



เทคโนโลยีการลดความร้อน

ระวิน สืบคำ¹

บทคัดย่อ

การลดความร้อนหรือการอบแห้งเป็นการระเหยความชื้นซึ่งประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ออกจากผลผลิตเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และ/หรือปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ในระดับครัวเรือนซึ่งมีปริมาณการผลิตไม่มากนักนิยมการลดความร้อนด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ไม่มีค่าใช้จ่าย แต่ในระดับ

อุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณการผลิตมาก นิยมใช้แหล่งพลังงานที่สามารถควบคุมได้ง่าย เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น บทความนี้นำเสนอเทคโนโลยีการลดความร้อนแบบดั้งเดิมด้วยลมร้อนจนถึงเทคโนโลยีแบบล่าสุดด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คำสำคัญ: การอบแห้ง การลดความร้อน

¹ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก โทรศัพท์ 08-0498-8144
อีเมล: rawin2272@hotmail.com



Dehydration Technology

Rawin Surbkar¹

Abstract

Drying or dehydration is a process in which moisture, mainly water, is evaporated to slow down the growth of spoilage microorganisms and/or the occurrence of any chemical reaction. In the household level which has less production dehydration is used solar energy which costs nothing in term of energy. However, in the industrial level which has a large

number of productions, the easy-to-control energy source should be liquid petroleum gas, fuel, electric etc. This article is thoroughly reviewed developments in dehydration technology, originating from the conventional hot air to the latest electromagnetic wave technology.

Keywords: Drying, Dehydration

¹ Lecturer, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Tel. 08-0498-8144, E-mail: rawin2272@hotmail.com

1. บทนำ

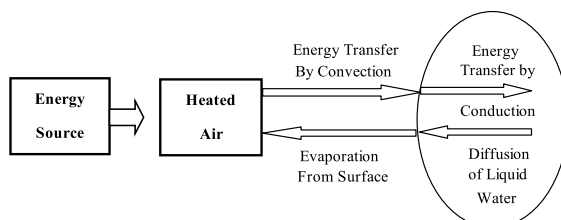
การลดความชื้น (Dehydration or Drying) เกิดขึ้นในศตวรรษที่ 18 เพื่อลดความชื้นผักและผลไม้ให้ทหารใช้เป็นเสบียงในสงครามต่างๆ เช่น สงคราม Crimea ในปี ค.ศ. 1854-1856 สงคราม Boer ในปี ค.ศ. 1899-1902 และสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ในปี ค.ศ. 1914-1918 [1] คำจำกัดความของการลดความชื้น คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อนำความชื้นออกโดยการระเหย ทำให้ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ โดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นการทำให้วัสดุแห้ง คำว่า “ความชื้น (Moisture)” ประกอบไปด้วยน้ำ (Water) น้ำมันหอมระเหย (Volatile Oils) ไขมัน (Greases) แอลกอฮอล์ (Alcohols) ตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvents) และกลิ่นรส (Flavors) ในจำนวนนี้ น้ำมีปริมาณมากที่สุด

คำว่า “Dried” และ “Dehydrated” ไม่ใช่คำที่มีความหมายเหมือนกัน โดย “Dried” เป็นการนำความชื้นให้ออกจากวัสดุจำนวนหนึ่ง จนกระทั่งความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุนั้นมีค่าสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศปกติ หรือจนกระทั่งความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุอยู่ในระดับที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา การทำงานของเอ็นไซม์ และแมลงต่างๆ โดยทั่วไปความชื้นดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 12 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ในสภาพเปียก (% Wet Basis, % w.b.) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ธัญพืช ลำไย ลิ้นจี่ เป็นต้น แต่คำว่า “Dehydrated” เป็นการระเหยความชื้นออกจากผลผลิตจนเหลือความชื้นในผลิตภัณฑ์น้อยมากหรือแทบไม่มีเลย (ต่ำกว่า 2.5% w.b.) [1] จึงต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะปิดสนิท เช่น กาแฟพร้อมดื่ม ชาออบแห้ง ครีมเทียม เป็นต้น

บทความเรื่องนี้นำเสนอเทคโนโลยีการลดความชื้นผลผลิตเกษตรและอาหาร เพื่อเป็นข้อมูลทั่วไปสำหรับนักวิจัย นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจที่จะศึกษาเทคโนโลยีชนิดใดชนิดหนึ่งในเชิงลึกต่อไป

2. เทคโนโลยีการลดความชื้น

เทคโนโลยีการลดความชื้นเริ่มต้นจากวิธีการง่ายๆ

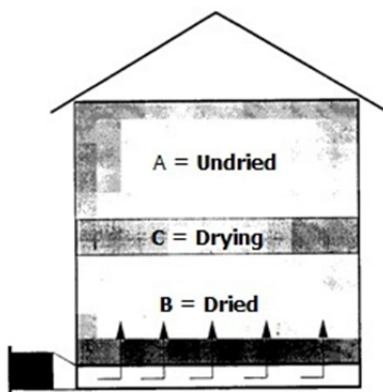


รูปที่ 1 กลไกในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในการลดความชื้นแบบลมร้อน [4]

ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการลดความชื้นในระดับอุตสาหกรรม มีปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง และเชื้อรา นอกจากนี้ยังมีปัญหาฝนตกซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการผลิต จึงมีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นมาใช้ โดยอาจมีการรวมวิธีการลดความชื้นตั้งแต่หนึ่งวิธีขึ้นไปเข้าด้วยกันก็ได้เพื่อเพิ่มอัตราการลดความชื้นให้เร็วขึ้น เช่น การลดความชื้นแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ [2] และอาจมีการลดความชื้นทั้งภายใต้สภาวะบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ [3] วิวัฒนาการของวิธีการลดความชื้นสามารถแบ่งออกได้ 4 ยุคด้วยกันคือ [1]

2.1 ยุคที่หนึ่ง (First Generation)

การลดความชื้นในยุคนี้เป็นการใช้ลมร้อนเป่าผ่านผลผลิตที่กำลังอบแห้งเพื่อเคลื่อนย้ายความชื้นออกไปจากผลผลิตที่ต้องการลดความชื้น เช่น การลดความชื้นแบบตู้หรือแบบอยู่กับที่ วิธีการลดความชื้นแบบนี้ส่วนมากเหมาะกับผลผลิตที่เป็นของแข็ง เช่น เมล็ดธัญพืช ผัก และผลไม้หั่นชิ้นหรือชิ้นรูปเป็นก้อน เป็นต้น กลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลในระบบการลดความชื้นแบบนี้แสดงในรูปที่ 1 โดยอากาศร้อนจะถูกใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผลผลิตที่กำลังอบแห้ง และรับการถ่ายเทมวลจากผลผลิตนั้นๆ โดยการถ่ายเทความร้อนและมวลนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ขั้นแรกความชื้นที่ผิวของวัสดุจะระเหยก่อน โดยอุณหภูมิของวัสดุจะยังไม่เพิ่มขึ้น จนเมื่อความชื้นที่ผิวของวัสดุระเหยหมดแล้วอุณหภูมิวัสดุจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทำให้น้ำในผลผลิต



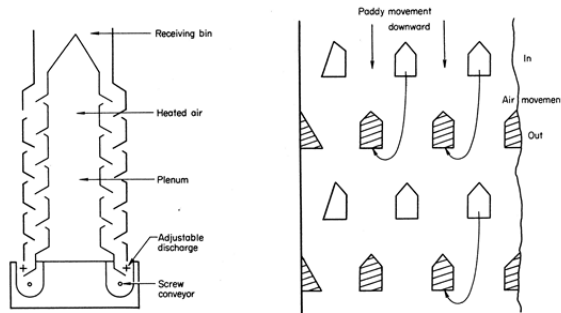
รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของโซนอบแห้งในภาชนะบรรจุแบบผลผลิตอยู่กับที่ [5]

ค่อยๆ เคลื่อนตัวมาที่ผิวแล้วจึงจะเคลื่อนตัวออกสู่ลมร้อนในขบวนการนี้จึงมีลมร้อนจำนวนหนึ่งที่สูญเสียไปในขณะรอให้น้ำเคลื่อนตัวออกมาที่ผิวของผลผลิต

การลดความชื้นแบบนี้แบ่งตามภาชนะบรรจุผลผลิตออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1 แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed Type)

การลดความชื้นแบบเบตนิ่งนี้จะทำให้เกิดการแบ่งผลผลิตออกเป็น 3 โซน คือโซน A อยู่ชั้นบนสุด (Undried) โซน B อยู่ชั้นล่างสุด (Dried) และโซน C (Drying) อยู่ระหว่างโซน A และโซน B (รูปที่ 2) อากาศอบแห้งจะไหลจากข้างล่างขึ้นบนผ่านโซน B, C และ A ตามลำดับที่โซน A ผลผลิตและอากาศจะอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนและความชื้น ผลผลิตจะมีปริมาณความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และอากาศอบแห้งจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่โซน B ผลผลิตและอากาศอบแห้งจะอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนและความชื้นเช่นกัน ผลผลิตจะมีปริมาณความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นสมดุลที่สภาวะของอากาศที่ทางเข้าเครื่องอบแห้ง และอากาศในโซนนี้จะมีความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสัมบูรณ์เท่ากับของอากาศที่ทางเข้าเครื่องอบแห้ง ที่โซน C ผลผลิตและอากาศไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุลแต่จะมีการถ่ายเทความร้อนและความชื้น เมื่อเวลาการลดความชื้นเพิ่มขึ้น ความหนาของโซน B จะมากขึ้น และความหนาของโซน

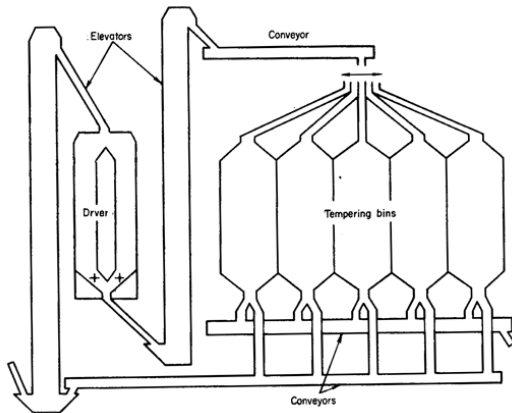


รูปที่ 3 อุปกรณ์ชะลอการเคลื่อนที่ลงของผลผลิตในเครื่องอบแบบไหลต่อเนื่อง [6]

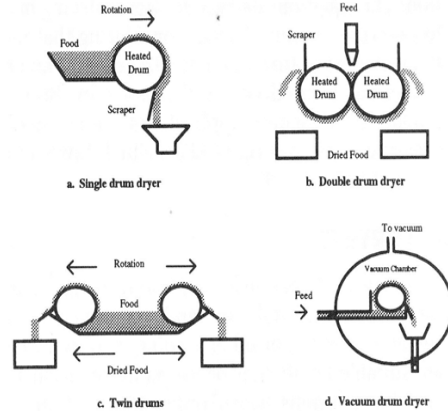
A จะลดลง เมื่อสิ้นสุดการลดความชื้นโซน A และโซน C จะหายไปและจะเหลือเพียงโซน B เท่านั้น

2.1.2 แบบเบตเคลื่อนไหว (Moving-bed Type)

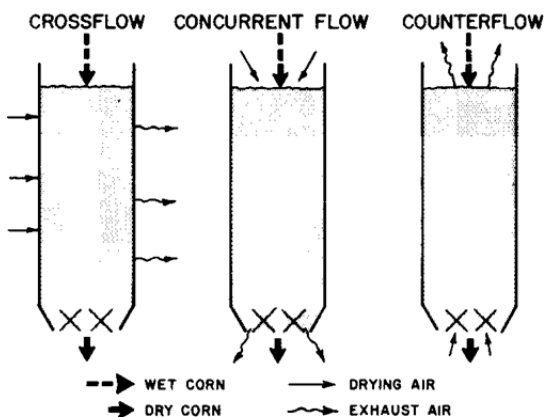
การลดความชื้นแบบนี้เป็นการปล่อยให้ผลผลิตไหลผ่านเครื่องอบอย่างต่อเนื่อง โดยภายในเครื่องอบจะมีอุปกรณ์ชะลอการเคลื่อนที่ลงของผลผลิตและคลุกเคล้าผลผลิตเข้าด้วยกัน (รูปที่ 3) เมื่อผลผลิตผ่านเครื่องลดความชื้นแล้วซึ่งยังมีความชื้นอยู่ในระดับที่ยังไม่ได้ตามมาตรฐานจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังพัก (Tempering Bin) เป็นช่วงระยะหนึ่งก่อน แล้วจึงนำกลับมาผ่านเครื่องอบใหม่ (รูปที่ 4) การลดความชื้นจะดำเนินต่อไปในลักษณะนี้จนกว่าผลผลิตจะมีความชื้นเฉลี่ยได้ตามที่ต้องการ ในกรณีนี้สามารถอธิบายปรากฏการณ์เพิ่มเติมได้จากกลไกการถ่ายเทความร้อนและความชื้นซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการลดความชื้นด้วยลมร้อน ซึ่งหากมีการให้ความร้อนกับผลผลิตตลอดเวลาในระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากภายในผลผลิตยังไม่เกิดขึ้น ก็จะเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อน โดยเฉพาะกับพืชเมล็ดที่มีเปลือกแข็งซึ่งการถ่ายเทความร้อนและความชื้นดำเนินไปอย่างช้าๆ ภาชนะบรรจุแบบเบตเคลื่อนไหวยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 แบบตามลักษณะการไหลของผลผลิตและลมร้อนคือแบบไหลขวาง (Crossflow Dryer) แบบไหลตาม (Concurrentflow Dryer) และแบบไหลสวนทาง (Counterflow Dryer) (รูปที่ 5) ภาชนะทั้งสามแบบนี้เหมาะกับงานลดความชื้นในระดับกลางและใหญ่ เนื่องจากการลดความชื้นใช้อุณหภูมิสูงและอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 4 ระบบการอบเมล็ดพืชแบบไหลต่อเนื่องแบบมีถังพัก [6]



รูปที่ 6 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (Drum Dryer) ชนิดต่างๆ [8]



รูปที่ 5 ชนิดของภาชนะอบแบบไหลเมื่อแบ่งตามลักษณะการไหลของเมล็ดพืชและลมร้อน [7]

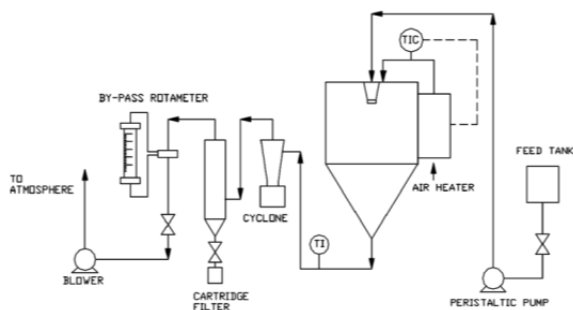
อบแห้งมีมากทำให้การลดความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว ใช้พื้นที่มากในการติดตั้งเครื่องอบแห้ง และต้องมีระบบความปลอดภัยอย่างดี

2.2 ยุคที่สอง (Second Generation)

การลดความชื้นแบบนี้เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวซึ่งอยู่ในรูปสารละลายหรืออาหารที่มีความหนืดสูงซึ่งอาจอยู่ในรูปเจล สลอรี่ (Slurries) หรือซูปซัน (Purees) ซึ่งสามารถจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ รอบลูกกลิ้งได้ โดยวิธีการพ่น ป้าย จุ่ม หรือในช่องว่างของ

ลูกกลิ้งในขณะหมุน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเป็นผง เกล็ดหรือแผ่นเล็กๆ จึงเกี่ยวข้องกับการลดความชื้นแบบลูกกลิ้งหมุน (Drum Drying) และแบบพ่นฝอย (Spray Drying) ซึ่งสามารถทำแห้งได้ทั้งสภาพบรรยากาศหรือสภาวะสุญญากาศ กระบวนการลดความชื้นแบบนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้เป็นจำนวนมากในคราวเดียว และขบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง ระบบการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาเพื่อทำให้ความชื้นระเหยออกจากอาหารได้เร็ว เวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นมาก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้งหรือเกล็ดซึ่งจะเป็นการลดน้ำหนักลง ง่ายต่อการขนส่งและเก็บรักษาได้นาน

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (Drum Dryer) ชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งมีทั้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว และสองลูกกลิ้ง ซึ่งนิยมทำเป็นทรงกระบอกกลวงทำด้วยโลหะที่นำความร้อนได้ดี และไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร หมุนด้วยความเร็วรอบ 1-10 รอบต่อนาที ภายในลูกกลิ้งจะมีแหล่งความร้อนไหลผ่านเข้าไปเพื่อถ่ายเทความร้อนจากลูกกลิ้งผ่านไปยังอาหารที่เกาะเป็นฟิล์มรอบๆ ลูกกลิ้ง อาทิเช่น น้ำเดือด ไอน้ำร้อน หรือฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งความร้อน และมีใบมีด (Scraper) ที่ยึดติดกับฐานสำหรับกวาดอาหารที่แห้งแล้วออกจากลูกกลิ้ง ในสภาวะบรรยากาศ ลูกกลิ้งมักมีอุณหภูมิที่ผิวสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จึงเหมาะสำหรับอาหารที่ทนความร้อนสูงเท่านั้น

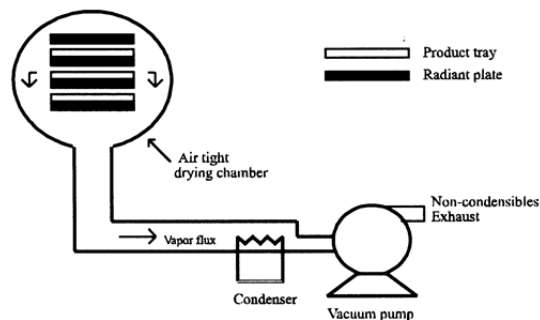


รูปที่ 7 การลดความชื้นแบบพ่นฝอย [9]

หากเป็นอาหารที่ทนความร้อนสูงไม่ได้ อาจต้องทำการอบแห้งในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งมักมีราคาแพง [8]

ขบวนการลดความชื้นแบบพ่นฝอยทำได้โดยการทำให้ของเหลวเริ่มต้นแตกเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ (Droplets) ภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศร้อนมาก

รูปที่ 7 แสดงส่วนประกอบของการลดความชื้นด้วยวิธีนี้ นฤดี และคณะ [10] ศึกษาสภาวะการผลิตกล้วยหอม ผงด้วยการลดความชื้นแบบลูกกลิ้งหมุนที่เหมาะสมคือ ที่ระดับการสุกของกล้วยหอม PCI 5 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 13.17 ความเข้มข้นกล้วยบด ร้อยละ 80 w/w (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 130 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร พรพนจิรา และคณะ [8] ศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้าในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 110 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการผลิตน้ำผักและผลไม้ผงรวมซึ่งผสม มอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ Gong et al. [11] ศึกษาพบว่าอุณหภูมิขาเข้าและขาออก และ ความเข้มข้นของน้ำเบอรี่ (Bayberry) เป็นปัจจัย สำคัญที่มีอิทธิพลต่อความชื้นเบอรี่ที่ผง ในขณะที่ มอลโตเด็คซ์ทริน ร้อยละ 12 และ 19 ไม่มีผล โดยสภาวะ ที่เหมาะสมในผลิตเบอรี่ที่ผงได้แก่ อุณหภูมิขาเข้า 150–155 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 70–75 องศา เซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำเบอรี่ 12 องศาบริกซ์ และมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 12



รูปที่ 8 ส่วนประกอบที่สำคัญในการลดความชื้นแบบแช่เยือกแข็ง [1]

2.3 ยุคที่สาม (Third Generation)

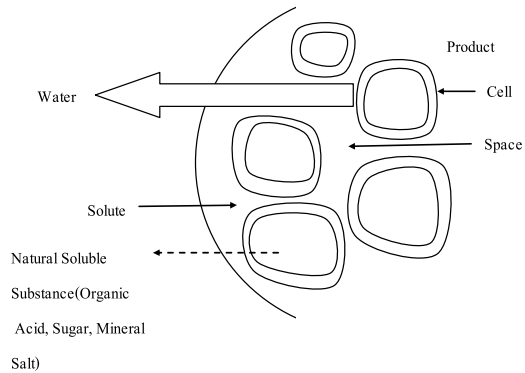
การลดความชื้นแบบนี้ได้แก่การลดความชื้นแบบ แช่เยือกแข็ง (Freeze Dehydration) และการลดความชื้น ด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration) วิธีแรกเป็นการ ลดความชื้นที่อุณหภูมิและความดันต่ำ โดยการแช่แข็งวัตถุ ที่ต้องการลดความชื้นเพื่อให้น้ำในวัสดุเปลี่ยนสถานะ จากของเหลวเป็นของแข็ง ก่อนนำไปลดความชื้นใน สภาวะสุญญากาศเพื่อให้ความชื้นซึ่งกลายเป็นของแข็ง ระเหิดกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้ ขั้นตอนที่เกิดขึ้น ในการลดความชื้นแบบนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การแช่แข็ง (Pre-freeze) เป็นการทำให้อาหารเย็นจนแข็ง เพื่อทำให้ความชื้นในผลผลิตเปลี่ยนจากของเหลวเป็น น้ำแข็ง ขั้นตอนที่สองคือการลดความชื้นขั้นต้นหรือ ขั้นตอนการระเหิด (Primary Drying or Sublimation) เป็นการให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอน้ำที่ความดันต่ำๆ และขั้นตอนสุดท้ายคือการลดความชื้นขั้นที่สองหรือ ขั้นตอนการระเหย (Secondary Drying or Desorption) เป็นการเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออกด้วยการให้ความร้อน เพิ่มเติม เพื่อระเหยความชื้นที่ไม่ยอมแยกตัวออกจาก สารและไม่แข็งตัวในขั้นตอนการ Pre-freeze ออก ซึ่ง ส่วนมากเป็นความชื้นที่เกาะอยู่กับโมเลกุลของสาร

รูปที่ 8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้น แบบแช่เยือกแข็ง สุเนตร และคณะ [12] พัฒนาระบบการ ทำมะขามผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งบางส่วน พบว่าอัตราส่วนทาลคัมซึ่งเป็นสารจับตัวที่เหมาะสม ต่อน้ำมะขามเปียก 1 ต่อ 2.75 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาอบแห้ง

13-22 ชั่วโมง คิดเป็นระยะเวลาลดความชื้นขั้นต้น 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ -40 ถึง -20 องศาเซลเซียส และระยะเวลาลดความชื้นขั้นที่สอง 3 ถึง 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ยังไม่รวมระยะเวลาการแช่แข็งอาหาร

การลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration) เป็นวิธีการกำจัดความชื้นออกจากผลผลิตเพียงบางส่วนซึ่งทำได้โดยการแช่วัสดุในสารละลายเข้มข้นประเภทน้ำตาล เกลือ ซอร์บิทอล (Sorbitol) กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกรดซิตริก เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์ของอาหารและสารละลายภายนอกเกิดเป็นแรงขับ (Driving Force) ให้มีการถ่ายเทมวลสาร (น้ำ) ที่อยู่ในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นต่ำ ออกไปสู่สารละลายภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่า โดยน้ำซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าจะลอดผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermable Membrane) จนกระทั่งน้ำอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสารละลาย ทั้งนี้ตัวถูกละลายจะไม่สามารถลอดผ่านเยื่อเลือกผ่าน หรือลอดผ่านไปได้บ้างแต่เป็นไปได้อย่างช้าๆ เนื่องจากขนาดของโมเลกุลใหญ่กว่านั่นเอง (รูปที่ 9)

การลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิสเป็นเทคนิคเบื้องต้นในการเพิ่มปริมาณของแข็งและการลดปริมาณน้ำบางส่วนในผลผลิตก่อนนำไปลดความชื้นด้วยวิธีการอื่นๆ ต่อไป เช่น การตากแดดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หรือเครื่องอบแบบต่างๆ ในขั้นตอนการออสโมซิสนี้จะสามารถลดความชื้นได้ประมาณร้อยละ 30-50 การดูดซับความชื้นที่ดีจะต้องสามารถลดปริมาณน้ำในวัสดุได้อย่างรวดเร็ว โดยที่สารละลาย (Osmotic Agent) จะซึมเข้าไปในเนื้อผักและผลไม้ได้น้อยมาก ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออสโมซิสเช่น ความแก่อ่อนของอาหาร ขนาดและรูปร่าง อัตราส่วนอาหารต่อสารละลาย การกวนระหว่างขบวนการออสโมซิส ชนิดและความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ใช้ในการออสโมซิส และอุณหภูมิและเวลาในขณะออสโมซิส [14],[15] โดย วนิดา และปราณี [16] ศึกษาพบว่า การแช่ชิ้นผักทองในซูโครส 15% ในอัตรา 1 ต่อ 3 เหมาะสมที่สุดในการออสโมซิส Tana et al. [17]

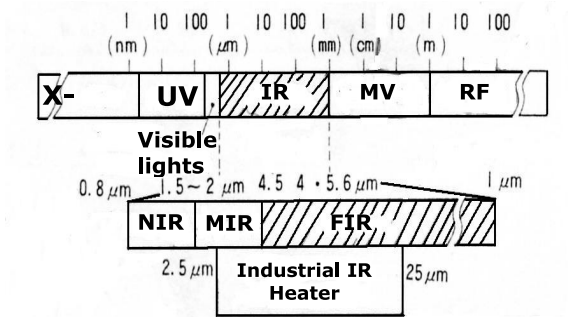


รูปที่ 9 กลไกการถ่ายเทความชื้นในการลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิส [13]

ศึกษาการแช่ผักฝรั่งในน้ำเกลือความเข้มข้น 10%, 20% และ 30% และสับปะรดในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30, 50 และ 70 องศาบริกซ์ นาน 7 ชั่วโมง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของผลิตภัณฑ์แห้งที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดเป็นช่วงๆ พบว่าค่าสีรวมของผลิตภัณฑ์แห้งที่มีการแช่สารละลายเพื่อนำออสโมซิส ออกบางส่วนก่อนอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแบบไม่แช่สารละลาย

2.4 ยุคที่สี่ (Fourth Generation)

การลดความชื้นในยุคนี้เกี่ยวข้องกับการลดความชื้นภายใต้สภาวะช่วงสุญญากาศระดับสูงถึงสูงมาก หรือการลดความชื้นร่วมกับการฟลูอิดไดซ์ (Fluidization-assisted Drying) และการลดความชื้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งเป็นคลื่นที่มีสเปกตรัมกว้าง (รูปที่ 10) ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ และเป็นแหล่งพลังงานทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนพลังงานสูง จึงเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่มีข้อได้เปรียบมากกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมอยู่หลายประการ เช่น สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนจากภายในตัวอาหารเอง ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง จึงใช้เวลาสั้นในการให้ความร้อน ความยาวคลื่นยิ่งมาก (ความถี่ต่ำ) ยิ่งสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ลึก และเกิดความร้อนสูงกว่าคลื่นสั้น (ความถี่สูง) แต่การจะเลือกใช้ช่วงความถี่คลื่นใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและ



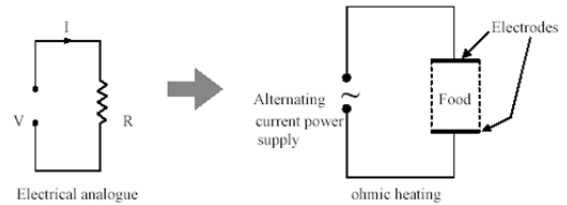
รูปที่ 10 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความร้อนจากการแผ่รังสี [18]

ทางฟิสิกส์ของผลผลิตที่ต้องการลดความชื้น ขนาดและรูปทรงเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และกลไกหรือรูปแบบของการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไปสู่ผลผลิตที่กำลังอบแห้ง

หลักการโดยรวมของการลดความชื้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเริ่มจากการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นโมเลกุลในตัวอย่างอาหาร เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ปัจจุบันวิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในกระบวนการที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส ได้แก่ การใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic Wave) ส่วนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในกระบวนการที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิเกิน 45 องศาเซลเซียส แบ่งได้เป็น 4 ระดับความถี่ ได้แก่ การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating) การให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Heating) การลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Drying) และการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Drying)

2.4.1 การให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก (Ohmic Heating)

วิธีนี้เป็นการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความถี่ต่ำ (50-60 Hz) มีข้อดีคือ สามารถเกิดความร้อนจากภายในตัวอย่างอาหารได้อย่างรวดเร็ว มีอัตราการเกิดความร้อนประมาณ 1 องศาเซลเซียสต่อวินาที ทำให้ไม่มีผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างแหล่งพลังงานและวัสดุที่กำลังอบแห้ง นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

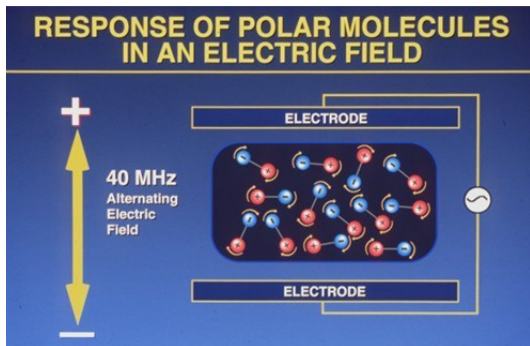


รูปที่ 11 หลักการการเกิดความร้อนแบบโอห์มมิกและวงจรสมมูล

หลักการของโอห์มมิกสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 11 โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านตัวอย่างอาหารที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ซึ่งพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอย่างอาหาร ดังนั้นยิ่งตัวอย่างอาหารมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีเท่าใด (มีปริมาณความชื้นสูง) ก็สามารถเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกได้ดีเท่านั้น การศึกษาการเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกจำเป็นต้องเข้าใจคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดค่าความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิก และเป็นคุณสมบัติเฉพาะของอาหารอีกด้วย

2.4.2 การให้ความร้อนด้วยสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency Heating)

คลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency, RF) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 10-11.2 เมตร ช่วงความถี่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี 3 ช่วงคือ 13.65, 27.12 และ 40.68 MHz สองแบบหลังใช้ในวงการอาหารสูงถึงร้อยละ 95 เพราะช่วยแก้ไขปัญหาอุณหภูมิสูงที่ผิวภายนอกของอาหารได้ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการเกิดความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง (High Frequency, HF) เป็นเทคโนโลยีการสร้างความร้อนที่เป็นผลพลอยได้จากสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยในช่วงนั้นใช้เพื่อการหลอมกระสุนและหล่ออาวุธสงครามเพราะเกิดความร้อนได้รวดเร็ว ให้ความร้อนสูงกว่า 200-1,000 องศาเซลเซียส คลื่นสัญญาณวิทยุสามารถแทรกซึมเข้าไปเหนี่ยวนำในตัวโลหะอย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถเข้าไปเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนในตัวโลหะ ในขณะที่คลื่นไมโครเวฟจะถูกสะท้อน



รูปที่ 12 หลักการการเกิดความร้อนแบบการเหนี่ยวนำด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุที่ความถี่ 40 MHz

กลับมาถ้าวัตถุนั้นเป็นโลหะ โดยหลักการในการเกิดความร้อนด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุ เมื่อวัตถุอยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดจะถูกเหนี่ยวนำด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุให้โมเลกุลมีขั้วในตัววัตถุเกิดการหมุนและเสียดสีกันอย่างรุนแรง ซึ่งผลของการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลนี้จะทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนต่อไป (รูปที่ 12)

2.4.3 การลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Drying)

คลื่นไมโครเวฟ (Microwave, MV) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ระหว่าง 300 MHz-300 GHz ซึ่งตรงกับความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร แต่เนื่องจากความถี่ของคลื่นรังสีไมโครเวฟจะมีค่าใกล้เคียงคลื่นสัญญาณวิทยุและคลื่นเรดาร์ ทำให้ไปรบกวนระบบการสื่อสาร ดังนั้นองค์การ Federal Communication Commission โดยรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้กำหนดช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการให้ความร้อนไว้ที่ 2 ระดับความถี่ ได้แก่ 915 ± 13 MHz และ $2,450 \pm 50$ MHz แต่สำหรับกลุ่มประเทศแถบยุโรปอาจจะมีการใช้ที่ระดับความถี่ 896 MHz คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือนมากที่สุด เนื่องจากสะดวกในการใช้งานและง่ายต่อการควบคุมการเกิดความร้อนในอาหารด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นเกิดจากการที่คลื่นไมโครเวฟไปเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารเกิดการหมุนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขั้ว

ไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ผลของการหมุนนี้ทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำภายในอาหาร ก่อให้เกิดความร้อนในอาหารได้อย่างรวดเร็ว (หรืออธิบายได้ตามหลักของฟิสิกส์ว่าเป็นผลของโมเมนต์ในการชนหรือเสียดสีกันในระหว่างโมเลกุลของน้ำจนเกิดเป็นความร้อน) ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นการเกิดความร้อนจากภายในตัวอาหารเองเช่นเดียวกับการให้ความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกและการให้ความร้อนด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุ ทำให้การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟไม่มีผลกระทบจากปัญหาของการถ่ายเทความร้อน และสามารถลดการสูญเสียพลังงานระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้เป็นอย่างดี

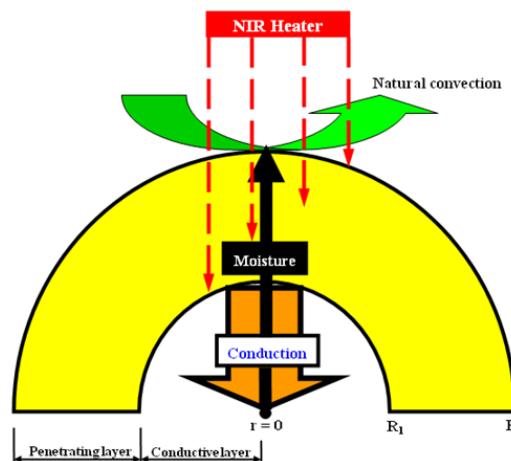
ผลผลิตทางการเกษตรและอาหารมักมีความชื้นหรือน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก อีกทั้งยังมีเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ หรือในองค์ประกอบอาหารอยู่มากมาย เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับอาหารได้เกือบทุกชนิด ซึ่งแตกต่างกับการเกิดความร้อนด้วยวิธีโอห์มมิกที่มีข้อจำกัดว่าจะสามารถเกิดความร้อนได้เฉพาะอาหารที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดีเท่านั้น การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงมีการพัฒนาและนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยมีอัตราการเติบโตของปริมาณการใช้เตาไมโครเวฟเพื่อประกอบอาหารในครัวเรือนมากกว่า 10 ล้านเครื่องต่อปี ถึงแม้ว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีข้อดีมากมาย และใช้ได้กับตัวอย่างอาหารหลายรูปแบบ เช่น อาหารเหลว อาหารแข็ง หรืออาหารผสม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคที่สำคัญ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 915 MHz และ 2,450 MHz ซึ่งมีความยาวคลื่นโดยประมาณ 32.8 และ 12.2 เซนติเมตร ทำให้ค่าความลึกของการแทรกผ่านของคลื่นไมโครเวฟ (Penetration Depth of Microwave) มีข้อจำกัด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับกันสำหรับกระบวนการฆ่าเชื้ออาหารที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากยังไม่สามารถมั่นใจได้ว่าอาหารจะได้รับความร้อนทั่วถึงกันทุกจุด แต่วิธีนี้ก็ยังมีข้อดีทั้งในด้านอัตราการเกิดความร้อนที่รวดเร็ว และยังสามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีในการแปรรูปอื่นๆ ได้ดี ทำให้เป็นที่นิยมในการศึกษาและพัฒนา

เพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรม เช่น การลดความชื้น (Drying) และการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (Thawing) นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ร่วมกับระบบสุญญากาศ (Microwave Vacuum Drying) เพื่อลดอุณหภูมิของความร้อนที่สัมผัสกับอาหาร จากการที่เกิดความร้อนในอัตราที่รวดเร็วและใช้เวลาในการแปรรูปเพียงสั้นๆ ทำให้วิธีนี้ช่วยพัฒนาทั้งในด้านการผลิตและคุณภาพของอาหารได้อย่างดี เช่น การรักษาสีและสารประกอบที่ให้กลิ่นและรสที่สำคัญในอาหาร นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของผลผลิตทางการเกษตร เช่น กล้วย แครอท โอริกาโน ใบโหระพา พริกแดง เห็ด และสตอเบอรี่ ด้วยการลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งผลการศึกษพบว่า การลดความชื้นภายใต้สภาวะสุญญากาศจะให้อัตราการลดความชื้นที่รวดเร็ว อีกทั้งคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรที่ศึกษาจะมีคุณรูปที่ดีเยี่ยม โดยรักษาความสดของสีและปริมาณสารประกอบที่ให้กลิ่นและรส (Volatile Compounds) ที่สำคัญได้ดีกว่าการลดความชื้นด้วยลมร้อน

นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ในการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดย Assawarachan and Noomhorm [19] ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสับปะรดเข้มข้นที่ผลิตโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟและไอน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศเดียวกันพบว่า น้ำสับปะรดเข้มข้นที่ผลิตโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานความร้อนจะมีอัตราการระเหยสูงกว่าการใช้ไอน้ำ โดยสามารถรักษาปริมาณสารแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ในน้ำสับปะรดได้ดีกว่า 3.6 เท่า

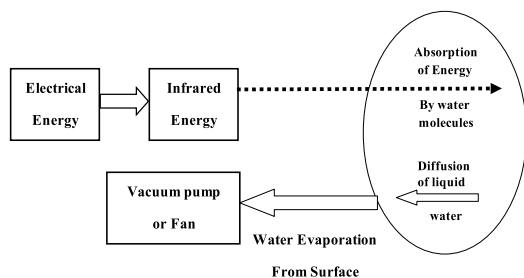
2.4.4 การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Drying)

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75 ไมโครเมตรถึง 1 มม. แบ่งย่อยเป็น 3 ช่วง คือรังสีอินฟราเรดช่วงใกล้ (Near Infrared, NIR) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 0.75–3 μm รังสีอินฟราเรดช่วงกลาง (Middle Infrared, MIR) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 3–25 μm และรังสีอินฟราเรดช่วงไกล (Far Infrared, FIR) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 25–100 μm จะเห็นได้ว่ารังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 13 กลไกในการถ่ายเทความร้อนและมวลในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน [27]

ที่มีความยาวคลื่นต่ำ และระดับความถี่สูงกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ส่งผลให้มีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำเพียงไม่เกิน 10 มม. [20] (รูปที่ 13) ดังนั้นรังสีอินฟราเรดจึงเหมาะกับการอบแห้งแบบชั้นบาง โดยมีหลักการทำงานคือรังสีอินฟราเรดจะทำให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุสั่นและเกิดความร้อนขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในตัวของวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว [20],[21] ดังแสดงกลไกในการถ่ายเทความร้อนและมวลในรูปที่ 14 ซึ่งอาศัยรังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งความร้อน ด้วยการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำมากกว่าการพา [22] และอาศัยลมเป็นตัวพาไอน้ำที่ระเหยแล้วออกสู่ระบบ จึงทำให้วัสดุที่กำลังอบอยู่แห้งทั้งภายในและภายนอกในเวลาเกือบเท่ากัน นั่นคือกระจายความร้อนภายในชิ้นวัสดุเป็นไปได้อย่างทั่วถึง ถ่ายเทความร้อนได้เร็วและมีประสิทธิภาพ ลดระยะเวลาการอบแห้งและประหยัดพลังงาน [23] และแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดมี Heat Flux สูง ทำให้เครื่องอบมีขนาดเล็กกะทัดรัดช่วยลดต้นทุนในการสร้างเครื่อง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับการอบแห้งแบบพาความร้อนแบบอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสม [24]-[26] ด้วยคุณสมบัติของการเกิดความร้อนที่ผิวของอาหารอย่างรวดเร็วนี้เอง จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผิวอาหาร เช่น ทำให้ผิว



รูปที่ 14 กลไกในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในการลดความชื้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

ของอาหารมีสีเข้มขึ้น หรือมีกลิ่นหอม จึงนิยมนำมาใช้ในการลดความชื้นอาหารที่ต้องการให้ความชื้นต่ำ มีความหนาไม่มากนัก และต้องการการเปลี่ยนแปลงของสี เช่น การลดความชื้นเมล็ดกาแฟ ผงโกโก้ ใบชา ซึ่งผลพลอยได้ก็คือช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

ความน่าสนใจในการให้ความร้อนที่ผิวด้วยรังสีอินฟราเรด จึงมีนักวิจัยหลายคนได้พยายามศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดกับพื้นผิวของผลผลิตต่างๆ เช่น ผลไม้เนื้อที่ระยะ 15–25 เซนติเมตร [28] เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ระยะ 3.6 เซนติเมตร [29] ใบหอมสดสับที่ระยะ 10 เซนติเมตร [3], [20] การอบแห้งเนื้อที่ระยะ 15 เซนติเมตร [24], [30] และเนื้อลำไยที่ระยะ 25 เซนติเมตร [31] นอกจากนี้ยังมี Farhat et al. [21] ยังศึกษาพบว่า การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยรังสีอินฟราเรด ควรใช้ความหนาแน่นของรังสี 500 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศร้อน 40 องศาเซลเซียส และความเร็วอากาศ 0.5 เมตรต่อวินาทีหรือน้อยกว่า Sharma et al. [32] พบว่าการอบแห้งหอมหั่นแฉ้งด้วยรังสีอินฟราเรดเกิดอยู่ในระยะการอบแห้งลดลง โดยที่แบบจำลองของเพจสามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งได้ดีที่สุด Tana et al. [17] ศึกษาการแช่ชั้นมันฝรั่งและสับปะรดก่อนอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

3. การลดความชื้นร่วมกับการฟลูอิดไดซ์ (Fluidization-assisted Drying)

ฟลูอิดไดเซชัน (Fluidization) เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น

สัมผัสกับของไหลแล้วอนุภาคของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล โดยที่ของไหลที่ใช้จะถูกปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็งแล้วจะไหลผ่านออกทางส่วนบนของหอคอลอนซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Column) เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งเริ่มเคลื่อนที่ และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ซึ่งของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล

ระบบการลดความชื้นด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เป็นการเป่าลมร้อนผ่านผลผลิตที่กำลังอบแห้งซึ่งอยู่ในสภาพแขวนลอยซึ่งมีลักษณะเหมือนของไหล ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลเพิ่มเติมพื้นที่ผิวของผลผลิต ความเร็วลมที่นิยมใช้อยู่ระหว่าง 100–200 เมตรต่อวินาที ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาด และรูปทรงของวัสดุ [33] ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิคนี้กับการลดความชื้นเมล็ดพืชเศรษฐกิจที่สำคัญภายใต้โครงการวิจัยของ Soponronnarit and Prachayawarakorn [34] ซึ่งศึกษาพบว่า การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันไม่ควรใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งเกิน 115 องศาเซลเซียส และความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกภายหลังการอบแห้งไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 24–25 มาตรฐานแห้ง

4. สรุป

เทคโนโลยีการลดความชื้นที่กล่าวในบทความฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 4 ยุคด้วยกัน โดยยุคที่ 1 เป็นวิธีการลดความชื้นแบบดั้งเดิมที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการระเหยน้ำออกจากผลผลิต ยุคที่ 2 เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย ด้วยเทคนิคการลดความชื้นแบบพ่นฝอย หรืออาหารที่มีความหนืดสูงซึ่งอาจอยู่ในรูปเจล สลอรี่ หรือซูปซัน ซึ่งสามารถจับเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ด้วยเทคนิคการลดความชื้นแบบลูกกลิ้งหมุน ยุคที่ 3 การลดความชื้นแบบแช่เยือกแข็งด้วยการระเหิดน้ำในผลผลิตในสถานะของแข็งให้กลายเป็นไอ และการลดความชื้นด้วยวิธีออสโมซิสซึ่งเป็นวิธีการกำจัดความชื้นออกจากผลผลิตเพียงบางส่วนโดยการแช่ในสารละลายเข้มข้น และยุคที่ 4 เป็นการลดความชื้นด้วย

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งประกอบไปด้วยวิทยุโอห์มมิก คลื่นไมโครเวฟ คลื่นสัญญาณวิทยุ และรังสีอินฟราเรด โดยอาจจะเป็นการลดความชื้นภายใต้สภาวะบรรยากาศ หรือสภาวะสุญญากาศ หรือใช้ร่วมกับเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

5. กิตติกรรมประกาศ

คุณูปการจากบทความฉบับนี้ ขอมอบให้คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้ผู้เขียน ขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ผู้เขียนใช้ผลงานอ้างอิงในการเขียนบทความฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] H. Vega-Mercado, H., M. Marcela Góngora-Nieto, and G. V. Barbosa-Cánovas, "Advances in dehydration of foods," *J. Food Eng.*, 49: pp. 271-289, 2001.

[2] S. J. Kowalskia, and K. Rajewskaa. "Convective drying enhanced with microwave and infrared radiation," *Drying Tech.*, 27: pp. 878-887, 2009.

[3] S. Mongpraneet, T. Abe, and T. Tsurusaki, "Far infrared-vacuum and -convection drying of welsh onion," *Trans. ASAE* 45(5): 1529-1555, 2002.

[4] J. I. Wadsworth, L. Velupillai, and L. R. Verma, "Microwave-vacuum drying of parboiled rice," *Trans. ASAE* 33(1): 199-210, 1990.

[5] O. J. Loewer, T. C. Bridges, and R. A. Bucklin. "On-farm drying and storage systems," *Joseph, Mich.*: ASAE, 1994.

[6] J. E. Wimberly, *Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries*, Los Baños, Laguna, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1983.

[7] D. B. Brooker, F. W. Bakker-Arkema, and C. W. Hall, *Drying cereal grains*, Westport, Connecticut: AVI, 1981.

[8] G. Barbosa-Cánovas and H. Vega-mercado, *Dehydration of foods*, New York, NY: Chapman

& Hall, 1996.

[9] M. W. Woo, W. R. W. Daud, S. M. Tasirin, and M. Z. M. Talib, "Effect of wall surface properties at different drying kinetics on the deposition problem in spray drying," *Drying Tech.* 26: pp. 15-26, 2008.

[10] N. Phongkitwithoon, N., S. Siriwanayotin, S. Sampanvejsobha, and T. Yoovidhya, "Processing effects on banana powder qualities using drum dryer," *KMUTT Research and Development Journal* 24(1): pp. 69-84, 2001 (in Thai).

[11] Z. Gong, M. Zhang, A. S. Mujumdar, and J. Sun. "Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder," *Drying Tech.* 26: pp. 116-121.

[12] S. Surbkar, S., S. Puangthaisong, S. Seenuayai, and C. Jindarak, "A full research report on development of a production process of an intact ascorbic acid tamarind powder for spa business," Submitted to Office of the Higher Education Commission (OHEC). Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University. 2008 (in Thai).

[13] O. Rattanaphan, "Principles of fruit drying by osmotic method," *Food Journal*, vol. 20(4), pp. 240-245, 1990, (in Thai).

[14] M. Mani, "Osmotic dehydration of fruit drying," *KKU Engineering Journal*, vol. 25(2), pp. 121-129, 1997 (in Thai).

[15] N. Nunak, "A Review of factors and pre-treatments affecting mass transfer rate of food during osmotic process," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 32(1), pp. 191-202, 2009 (in Thai).

[16] W. Sratongkham and P. Anprung, "Factors affecting osmotic dehydration of pumpkin," *Food Journal*, vol. 31(4), pp. 279-288, 2001 (in Thai).

[17] M. Tana and K. J. Chuab, "A. S. Mujumdar and

- S.K. Choub,” Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple, *Drying Tech*, vol. 19(9): pp. 2193–2207, 2001.
- [18] N. Vatanasuchart, “How UV radiation reacts to food technology,” *Food Journal*, vol. 33(1), pp. 15-22, 2003 (in Thai).
- [19] R. Assawarachan and A. Noomhorm, “Effect of operating condition on the kinetic of color change of concentrated pineapple juice by microwave vacuum evaporation,” *International J. Food, Agriculture and Environment*, vol. 6(3-4), pp. 47-53, 2008.
- [20] S. Mongpraneet, “Drying characteristics of a far infrared heater combined vacuum operation,” Unpub. Ph.D. dissertation. Ehime University, Matsuyama, Japan. pp. 106, 2003.
- [21] A.Farhat,S.Kooli,A.Fadhel,Ch.Kerkeni,M.Maalej, and A. Belghith, “Drying agricultural products by radiation and convection” *Proc. Mediterranean Conf. Environ. Solar*, pp.189 – 194, 2000.
- [22] M. Adonis, and M.T.E. Khan, “Combined convective and infrared drying model for food applications,” *IEEE AFRICON 2004*, pp.1049-1052, 2004.
- [23] K. Krishnamurthy, H.K. Khurana, S. Jun, J. Irudayaraj, and A. Demirci, “Infrared heating in food processing: an overview,” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 7(1), pp. 2-13, 2008.
- [24] U. Teeboonma, T. Suwanakoot, and S. Soponronnarit. “Beef drying using infrared radiation,” *KKU Engineering Journal*, vol. 33(2), pp. 169-180, 2006, (in Thai).
- [25] C.W. Hall, “Theory of infrared drying,” *Trans. ASAE*. 5, pp. 14-16, 1962.
- [26] N. Sakai and T. Hanzawa, “Applications and advances in far-infrared heating in Japan,” *Trends in Food Sci. & Tech*, vol. 5, pp. 357-362, 1994.
- [27] S. Dondee, M. Nachaisin, N. Meeso, S. Siriamornpun, and S. Soponronnarit, “Cracking and breakage models of soybean kernels under combined NIR and fluidized-bed drying,” *Agricultural Sci. J.* vol. 42 3(Suppl.):, pp. 529-532, 2011 (in Thai).
- [28] M. Dagerskog, “Infra-red radiation for food processing: II,” *Calculation of heat penetration during infra-red frying of meat products*. LWT 12, pp. 252-257, 1979.
- [29] H.U. Hebbar and N. K. Rastogi, “Mass transfer during infrared drying of cashew kernel,” *J. Food Eng*, vol. 47, pp. 1-5, 2001.
- [30] U.Teeboonma and T.Suwannakoo, “Comparative study of drying using hot air and hot air-infrared radiation,” *KKU Engineering Journal*, vol. 34(2), pp.189-201, 2007 (in Thai).
- [31] S. Surbkar, T. Abe, and T. Kiatsiriroat, “Full research report in drying of longan using infrared radiation,” Submitted to Thailand Research Fund (TRF). Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University. 2011 (in Thai).
- [32] G.P. Sharma, R.C. Verma, and P. Pathare, “Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices,” *J. Food Eng*, vol. 71, pp. 282-286, 2005.
- [33] S. Soponronnaritee Soponronnarit, *Drying of some grains and foods*, 7th ed, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 1997, pp. 388 (in Thai).
- [34] S. Soponronnarit and S. Prachayawarakorn, “Optimum strategy for fluidized bed paddy drying,” *Drying Tech*, vol. 12(7), pp.1667-1686, 1994.