซอสมะยงชิดที่มีคุณภาพดีที่สุดนำไปผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันพร้อมทั้งทดสอบสมบัติทางกายภาพของเม็ดบีดส์ในด้าน ขนาด น้ำหนัก และค่าการบวมน้ำ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1-4 และตารางที่ 2-3

ผลการศึกษาสมบัติกายภาพและเคมีของซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตร

จากการวางแผนการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมมะยงชิดคั้นสด จำนวน 3 สูตร เพื่อการผลิตซอสและทำการวิเคราะห์ค่าสีและค่าเบต้าแคโรทีนผลการทดสอบดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด ส่งผลต่อค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีแดง (a*) แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของซอสมะยงชิดโดยพบว่าค่าความสว่าง (L*) ให้ค่า 31.26 ที่สัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 g และลดลงที่ 30.20 และ 26.42 เมื่อสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสดเพิ่มขึ้นเป็น 600 และ 800 g เช่นเดียวกับค่า a* ที่มีค่าลดลงจาก 3.85, 3.04 และ 1.41 ตามลำดับ การลดลงของค่าความสว่างอาจเนื่องมาจากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65±2°C เป็นเวลา 30 min ทั้งนี้ในมะยงชิดมีสารเบต้าแคโรทีนเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและทำให้สีอ่อนลง ดังนั้นค่าความสว่าง (L*) และความเป็นสีแดง (a*) จึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และด้วยซอสมะยงชิดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ต่ำ (~4) จึงช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในซอสมะยงชิด ซึ่งสังเกตได้ว่าค่า b* จึงไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง

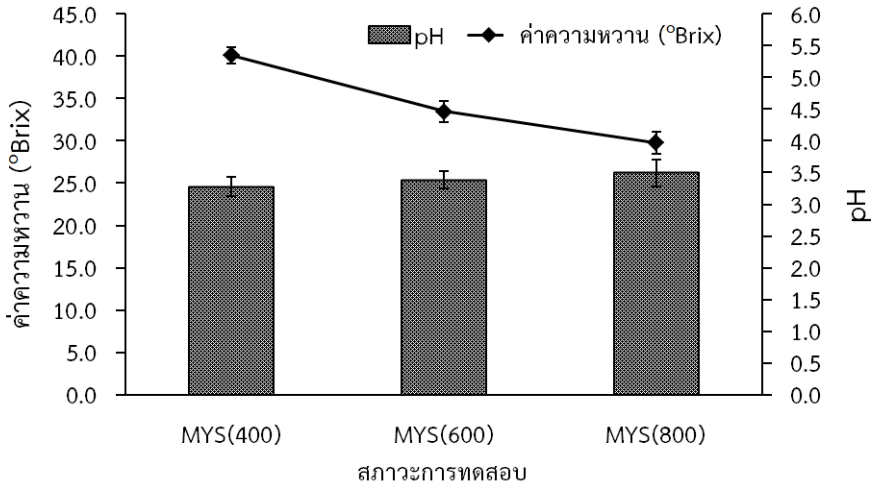
ตารางที่ 2 ค่าสี (L*, a*, b*) และค่าค่าเบต้าแคโรทีนของซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตร

ตัวอย่าง	ค่าสี			ค่าเบต้าแคโรทีน
	L*	a*	b*	mg/100 g
MYS(400)	31.26±1.27	3.85±0.56	20.31±1.56	0.098±0.005
MYS(600)	30.20±1.87	3.04±0.76	21.84±1.09	0.092±0.003
MYS(800)	26.42±1.98	1.41±0.23	24.54±1.74	0.094±0.005

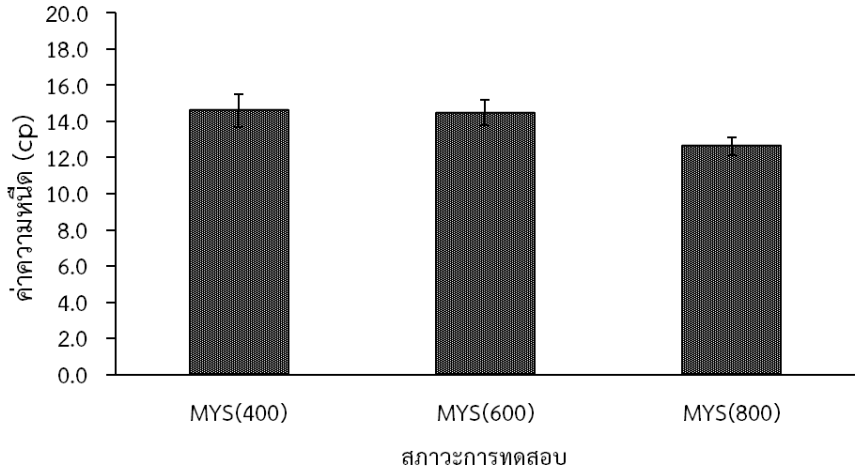
* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

เบต้าแคโรทีน เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่จัดเป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีส้ม สีเหลือง อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ มีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง ทั้งนี้โดยปกติ

ร่างกายของมนุษย์สามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนไปเป็นวิตามินเอได้ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เสมือนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Murray, 1996) ทั้งนี้งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบหลัก คือ มะยงชิด ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่ามะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีเบต้าแคโรทีนค่อนข้างสูง (มะยงชิด ผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน, 2566) ดังนั้นจากการผลิตซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตรพบว่าให้ค่าเบต้าแคโรทีนระหว่าง 0.092-0.098 mg/100 g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันใน 3 สูตร



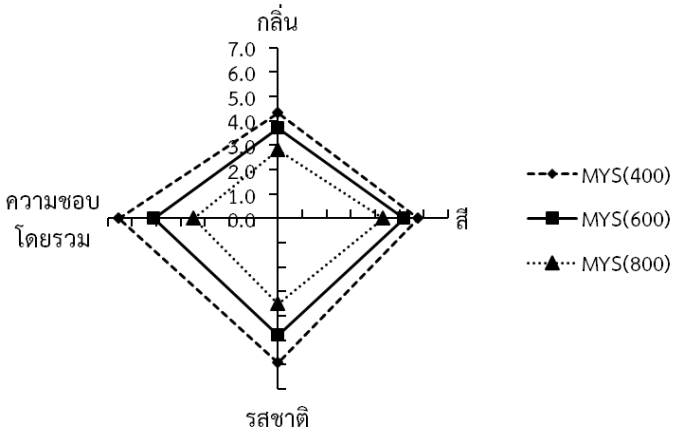
รูปที่ 2 ค่าความหวานและค่าความเป็นกรด-ด่างของซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตร



รูปที่ 3 ค่าความหนืดของซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตร

เมื่อทดสอบค่าความเป็น-ด่าง ของซอสมะยงชิดลอยทั้ง 3 สูตรพบว่าให้ค่าระหว่าง 3.28-3.50 แสดงผลดังรูปที่ 2 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณของมะยงชิดคั้นสด หรือกล่าวได้ว่าซอสมะยงชิดจัดอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นกรด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบคือมะยงชิดสดที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มีค่า pH ที่ต่ำ เมื่อเพิ่มปริมาณจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเมื่อวัดค่าความหวานของซอสที่สัดส่วนมะยง

ชิดคั้นสด 400 g ให้ค่าความหวาน 40.10°Brix และลดลงที่ 33.47, 29.80 °Brix ที่สัดส่วนมะยงชิดคั้นสด 600 g และ 800 g ตามลำดับ อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการผลิตซอสมะยงชิดคือ ความหนืดของผลิตภัณฑ์ ที่จะมีผลต่อการขึ้นรูปเม็ดบีดส์ ดังนั้นจากการวัดค่าความหนืดของซอสทั้ง 3 สูตร แสดงผลดังรูปที่ 3 พบว่าที่สัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 g ให้ค่าความหนืด 14.60 cp และลดลงที่ 14.47 cp และ 12.63 cp เมื่อสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสดเพิ่มขึ้นเป็น 600 และ 800 g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากมะยงชิดที่สัดส่วนสูงขึ้นนั้นมีปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเช่นกันในสัดส่วนของการผสมในช่วงของการปั่น ดังนั้นจึงส่งผลต่อค่าความหนืดที่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 4 ค่าความพึงพอใจของผู้บริโภคของซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตร

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าซอสมะยงชิดสูตรที่ 1 ซึ่งมีสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 g ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดทั้งในด้าน สี กลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวม ในคุณลักษณะด้านสีให้ค่าเฉลี่ย 4.33 คะแนน คุณลักษณะด้านกลิ่นให้ค่าเฉลี่ย 5.77 คะแนน คุณลักษณะด้านรสชาติให้ค่าเฉลี่ย 5.93 คะแนน และคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมให้ค่าเฉลี่ย 6.53 คะแนน โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้นจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี ความพึงพอใจของผู้บริโภคและการพิจารณาโดยภาพรวมของผู้วิจัยสามารถเลือกซอสสูตรที่ 1 ที่มีส่วนผสมได้แก่ น้ำตาลทราย 150 g น้ำมะนาว 3 g เกลือ 1 g และมะยงชิดคั้นสด 400 g (MYS(400)) ไปเป็นสูตรเพื่อการผลิตเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันในขั้นตอนต่อไป

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเม็ดบีดส์ที่ผลิตด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน

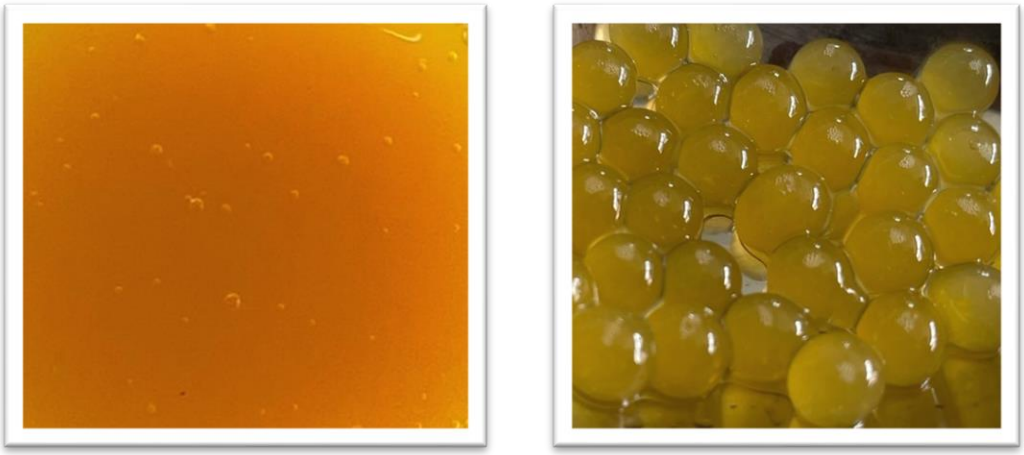
นำสูตรซอสมะยงชิดที่มีสมบัติที่ดีทั้งทางกายภาพเคมีและได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด มาผลิตเม็ดบีดส์โดยนำซอสมะยงชิดเติมแคลเซียมแลคเตท ความเข้มข้น 2 g/100 g ของสารละลายทั้งหมด นำไปหยดลงในสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.0 g/100 g ก่อนนำไปทดสอบคุณภาพด้านน้ำหนัก ขนาด และค่าการบวมน้ำแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 เมื่อชั่งเม็ดบีดส์จำนวน 100 เม็ดให้ค่า 12.72±0.11 g/100 เม็ด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านยาว 6.10±0.46 mm และด้านสั้น 5.63±0.21 mm ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วน (Ratio) เพื่อดูความกลมของเม็ดบีดส์ โดยค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดด้านยาวกับขนาดด้านสั้น มีค่าเข้าใกล้ 1 มีค่า (1.09±0.10) แสดงว่าเม็ดบีดส์มีความแตกต่างระหว่างขนาดด้านยาวกับขนาดด้านสั้นน้อย หมายความว่าเม็ดบีดส์มีความกลมมาก ในส่วนค่าการบวมน้ำพบว่าเม็ดบีดส์มีแนวโน้มของค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการแช่ในน้ำนานขึ้นโดยให้ค่าระหว่าง 233-261% นั้นหมายความว่ามีการขยายตัวได้ค่อนข้างดีมากกว่าขนาดเริ่มต้น 2-3 เท่าโดยที่เม็ดบีดส์ไม่เกิดการปริแตก ทั้งนี้แสดงลักษณะปรากฏของซอสมะยงชิดสูตรที่ 1 (MYS(400)) และเมื่อนำมาผลิตเป็นเม็ดบีดส์ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของเม็ดบีดส์ที่ผลิตด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน

ปัจจัยการทดสอบ	ผลการทดสอบ
น้ำหนัก (g/100 เม็ด)	12.72±0.11
ขนาดด้านยาว (mm)	6.10±0.46
ขนาดด้านสั้น (mm)	5.63±0.21
อัตราส่วน (Ratio)	1.09±0.10
ค่าการบวมน้ำ 30 min (%)	233.62±14.98
ค่าการบวมน้ำ 60 min (%)	249.35±15.54
ค่าการบวมน้ำ 120 min (%)	261.17±13.89

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)



รูปที่ 5 (ก) ลักษณะปรากฏของซอสมะยงชิดสูตรที่ 1 (MYS(400))
(ข) ลักษณะเม็ดบีดส์ที่ผลิตด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชันด้วยซอสสูตรที่ 1

สรุป

จากการผลิตสูตรซอสมะยงชิด 3 สูตร ประกอบด้วยน้ำตาลทราย 150 g น้ำมะนาว 3 g เกลือ 1 g และมะยงชิดคั้นสด 400 g เป็นสูตรที่ 1 (MYS(400)) มะยงชิดคั้นสด 600 g เป็นสูตรที่ 2 (MYS(600)) และมะยงชิดคั้นสด 800 g เป็นสูตรที่ 3 (MYS(800)) ให้ค่าความสว่าง (L*) 31.26 ที่สัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 g และลดลงที่ 30.20 และ 26.42 เมื่อสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสดเพิ่มขึ้นเป็น 600 และ 800 g เช่นเดียวกับค่า a* ที่มีค่าลดลงจาก 3.85, 3.04 และ 1.41 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า b* ไม่เปลี่ยนแปลง การผลิตซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตรพบว่าให้ค่าเบต้าแคโรทีนระหว่าง 0.092-0.098 mg/100 g ค่าความเป็น-ด่าง มีค่าใกล้เคียงกันในซอสมะยงชิดทั้ง 3 สูตรระหว่าง 3.28-3.50 สอดคล้องกับเมื่อวัดค่าความหวานของซอสที่สัดส่วนมะยงชิดคั้นสด 400 g ให้ค่าความหวาน 40.10°Brix และลดลงที่ 33.47, 29.80 °Brix ที่สัดส่วนมะยงชิดคั้นสด 600 g และ 800 g ตามลำดับ วัดค่าความหนืดได้ 12.63-14.60 cp เมื่อประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าซอสมะยงชิดสูตรที่ 1 ซึ่งมีสัดส่วนของมะยงชิดคั้นสด 400 g ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกด้าน เมื่อนำไปผลิตเม็ดบีดส์ที่ผลิตด้วยเทคนิคริเวิร์สสเฟียริฟิเคชันจึงได้เม็ดบีดส์ที่มีคุณสมบัติที่ดีด้านขนาด น้ำหนักและค่าการบวมน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัย สถานที่และวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จิรายุ มุสิกา, ธนวรรณ อวยศักดิ์ไชยงค์ และพนารัตน์ สังข์อินทร์. (2563). การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเชื่อมกล้วยหอมทองด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*. 1(3):72-81.

นัทยา จงใจเทศ. (2566). องค์ความรู้เรื่องปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เพื่อส่งเสริมสุขภาพ (วิตามินซี วิตามินอีและ เบต้าแคโรทีน) ในผลไม้. นนทบุรี: *กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข*. สืบค้นจาก : https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/km-01/ [26 ก.พ. 2566].

พัชรี คำประเวช และสุธีรา วัฒนกุล. (2561). การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสด้วยเทคนิคริเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 26(8) : 1381-1393.

มะยงชิดผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน. (2566). สืบค้นจาก https://www.sgethai.com/article/มะยงชิด-ผลไม้ยอดฮิตในฤ/ [15 กุมพาพันธ์ 2566]

Blandino, A., Macías, M. and Cantero, D. (1999). Formation of calcium alginate gel capsules: Influence of sodium alginate and CaCl2 concentration on gelation kinetics. *J. Biosci. Bioeng*. 88: 686-689

Comaposada, J., Gou, P., Marcos, B., and Arnau, J. (2015). Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. *LWT- Food Science and Technology*. 64(1): 212-219.

Correia, C.R., Sher, P., Reis, R.L. and Mano, J.F. (2013). Liquified chitosan-alginate multilayer capsules incorporating poly (llactic acid) microparticles as cell carriers. *Soft Matter*. 9: 2125-2130.

Gong, R., Li, C., Zhu, S., Zhang, Y., Du, Y. and Jiang, J. (2011). A novel pH-sensitive hydrogel based on dual crosslinked alginate/N-a glutaric acid chitosan for oral delivery of protein. *Carbohyd. Polym*. 85:869-874.

Hu, S.H., Tsai, C.H., Liao, C.F., Liu, D.M. and Chen, S.Y. (2008). Controlled rupture of magnetic polyelectrolyte microcapsules for drug delivery. *Langmuir.* 24: 11811-11818.

Lane, C. (2013). Taste makers in the " fine- dining" restaurant industry: The attribution of aesthetic and economic value by gastronomic guides. *Poetics*. 41(4), 342-365.

Ledeker, C. N., Suwonsichon, S., Chambers, D. H., and Adhikari, K. (2014). Comparison of sensory attributes in fresh mangoes and heat- treated mango purées prepared from Thai cultivars. *LWT-Food Science and Technology*. 56(1): 138-144.

Phawaphuthanon, N., Behnam, S., Koo, S.Y., Pan, C.H. and Chung, D. (2014). Characterization of core-shell calciumalginate macrocapsules fabricated by electro-coextrusion. *Int. J. Biol. Macromol*. 65: 267-274.

Murray, M.T. (1996). Vitamin A and Carotenes. In: Encyclopedia of Nutritional Supplements. 1996, USA: Prima Publishing. pp 19-38.

Nagata, M., and I. Yamashita. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *J. Japan Soc. Food Sci. Technol.* 39: 925-928.

Sai, F. , Kitamur, Y. & Kokawa, M. (2017) . Liquid- core alginate hydrogel beads loaded with functional compounds of radish by- products by reverse spherification: Optimization by response surface methodology. *Int. J. Biol. Macromol.* 96, 600-610.

Tsai, F.H., Kitamura, Y. and Kokawa, M. (2017). Liquid-core alginate hydrogel beads loaded with functional compounds of radish by-products by reverse spherification: Optimization by response surface methodology. *Int. J. Biol. Macromol*. 96: 600-610.

FE-A12

อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสารและเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะยงชิด

Influence of Sucrose Solution Concentration on Mass Exchange and Beta-Carotene during Osmotic Process of Mayongchid Slices

อธิตยา เอกยะติ[1] นันทชาติ ทองมั่น[1] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์[1] และ สุนัน ปานสาคร[1*]

Atittaya Ekyati[1], Nantachart Thongmun[1] Jaturong Langkapin[1] and Sunan Parnsakhorn[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสารและเบต้าแคโรทีนระหว่างกระบวนการออสโมซิสของชิ้นมะยงชิด โดยนำชิ้นมะยงชิด (2x3x0.5 cm) มาแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix เป็นเวลา 0-6 ชั่วโมง หลังการออสโมซิสชิ้นมะยงชิดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส 60°Brix ทำให้ชิ้นมะยงชิดมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย ($5.41 g_{H_2O}/g_{d.m}$) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (0.73 $\mathbf{g}_{\mathbf{d.m}}/\mathbf{g}_{\mathbf{i.d.m}}$) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (42.47%) มากที่สุด ส่งผลให้ชิ้นมะยงชิดมีปริมาณความชื้นลดลงแต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นมะยงชิดสด โดยเวลาที่ส่งผลต่อคุณภาพที่ดีของชิ้นมะยงชิดหลังการหลังการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสทั้ง 3 ความเข้มข้นคือ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการออสโมซิสส่งผลต่อค่าเบต้าแคโรทีนโดยมะยงชิดสดมีค่าเบต้าแคโรทีน 0.448 mg/100 g และลดลงหลังการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 50 และ 60°Brix ที่ 0.169 mg/100 g, 0.199 mg/100 g และ 0.133 mg/100 g ตามลำดับ

คำสำคัญ: มะยงชิด, ออสโมซิส, การถ่ายเทมวลสาร, ซูโครส, เบต้าแคโรทีน

Abstract

This research was to study Influence of sucrose solution concentration on mass exchange and beta-carotene during osmotic process of mayongchid slices. mayongchid slices (2x3x0.5 cm) were immersed in sucrose at the concentration of 40, 50 and 60°Brix for 0-6 hr. After osmosis process for 6 hr, mass transfer parameters namely, water loss (WL) solid gain (SG) and weight reduction (WR), were evaluated. The result showed that, concentrations of sucrose had effect on mass transfer. The use of 60°Brix sucrose solution showed the highest water loss ($5.41 g_{H_2O}/g_{d.m}$), solid gain (0.73 $\mathbf{g}_{\mathbf{d.m}}/\mathbf{g}_{\mathbf{i.d.m}}$) and weight reduction (42.47%). Thus, this sample had lower moisture content and higher total soluble solid content when compared with a fresh mayongchid. The good qualities of mayongchid were presented for all 3 concentrations solution was 6 hr. It was also found that osmosis process affected the beta-carotene value, with fresh gooseberry having a value of 0.448 mg/100 g, and decreased after osmosis in 40, 50 and 60°Brix sucrose solutions at 0.169 mg/100 g, 0.199 mg/100 g and 0.133 mg/100 g, respectively.

Keyword: Meyongchid, Osmosis, Mass Transfer, Sucrose, Beta-Carotene

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลไม้อุดมสมบูรณ์ ผลไม้แต่ละชนิดจะออกผลในฤดูกาลที่แตกต่างกัน และผลไม้หลายชนิดให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี เช่น กล้วย ส้ม มะละกอ สับปะรด มะพร้าว แต่ผลไม้บางชนิดจะออกผลแค่ช่วงสั้น ๆ จึงเป็นปัจจัยส่งผลให้ผลไม้ที่ออกตามฤดูกาลจะมีผลผลิตให้รับประทานได้ในระยะสั้นๆ มักมีราคาที่สูงในช่วงแรกที่ผลผลิตน้อย และเมื่อผลผลิตมากขึ้นราคาจะเริ่มตกต่ำประกอบกับจำนวนผลผลิตที่ล้นตลาดจะตามมา ถ้าหากจะกล่าวถึงผลไม้ที่จัดอยู่ในประเภทที่กล่าวมา คือ มะยงชิด ที่ค่อนข้างมีราคาสูงในช่วงต้นฤดู ประมาณ 300-400 บาทต่อกิโลกรัม และหารับประทานได้ยาก ปัจจุบันเกษตรกรหันมาปลูกมะยงชิดกันอย่างกว้างขวางส่งผลให้มีปริมาณที่ออกสู่ท้องตลาดค่อนข้างมากจนบางครั้งราคาต่ำกว่า 80 บาทต่อกิโลกรัม และยังพบมะยงชิดตกเกรดอีกเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวการนำมะยงชิดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย เช่น มะยงชิดลอยแก้ว มะยงชิดอบแห้ง น้ำผลไม้มะยงชิด เป็นต้น ส่วนแหล่งปลูกมะยงชิดที่พบมากคือจังหวัดนครนายก สุโขทัย ปราจีนบุรี เพชรบูรณ์ และกำแพงเพชร (มะยงชิด ผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน, 2566) นอกจากรสชาติมะยงชิดจะหวานอร่อยแล้ว มะยงชิดยังมีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพในแง่มีสารต้านอนุมูลอิสระ คือ มะยงชิด 100 กรัม หรือราว ๆ 3-4 ผลมีเบต้าแคโรทีนอยู่มากถึง 207 ไมโครกรัม ทั้งนี้เบต้าแคโรทีนจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง บำรุงสายตา ในผลมะยงชิดมีวิตามินซีมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดเลือดออกตามไรฟัน ช่วยลดความเสี่ยงโรคกระดูก ให้แคลเซียมและฟอสฟอรัส เป็นต้น (มะยงชิด ผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน, 2566) มะยงชิดเป็นผลไม้ที่ง่ายต่อการเน่าเสีย และมีอายุในการเก็บรักษาสั้น

มีปริมาณน้ำสูง และปัจจัยที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลไม้ เช่น มีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ และมีลักษณะอวบน้ำเมื่อมีแรงกระแทกจากการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว จะทำให้บอบช้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำมะยงชิดที่ตกเกรด คุณภาพต่ำ มาแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด สามารถมีมะยงชิดบริโภคได้ตลอดปี เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า หนึ่งในกระบวนการนั้นคือ “การออสโมซิส (Osmosis)” หรือที่รู้จักกันคือ “การแช่อิ่ม” วิธีการนี้เป็นการดึงน้ำออกบางส่วนจากชิ้นผักผลไม้ทำให้น้ำในผลไม้ลดลง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงจึงเป็นวิธีลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ที่ไม่รุนแรงและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นเมื่อจะนำไปแปรรูปร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เช่น การอบแห้ง การทอด การแช่เยือกแข็ง เป็นต้น (Torregiani, 1993; Ikoko and Kuri, 2007 ; อาภัสสร, 2558)

กระบวนการออสโมซิสเป็นการดึงน้ำออกจากอาหารมักนำมาใช้กับกลุ่มผักหรือผลไม้ สามารถกำจัดน้ำออกจากผลไม้โดยการนำผลไม้แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง โดยมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity: a_w) ต่ำกว่าผลไม้นั้น เช่น กลูโครส ซูโครส ฟรุกโตส หรือ เกลือ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความสามารถในการละลายสูง ราคาถูก มีประสิทธิภาพที่ดีในการดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้และช่วยปรับปรุงรสชาติของผลไม้หลังการออสโมซิส (Sacchetti et al., 2001 ; Ferrari and Hubinger, 2008) นอกจากนี้ยังมีการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในอีกหลายรูปแบบ เช่น การใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในการออสโมซิสมะเขือเทศ (Dermesonlouoglou et al., 2007) การเสริมสารประกอบฟีนอลิกจากเมล็ดองุ่นในแอปเปิล กล้วย และ มันฝรั่ง (Rozek et al., 2010) และการเติมแร่ธาตุหรือสารต้านอนุมูลอิสระในสารละลายออสโมติกในแอปเปิล (Barrera et al., 2004) เป็นต้น

การถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและผลไม้เกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันออสโมติกของสารละลายกับผลไม้ทำให้เกิดแรงขับ (Driving force) โดยน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากสารละลายที่เจือจางผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ในที่นี้คือเยื่อหุ้มเซลล์ของผลไม้ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าที่ล้อมรอบอยู่ ในขณะเดียวกันจะเกิดการแพร่ของของแข็งจากสารละลายที่เข้มข้นผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังชิ้นผลไม้ (อาภัสสร, 2558; Chandra and Kumari, 2015) ซึ่งการมีความเข้าใจเกี่ยวกับถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและผลไม้ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้มีรายงานวิจัยที่ทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสผลมะกรูด แตงไทย กล้วยไข่ และ สับปะรด (สิริมา และคณะ, 2556; วรัญญา และ วิชมณี, 2557; สุภาพรรณ และ วิชมณี, 2557) แต่ยังไม่มีรายงานวิจัยชัดเจนในส่วนของการทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสในชิ้นมะยงชิด ดังนั้นเพื่อทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมการถ่ายเทมวลสารในการออสโมซิส งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการออสโมซิสสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ต่างระดับความเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) ในระหว่างการออสโมซิสและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในชิ้นมะยงชิดหลังกระบวนการออสโมซิส

วัสดุและวิธีการทดลอง

- **ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ :** จัดซื้อมะยงชิด (Bouea oppositifolia (Roxb.) Meisn.) พันธุ์ทูลเกล้า จากตลาดไทย ที่มีขนาดสม่ำเสมอไม่มีรอยตำหนิ วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 14-16°Brix นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกคว้านเอาเมล็ดออกจากนั้นตัดมะยงชิดเป็นชิ้นขนาด 2x3x0.5 cm. (กxยxส) และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ น้ำหนัก ความชื้น และปริมาณเบต้าแคโรทีน
- **ขั้นตอนการออสโมซิส :** นำชิ้นมะยงชิดที่ได้เตรียมไว้จากขั้นตอนแรกแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างชิ้นมะยงชิดด้วยน้ำสะอาดและทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ทำการชั่งน้ำหนักและทดสอบปริมาณความชื้นของชิ้นมะยงชิดเริ่มต้นและนำชิ้นมะยงชิดไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ได้จัดเตรียมไว้ 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 40, 50 และ 60°Brix ในอัตราส่วนระหว่างชิ้นมะยงชิดและสารละลายออสโมติก 1:10 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิห้อง โดยระหว่างการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครสทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักชิ้นมะยงชิดเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำชิ้นมะยงชิดออกจากสารละลายน้ำตาลซูโครสแล้วหาความชื้นหลังการออสโมซิส (วรัญญา และ วิชมณี, 2550) จากนั้นคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทมวลสารประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) (Pavkov et al., 2021)

ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water loss; WL) คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$WL\ (g_{H_2O}/g_{d.m}) = \frac{(m_O X_O - m_t X_t)}{m_{d.m.(0)}} x100 \quad (1)$$

ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$SG\ (g_{\ d.m}/g_{\ i.d.m}) = \frac{m_{d.m.(t)} - m_{d.m.(0)}}{m_{d.m.(0)}} x100 \quad (2)$$

ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$WR\ (\%) = \frac{(m_O - m_t)}{m_O} x100 \quad (3)$$

โดยที่

X_O : ปริมาณน้ำเริ่มต้น Initial water content $(g_{H_2O}/g_{d.m})$

X_t : ปริมาณน้ำที่เวลาใดๆ ในกระบวนการ $(g_{H_2O}/g_{d.m})$

m_O : มวลเริ่มต้นของตัวอย่าง (g)

m_t : มวลของตัวอย่างที่เวลาใดๆ ในกระบวนการ (g)

$m_{d.m(0)}$: มวลเริ่มต้นของวัตถุแห้ง ($g_{\ i.d.m}$)

$m_{d.m(t)}$: มวลของวัตถุแห้งที่เวลาใดๆ ในกระบวนการ ($g_{\ d.m}$)

- **การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี :**

a. **ปริมาณความชื้น (Moisture content):** อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC (2005) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder, Model FD 115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (4) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (%wb)

$$Water\ content\ (\%wb) = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} x100 \quad (4)$$

โดยที่

W_i : น้ำหนักตัวอย่างก่อนการอบ (g)

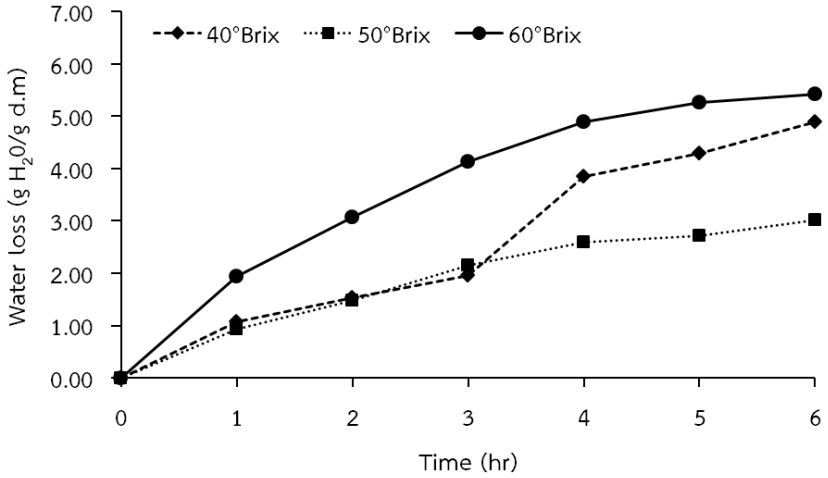
W_f : น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ (g)

b. **การสกัดและวัดปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธีการของ Nagata and Yamashita (1992) :** ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ใช้วิธีมาตรฐานทำโดยเตรียมสารละลายอะซิโตน (Acetone) ผสมกับสารละลายเฮกเซน (Hexane) ในอัตราส่วน 2:3 นำชิ้นมะยงชิดสับละเอียดมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวก้นแหลม เติมสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เติมสารละลายแล้วไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) เป็นเวลา 1 นาที หรือจนกว่าจะละเอียด เสร็จแล้วจึงปิดฝา พักไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A_{663}, A_{645}, A_{505} และ A_{453} นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ดังสมการที่ (5)

$$\text{เบต้าแคโรทีน (mg/100 g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453} \quad (5)$$

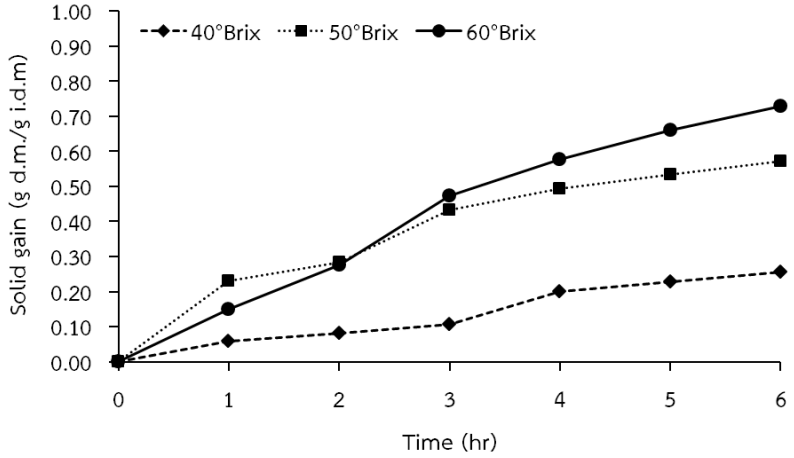
ผลการทดลองและวิจารณ์

การดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนย้ายน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่ออาหาร ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติกเกิดเป็นแรงขับ (Driving force) ทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติก ในลักษณะสวนทางกันผ่านเยื้อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable membrane) (วิชมณี, 2556) ดังนั้นเมื่อนำชิ้นมะยงชิดมาผ่านกระบวนการออสโมซิสหรือที่เรียกว่า “การแช่อิ่ม” เพื่อเป็นการถนอมอาหารโดยนำชิ้นมะยงชิดไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix พบว่าจะเกิดการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ในชิ้นมะยงชิดแสดงดังรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 3



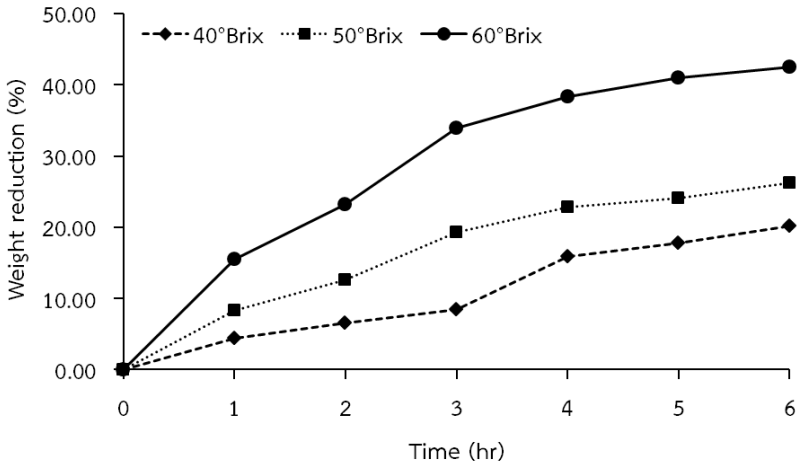
รูปที่ 1 ปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นมะยงระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-6 ชั่วโมง

จากการทดสอบผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารในชิ้นมะยงชิดดังรูปที่ 1 พบว่ามีปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นมะยงชิดเพิ่มขึ้นระหว่างการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 40-60°Brix โดยในช่วง 0-3 ชั่วโมงแรก ที่มีการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 60°Brix มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในขณะที่สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 และ 50°Brix มีลักษณะการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน โดยที่ 40, 50 และ 60°Brix จะให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 3 ชั่วโมง เท่ากับ 1.96, 2.15 และ 4.13 $g_{H_2o}/g_{d.m}$ ตามลำดับ จากนั้นที่การแช่ชิ้นมะยงชิด 4-6 ชั่วโมง พบว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นมะยงชิดทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่เป็นไปในลักษณะชะลอตัวจนเข้าสู่สภาวะเริ่มคงตัวในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 50 และ 60°Brix แต่ที่สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40°Brix ยังคงมีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำที่สูญเสียได้หากมีการเพิ่มเวลาในการแช่ชิ้นมะยงชิด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสหลังการแช่ชิ้นมะยงชิดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าที่ 60°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงสุดที่ $5.41 g_{H_2o}/g_{d.m}$ ที่ 50°Brix เท่ากับ $3.01 g_{H_2o}/g_{d.m}$ และ 40°Brix เท่ากับ $4.89 g_{H_2o}/g_{d.m}$ ตามลำดับ เนื่องจากน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกจากสารละลายที่เจือจางภายในเซลล์ไปสู่สารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอก ดังนั้นจากการที่นำชิ้นมะยงชิดไปแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้นจึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำของชิ้นมะยงชิดเพิ่มขึ้นหรือความชื้นลดลงนั่นเอง (อาภัสสร, 2558; Chandra and Kumari, 2015)



รูปที่ 2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของชิ้นมะยงชิดระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-6 ชั่วโมง

จากรูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของชิ้นมะยงชิดระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-6 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่สูญเสียของชิ้นมะยงชิดระหว่างกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากการออสโมซิสทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ชิ้นมะยงชิดไปยังสารละลายน้ำตาลซูโครสขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์ของชิ้นมะยงชิดทำให้มีปริมาณน้ำลดลงและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (Azoubel and Murr, 2010) จากรูปที่ 2 พบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นโดยที่การแช่ชิ้นมะยงชิดในสารลายน้ำตาลซูโครส 50°Brix ในช่วง 0-1 ชั่วโมงแรก ให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงกว่าการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารลายน้ำตาลซูโครส 40°Brix และ 60°Brix อย่างไรก็ตามการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครส 60°Brix ให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่สูงการกว่าการแช่ชิ้นมะยงชิดที่ในสารลายน้ำตาลซูโครส 40°Brix และ 50°Brix โดยให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40°Brix 50°Brix และ 60°Brix ที่ 6 ชั่วโมง เท่ากับ 0.26, 0.57 และ 0.73 $g_{d.m}/g_{i.d.m}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมาก สามารถเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (สุภาพรรณ และ วิชมณี, 2557; Chavan, 2012)



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นมะยงชิดระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-6 ชั่วโมง

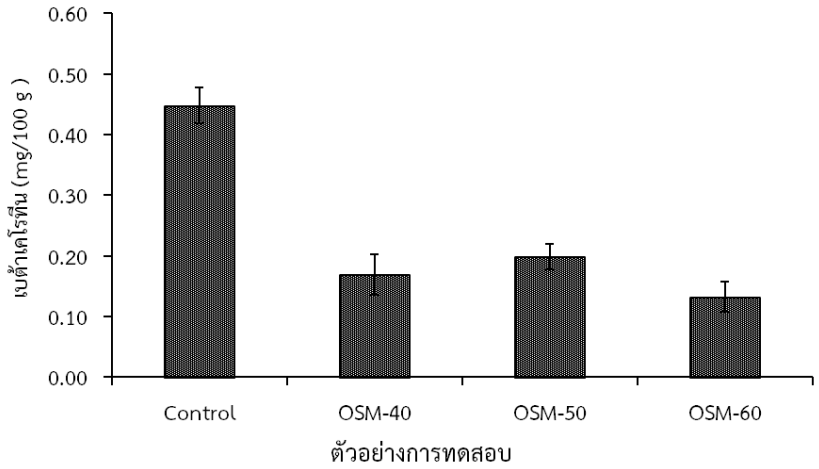
จากรูปที่ 3 โดยภาพรวมของการทดลองพบว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix ส่งผลให้ร้อยละปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นมะยงชิดหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส 6 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 20.23%, 26.25% และ 42.47% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารที่สูงกว่าการแช่ในสารละลายความเข้มข้นต่ำ อย่างไรก็ตามเวลาในการแช่ก็ส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารเช่นกัน ซึ่งพบว่าการใช้เวลาในการแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครสนานมีโอกาสให้ชิ้นมะยงชิดสัมผัสกับสารละลายมากขึ้น น้ำในเนื้อเยื่อสามารถแพร่ออกมาในอัตราสูงโดยเฉพาะในช่วงแรก ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 3ในช่วง 0-3 ชั่วโมง ของทั้ง 3 ความเข้มข้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งน้ำจะแพร่ออกมาในอัตราที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงแรกของการออสโมซิสเกิดความแตกต่างของแรงดัน ออสโมติกระหว่างเซลล์ชิ้นมะยงชิดกับสารละลายน้ำตาลซูโครสมาก ทำให้เกิดแรงขับสูงที่จะเกิดการถ่ายโอนมวลมากและรวดเร็ว เมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นความเข้มข้นบริเวณรอบๆ ชิ้นมะยงชิดจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นมะยงชิดแพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลซูโครสมากขึ้น สารละลายน้ำตาลซูโครสจึงมีความเข้มข้นลดลงกว่าช่วงแรกจึงทำให้แรงดันออสโมติกมีค่าน้อยลงมีผลให้เกิดแรงขับที่จะถ่ายโอนมวลน้อยและช้าลง (Dermesonlouoglou et al., 2007; วิชมณี, 2556; Kowalska and Lenart, 2001)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง หลังการออสโมซิสชิ้นมะยงชิด ณ เวลา 6 ชั่วโมง

ความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครส (^{o}Brix)	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย WL ($g_{H_2O}/g_{d.m}$)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น SG ($g_{d.m}/g_{i.d.m}$)	ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง WR (%)
40	4.89±0.57	0.26±0.10	20.23±3.78
50	3.01±0.38	0.57±0.25	26.25±2.56
60	5.41±0.34	0.73±0.12	42.47±1.32

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

จากตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารหลังการออสโมซิสชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครสทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง สูงที่สุดเมื่อเทียบกับที่เวลา 0-5 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันที่การแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครส 60°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุดที่ 5.41 $g_{H_2O}/g_{d.m.}$, 0.73 $g_{d.m}/g_{i.d.m}$ และ 42.47% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงจึงเกิดแรงดันออสโมติกมาก นอกจากนี้การแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส มีผลทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลงส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก (นวภัทรา และ อมรรัตน์, 2554) ในขณะเดียวกันพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 40°Brix ให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำหนักที่ลดลงที่เวลาการแช่ชิ้นมะยงชิด 6 ชั่วโมง ต่ำสุดที่ 0.26 $g_{d.m}/g_{i.d.m}$ และ 20.23% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agarry and Owabor (2012) ที่ศึกษาการออสโมซิสในกระเจี๊ยบเขียวพบว่าการใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำทำให้แรงขับในกระบวนการออสโมซิสต่ำมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยถึงแม้จะใช้เวลาในการออสโมซิสนาน



รูปที่ 4 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในชิ้นมะยงชิดหลังกระบวนการออสโมซิสที่ 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชิ้นมะยงชิดสด

เบต้าแคโรทีน เป็นวิตามินชนิดหนึ่งที่จัดเป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีส้ม สีเหลือง อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ มีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง ทั้งนี้โดยปกติร่างกายของมนุษย์สามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนไปเป็นวิตามินเอได้ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เสมือนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Murray, 1996) ทั้งนี้งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบหลัก คือ มะยงชิด ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่ามะยงชิดเป็นผลไม้ที่มีเบต้าแคโรทีนค่อนข้างสูง (มะยงชิด ผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของกระบวนการออสโมซิสที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเบต้าแคโรทีน พบว่ามะยงชิดสดมีค่าเบต้าแคโรทีน 0.448 mg/100 g และลดลงหลังการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 50 และ 60°Brix ที่ 0.169 mg/100 g, 0.199 mg/100 g และ 0.133 mg/100 g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแทนที่ของสารละลายน้ำตาลซูโครสในระหว่างกระบวนการออสโมซิสส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเบต้าแคโรทีน อย่างไรก็ตามจากข้อมูลยังคงพบว่า ชิ้นมะยงชิดหลังการออสโมซิสด้วยสารละลายน้ำตาลซูโครสยังคงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่

สรุป

การแช่ชิ้นมะยงชิดขนาด 2x3x0.5 cm. (กxยxส) ด้วยสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยที่การแช่ชิ้นมะยงชิดในสารละลายน้ำตาลซูโครส 60°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุดที่ 5.41 $g_{H_2O}/g_{d.m}$ 0.73 $\mathbf{g}_{\mathbf{d.m}}/\mathbf{g}_{\mathbf{i.d.m}}$ และ 42.47% ตามลำดับ และการออสโมซิสยังส่งผลต่อคุณภาพชิ้นมะยงชิดโดยชิ้นมะยงชิดสดมีค่าเบต้าแคโรทีน 0.448 mg/100 g และลดลงหลังการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 50 และ 60°Brix ที่ 0.169 mg/100 g, 0.199 mg/100 g และ 0.133 mg/100 g ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

นวภัทรา หนูนาค และ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. (2554). จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติคไซโป๊วหวาน. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 38(1):53-63.

มะยงชิดผลไม้ยอดฮิตในฤดูร้อน. (2566). สืบค้นจาก https://www.sgethai.com/article/มะยงชิด-ผลไม้ยอดฮิตในฤดู/ [15 กุมภาพันธ์ 2566]

วรัญญา ค้ำชู และ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2550). ผลของการใช้น้ำตาลทรายและเกลือต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างวิธีออสโมซิสแตงไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 38(6)(พิเศษ):91-94.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2556). ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของผักและผลไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18(1):226-233.

สิริมา ชินสาร, อังคณา เปลี่ยนศรี และ ปิยรัฐ มโนมัยหทัยทิพย์. (2556). ผลของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลมะกรูดกึ่งแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 44(2)(พิเศษ):1-4.

สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร และ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2557). ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อลักษณะคุณภาพของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส. การประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย"ครั้งที่ 6; วันที่ 20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2557; มหาวิทยาลัยบูรพา.

อาภัสสร ศิริจริยวัตร. (2558). อิทธิพลของการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพมะยงชิด. วารสารวิทยาศาสตร์บรูพา. 20(2):118-130.

Agarry, S.E., and Owabor, C.N. (2012). Statistical optimization of process variables for osmotic dehydration of Okra (Abelmoschus esculentus) in sucrose solution. *Niger J Tech*. 31(3):370-382.

AOAC. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists.(18thed). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Azoubel, P.M., and Murr, F.E.X. (2010). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *J Food Eng*. 61(3):291-295.

Barrera, C., Betoret, N., and Fito, P. (2004). Ca2+ and Fe2+ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *J Food Eng. 2004*. 65(1):9-14.

Chandra, S., and Kumari, D. (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. 55(4):552-561.

Chavan, U.D. (2012). Osmotic dehydration process for preservation of fruit and vegetables. *J Food Res*. 1(2):202-209.

Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C., and Taoukis, P.S. (2007). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *J Food Eng*. 78(1):272-280.

Ferrari, C.C., and Hubinger, M.D.(2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *Int J Food Sci Tech*. 43(11): 2065-2074.

Ikoko, J., and Kuri, V. (2007). Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. *Food Chem*. 102(2):523-531.

Kowalska, H., and Lenart, A. (2001). Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetable. *J Food Eng.* 49(2-3):137-140.

Murray, M.T. (1996). Vitamin A and Carotenes. In: Encyclopedia of Nutritional Supplements. 1996, USA: Prima Publishing. pp 19-38

Nagata, M., and I. Yamashita. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit.*J. Japan Soc. Food Sci. Technol.* 39: 925-928.

Pavkov, I., Radoj˘cin, M., Stamenkovi´c, Z., Kešelj, K., Tylewicz, U., Sipos, P., Ponji˘can, O., and Sedlar, A. (2021). Effects of Osmotic Dehydration on the Hot Air Drying of Apricot Halves: Drying Kinetics, Mass Transfer, and Shrinkage. *Processes*. 9:202

Rozek, A., Garcia-Perez, J., Lopez, F., Guell, C., and Ferrando, M. (2010). Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *J Food Eng.* 99(2):142-150.

Sacchetti, G., Gianotti, A., and Dalla, R. M.(2001) Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability, Study on apple osmotic treatments. *J Food Eng.* 49(2-3): 163-173.

Torregiani, D. (1993). Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. *Food Res Int.* 26(1):59-69.

FE-A14

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ

The study of factors affecting bioelectrical generation of bio-electrical cell

อภินันท์ วัลภา [1] พิมพ์สิรี สุวรรณ [1] และ พฤกษา สวาทสุข [1]

Apinun Wanlapa [1], Pimsiree Suwan [1] and Prueksa Sawardsuk [1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, THAILAND

[*]Corresponding Author E-mail: w_apinun@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและขนาดของพื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่มีต่อความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้สารละลายอิเลคโทรไลท์แตกต่างกันสามชนิดคือ น้ำสับปะรด น้ำมะนาวและน้ำเกลือความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบทำจากทองแดงและสังกะสี โดยเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้าแตกต่างกัน 5 ระยะคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตร เปลี่ยนแปลงพื้นที่ขั้วไฟฟ้าแตกต่างกัน 5 พื้นที่ คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 ตารางเซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่า ทั้งระยะห่างและพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าไม่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้า แต่มีผลต่อกระแสไฟฟ้า ระยะห่างขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าลดลง พื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้สารอิเลคโทรไลท์เป็นน้ำสับปะรดกับน้ำมะนาว และน้ำเกลือความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำมะนาวให้กำลังไฟฟ้าดีที่สุด รองลงมาคือ น้ำเกลือและน้ำสับปะรดจะให้กำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด

คำสำคัญ: เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพ, น้ำสับปะรด, น้ำมะนาว, น้ำเกลือ, ทองแดง, สังกะสี

Abstract

This research aimed at investigating the effects of distance between electrodes and surface area of electrodes on voltage and electrical current generated by bio-electrical cells from three different bio-electrolytes: pineapple juice, lime juice and 3.5% salt solution. Five varying distances between copper and zinc electrodes: 1, 2, 3, 4 and 5 cm and 5 different surface areas of 20, 40, 60, 80 and 100 cm^2 were studied. Both distance between

electrodes and surface area showed significant effect on electrical current but no significant effect was found for voltage. Both decreased distances between electrodes and increased surface areas of electrodes resulted in the increase in electrical current. When compared among different electrolytes, lime juice produced the highest electrical power, followed by 3.5% salt solution, and pineapple juice, respectively.

Keyword: Bio-electrical cell, pineapple juice, lime juice, salt solution, Copper, Zinc

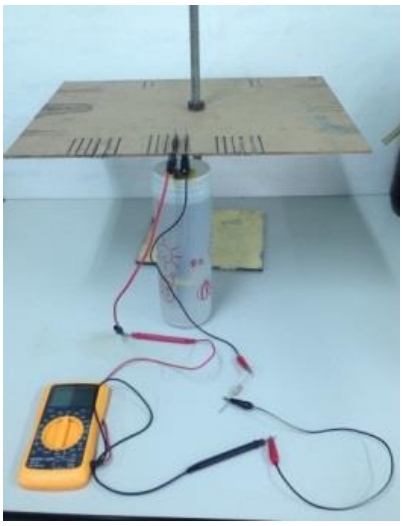
1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักที่นับวันมีความจำเป็นต้องใช้สำหรับการดำรงชีวิตประจำวันในปัจจุบัน อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ทั้งในรูปแบบของสิ่งจำเป็นและสิ่งฟุ่มเฟือยล้วนใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อนกิจกรรมแทบทั้งสิ้น การผลิตไฟฟ้าจะสามารถทำได้จากแหล่งพลังงานหลายๆ ชนิด หลากหลายรูปแบบซึ่งเราจะพบความสะดวกสบายมากในพื้นที่ชุมชน เช่น ในเมืองใหญ่ และนับวันค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานก็เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแหล่งพลังงานที่นับวันก็จะมีแต่ลดจำนวนลง สำหรับพื้นที่ในชนบทที่ความเจริญเข้าไปได้ไม่ถึง ไฟฟ้ายังเป็นสิ่งที่หาได้ยากและราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับรายรับของประชากร ซึ่งส่วนใหญ่แล้วประกอบอาชีพการเกษตร พลังงานทางเลือกสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างที่เป็นไปได้สำหรับใช้งานในสถานที่ที่ห่างไกลความเจริญและอีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายต่ำ คือ การใช้เซลล์ไฟฟ้าแบบชีวภาพที่นำเอาน้ำจากส่วนต่างๆ ของพืชที่มีอยู่แล้วในท้องไร่ท้องนามาทำการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับไฟฟ้าส่องสว่างโดยใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี

ปัจจุบันได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ของการนำเอาน้ำที่ได้จากทั้งพืชผักโดยเฉพาะจากส่วนต่างๆ ของต้นกล้วยมาทดสอบการให้กระแสไฟฟ้า (บุญช่วย ชาญประโคน, 2549; Sakdapattanalerd, et al., 2015; Huang, et al., 2011) น้ำผลไม้ก็เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่มีการนำมาศึกษาถึงเทคนิคการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพอย่างกว้างขวางเป็นที่รู้จักกันดีอันเนื่องมาจากผลไม้อุดมไปด้วยน้ำและสารอิเลคโทรไลต์โดยเฉพาะกรดและน้ำตาล (Liu & Dong, 2007) เช่น น้ำมะนาว น้ำองุ่น น้ำส้ม เป็นต้น สับปะรดก็เป็นหนึ่งในผลไม้ที่สามารถปลูกได้มากในประเทศไทยและเป็นพืชที่สามารถคั้นน้ำได้ปริมาณมาก อุดมไปด้วยกรดและน้ำตาล ถึงแม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการให้กระแสไฟฟ้าของผลไม้ชนิดต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่พบข้อมูลใดที่รายงานถึงผลกระทบของขั้วไฟฟ้าที่มีต่อความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าในการใช้งานของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้น้ำสับปะรดเลย โครงงานวิศวกรรมนี้จึงมีความประสงค์ที่จะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้น้ำสับปะรดเป็นอิเลคโทรไลท์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นทองแดงและสังกะสี และทำการเปรียบเทียบความสามารถกับเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้น้ำมะนาว และน้ำเกลือเป็นสารละลายอิเลคโทรไลท์ควบคู่กัน

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

ชุดเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพประกอบด้วยภาชนะทรงกระบอกสูง 25 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ทำด้วยพลาสติกเพื่อใช้บรรจุสารละลายอิเลคโทรไลท์และมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ทำด้วยทองแดง และสังกะสี ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 22 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่ในภาชนะ ทองแดงทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดหรือขั้วบวก และสังกะสีทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดหรือขั้วลบ ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะถูกแขวนให้ลอยอยู่เหนือภาชนะบรรจุสารละลายอิเลคโทรไลท์ด้วยฐานยึด ตัวฐานเป็นแผ่นเหล็กที่เชื่อมติดกับเสาที่ทำเกลียวเอาไว้เพื่อใส่น็อตบังคับแผ่นไม้ที่มีการกรีดช่องเล็กๆ เอาไว้เพื่อเสียบยึดตัวขั้วไฟฟ้า โดยแต่ละช่องจะห่างกัน 1 เซนติเมตร จำนวน 6 แผ่น ไม้สามารถเลื่อนขึ้นลงได้เพื่อกำหนดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าที่จุ่มลงไปสัมผัสกับสารละลายอิเลคโทรไลท์



รูปที่ 1 เซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 ศึกษาผลกระทบของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าและพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า

เลือกสารละลายอิเลคโทรไลท์ที่เตรียมได้จากน้ำที่คั้นจากสับปะรดกรองแยกกากออกแล้ว น้ำคั้นจากมะนาวและน้ำเกลือ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มาเติมลงในกระบอกใส่สารอิเลคโทรไลท์แต่ละชุด โดยให้มีการติดตั้งขั้วไฟฟ้าให้มีระยะห่างที่แตกต่างกัน 5 ระยะคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ในแต่ละการทดสอบจะทำการทดสอบที่ค่าพื้นที่แผ่นขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับสารละลายอิเลคโทรไลท์ที่แตกต่างกัน 5 พื้นที่คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 ตารางเซนติเมตร แต่ละพื้นที่หมายถึงพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าแต่ละด้าน เช่น พื้นที่ 20 ตารางเซนติเมตร จะหมายถึงใช้พื้นที่ขั้วไฟฟ้าทองแดงและสังกะสีอย่างละ 20 ตารางเซนติเมตรในการสัมผัสกับสารละลายอิเลคโทร

ไลท์ ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะและพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าบันทึกผล

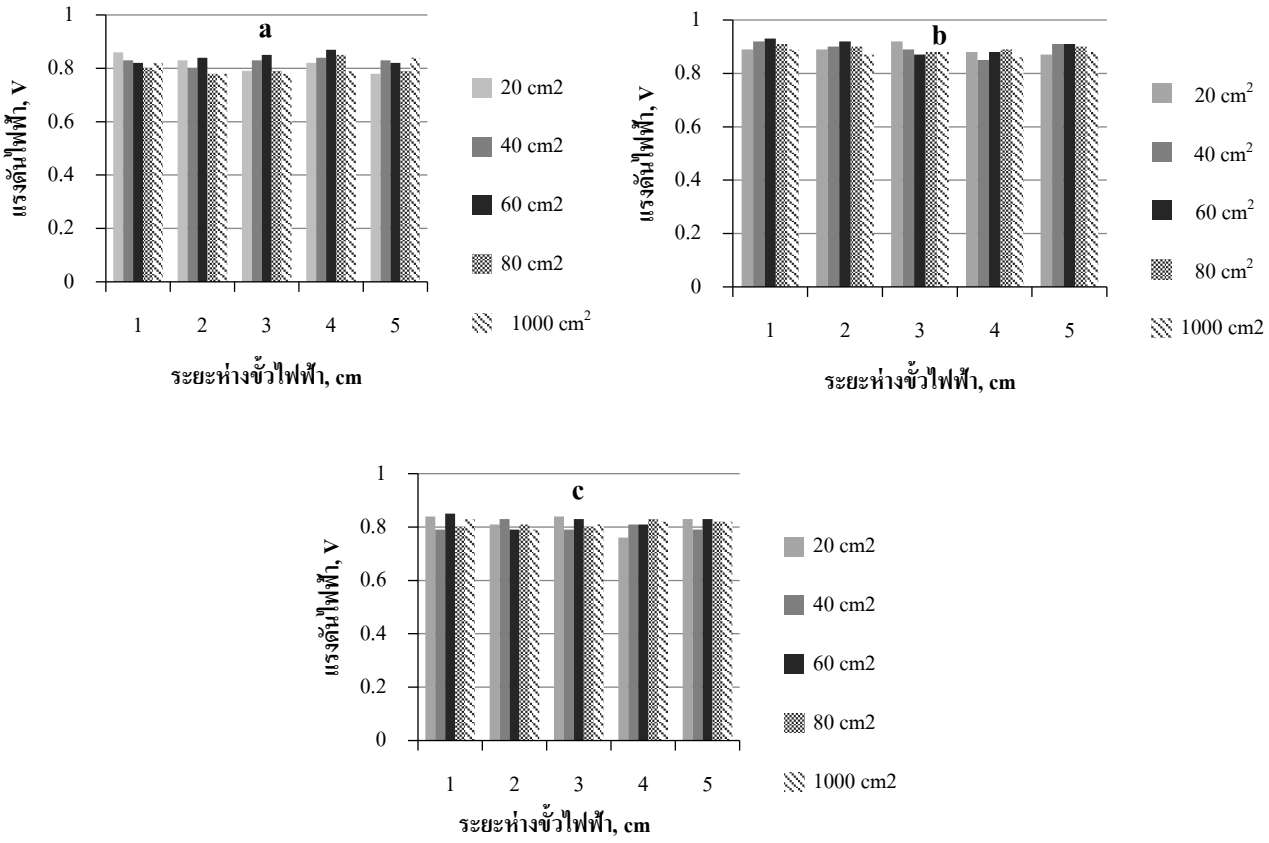
2.2 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลไฟฟ้าที่ใช้สารอิเลคโทรไลท์แตกต่างกันทั้งสามแบบ

จากผลของค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะนำมาสู่การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ (1) เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ของแต่ละสภาวะการทดลอง

$$P = VI \tag{1}$$

โดยที่ P คือ ค่ากำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ (mW), V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V) และ I คือค่ากระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์



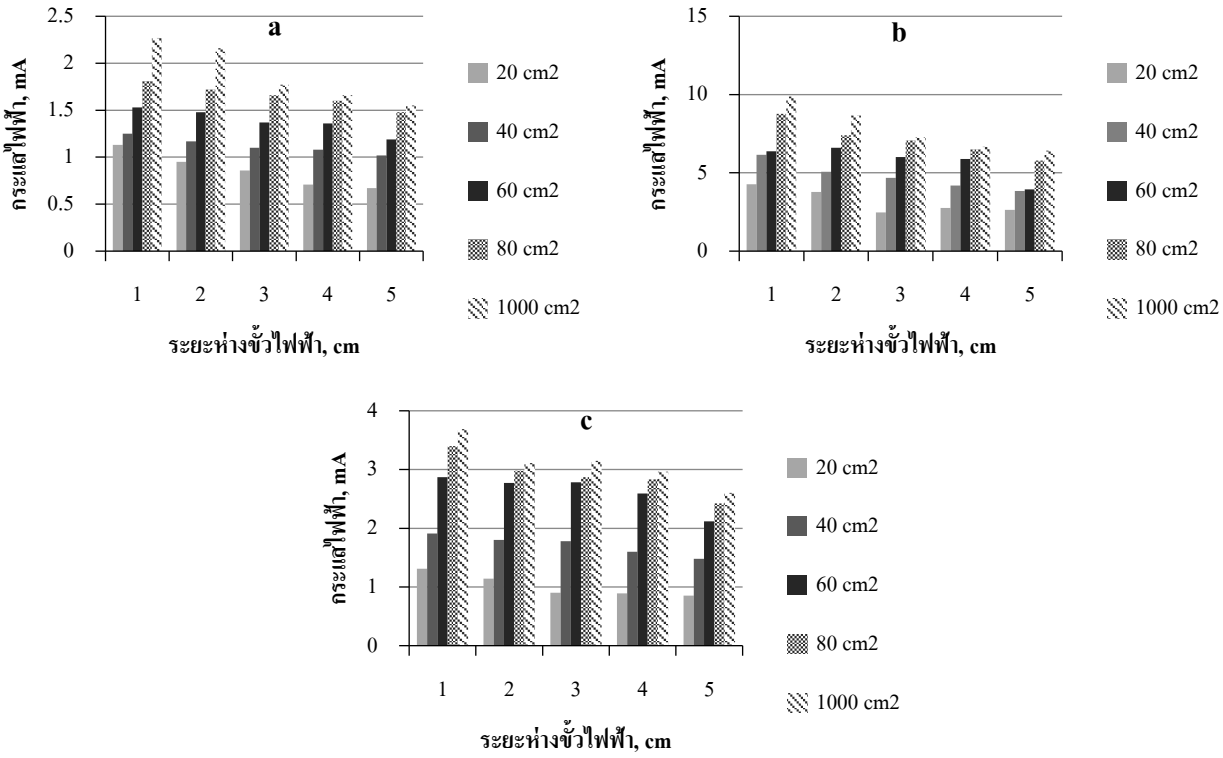
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้น้ำสับปะรด (a) น้ำมะนาว (b) และน้ำเกลือ (c) เมื่อมีการเปลี่ยนระยะห่างและขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

3.1 ผลกระทบของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าและพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าที่มีต่อแรงดันไฟฟ้า

การเปลี่ยนแปลงระยะห่างของขั้วไฟฟ้าและขนาดของพื้นที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า ดังที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2 และเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากทุกสภาวะการทดลองในแต่ละสารละลายอิเลคโทรไลท์ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน โดยเซลล์ไฟฟ้าน้ำสับปะรดมีค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.82 โวลต์ ที่ค่า SD 0.027 เซลล์ไฟฟ้าน้ำมะนาวมีค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.91 โวลต์ ที่ค่า SD 0.02 และเซลล์ไฟฟ้าน้ำเกลือความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซนต์มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.81 โวลต์ ที่ค่า SD 0.01 ซึ่งจากการสังเกตพบว่า สิ่งที่ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าโดยตรงคือจำนวนเซลล์ไฟฟ้า กล่าวคือหากต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต้องทำการต่อชุดเซลล์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในรูปแบบอนุกรมจึงจะได้แรงดันที่เพิ่มขึ้น

3.2 ผลกระทบของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าและพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าที่มีต่อกระแสไฟฟ้า

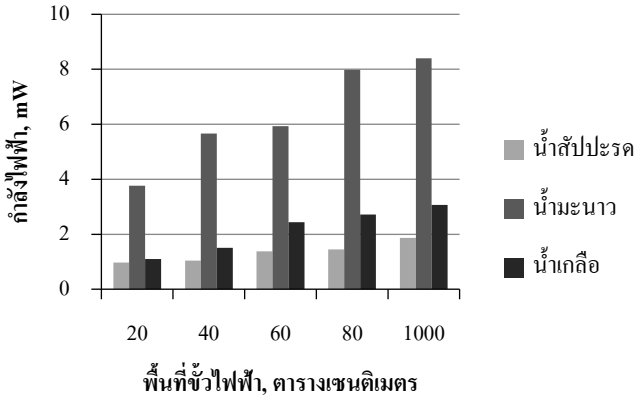
การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสไฟฟ้าอย่างชัดเจน กล่าวคือในขณะที่เพิ่มพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านั้น ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์ไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มีแนวโน้มเดียวกันกับทุกสารละลายอิเลกโทรไลท์ที่ใช้ทดสอบ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้น้ำสับปะรด (a) น้ำมะนาว (b) และน้ำเกลือ (c) เมื่อมีการเปลี่ยนระยะห่างและขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

3.3 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารอิเลคโทรไลท์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า

จากผลการทดลองเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพที่ใช้สารอิเลคโทรไลท์ทั้งสามชนิด พบว่า น้ำมะนาวสามารถให้กำลังไฟฟ้าดีที่สุดในทุกๆ สภาวะการทดลอง โดยมีค่าสูงสุดในสภาวะการทดลองที่ใช้ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตรดังที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4โดยพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ พื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่ให้กำลังสูงสุดคือ 100 ตารางเซนติเมตรมีค่ากำลังไฟฟ้า 8.4 มิลลิวัตต์ ในขณะที่น้ำเกลือความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซนต์มีค่ากำลังไฟฟ้า 3.06 มิลลิวัตต์ และน้ำสับปะรดมีค่ากำลังไฟฟ้า 1.86 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเดียวกันกับทุกๆ ระยะขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้สารละลายอิเลคโทรไลท์แบบต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร

4. สรุป

การเปลี่ยนแปลงระยะห่างของขั้วไฟฟ้าและขนาดของพื้นที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าแต่จะส่งผลต่อค่ากระแสไฟฟ้า ทั้งการเพิ่มพื้นที่และการลดระยะห่างของขั้วไฟฟ้าส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น การเลือกใช้สารละลายอิเลคโทรไลท์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเช่นกัน จากการเปรียบเทียบสารทั้งสามชนิดพบว่าสารอิเลคโทร์ไลท์ที่ทำจากน้ำมะนาวให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาคือน้ำเกลือเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำสับปะรดให้กำลังไฟฟ้าต่ำที่สุด

เอกสารอ้างอิง

บุญช่วย ชาญประโคน. (2549). *การทดลองโดยนำของเหลวจากหน่อกล้วยมาผลิตไฟฟ้า* [เอกสารที่ไม่ได้ตีพิมพ์]. โรงเรียนนวมินทราชินูทิศเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า กรุงเทพฯ.

Huang et al. (2011). *Banana plant cell*. United States Patent No. US 2011/0195280A1.

Liu, Y. & Dong, S. (2007). A Biofuel Cell Harvesting Energy from Glucose-Air and Fruit Juice-Air. *Biosensors and Bio Electronic*, *23*, 593-597.

Mookdarat Sakdapattanalerd, et al. (2015). Developing of Electric Cell from Leaf Sheaf Juice of Banana Trees. Thailand – Japan Student Science Fair 2015 Princess Chulabhorn Science High School, Phetchaburi, Thailand.

FE-A15

การคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์

Classification of Dried Makrut Lime Leaves Quality Using Image Processing and Artificial Intelligence

มลทิชา เช้าสุวรรณ รัตน์สุดา มีจินดา อนุสร ธรรมวงค์ และพูนพัฒน์ พูนน้อย*

Monticha Chaosuwan[1], Ratsuda Meejinda[1], Anuson Thammawong[1] and Poonpat Poonnoy*

หน่วยวิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Automatic Control System for Food and Agro-Industry Research Unit, Faculty of Engineering and Argo-Industry,

Maejo University, Sansai, Chaigmai, THAILAND 50290

*Corresponding Author E-mail: poonpat@mju.ac.th

บทคัดย่อ

การคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งเป็นกระบวนการสำคัญเพื่อควบคุมคุณภาพของสินค้า ในปัจจุบันผู้ประกอบการประสบปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานและความถูกต้องในการคัดแยก ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดแยกคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์ ภาพถ่ายแบบ RGB ความละเอียด 2,590 × 1,942 พิกเซล ของใบมะกรูดอบแห้งที่มีระดับคุณภาพต่างกัน 8 ประเภท รวม 3,866 ภาพ ถูกแบ่งเป็น 3 ชุด สำหรับฝึก จำนวน 1,934 ภาพ ทวนสอบ จำนวน 966 ภาพ และทดสอบ จำนวน 966 ภาพ เพื่อใช้พัฒนา GoogLeNet, Inception-V3, ResNet-18, และ Places365-GoogLeNet ที่ดัดแปลงสำหรับการคัดคุณภาพใบมะกรูดอบแห้ง จากการทดสอบพบว่า Inception–V3 สามารถคัดคุณภาพใบมะกรูดด้วยความแม่นยำ 92.5% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอัตโนมัติโดยใช้ภาพถ่ายและปัญญาประดิษฐ์

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายใยประสาทเทียม, ใบมะกรูดอบแห้ง, แมชชีนวิชัน

Abstract

Classification of dried makrut lime leaves quality is an important task to control product quality. Now a day, food manufactures confront labor shortage and inconsistent sorting performance. The objective of this research was, therefore, to investigate the application of image processing and artificial intelligence to classify makrut lime leaves. A total of 3,866 RGB-images (with 2,590 × 1,942 pixels resolution) of eight grades samples

were divided into three datasets [training (1,934 images), validating (966 images) and testing (966 images)]. The modified GoogLeNet, Inception-V3, ResNet-18 and Places365-GoogLeNet were developed with these datasets. It was found that the Inception–V3 provided best performance in classification of dried makrut lime leaves with 92.5% accuracy. Therefore, it is possible to develop an automatic sorting system to classify dried makrut lime leaves leading to a solution for inconsistent sorting performance and shortage of labor.

Keywords: Deep learning, Dried makrut lime leaves, Machine vision, Neural network

บทนำ

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปและส่งออกผลผลิตทางการเกษตรและอาหารต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพคุณลักษณะต่าง ๆ ทางด้านคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด รูปร่าง และสี เนื่องจากคุณลักษณะเหล่านี้แสดงถึงคุณภาพและเป็นตัวแปรที่กำหนดราคาของผลผลิต ในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรและอาหารเหล่านี้ มักใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงาน ซึ่งวิธีดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลานาน มีความไม่สม่ำเสมอของระดับคุณภาพ เนื่องจากความแตกต่างของบุคคล นอกจากนั้นอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารยังประสบปัญหาการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทำให้ต้องจำกัดแรงงานที่สัมผัสกับอาหาร แม้ว่าจะมีการผ่อนปรนมาตรการต่าง ๆ จากรัฐบาลแล้ว อุตสาหกรรมเกษตรและอาหารยังคงต้องมีมาตรการควบคุมการทำงานของแรงงานอย่างเคร่งครัดเพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนของเชื้อไวรัสโควิด-19 ในผลิตภัณฑ์ หากสามารถพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพได้โดยอัตโนมัติจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร

ปัจจุบันมีการนำระบบแมชชีนวิชันมาตรวจสอบคุณภาพในอุตสาหกรรมการแปรรูปและส่งออกผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร เช่น การวัดความยาวและมวลของกุ้งต้ม ตรวจสอบคุณภาพของมะเขือม่วง ตรวจสอบรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (พูนพัฒน์, 2557) ระบบดังกล่าวสามารถตรวจสอบคุณภาพได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว อนึ่งการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะต้องมีการพัฒนาลำดับขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับประเภทและลักษณะคุณภาพที่ต้องการตรวจสอบ

ในปัจจุบันการประมวลผลภาพถ่ายด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกได้รับการศึกษาและพัฒนาเพื่อคัดคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น มะม่วงพันธุ์ โชคอนันต์ (นพรุจ และณัฐวุฒิ, 2563) ผลึกน้ำตาล (สุริยะ, 2563) โรคทางใบของพืช (Javidan et al, 2023) แต่ยังไม่มีรายงานการคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดอบแห้งด้วยวิธีการดังกล่าว ในการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์บนพื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้ในการคัดแยกระดับคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้ง

วัสดุและวิธีการทดลอง

ตัวอย่างสำหรับการพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์ ประกอบไปด้วย ใบมะกรูดอบแห้งระดับคุณภาพที่แตกต่างกัน ได้แก่ ใบเขียวเกรดเอ ใบเขียวเกรดบี ใบเป็นโรค ใบแตก ใบสีเขียวไม่สม่ำเสมอ ใบไหม้ ใบติดไข่แมลง และใบติดใยแมงมุม (

รูปที่ 1) จำนวนรวมทั้งสิ้น 3,866 ตัวอย่าง ถูกนำไปถ่ายภาพด้วยระบบบันทึกข้อมูลและภาพถ่าย (Poonnoy and Asavasanti, 2021) ครั้งละ 1 ตัวอย่าง (

รูปที่ 2) ภาพตัวอย่างแต่ละภาพจะฝังข้อมูลระดับคุณภาพซึ่งกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อสร้างชุดข้อมูลสำหรับการพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์

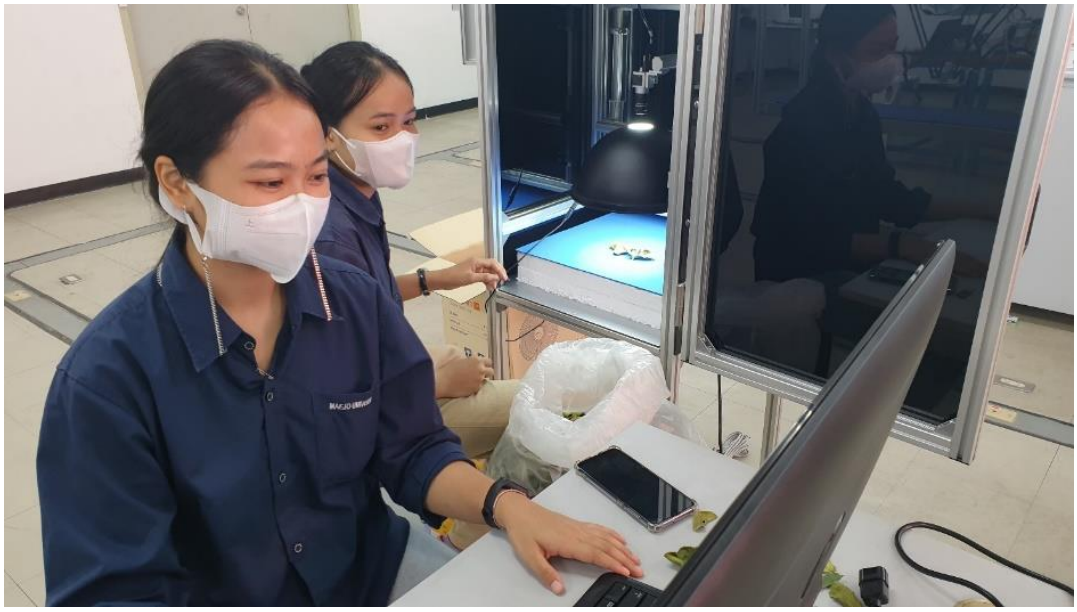


รูปที่ 1 ลักษณะของตัวอย่างใบมะกรูดอบแห้ง

จากนั้นแบ่งชุดข้อมูลโดยการสุ่มอย่างเป็นระบบ เพื่อสร้างชุดข้อมูลสำหรับการฝึก การทวนสอบ และการทดสอบ ในอัตราส่วนร้อยละ 50:25:25 ตามลำดับ ข้อมูลสำหรับการฝึกใช้ในการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ แบบ Convolutional Neural Network (CNN) ซึ่งกระบวนการเรียนรู้นี้จะหยุดเมื่อค่า RMSE (Root Mean Square Error) ในการคัดแยกของชุดข้อมูลทวนสอบมีค่าคงที่ต่อเนื่องกัน หรือเพิ่มขึ้น ตามเงื่อนไขของการฝึกที่กำหนดไว้

CNN ที่นำมาพัฒนาเพื่อคัดแยกคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้งจากภาพถ่ายดิจิทัลเป็นแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมที่ฝึกมาแล้วได้แก่ GoogLeNet, Inception-V3, ResNet-18, และ Places365-GoogLeNet ซึ่งแบบจำลองเหล่านี้ถูกปรับแต่งเพื่อให้มีจำนวนเอาต์พุต สอดคล้องกับระดับคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้ง ด้วย Deep Network Designer ในโปรแกรม MATLAB

ความสามารถในการคัดแยกคุณภาพของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมแต่ละแบบพิจารณาจากความแม่นยำรวม (Overall accuracy) แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมที่ให้ค่าความแม่นยำสูงสุดถือว่าเป็นแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้งมากที่สุด



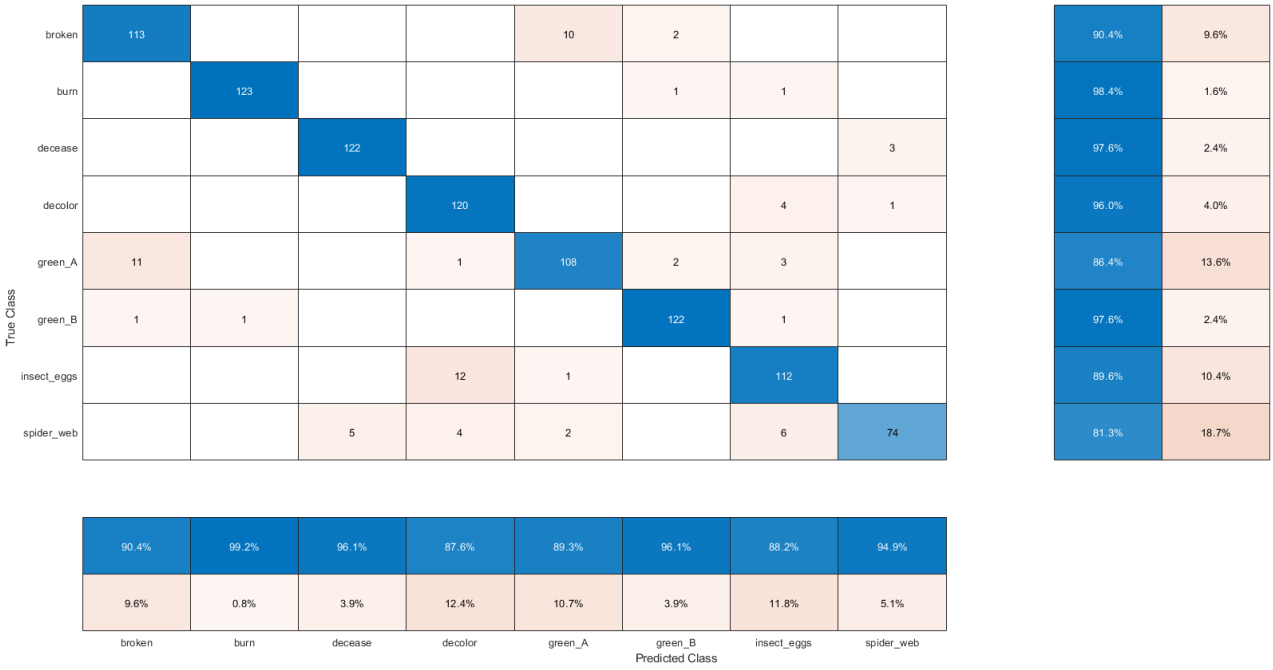
รูปที่ 2 การบันทึกข้อมูลและภาพถ่ายตัวอย่าง

ผลการทดลอง

จากการผลการคัดแยกพบว่า แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมแต่ละแบบให้ผลการคัดแยกที่แตกต่างกัน โดย GoogLeNet, Inception-V3, ResNet-18 และ Places365-GoogLeNet ให้ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 76.8%, 92.5%, 91.3%, และ 63.3% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการคัดแยกคุณภาพของ Inception-V3 (รูปที่ 3) ที่ให้ค่าความแม่นยำรวมสูงสุด (92.5%) พบว่า Inception-V3 สามารถคัดแยกใบเขียวเกรดเอได้ถูกต้อง 86.4% ทั้งนี้ Inception-V3 คัดใบเขียวเกรดเอ เป็นใบแตก ใบเขียวเกรดบี ใบสีไม่สม่ำเสมอ และใบติดไข่แมลง 13.60% โดยมีการจำแนกผิดไปเป็นใบแตกมากที่สุด เนื่องจากใบเขียวเกรดเอบางใบมีรอยปริเล็กน้อยแต่ผู้เชี่ยวชาญไม่พิจารณาว่าเป็นใบแตก นอกจากนั้นรอยดำเล็ก ๆ

บนใบสีเขียวเกรดเอมีลักษณะคล้ายกับไข่แมลง จึงทำให้ Inception-V3 คัดแยกเป็นใบมะกรูดติดไข่แมลง ในส่วนของใบมะกรูดที่มีใยแมงมุมติดอยู่นั้น Inception-V3 ไม่สามารถคัดแยกได้ถูกต้องเนื่องจากการห่อตัวของใบมะกรูดปกปิดส่วนของใยแมงมุม จึงอาจพิจารณาใช้กล้องถ่ายภาพหลายตัว เพื่อตรวจจับภาพมากขึ้น หากมีการใช้ตัวอย่างเพื่อพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์อาจทำให้ความแม่นยำในการคัดแยกคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้งสูงขึ้น



รูปที่ 3 ผลการคัดแยกคุณภาพใบมะกรูดด้วย Inception-V3

สรุป

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยการเรียนรู้เชิงลึกมาตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพของใบมะกรูดอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมจำนวน 4 แบบ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม Inception-V3 ให้ค่าความแม่นยำในการคัดแยกคุณภาพสูงสุดเท่ากับ 92.5% สามารถนำไปพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตใบมะกูดอบแห้งเพื่อการส่งออก ช่วยลดผลกระทบจากการขาดแคลนแรงงาน และรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ สร้างความเชื่อมันให้กับผู้บริโภคได้

เอกสารอ้างอิง

พูนพัฒน์ พูนน้อย. (2557). การตรวจสอบคุณภาพอาหารด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้: เชียงใหม่.

นพรุจ พัฒนสาร และณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์. (2563). การประมวลผลภาพสำหรับการจำแนกคุณภาพมะม่วงพันธ์โชคอนันต์ โดยการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก. กาฬสินธุ์: มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

สุริยะ ชยะธรรมกูล. (2563). การจำแนกผลึกน้ำตาลด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก. (วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Javidan, S. M., Banakar, A., Vakilian, K. A., & Ampatzidis, Y. (2023). Diagnosis of grape leaf diseases using automatic K-means clustering and machine learning. Smart Agricultural Technology, 3, 100081. doi:https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100081

Poonnoy P. and Asavasanti S. (2021). "Implementation of Coupled Pattern Recognition and Regression Artificial Neural Networks for Mass Estimation of Headless-Shell-On Shrimp with Random Postures", Journal of Food Process Engineering, 44(8), e13747. doi: https://doi.org/10.1111/jfpe.13747

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

9th FENETT

NOVEL FOOD PROCESSING TECHNOLOGY IN THE FUTURE CHALLENGES



FENETT'2023 Conference

การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9