

การทบทวนวรรณกรรมเรื่อง : เทคโนโลยีการทอดสุญญากาศ
A REVIEW ARICLES : VACUUM FRYING TECHNOLOGY

ฤทธิชัย อัสวราชันย์^{1*}, และ เสมอขวัญ ตันติกุล²
ittichai Assawarchan^{1*}, and Samerkhwan Tantikul²

¹2คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

²Faculty of Engineering and Argo Industry, Maejo University, chingmai 50290

Received : 2020-08-03 Revised : 2021-01-03 Accepted : 2021-01-04

บทคัดย่อ

การทอดสุญญากาศใช้ความดันและอุณหภูมิต่ำกว่าการทอดแบบดั้งเดิม (การทอดที่สภาวะบรรยากาศ) การทอดสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารในทางกลับกันผลิตภัณฑ์อาหารทอดสุญญากาศมีผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคเนื่องจากมีคุณค่าทางด้านโภชนาการมากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารทอดแบบดั้งเดิม บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลที่ครอบคลุมกับผู้อ่านเข้าใจพื้นฐานของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศ ข้อมูลจากรายงานวิจัยล่าสุด

ปัจจุบันการทอดสุญญากาศถูกนำมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากผักและผลไม้ทอดกรอบ รวมถึงการนำเทคโนโลยีใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปขนาดเล็ก และระดับอุตสาหกรรม บทความนี้ครอบคลุมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับระบบทอดสุญญากาศ การทอดสุญญากาศผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และการสภาวะที่เหมาะสม ชนิดบรรจุภัณฑ์ และอายุการเก็บรักษาอาหารทอดสุญญากาศ

คำสำคัญ : ผักและผลไม้กรอบ, การทอดสุญญากาศ, การดูดซับน้ำมัน

Abstract

Vacuum frying is a new, reasonable technology using lower pressure and temperature than conventional frying (atmospheric frying) in order to improve the quality of food products. Vacuum frying, on the other hand, has proved to be a better and healthier alternative option than conventional frying. This review paper was aimed to provide the reader comprehensive information about the basics of vacuum frying technology, recent research updates.

Nowadays, vacuum frying process may be adopted as a method of food preservation or new product from crispy fruit and vegetable development, and proper commercialization of the technology in small as well as in large industrial scales. The review covered the vacuum frying system, the vacuum frying process, product, process and optimization, and type of packaging, and shelf life of vacuum fried foods.

Keywords : Crispy fruit and vegetable, vacuum frying, oil uptake learning management

*ฤทธิชัย อัสวราชันย์

E-mail : rittichai.assawarathan@gmail.com

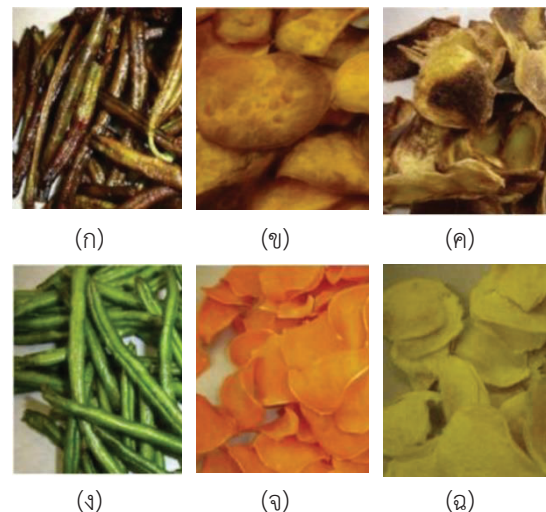
1. บทนำ

การทอดสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีการทอดผักและผลไม้ที่ความดันสุญญากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิในการทอดลดต่ำลง เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบ และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สี กลิ่น และรส) ได้เป็นอย่างดี หลักการของการทอดสุญญากาศ คือการระเหยน้ำออกจากอาหารผ่านตัวกลางทางความร้อน (น้ำมันพืช) ที่มีค่าความจุความร้อนที่สูงกว่าการใช้ตัวกลางอากาศมากกว่า 1,000 เท่า การทอดสุญญากาศเป็นการแปรรูปด้วยตัวกลางความร้อนอย่างน้ำมันพืช และแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้ความดันต่ำกว่าระดับบรรยากาศด้วยการสร้างระบบสุญญากาศด้วยการใช้ปั๊มดูดอากาศออกจากระบบตลอดเวลาส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเช่น จุดเดือดมีค่าลดลง และสามารถใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ในการทอด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปมีคุณภาพด้านกลิ่น สี และรสชาติใกล้เคียงกับธรรมชาติเดิมส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้เกิดการสัมผัสกับออกซิเจนน้อยมาก และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำในน้ำมัน รวมถึงการทอดในระบบสุญญากาศสามารถใช้ในการทอดผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและผักสดที่มีปริมาณน้ำมากให้มีความกรอบเพื่อใช้บริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยวช่วยลดการไหม้ของน้ำตาล และเปลี่ยนสภาพเป็นการก่อตัวของคาราเมล (caramel formation) ในสถานะของแข็งซึ่งจะเป็นผลึกที่กั้นการระเหยน้ำออกจากโครงสร้างเซลล์ การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศจึงไม่เหมาะสมกับทอดผลไม้และผักที่มีน้ำตาลสูงและมีความชื้นต่ำได้ [1,2]

เทคโนโลยีการทอดสุญญากาศนั้นจะใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่ำกว่าการทอดที่สภาวะปกติ ส่งผลต่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ทางสมบัติทางเคมี-กายภาพ รสชาติ กลิ่น รายงานวิจัยของ Shyu et al [3] พบว่าการทอดสุญญากาศสามารถลดปริมาณน้ำมันลงเมื่อเปรียบเทียบกับผัก และผลไม้ทอดในบรรยากาศปกติ

และสามารถชะลอการหืนของน้ำมัน สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Granda et al [4] พบว่าการทอดสุญญากาศสามารถช่วยลดการเกิดสารจำพวกอะคริลาไมด์ (Acrylamide) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งเกิดจากการไหม้ของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้ การทอดสุญญากาศสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนา เช่น วิตามินและแร่ธาตุของการแปรรูปผักและผลไม้ทอดกรอบได้ดีกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

รายงานวิจัยของ Da Silva et al [5] อธิบายกลไกที่สำคัญในการสร้างสภาวะสุญญากาศโดยการดูดอากาศออกจากหม้อทอดส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นในหม้อทอดมีค่าความดันต่ำกว่า 7-10 กิโลปาสกาล สภาวะดังกล่าวเรียกความดันสุญญากาศสามารถช่วยลดจุดเดือดของน้ำมัน ส่งผลให้สามารถทอดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส และสามารถลดการเกิดออกซิเดชันเมื่อเทียบกับการทอดที่สภาวะบรรยากาศมากกว่า 10-12 เท่า [1,2,5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะปรากฏของการทอดที่สภาวะบรรยากาศ และของการทอดสุญญากาศ พบว่าการทอดสุญญากาศสามารถช่วยรักษาคุณภาพของผัก และผลไม้ได้ดีกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการทอดที่สภาวะบรรยากาศ และการทอดสุญญากาศ

รายการเปรียบเทียบ	การทอดที่สภาวะบรรยากาศ	การทอดสุญญากาศ
อุณหภูมิ	160-200 องศาเซลเซียส	80-110 องศาเซลเซียส
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	สูง	ต่ำ
การเกิดสารอะคริลาไมด์ (Acrylamide)	สูง	ไม่เกิดสารอะคริลาไมด์
การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ	ไม่สามารถรักษาสี กลิ่นของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีลักษณะไหม้และสีคล้ำเมื่อใช้อุณหภูมิสูง	รักษาสี, กลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ได้
ปริมาณการดูดซับน้ำมัน	ดูดซับน้ำมันประมาณร้อยละ 40-55 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนัก	ดูดซับน้ำมันประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนัก
ข้อจำกัด	ไม่สามารถแปรรูปกับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีน้ำตาลสูงได้	สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีน้ำตาลสูงได้

ที่มา : ฤทธิชัย [2]

จากที่กล่าวข้างต้นได้อธิบายความสำคัญของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศเพื่อให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจความแตกต่างระหว่างการทอดที่ความดันปกติและการทอดสุญญากาศ ตารางที่ 1 แสดงรายการเปรียบเทียบความแตกต่างของการทอดที่สภาวะปกติและการทอดสุญญากาศ บทความปริทัศน์เชิงวิชาการนี้ได้รวบรวมการเนื้อหาจากบทความวิจัยต่าง ๆ และตำรา รวมถึงหนังสือที่เกี่ยวข้องของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจได้ศึกษาและใช้เป็นแนวทางการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของผักและผลไม้หลังจากผ่านการทอดสุญญากาศ

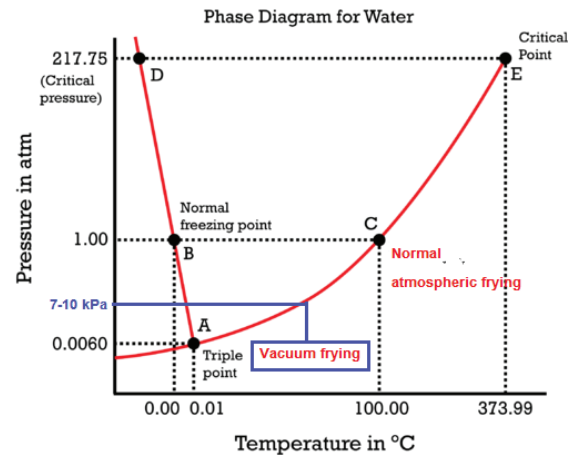
2. หลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศ

2.1 หลักการของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศ

Dueik and Bouchon [1] และฤทธิชัย [2] อธิบายหลักการทำงานของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศว่าเพื่อลดความดันอากาศด้วยการดูดอากาศออกจากหม้อทอดจนกระทั่งหม้อทอดมีความดันควรมีค่าต่ำกว่า 7 กิโลปาสคาล ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของน้ำมันพืช เช่น จุดเดือดของน้ำมันพืชที่ความดันบรรยากาศเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศจุดเดือดของน้ำมันลดลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส รวมทั้งสมบัติทางความร้อนของน้ำในผัก และผลไม้ก็จะถูกลดต่ำลงเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ Phase diagram for water (รูปที่ 2) ดังนั้นเมื่อสมบัติทางความร้อนของน้ำมัน และน้ำมีค่าลดลง ระบบการทอดสุญญากาศก็จะใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (latent heat of vaporization) ของการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถทอดสุญญากาศในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 70-90 องศาเซลเซียสเป็นช่วง

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อนและมวล ความชื้นรวมทั้งเป็นช่วงอุณหภูมิการทอดที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้จากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ สอดคล้องกับ Andres-Bello et al [6] อธิบายประเด็นสำคัญของการทอดสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยลดปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารและการสูญเสียความชุ่มชื้นที่ผิวของผักและผลไม้โดยการลดความดันของหม้อทอด ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของน้ำมันและอาหารให้มีอุณหภูมิในการระเหยที่ต่ำลง

Yamsaengsung et al [7] อธิบายการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการทอดสุญญากาศ พบว่ากลไกการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการทอดสุญญากาศมีกลไกเริ่มจากการนำความร้อนจากน้ำมันถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง ได้แก่ การสูญเสียน้ำกับการดูดซับน้ำมันโดยการลดความชื้นในระหว่างการทอดสุญญากาศนั้นมีอัตราการสูญเสียน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ อัตราการระเหยน้ำที่ผิวด้วยอัตราคงที่ (constant rate period) และการระเหยน้ำที่ผิวด้วยอัตราลดลง (falling rate period) ระหว่างการทอดสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง แต่การทอดสุญญากาศนั้นมีอัตราการระเหยน้ำที่ผิวด้วยอัตราคงที่เท่านั้น สามารถเร่งอัตราการถ่ายโอนน้ำออกจากเนื้อเยื่อภายในออกได้อย่างรวดเร็ว และมีการระเหยน้ำที่ผิวด้วยอัตราลดลงที่น้อยมากจนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ ส่งผลให้ตลอดการถ่ายโอนความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์เกิดภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำ สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดี



รูปที่ 2 แผนผังวัฏภาคของน้ำ [2]

Pandey et al [8] ศึกษาผลของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในระหว่างการทอดลองการทอดสุญญากาศของมันฝรั่งทอดที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 1.33 กิโลปาสคาล ด้วย Lumped Capacitance Method พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันอยู่ที่ 217 ± 13 และ 258 ± 37 วัตต์ต่อตารางเมตร องศาเซลวิน ที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 3.6 เท่า เมื่อเทียบกับสมบัติทางความร้อนของน้ำมันพืชที่สภาวะความดันบรรยากาศปกติ ในขณะที่งานวิจัยของ Mir-Bel et al [9] ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างการทอดมันฝรั่งในระหว่างการทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100-140 องศาเซลเซียสและความดันสุญญากาศระดับปานกลางที่ 19.5-25.9 กิโลปาสคาล พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่ามากถึง 700 - 1600 วัตต์ต่อตารางเมตร องศาเซลวิน โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เช่น อุณหภูมิของน้ำมัน ความดัน และขนาดของผลิตภัณฑ์สามารถเรียกเป็นค่าพารามิเตอร์ของ bubbling efficiency (BE) โดยการเทียบอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้อสมการอนุพันธ์ของ Gompertz ใช้เพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการทอดสุญญากาศที่สภาวะต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ รายงานวิจัยของ Halder et al

[10] พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ต่อการเกิดสารจำพวกอะคริลาไมด์ และปริมาณน้ำมันภายในมันฝรั่งแผ่นระหว่างการทอดสุญญากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายการเกิดปริมาณสารจำพวกอะคริลาไมด์ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณสารจำพวกอะคริลาไมด์ ผลการวิเคราะห์ที่ระดับความดันที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 40 กิโลปาสคาล พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายปริมาณสารจำพวกอะคริลาไมด์ และปริมาณน้ำมันภายในมันฝรั่งแผ่นระหว่างการทอดสุญญากาศได้ใกล้เคียงผลการทดลอง

รัชชานนท์ และคณะ [11] เปรียบเทียบวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยกรอบต่ออัตราการระเหยน้ำ และอายุการเก็บรักษาของเนื้อลำไยกรอบด้วยการทอดสุญญากาศ (vacuum frying) การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) พบว่าเนื้อลำไยกรอบด้วยการทอดสุญญากาศมีอัตราการระเหยน้ำในเนื้อลำไยได้ดีกว่าวิธีการแปรรูปด้วยการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ และการทอดสุญญากาศ พบว่าอัตราการระเหยน้ำเท่ากับ 1.65 ± 0.04 , 0.28 ± 0.07 และ 0.07 ± 0.00 กรัมต่อชั่วโมง และมีอายุการเก็บรักษาเนื้อลำไยกรอบมีค่าเท่ากับ 94, 176 และ 254 วัน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.1083/2554) ของการแปรรูปด้วยเทคนิคการแปรรูปด้วยการทอดสุญญากาศ การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวมานั้นพบว่า อัตราการระเหยน้ำของการทอดสุญญากาศนั้นมีค่าสูงกว่าการอบกรอบด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศและการอบแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเท่ากับ 589.28 และ 2,357.14 เท่า

Wongchantra et al [12] ประเมินต้นทุนพลังงานในการผลิตของการทอดสุญญากาศได้เท่ากับ 70-80 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง ในขณะที่การอบกรอบด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ

นั้นมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 250-300 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง เนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก และการอบแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีต้นทุนเท่ากับ 800-1,200 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง



(ก)

(ข)

(ค)

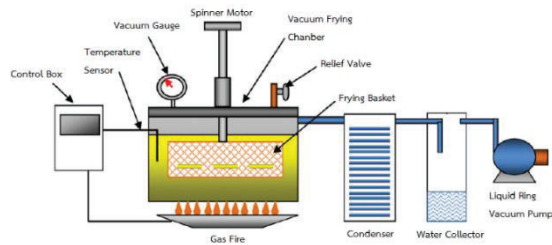
รูปที่ 3 ภาพถ่ายเนื้อลำไยกรอบด้วยการแปรรูปแบบต่าง ๆ (ก) การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ (ข) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ค) การทอดสุญญากาศ [11]

เนื่องจากใช้พลังงานในการแช่เยือกแข็ง และการระเหย แม้ว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาที่ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่การทอดสุญญากาศมีข้อได้เปรียบด้านเทคโนโลยีสามารถนำมาใช้กับการแปรรูป และช่วยรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ มีอัตราการระเหย รวมทั้งมีต้นทุนพลังงานต่ำกว่าการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

2.2 หลักการทำงานของเครื่องทอดสุญญากาศ

Yamsaengsung et al [7] ได้อธิบายแผนผังภาพการทำงานของอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในเทคโนโลยีการแปรรูปด้วยการทอดสุญญากาศ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนที่สำคัญได้แก่ หม้อทอดสุญญากาศ แหล่งกำเนิดความร้อน ระบบควบคุมการทำงาน และปั๊มดูดอากาศ สำหรับการสร้างสภาวะสุญญากาศ (รูปที่ 4) โดยหลักการทำงานของเครื่องทอดสุญญากาศนั้น เริ่มจากการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชในหม้อทอดพร้อมทั้งดูดอากาศออกจากหม้อทอดเพื่อให้ระบบมีความดันสุญญากาศ จากนั้นนำผักและผลไม้ลงไปทอดในหม้อสุญญากาศ เมื่อผักและผลไม้สัมผัสกับน้ำมัน เกิดการ

ระเหยน้ำ โดยแรงดันไอน้ำที่เกิดจากการระเหยน้ำจากผักและผลไม้ออกมาผ่านเข้าเครื่องควบแน่นเป็นหยดน้ำ



รูปที่ 4 โดอะแกรมแสดงอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศ [7]

ฤทธิชัย [2] และ รัชชานนท์ และคณะ [12] อธิบายหลักการทำงานของเครื่องทอดสุญญากาศที่มีระบบเหวี่ยงไล่น้ำมันในสภาวะสุญญากาศ โดยมีส่วนประกอบขั้นตอนไปตามทฤษฎีในการออกแบบเครื่องจักรแปรรูปอาหาร โดยพิจารณาถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหล ระบบการวัดและควบคุมการทำงานเพื่อออกแบบเชิงหลักการ (conceptual engineering design) ประกอบด้วย การขึ้นรูปหม้อทอด และถังพักน้ำมัน ระบบให้ความร้อน ระบบควบคุมการหมุนเหวี่ยงตะกร้าบรรจุผักและผลไม้ ปัมสุญญากาศ ระบบควบแน่นไอน้ำ (รูปที่ 5) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 หม้อทอดและถังพักน้ำมันขึ้นรูปด้วยวัสดุที่ใช้สำหรับแปรรูปอาหาร เช่น แผ่นสแตนเลส SUS 304 และ SUS 316 ที่มีความหนาและรอยเชื่อมที่เหมาะสมสามารถทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างการทอด การออกแบบหม้อทอดสุญญากาศเป็นไปตามมาตรฐานของคณะกรรมการรับรองระบบงานวิศวกรรมและเทคโนโลยี (Accreditation Board of Engineering and Technology, ABET) โดยหม้อทอด และถังพักน้ำมันถูกติดตั้งในระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยหม้อทอดถูกติดตั้งให้มีความสูงกว่าหม้อพักน้ำมันในระดับ 1.25 เท่าของความสูงหม้อ

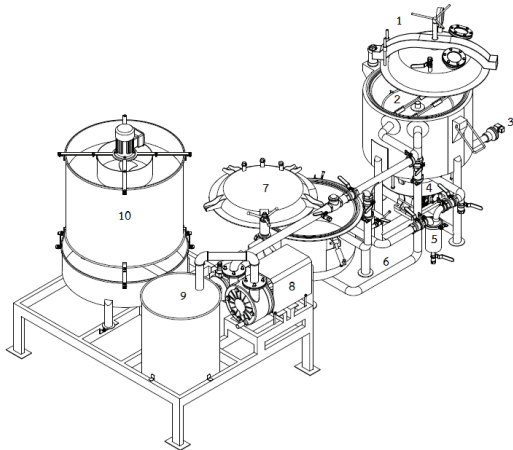
ทอด เพื่อสะดวกต่อการถ่ายเทน้ำมันจากหม้อทอดไปยังถังพักน้ำมัน

2.2.2 ระบบการให้ความร้อนและระบบควบคุมทำงานร่วมกัน โดยการให้ความร้อนของเครื่องทอดสุญญากาศมักใช้แหล่งความร้อนจากหัวเผาก๊าซหุงต้ม (liquefied petroleum gas) โดยควบคุมปริมาณก๊าซหุงต้มด้วยโซลินอยล์วาล์ว และกล่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ปัจจุบันหม้อทอดสุญญากาศจะใช้การถ่ายเทความร้อนโดยตรงด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากหัวเผาก๊าซหุงต้ม อย่างไรก็ตามถ้าเป็นเครื่องทอดในระดับอุตสาหกรรมใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยไอน้ำ

2.2.3 ปัมสุญญากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ดูดอากาศออกจากหม้อทอดและถังพักน้ำมัน โดยการทำงาน จะให้หลักการดูดอากาศออกจากหม้อทอดและไอน้ำที่ระเหยออกมาควบแน่นด้วยความเย็นด้วยคอนเดนเซอร์ และระบายความร้อนด้วยน้ำโดยใช้หอทำความเย็น (cooling tower) เป็นของเหลวและถูกดักเก็บถังเก็บของเหลว ปัจจุบันปัมสุญญากาศที่นิยมใช้กันเครื่องทอดสุญญากาศ ได้แก่ ปัมสุญญากาศแบบใช้น้ำเป็นตัวจับไอน้ำ (liquid ring type) แต่เนื่องจากปัมสุญญากาศแบบใช้น้ำเป็นตัวจับไอน้ำนั้นมีความร้อนเกิดขึ้นสูงจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นเพื่อช่วยลดอุณหภูมิเพื่อให้อัตราการดูดอากาศมีประสิทธิภาพสูงตลอดเวลา

หลักการทำงานของเครื่องทอดสุญญากาศระบบเหวี่ยงไล่น้ำมันในสภาวะสุญญากาศเริ่มจากการให้ความร้อนกับน้ำมันผ่านหัวเผาก๊าซหุงต้ม และปัมสุญญากาศดูดอากาศออกจากหม้อทอดสุญญากาศ (เปิดวาล์วให้หม้อสุญญากาศอยู่ในระบบปิด) โดยภายในหม้อทอดสุญญากาศนั้นมีตะกร้าทอดติดตั้งกับฐานแกนเหวี่ยง และถังพักน้ำมันให้มีสภาวะสุญญากาศในระดับความดันที่เท่ากัน จากนั้นเมื่อนำผักและผลไม้ลงไปทอดในหม้อทอดสุญญากาศตามเวลาที่ต้องการแล้ว เปิดวาล์วจากหม้อทอดเพื่อให้น้ำมันไหลลงไปยังถังพักน้ำมัน ตามหลักการแรงโน้มถ่วงโลกเมื่อน้ำมันไหลเข้าไปเก็บที่ถังพักจนหมดแล้ว

ปิดวาล์วที่หม้อสุญญากาศอีกครั้งจากนั้นเปิดระบบ หมุนเหวี่ยงเพื่อสลัดน้ำมัน จากนั้นตะแกรงทอดติดตั้ง กับฐานแกนเหวี่ยงก็จะเหวี่ยงสลัดน้ำมันออกจากฝัก และผลไม้ภายใต้สภาวะสุญญากาศตลอดเวลา และเมื่อเหวี่ยงสลัดน้ำมันตามเวลาที่กำหนดแล้ว ก็เปิดฝา ถึงทอดสุญญากาศ และนำฝักและผลไม้ที่ผ่านการทอด สุญญากาศสัมผัสกับออกซิเจน โครงสร้างของฝักและ ผลไม้ก็จะเป็นสภาพแห้ง และมีเนื้อสัมผัสในลักษณะที่ กรอบ



รูปที่ 5 แบบร่างทางวิศวกรรมของเครื่องทอดสุญญากาศระบบเหวี่ยงสลัดน้ำภายใต้สุญญากาศ (1) หม้อทอดสุญญากาศ (2) ตะแกรงบรรจุอาหาร (3) ท่อส่งแก๊ส LPG พร้อมเซ็นเซอร์ (4) แกนสลัดน้ำมัน (5) ตัวกรองน้ำมัน (6) ท่อส่งน้ำมัน (7) หม้อพักน้ำมัน (8) ปัมสุญญากาศขนาด 3 แรงม้า (9) ถังพักน้ำเย็น (10) कुल्लिंगทาวเวอร์ [2]

3. สภาวะที่เหมาะสมการแปรรูปฝักและผลไม้กรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ

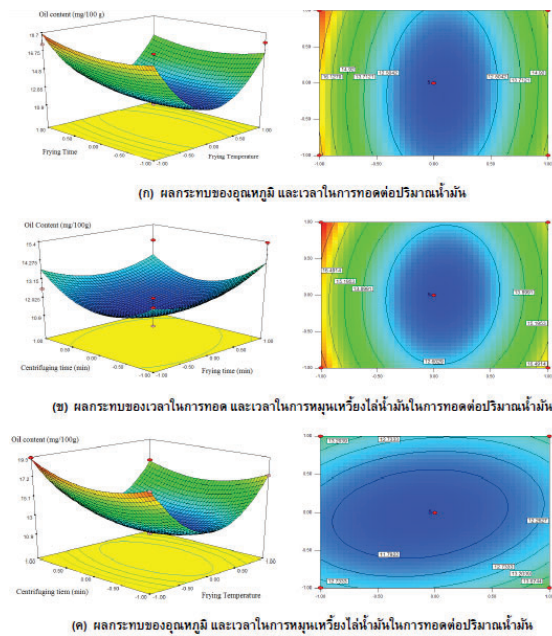
การแปรรูปฝักและผลไม้กรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ นั้นมีสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมี-กายภาพของฝัก และผลไม้ชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทอดสุญญากาศ และปัจจัยที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทอดสุญญากาศ รายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาการทอดสุญญากาศ นั้น พบว่ามีปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมัน เวลาในการทอด และเวลาในการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมัน พบว่าการใช้ความดันสุญญากาศที่ 1.33 ถึง 90 กิโลปาสคาล และเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้ความดันสุญญากาศ ที่ระดับความเร็วรอบที่ 140-1,000 รอบต่อนาที และเหวี่ยงสลัดน้ำมันเท่ากับ 2-10 นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น โครงสร้างภายในของเซลล์ ความชื้น ปริมาณน้ำตาล รูปร่าง ขนาด คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น และรส

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศ นิยมหาในรูปแบบทางสถิติด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) ของการทอดสุญญากาศในการศึกษาจึงนิยมการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design, BBD) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการผลิตและเงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสม สอดคล้องกับรายงานวิจัยของพิชามญชุ์ และฤทธิชัย [13], รัชชานนท์ และฤทธิชัย [14]

นันท์ณภัส และฤทธิชัย [15] ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศของ กลัวยน้ำว่าแผ่นดิน เนื้อลำไย และมะม่วงแผ่นด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยของอุณหภูมิของน้ำมัน เวลาในการทอด และเวลาในการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันต่อปริมาณน้ำมันที่หลงเหลือของการทอดสุญญากาศของมะม่วงแผ่นด้วยโปรแกรมทางสถิติสามารถแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 มิติของพื้นผิวตอบสนอง และวิเคราะห์กราฟโครงร่างของพื้นผิวตอบสนองต่อปริมาณน้ำมันที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องการสภาวะในการแปรรูปที่มีผลให้มีปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังถูกใช้พิจารณาสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น ปริมาณสารอาหารที่หลงเหลือ กับสมบัติทางเนื้อสัมผัส เช่น ค่าความกรอบ รายงานวิจัยของ Diamante et al [16] ได้สรุปสภาวะที่เหมาะสมใน

การทอดสุญญากาศของผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ ตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 6 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศของมะม่วงแผ่น [15]

4. ผลกระทบของน้ำมันในระหว่างการทอดสุญญากาศ

4.1 การดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดสุญญากาศ

รายงานวิจัยของ Andres-Bello et al [6] ได้อธิบายถึงการลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดสุญญากาศ พบว่า ผลของการทอดสุญญากาศ และการเหวี่ยงสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น สามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้มากกว่าทอดที่ความดันปกติมากถึง 3-4 เท่า และสนับสนุนแนวความคิดว่าเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศเป็นตัวเลือกที่เป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว จากผักและผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความดัน (กิโลปาสกาล)	เวลาหมุนเหวี่ยง
แอปเปิ้ล	98	4.5	6.48	เวลา 3 นาที
แอพริคอต	100	72.5	2.3	เวลา 4 นาที
กล้วย	110	20	8.0	-
แครอท	98	5	6.48	เวลา 3 นาที
กีวีสีเขียว	105	8	6.2	เหวี่ยงสลัดน้ำมันที่ 750 รอบ/นาที เป็นเวลา 4 นาที
เห็ด	90	12.5	4.25	เหวี่ยงสลัดน้ำมันที่ 400 รอบ/นาที เวลา 10 นาที
มันฝรั่ง	98	6.5	6.48	คงผลิตภัณฑ์ในหม้อสุญญากาศเป็นเวลา 3 นาที

ที่มา: ดัดแปลง Diamante et al [16]

สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Dueik and Bouchon [1] พบว่าการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ทอดสุญญากาศมีน้อยกว่ากับผลิตภัณฑ์ที่ทอดในบรรยากาศปกติมากถึง 4 เท่า และพบว่าการดูดซับน้ำมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปริมาณน้ำมันมีผลกระทบโดยตรงต่อสัดส่วนการสูญเสียความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ Dueik et al [17] ศึกษาโครงสร้างภายในเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์แครอท, แอปเปิ้ล และมันฝรั่ง ที่ผ่านการทอดสุญญากาศด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารทอดสุญญากาศมีลักษณะของช่องว่างระหว่างเซลล์ที่มีขนาดเล็ก และมีจำนวนช่องว่างที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในบรรยากาศปกติ ซึ่งช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อเซลล์ดังกล่าวมีผลต่อการดูดซับน้ำมัน โดยถ้ามีช่องว่างขนาดใหญ่ เนื้อเยื่อเซลล์มีขนาดเล็ก และจำนวนน้อยก็จะช่วยในการลดการดูดซับน้ำมัน รวมถึงการหมุนเหวี่ยงไล่น้ำมันในสภาวะสุญญากาศนั้นส่งผลต่อการลดการดูดซับน้ำมันได้ถึงร้อยละ 73 ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่บรรยากาศปกติ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แครอท และแอปเปิ้ลการ

ทอดสุญญากาศสามารถลดการดูดซับน้ำมันสูงถึง 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับต่อไป

Pandey and Moreira [18] พบว่า แนวทางในการแยกน้ำมันออกจากผิวมันฝรั่งทอดสุญญากาศขึ้นอยู่กับเวลาในการทอด และเวลาในการหมุนเหวี่ยงเพื่อไล่สัดน้ำมันเมื่อเพิ่มความเร็วยก และเวลาในการหมุนเหวี่ยงเป็นเทคนิคการลดการดูดซับน้ำมันควรใช้ระยะเวลาในการทอดน้อย และใช้เวลาในการเหวี่ยงสัดน้ำมันให้นานขึ้นสามารถช่วยลดปริมาณน้ำมันที่ผิวของมันฝรั่ง โดยในระหว่างการหมุนเหวี่ยงสัดน้ำมันหม้อทอดสุญญากาศยังเหลือความร้อนสะสมในระหว่างการทอดซึ่งความร้อนส่วนนี้ยังสามารถถ่ายเทเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในอาหารอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาการทอดสุญญากาศที่ความดันระดับปานกลางร่วมกับความดันระดับสูงมีความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของกระบวนการทอดและการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่ง นอกจากนี้ปัจจัยของอุณหภูมิ เวลาในการทอด และเวลาในการหมุนเหวี่ยง มีผลต่อปริมาณน้ำมันแล้ว ขั้นตอนการเคลือบด้วยสารห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ผิวของผักและผลไม้ก่อนนำไปทอดสุญญากาศ ก็เป็นหลักการที่สำคัญในการช่วยลดปริมาณน้ำมันที่สะสมในผลิตภัณฑ์ได้ รายงานวิจัยของ Piyalungka et al [19] ศึกษาผลของการแช่สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน คือคาร์โบไฮเดรตประเภท polysaccharide ร่วมกับการใช้การสันเสีเพื่อเป็นการเตรียมผักทองแผ่นก่อนนำไปทอดสุญญากาศ พบว่าสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ถึงร้อยละ 16 และสามารถรักษาสารประกอบกลุ่มแคโรทีนอยด์ได้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับทอดสุญญากาศที่สถานะเดียวกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของผักและผลไม้ที่ผ่านการทอดสุญญากาศนั้น ขึ้นอยู่การหาสถานะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ เวลาในการทอด และเวลาในการหมุนเหวี่ยงไล่ไขมันในสถานะสุญญากาศ และเทคนิคการเตรียมขั้นต้นเช่น การแช่ในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อเคลือบด้วยสารห่อหุ้มสารให้กลิ่น

รสที่ผิวของผักและผลไม้ก่อนนำไปทอดสุญญากาศ ก็เป็นเทคนิคที่สำคัญในการลดการดูดซับน้ำมันในผักและผลไม้

4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันในระหว่างการทอดสุญญากาศ

Crosa et al [20] ศึกษาผลกระทบการทอดสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศต่อการเสื่อมสลายของน้ำมัน องค์ประกอบของกรดไขมันและปริมาณ alpha-tocopherol ในน้ำมันดอกทานตะวันจำนวน 2 ชนิด คือน้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงและ น้ำมันดอกทานตะวันที่มีประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Tertiary Butylhydroquinone, TBHQ-SO) การเสื่อมสลายของน้ำมันสามารถทำได้โดยการวัดกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids, FFA), ปริมาณ Peroxide value (PV), p-anisidine (p-AV), สารประกอบที่มีขี้ขี้ทั้งหมด (Total polar compound, TPC) และความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stability) เก็บตัวอย่างน้ำมันทุก ๆ 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วันติดต่อกัน ผลการศึกษาพบว่า ค่าของ FFA, p-AV และ TPC โดยใช้ น้ำมันดอกทานตะวันที่มีประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ TBHQ-SO กับการทอดที่สภาวะบรรยากาศซึ่งมีค่า FFA, p-AV และ TPC เท่ากับ 0.201 g oleic acid/100 g, 207.0 m_{eq} O₂/kg และ 25.0 %w/w ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการทอดสุญญากาศที่ 0.073 g_{oleic acid}/100g, 25.8 m_{eq} O₂/kg และ 11.2 %w/w ตามลำดับ

เมื่อใช้น้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงกับการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่า FFA, p-AV และ TPC เท่ากับ 0.327 g_{oleic acid}/100g , 82.0 m_{eq} O₂/kg และ 21.9 %w/w ตามลำดับ และการทอดสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.099 g_{oleic acid}/100g, 33.3 m_{eq} O₂/kg และ 6.4 %w/w ตามลำดับ ค่าความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดอกทานตะวัน TBHQ-SO มีค่าเท่ากับ 2.44 และ 7.95 สำหรับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ และการทอดสุญญากาศ

ตามลำดับ และน้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงมีค่าความคงตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่ากับ 0.65 และ 2.67 ตามลำดับ ร้อยละไขมันไม่อิ่มตัวลดลงทุก ๆ สภาวะของการทดลองยกเว้นการทอดสุญญากาศ ปริมาณ alpha-tocopherol ลดลงเมื่อใช้น้ำมันดอกทานตะวัน TBHQ-SO ในการทอดสุญญากาศซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.90 แต่ในการทอดที่บรรยากาศปกติมีปริมาณ alpha-tocopherol เท่ากับร้อยละ 53.62 สำหรับน้ำมันดอกทานตะวัน HO-SO มีปริมาณ alpha-tocopherol เท่ากับร้อยละ 96.87 และ ร้อยละ 99.76 ตามลำดับ

4.3 การบรรจุหีบห่อและอายุการเก็บรักษา

ผลดีผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศจำเป็นต้องบรรจุอย่างถูกต้องเพื่อรักษาคุณภาพโดยเฉพาะเนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังมีแนวโน้มที่กลิ่นหืนเพราะปริมาณของน้ำมัน ดังนั้นในหัวข้อนี้รวบรวมเอกสาร และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุหีบห่อ และการศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

Fan et al [21] รายงานเกี่ยวกับความคงตัวของ การเก็บรักษาของแครอทแผ่นทอดสุญญากาศบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขนาดความหนาเท่ากับ 25 ไมครอน และเติมก๊าซไนโตรเจน 95 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณถุง และซีสปากถุงโพลีเอทิลีน ผลิตภัณฑ์ถูกเก็บไว้ในที่ไม่มีแสง และควบคุมอุณหภูมิที่ 0 10 และ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน เพื่อหาอายุการเก็บรักษาพบว่าเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษากระทบต่อความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) รวมถึงปริมาณไขมันในแครอทแผ่นเพิ่มขึ้นจากการดูดซับกลับ ส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนเกิดการออกซิเดชันของไขมัน รวมทั้งเกิดการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนอยด์ และวิตามินซีของแครอทแผ่นจะลดลง ค่ากรดของแครอทแผ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อายุการเก็บรักษาโดยประมาณของแครอทแผ่นที่จะใช้ค่ากรดที่มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อกรัมเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารการทอด

สุญญากาศสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนกับลิพิดทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นและรสชาติผิดปกติ เรียกว่าการหืน (rancidity) เป็นปฏิกิริยาถูกใช้เพราะอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นโมเลกุลกรดไขมันที่เหลืองให้เกิดปฏิกิริยา

Presswood [22] ศึกษาเกี่ยวกับความคงตัวของไขมันของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทอดสุญญากาศที่เก็บเนื้อไว้ในถุง Polyethylene (PET) และถุง Aluminium foil laminate (AFL) และเติมไนโตรเจน เพื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยของค่าความชื้นสุดท้าย (M_f) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ใน polyethylene (PET) ทำให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมันอิสระ (FFAs) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับบรรจุภัณฑ์ทั้ง PET และ AFL ผลการสลายตัวของ FFAs เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 8 (กรดโอเลอิก) และตรวจพบค่า Totox ไม่เกินร้อยละ 32 หลังจากผ่านไป 32 สัปดาห์เก็บที่อุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญแต่ระดับของกรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิกลดลงในช่วง 17 สัปดาห์ที่ผ่านมาของการเก็บรักษาและระดับเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อบรรจุภัณฑ์ชนิด AFL พบว่า มีอัตราการเกิดออกซิเดชันต่ำ และเกิดปริมาณโทโคฟีรอลลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นและเมื่อบรรจุไว้ในถุง AFL ปริมาณโทโคฟีรอลส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของ Sterol มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ PET ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทอดสุญญากาศสามารถยืดอายุการเก็บไว้ได้ถึง 32 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียสและไม่มีการเสื่อมสภาพของไขมัน บรรจุภัณฑ์ชนิด AFL ลดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนและไอน้ำต่ำ ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ทอดสุญญากาศสามารถบรรจุในถุง LDPE, PET และ AFL โดยเติมไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์ช่วยลดอัตราการถ่ายเทออกซิเจน สามารถช่วย

เพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ค่าความกรอบ และการมีกลิ่นหืนน้อย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การแปรรูปผักและผลไม้กรอบด้วยการทอดสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสม สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร และคุณภาพด้านกลิ่น สี และรสใกล้เคียงกับธรรมชาติเดิม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบมีความน่ารับประทาน รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่มีปริมาณไขมันต่ำ การทอดสุญญากาศสามารถลดการไหม้ของน้ำตาล และไม่มีการเกิดสารจำพวกอะคริลาไมด์ (acrylamide)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ได้แก่ อุณหภูมิในการทอด เวลา และเวลาในการเหี่ยยงไล่น้ำมันในสภาวะสุญญากาศ ถูกนำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการทอดสุญญากาศสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ นอกจากนี้บทความนี้ได้กล่าวถึงประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดสุญญากาศ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ชนิด polyethylene (PET) และ aluminium foil laminate (AFL) และเติมไนโตรเจนสามารถช่วยยืดอายุการอายุการเก็บรักษา ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด ช่วยรักษาความกรอบ และอัตราการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ

กิตติกรรมประกาศ

บทความปริทัศน์เชิงวิชาการนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตลำไยทอดกรอบอบแห้งด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ (รหัสโครงการ CRP5805020370) ซึ่งรับเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Dueik and P. Bouchon. "Development of healthy low-fat snacks: understanding the mechanisms of quality changes during atmospheric and vacuum frying". *Food Reviews International* 27. pp. 408-432. 2001.
- [2] ฤทธิชัย อัครราชันย์. การแปรรูปด้วยความร้อนและไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่. สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ (งานสำนักพิมพ์) มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พ.ศ. 2561, หน้า 283-286.
- [3] S.L. Shyu and L.S. Hwang. "Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips". *Food Research International* 34, pp. 133-142. 2001.
- [4] C. Granda, R.G. Moreira and E. Tichy. "Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying". *Journal of Food Science* 69, pp. 405-411. 2004.
- [5] P.F. Da Silva and R.G. "Moreira Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable based snacks". *LWT- Food Science and Technology* 41, pp. 1758-1767. 2008.
- [6] A. Andrés-Bello, P. García-Segovia and J. Martínez- Monzó. "Vacuum frying process of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fillets". *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11. pp. 630-633. 2010.

- [7] R. Yamsaengsung, C. Rungsee and C. Prasertsit. "Simulation of the heat and mass transfer processes during the vacuum frying of potato chips". Songklanakarin Journal of Science and Technology 30. pp. 109-115. 2008.
- [8] A. Pandey and R.G. Moreira. Batch "vacuum frying system analysis for potato chips". Journal of Food Process Engineering 35, pp. 863-873. 2012.
- [9] J. Mir-Bel, R. Oria and M.L. Salvador "Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying". Journal of Food Engineering 113, pp.167-176. 2012.
- [10] A. Halder, A. Dhall and A.K.Datta, "An improved, easily implementable, porous media based model for deep-fat frying – Part I: Model development and input parameters". Food and Bioprocess Technology 85, pp. 209-219. 2007.
- [11] นายรัชชานนท์ วงศ์จันทรา, จันทร์จิรา วันชนะ และ ฤทธิชัย อัครราชันย์, "ผลกระทบของเทคโนโลยีแบบผสมผสานต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษาของการแปรรูปลำไยกรอบ", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรม, ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2560, หน้า 147-152.
- [12] รัชชานนท์ วงศ์จันทรา. "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตลำไยทอดกรอบ ด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ" รายงานปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ประเทศไทย. พ.ศ. 2558.
- [13] พิชามญช์ ทิพย์เมืองพรม และฤทธิชัย อัครราชันย์, "สภาวะที่เหมาะสมในการทอดสุญญากาศกล้วยน้ำว้าแผ่น", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ พะเยาวิชาการ, ครั้งที่ 7, พ.ศ. 2561. หน้า 1317-1325.
- [14] รัชชานนท์ วงศ์จันทรา, และฤทธิชัย อัครราชันย์, "สภาวะที่เหมาะสมในการทอดสุญญากาศกล้วยน้ำว้าแผ่น" เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ พะเยาวิชาการ, ครั้งที่ 7, พ.ศ. 2561. หน้า 1317-1325.
- [15] นันทวัฒน์ ระหงษ์ และฤทธิชัย อัครราชันย์, "สภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบโดยใช้การวิเคราะห์แบบบ็อกซ์-เบ้้นเคน". เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ, ครั้งที่ 20, พ.ศ. 2562, หน้า 12-18.
- [16] L.M. Diamante, S. Shi, A. Hellmann and J. Busch J. Vacuum frying foods: products, process and optimization. International Food Research Journal 22 (1), pp. 15-22. 2015.

- [17] V. Dueik, M.C. Moreno and P. Bouchon. "Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying". *Journal of Food Engineering*, 111(3), pp. 528-536. 2012.
- [18] A. Pandey and R.G. Moreira. "Batch vacuum frying system analysis for potato chips". *Journal of Food Process Engineering* 35, pp. 863-873. 2012.
- [19] P. Piyalungka, M.B. Sadiq, R. Assavarachan and L.T. Nguyen "Effects of osmotic pretreatment and frying conditions on quality and storage stability of vacuum-fried pumpkin chips". *International journal of Food Science & Technology* 54(10), pp. 2963-2972. 2019.
- [20] M.J. Crosa, V. Skerl, M. Cadenazzi, L. Olazabal, S. Silva, G. Suburu and M. Torres. "Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips". *Food Chemistry* 146, pp. 603-607. 2014.
- [21] L. Fan, M. Zhang and A.S. Mujumdar A S. "Storage stability of carrot chips". *Drying Technology* 25, pp. 1537- 1543. 2007.
- [22] H. Presswood. "Lipid stability of dehydrated (vacuum fried) beef strips stored in two packaging types". *Publikation/Sveriges Lantbruks universitet, Institutionen för livsmedelsvetenskap. Uppsala, Sweden, 2012.*
- [23] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.1083/2554. ผักและผลไม้ทอดกรอบ. พ.ศ. 2564.
[ออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.tisi.go.th> (วันที่ 1 ม.ค.64)