

การแปรรูปอาหารด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ EMERGING TECHNOLOGIES FOR FOOD PROCESS

ฤทธิชัย อัสวาราชันย์
Rittichai Assawarachan

Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University
corresponding author e-mail: rittichai.assawarachan@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารสมัยใหม่สามารถจำแนกออกเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการแปรรูปด้วยความร้อนและการแปรรูปแบบไม่ใช้ความร้อนเทคโนโลยีการแปรรูปด้วยความร้อนสมัยใหม่ประกอบด้วย การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (OH) และการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก อาทิ คลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถูกใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง-เวลาสั้น (HTST) รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในการอบแห้งในขณะการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal process) ด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า (PEF) และการใช้ความดันสูง (HPP) เป็นนวัตกรรมสมัยใหม่ที่มีอุณหภูมิในระบบต่ำทำให้สมบัติทางประสาทสัมผัสและสมบัติทางโภชนาการของอาหารแปรรูปเหมือนอาหารสด และมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากไม่ใช้ความร้อน วัตถุประสงค์ของบทความนี้จึงรวบรวมและเรียบเรียงบทความวิจัยจากเอกสารวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อพัฒนาการสังเคราะห์เชิงความคิด และเรียบเรียงเนื้อหาให้สอดคล้องกับงานวิจัยในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษาวิจัยหลักการที่เกี่ยวกับการแปรรูปแบบใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ต่อไป

คำสำคัญ: การแปรรูปด้วยความร้อนสมัยใหม่ การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก การเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กตริก พัลส์สนามไฟฟ้า การใช้ความดันสูง

Abstract

Emerging technologies for food processing is consisted of the improvement of thermal and non-thermal processing. Novel thermal technology using the ohmic heating (OH) and the dielectric heating, such as microwave (MW) and radio frequency heating (RF). These heating systems have been applied to increase the efficiency of the conventional thermal processing at a high temperature for a short time (HTST) and the drying processing. In contrast, non-thermal processing using pulsed electric field (PEF) and high pressure processing (HPP) is the innovation for low temperature applications in food which keeps the sensorial and nutritional properties of the food close to fresh products and maintains its original freshness throughout the shelf-life because of the absence of heat treatment. The purpose of this article was to systematically review the

related literatures in accordance with the recent researches as a guideline for research and development of emerging technologies for food processing.

Keywords: novel thermal process, ohmic heating, dielectric heating, pulsed electric field, high pressure processing

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการพยายามหาวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อช่วยลดข้อจำกัดในด้านการถ่ายความร้อน การสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อนำมาพัฒนาใช้ในงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาแนวคิดการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการสร้างความร้อนประสิทธิภาพสูงสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนจากภายในตัวอาหารเอง ไม่มีผลกระทบต่อด้านการถ่ายเทความร้อนรวมถึงมีอัตราการสร้างความร้อนที่รวดเร็วทำให้อาหารแปรรูปมีลักษณะทางกายภาพที่ดี (สี เนื้อ สัมผัส กลิ่น รสชาติ) และสามารถรักษาวิตามินเกลือแร่ และสารอาหารที่สำคัญไว้ได้เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้แทนการให้ความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีข้อจำกัดในกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนแบบดั้งเดิม การพัฒนาระบบการให้ความร้อนให้มีประสิทธิภาพ การเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและการกระจายอุณหภูมิด้วยเทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นหนึ่งในนวัตกรรมการแปรรูปสมัยใหม่ ในการพัฒนารูปแบบการให้ความร้อนให้สามารถเหนี่ยวนำความร้อนในอาหาร และมีประสิทธิภาพการกระจายความร้อนสูง ปัจจุบันเทคโนโลยีการทำความร้อนสมัยใหม่ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการแปรรูปอาหารและผลผลิตทางการเกษตรซึ่งประกอบด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (ohmic heating) การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating) และคลื่นวิทยุ (radio frequency heating) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการสร้างความร้อนและไม่มีผลกระทบจากปัญหาของการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาใช้ทดแทนการแปรรูปด้วยความร้อนแบบดั้งเดิมเพื่อใช้เป็นแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการแปรรูปอาหาร (ฤทธิชัย, 2554ก)

นอกจากนั้นการพัฒนานวัตกรรมการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน (non-thermal process) เช่น การแปรรูปด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า (pulsed electric field) และการแปรรูปด้วยความดันสูง (high hydrostatic pressure of food processing) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารเริ่มมีการประยุกต์ใช้เพื่อการแปรรูปอาหารแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้แปรรูปพบว่าผู้บริโภคมีคาดหวังในคุณภาพในผลิตภัณฑ์มากขึ้นโดยร้อยละ 40 ของผู้บริโภคเลือกผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปโดยพิจารณาจากสีเป็นอันดับแรก (Assawarachan & Noomhorm, 2008) และในปัจจุบันผู้บริโภคน้ำผลไม้แปรรูปมีความต้องการกลิ่นและรสชาติ รวมถึงสารอาหารที่มีประโยชน์ทางโภชนาการจากผลไม้สดมากกว่าการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสสังเคราะห์ ด้านความสดเทียบเท่าผลไม้สด (fresh-like characteristics) สามารถรักษาคุณภาพของอาหาร กลิ่นและรสจากธรรมชาติได้อย่างดี (higher preference for natural products) และไม่ใส่สารปรุงแต่งรส กลิ่นสังเคราะห์ (free of chemicals and/or additives) ถึงแม้ว่าจะมีราคาขายที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมแต่ผลิตภัณฑ์แปรรูปด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคอย่างมาก บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารสมัยใหม่ของเทคโนโลยีการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ด้วยเทคโนโลยี เช่น การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก และการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ) การแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นบทความวิชาการนี้จึงรวบรวมและเรียบเรียงบทความวิชาการและบทความวิจัยจากเอกสารวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องผ่านการสังเคราะห์เชิงความคิด และเรียบเรียงเนื้อหาให้สอดคล้องกับงานวิจัยในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยแก่คณาจารย์ นักศึกษา และบุคคลที่สนใจในด้านการแปรรูปด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ต่อไป

1. การแปรรูปอาหารแบบดั้งเดิม

กระบวนการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในปัจจุบันนิยมให้ความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ในลักษณะต่าง ๆ โดยใช้ตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อน วิธีการให้ความร้อนแบบนี้มีข้อจำกัดในกระบวนการผลิตมากมายเช่น ผลกระทบในระหว่างการถ่ายเทความร้อน การเกิดตะกรันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นฉนวนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำและมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานสูงมีอัตราการเกิดความร้อนต่ำและใช้เวลานานส่งผลต่อต้นทุนด้านพลังงานเนื่องจากต้นทุนพลังงานจะแปรผันตรงกับราคาน้ำมันในตลาดโลกซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกวัน (อรรถพล และฤทธิชัย, 2550) นอกจากนี้ผลกระทบที่สำคัญจากการที่อาหารรับความร้อนเป็นเวลานานทำให้สูญเสียคุณภาพและคุณลักษณะของอาหารด้านต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อการสูญเสีย กลิ่น รส และสี จากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สีของน้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง ออกซิเจนเป็นตัวเร่งการเกิดสีน้ำตาล เพราะฉะนั้นโดยทั่วไปจะต้องกำจัดอากาศในน้ำผลไม้ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ การสูญเสียกลิ่นและรสชาติ จากการฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์และการใช้ความร้อนเพื่อทำลายหรือกำจัดจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำผลไม้ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน หรือการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไปสาเหตุดังกล่าวส่งผลต่อการสูญเสียวิตามินและสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการของการฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์เพื่อยับยั้งเอนไซม์และทำลายจุลินทรีย์ที่ทนทานต่อความร้อนต่ำโดยแบ่งสภาวะการศึกษาออกเป็น 2 สภาวะ ได้แก่ การฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์ด้วยวิธีใช้ความร้อนต่ำ-เวลานาน (low temperature-long time; LTLT) อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า และวิธีใช้ความร้อนสูง-เวลาสั้น (high temperature-short time; HTST) วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีแรก แต่ใช้เวลาน้อยกว่าคืออุณหภูมิ 71.10 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 15 วินาที

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารด้วยการใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมาก (ultra-high temperature processing; UHT) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองสภาวะ ได้แก่ การใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมากแบบ direct UHT เป็นกระบวนการที่อาหารจะได้รับความร้อนโดยตรงด้วย steam injection โดยหัวฉีดไอน้ำ (steam injection head) ฉีดไอน้ำที่มีความดันสูง ให้สัมผัสกับอาหารโดยตรงแล้วคงอุณหภูมิในท่อคงอุณหภูมิ (holding tube) ก่อนที่จะทำให้ตัวอย่างเย็นอย่างรวดเร็วไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นน้ำทำให้อาหารเหลวเจือจางลงนำไปแยกน้ำออกเพื่อให้ได้มาตรฐานตามที่ต้องการใช้อุณหภูมิประมาณ 145-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วินาที และการฆ่าเชื้อโดยการใช้อุณหภูมิสูงมาก แบบ indirect heating ที่ใช้อุณหภูมิประมาณ 130-135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-4 วินาที

การแปรรูปด้วยความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ ส่งผลให้มีข้อจำกัดด้านการถ่ายเทความร้อนในระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอาหาร ส่งผลให้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอาหารประมาณ 40-60 วินาที ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของอาหาร อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมาก แบบ **indirect heating method** มีความเหมาะสมในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมากกว่าระบบ **direct UHT** ที่มีข้อจำกัดด้านวิศวกรรมและกระบวนการผลิตเนื่องจากการสัมผัสกับไอน้ำโดยตรงจะส่งผลต่อการสูญเสียคุณภาพของอาหารอย่างรุนแรงและมีโอกาสปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในกรณีที่ไอน้ำที่ใช้ในการผลิตไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากการอุดตันที่หัวฉีดไอน้ำส่งผลให้เป็นสาเหตุหยุดสายการผลิต (**break down**) ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมากสาละอย่างใดก็ตามการใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมาก แบบ **indirect heating** มีข้อจำกัดในเรื่องของการเกิดคราบสิ่งสกปรก หรือการเกิดตะกอนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และมีความเสี่ยงในการบำรุงรักษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุปกรณ์สร้างแหล่งความร้อนคิดประมาณร้อยละ 35-50 ของต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการแปรรูปทั้งหมด

2. ประเภทของเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการแปรรูปอาหาร

การแปรรูปอาหารสมัยใหม่สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยนวัตกรรมด้านวิศวกรรมการทำความร้อนสมัยใหม่ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการแปรรูปอาหาร ซึ่งประกอบด้วยให้ความร้อนแบบโอห์มมิก การเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กทริก และการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน ด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าและเทคนิคการแปรรูปด้วยความดันสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การแปรรูปด้วยความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

2.1.1 การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิก

การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกเป็นเทคโนโลยีการสร้างความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงมีอัตราการเกิดความร้อนที่สูงมากกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบอื่น ๆ โดยมีอัตราการเกิดความร้อนประมาณ 0.005-1.200 องศาเซลเซียสต่อวินาที และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าร้อยละ 95 (Meredith, 1998) ซึ่งในขณะที่การสร้างความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้เท่ากับร้อยละ 45-48 เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อน (วีโล, 2547) รวมทั้งการเกิดความร้อนแบบมีกลไกการเกิดความร้อนจากภายในตัวอาหารจึงไม่มีผลกระทบต่อด้านการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานปัจจุบันการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกถูกนำไปใช้ในการแปรรูปแบบอาหารปลอดเชื้อ (**aseptic processing**) สำหรับอาหารเหลวเนื้อเดียว (Assawarachan, 2010) ตลอดจนการนำไปใช้ในการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปในลักษณะต่าง ๆ เช่น นำไปใช้ในการละลายอาหารทะเลแช่เยือกแข็งซึ่งสามารถช่วยลดพื้นที่และปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายแบบดั้งเดิม (อุมพร และคณะ, 2554) การลวกเพื่อยับยั้งเอนไซม์การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกสามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์และการใช้ความร้อนเพื่อทำลายหรือกำจัดจุลินทรีย์ทั้งหมด (ฤทธิชัย, 2554) การเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในตัวอย่างอาหารที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าซึ่งผลของการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในอาหารจะเกิดเป็น

พลังงานความร้อนขึ้นภายในเนื้ออาหารนั้น เนื่องจากในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดการเคลื่อนที่ของไอออนและเสียดสีกันระหว่างชั้นโมเลกุลในอาหารเกิดเป็นพลังงานความร้อน

2.1.2 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

การเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (dielectric heating) เป็นเทคโนโลยีการสร้างความร้อนของวัสดุที่มีสมบัติไดอิเล็กตริก (dielectric properties) และถูกเหนี่ยวนำด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความถี่ต่าง ๆ อาหารและวัสดุชีวภาพมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีน้ำมีสมบัติไดอิเล็กตริกสูง (ฤทธิชัย, 2554ก) หลักการการเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กตริกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลน้ำและเกิดการหมุนและเสียดสีกันในระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนที่ผลิตขึ้นภายใน (internal heat generation) จึงไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อน ปัจจุบันการเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กตริกแบ่งออกเป็น 2 คลื่นความถี่ ได้แก่ การทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความถี่ ที่ 915 และ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ และการเกิดความร้อนด้วยคลื่นวิทยุที่ระดับความถี่ ที่ 3 ระดับ 13.56, 27.12 และ 40.68 เมกะเฮิร์ตซ์ (Marra et al., 2009) อย่างไรก็ตามการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุไดอิเล็กตริกมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถของการทะลุทะลวงของพลังงาน (energy penetration) หรือค่าความลึกในการทะลุทะลวง (penetration depth) หรือ ความลึกเชิงกำลัง (power penetration depth) ซึ่งมีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึกของกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ ด้วยเหตุที่การทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการทำความร้อนเชิงปริมาตร (volumetric heating) ค่าความลึกในการทะลุทะลวงของพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีประสิทธิภาพของระบบต่ำ เนื่องจากมีค่าความลึกในการทะลุทะลวง ในช่วง 12.20–32.80 เซนติเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟมีข้อได้เปรียบเชิงวิศวกรรม ในด้านของการเหนี่ยวนำความร้อนจากภายใน และสามารถใช้เหนี่ยวนำความร้อนกับวัสดุอาหารได้หลายสถานะ ปัจจุบันคลื่นไมโครเวฟประสบความสำเร็จในการพัฒนากระบวนการอบแห้ง และถูกต่อยอดเพื่อใช้ในการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปผักและผลไม้อบแห้ง รวมทั้งการนำคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศในการแปรรูปผักและผลไม้อบกรอบ (ฤทธิชัย, 2554ค) และการทำระเหยระบบสุญญากาศด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Assawarachan & Noomhorm, 2012)

ในขณะที่การเกิดความร้อนด้วยคลื่นวิทยุมีค่าความลึกในการทะลุทะลวงที่มากกว่าคลื่นไมโครเวฟ และเป็นที่ยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปด้วยความร้อนในการใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมากรายงานวิจัยของ Geveke & Brunkhorst (2008) ศึกษาการนำคลื่นวิทยุใช้การฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์น้ำส้มสายชูจากแอปเปิ้ล (apple cider) ในการฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ได้มากถึง 4.80 logCFU/g เมื่อเทียบกับระบบการพาสเจอร์ไรส์แบบดั้งเดิม และการแปรรูปด้วยความร้อนสำหรับการพาสเจอร์ไรส์ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้การพัฒนาคลื่นวิทยุประสบความสำเร็จในการทำลายมอดและไข่มอดในข้าวเปลือกเพื่อลดการใช้สารเคมีลอร์โบรไมด์และสามารถพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียของวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม การให้ความร้อนด้วยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางวิศวกรรมและการผลิตแสดงการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียของวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม การให้ความร้อนแบบโอท้อมิคและการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

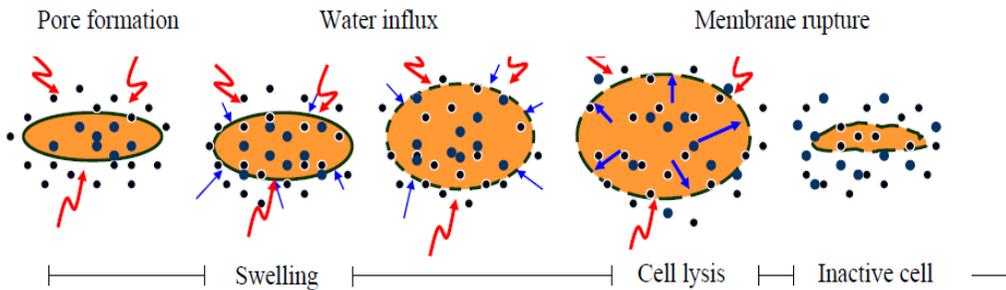
วิธีการให้ความร้อน	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การให้ความร้อนแบบดั้งเดิม	เทคโนโลยีแบบดั้งเดิมที่มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน (Assawarachan & Noomhorm, 2008).	ข้อจำกัดในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนและปัญหาคราบตะกรัน การสูญเสียคุณภาพอาหารเนื่องจากได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานาน เนื่องจากข้อจำกัดด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Assawarachan & Noomhorm, 2008)
2. การให้ความร้อนแบบโอท้อมิค	สามารถเกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว มีอัตราการเกิดความร้อนอย่างสม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนสูง มากกว่าร้อยละ 95 และไม่มีผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการเหนี่ยวนำความร้อนจากภายใน (Meredith, 1998)	สามารถประยุกต์กับสารละลายเนื้อเดียวที่เป็นของเหลวและที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานจึงอยู่ในกรอบของการแปรรูปด้วยความร้อน เช่น การลวก การฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์และการใช้ความร้อนเพื่อสเตอริไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิสูงมากเท่านั้น (Assawarachan, 2010)
3. การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ	สามารถเกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากการเกิดความร้อนจากภายใน (ไม่มีผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อน) สามารถใช้กับอาหารเหลว และชิ้นอาหาร (ของแข็ง) เหมาะสมต่อการอบแห้งและการสกัด คลื่นวิทยุสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการพาสเจอร์ไรส์อาหารได้ เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าความลึกในการทะลุทะลวง (Assawarachan & Noomhorm, 2008; Geveke & Brunkhorst, 2008)	มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนน้อยประมาณร้อยละ 45-48 ข้อจำกัดในการกระจายอุณหภูมิจึงไม่เป็นที่ยอมรับในการแปรรูปด้วยความร้อน เนื่องจากการกระจายตัวของคลื่นภายในวัสดุมีความไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดโซนร้อน และโซนเย็นซึ่งไม่มีอันตรกิริยากับคลื่นซึ่งเกิดจากข้อจำกัดในเรื่องค่าความลึกในการทะลุทะลวง (penetration depth) จึงไม่เหมาะในการแปรรูปเพื่อทำลายจุลินทรีย์ (ฤทธิชัย, 2554ค)

2.2 การแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

2.2.1 การแปรรูปอาหารด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า

เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าเป็นเทคนิคการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเหลวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพรเซชัน (electroporation) เมื่ออาหารเหลวถูกกระตุ้นด้วยความเข้มสนามไฟฟ้าสูงให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนภายใต้สภาวะสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในอัตราการให้ซ้ำที่ค่าความถี่หนึ่งค่าหนึ่ง (ทวิวรรณ, 2554) ในระยะเวลาที่สั้นมากปกตินับเวลาเป็น 10^{-3} ถึง 10^{-6} วินาที ในลักษณะที่อาหารเหลวถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานที่ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์จะเกิดการฉีกขาดและทะลุจะเกิดรูพรุนรอบเซลล์ของจุลินทรีย์ (pore formation) ของเหลวจากภายนอกเซลล์จะแพร่เข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ตามรูพรุนรอบ ๆ ผนังเซลล์ส่งผลให้ความดันออสโมติกภายในของเซลล์จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทำให้เกิดปรากฏการณ์การขยายตัวของเซลล์จุลินทรีย์จากความดันภายในเซลล์ (swelling) จนเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการฉีกขาดเป็นรูขนาดใหญ่ นำไปสู่การตายของเซลล์จุลินทรีย์ (cell lysis) อย่างถาวร (ภาพที่ 1) ในขณะที่เซลล์อาหารที่มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์

จุลินทรีย์นั้นจะไม่เกิดผลกระทบดังกล่าวเนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์อาหารมีผนังหนาจึงเกิดการฉีกขาดเพียงเล็กน้อย และเซลล์อาหารสามารถซ่อมแซมตัวเองกับสู่สภาพเดิม (Yashwan et al., 2015)



ภาพที่ 1 กลไกการทำงานของเทคนิคการใช้พัลส์สนามไฟฟ้า
ดัดแปลงจาก: Maged et al., (2012)

2.2.2 การแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูง

การแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูงเป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน แต่เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (400-600 เมกะพาสคัล) ซึ่งความดันเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญของปฏิกิริยาทางเทอร์โมไดนามิกส่งผลให้เกิดงานที่เกิดในระหว่างการกดอัดในระหว่างการให้ความดัน (pressurization) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (microbial spoilage) จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) นอกจากนี้ความดันสูงยังทำลายเอนไซม์ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารเป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อนทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น และลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร เนื่องจากความร้อนทำให้อาหารปลอดภัย โดยรักษาสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดี เมื่อเทียบกับการใช้ความร้อน ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตและแปรรูปโดยใช้กระบวนการนี้และประสบผลสำเร็จทางการค้าได้แก่ อาหารพร้อมรับประทาน (ready to eat) อาหารประเภทที่เป็นกรด (acid foods) เช่น แยม โยเกิร์ตและเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ อาหารทะเล เช่น หอยนางรม (oyster) โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศเริ่มแรกและทำให้เกิดการกระตุ้นและเกิดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโดยการใช้ความดันสูงเพื่อการถนอมอาหารเพิ่มมากขึ้น (Da-Wen, 2014) การแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูงมีประสิทธิภาพเทียบเท่าการใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร ประกอบไปด้วยยีสต์และแบคทีเรียกรดแลคติก และช่วยให้อาหารมีความปลอดภัยโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น *E. coli*, *Salmonella* spp. และ *Listeria monocytogenes* ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารโดยรักษาคุณภาพของอาหาร และลดการทำลายคุณภาพขององค์ประกอบที่สำคัญในอาหารน้อยกว่า เช่น วิตามิน รสชาติ และสี ซึ่งจะช่วยให้การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้มีคุณภาพเหมือนกับของสด ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการสร้างระบบความดันสูงประกอบด้วยปั๊มแรงดันสูง ตัวขยายสัญญาณ ตัวกลางในการถ่ายพลังงานกล และถังแรงดันสูง ขั้นตอนการทำงานโดยการนำผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นแล้วและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการบรรจุแบบปลอดเชื้อแล้ว นำเข้าบรรจุการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเวสเซล จากนั้นเวสเซลถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องความดันในระบบปิด เติมน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานกลจากแรงดันในการทำลายจุลินทรีย์

และสามารถกลับสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อปรับสภาพความดันสูงกลับเข้าสู่สภาวะปกติ และเมื่อสิ้นสุดการใช้ความดันสูง เวสเซลที่บรรจุผลิตภัณฑ์จะถูกปรับสภาพเข้าสู่ความดันปกติแล้ว และปล่อยน้ำทิ้งออกจาก เวสเซล จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ออกจากเวสเซลเข้าสู่การเป่าแห้งและบรรจุเพื่อรอจำหน่าย เนื้อหาการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ของบทความนี้ได้นำเสนอพื้นฐาน การแปรรูปอาหารด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า และการแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูง ตารางที่ 2 แสดงข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูงและการใช้ความดันสูงเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการมากขึ้น

ตารางที่ 2 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูงและการใช้ความดันสูง

กระบวนการแปรรูป	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้า	- สามารถประยุกต์กับการแปรรูปเพื่อทำลายจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โดยไม่ใช้ความร้อน ส่งผลให้คุณภาพอาหารคงความสด และลดการสูญเสียสารอาหารได้และช่วยในการกระตุ้นเตรียมตัวอย่างสำหรับอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง และการสกัด (Maged et al., 2012)	- ต้นทุนของเครื่องแปรรูปด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้ามีราคาแพง - การใช้สนามไฟฟ้าที่สูงมากจะเกิดประกายไฟฟ้าจากกระแสมีฟองอากาศเกิดขึ้นและเกิดสนิมที่ขั้วอิเล็กโทรดเป็นอันตรายด้านกายภาพ (Yashwan et al., 2015; Maged et al., 2012)
2. การใช้ความดันสูง	- สามารถรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้ได้ดี กลิ่นรส กลิ่นแร่ วิตามิน รวมทั้งสารทางโภชนาการต่าง ๆ ได้เทียบเท่ากับน้ำผลไม้สด อัตราการใช้พลังงานในการแปรรูปต่อหน่วยต่ำกว่าวิธีการแปรรูปแบบดั้งเดิม สามารถทำลายจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย ยีสต์ และไวรัส) และสปอร์ที่ทำให้เกิดโทษในอาหารได้ มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์และสปอร์เท่าวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Da-Wen, 2014)	- ต้นทุนการการลงทุนที่สูง ราคาเครื่องใช้ความดันสูง มีราคาสูงกว่าระบบการแปรรูปด้วยความร้อนแบบดั้งเดิมถึง 10 เท่า สามารถผลิตได้แบบกะ (Batch style) เท่านั้น และมีอายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติสั้นกว่าการแปรรูปด้วยความร้อนแบบดั้งเดิม เนื่องจาก การใช้ความดันสูง ไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิดได้ เช่น ฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Da-Wen, 2014)

สรุป

การแปรรูปด้วยความร้อนเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิบัติการในอุตสาหกรรมแปรรูปในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องจักรและสิ่งอำนวยความสะดวกในการแปรรูปรวมถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องเป็นองค์ความรู้เก่าและใช้วิธีปฏิบัติในการแปรรูปกันมานานกว่า 20 ปี มีข้อเสียเปรียบทางด้านวิศวกรรมและกระบวนการผลิตมากมายส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการถ่ายเทความร้อนรวมถึงการเกิดตะกรันซึ่งเป็นฉนวนความร้อนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพสูญเสียคุณภาพอาหาร ดังนั้นแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอาหารแปรรูป จำเป็นต้องอาศัยนวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการพัฒนากระบวนการผลิต เทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถจำแนกออกเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยนวัตกรรมสมัยใหม่ของการแปรรูปด้วยความร้อน (novel thermal process) ประกอบด้วยทำให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก อาทิ คลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ ซึ่งกระบวนการ

ดังกล่าวถูกใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง-เวลาสั้น (HTST) รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในการอบแห้ง ในขณะที่การแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน ด้วยเทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าและการใช้ความดันสูง นวัตกรรมสมัยใหม่ที่มีอุณหภูมิในระบบต่ำ (ไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส) ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- ทวิวรรณ กังสถาน. (2554). การยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารโดยการใช้เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21(1), 198-207.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. (2554ก). เทคโนโลยีการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 17(1), 41-51.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. (2554ข). การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการแปรรูปอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 7(1), 11-22.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. (2554ค). การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 1(2), 31-42.
- วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชันจำกัด.
- อรรถพล นุ่มหอม และฤทธิชัย อัครราชันย์. (2550). คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า: พลังงานความร้อนรูปแบบใหม่. **Food Focus Thailand Magazine**, 2(16), 28-33.
- อุมาพร อุประ, สุนทร สืบคำ และฤทธิชัย อัครราชันย์. (2554). วิธีการละลายแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 17(1), 52-58.
- Assawarachan, R. (2010). Estimation model for electrical conductivity of red grape juice. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 3(2), 52-57.
- Assawarachan, R. & Noomhorm A. (2008). **Application Electromagnetic Radiation Technologies**. In food processing: Paper presented at The 2nd R&DID* international conference 2008, university of the thai chamber of commerce, Bangkok, Thailand; Theme: Global competitiveness through, research and development, Innovation, Design
- Assawarachan, R. & Noomhorm, A. (2012). Influence of temperature and TSS on performance of evaporation and rheological properties of pineapple concentration by microwave vacuum. **Journal of Food Process Engineering**, 35(3), 455-470.
- Da-Wen, S. (2014). **High Pressure Processing: An overview**. 2nd ed. Irlon emerging technologies for food processing. Academic press is an imprint of Elsevier. London NW1 7BY, UK.
- Geveke, D.J. & Brunkhorst, C. (2008). Ratio frequency electric fields inactivation of Escherichia coli in apple cider. **Journal of Food Engineering**, 85(2), 215-221.
- Maged, E.A., Mohamed, A.H. & Amer, E. (2012). **Pulsed Electric Field for Food Processing Technology**. pp 276-306. <http://cdn.intechopen.com>. December 20, 2015.
- Marra, F., Zhang, L. & Lyng, R. (2009). Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. **Journal of Food Engineering**, 91, 497-508.
- Meredith, R. (1998). **Electrical Volumetric Heating: Ohmic Heating**. Engineers' Handbook of Industrial Microwave Heating. London: The Institution of Electrical Engineers
- Yashwan, K., Krishna, K.P. & Vivek, K. (2015). Pulsed electric field processing in food technology. **International Journal of Engineering Studies and Technical Approach**, 1(2), 6-17.