บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พริกไทย

พริกไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Pipper nigrum* L. เป็นเครื่องเทศที่ใช้กันแพร่หลายมาเป็นเวลานาน มีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณเทือกเขาทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ ของประเทศอินเดีย ปัจจุบันเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศที่มีอากาศร้อน เช่น บราซิล อินเดีย อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไทย ฯลฯ (สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) พริกไทยเป็นพืชมีผลเป็นพวงเม็ดขนาดเล็ก และเป็นเครื่องเทศที่ให้รสเผ็ดร้อน สามารถนำมาทำพริกไทยแห้งเป็นเครื่องปรุงสำหรับอาหาร ซึ่งถ้าทำแห้งทั้งเปลือกจะได้พริกไทยดำเนื่องจากผงของเปลือกเป็นสีดำปนอยู่ ส่วนพริกไทยขาวได้จากการลอกเปลือกออกก่อนทำเป็นผง ลักษณะลำต้นเป็นเถาเลื้อย มีราก เล็ก ๆ ออกตามข้อของลำต้น เพื่อใช้ในการยึดเกาะ ใบรูปไข่เรียวสลับกันไป ดอกเป็นช่อยาว ออกตรงซอกใบ ดอกย่อยสมบูรณ์ เพศสีขาว ผลมีลักษณะกลมจัด เรียงตัวแน่นอยู่บนแกน ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีแดง พริกไทยแบ่งตามวิธีการเก็บ และเตรียมได้เป็น 2 ชนิด คือ พริกไทยดำ (Black Pepper) และพริกไทยขาว (White Pepper) พริกไทยดำตรียมได้จากการนำผลพริกไทยที่โตเต็มที่ แต่ยังไม่สุก มาตากแห้ง ส่วนพริกไทยขาวได้จากการนำผลพริกไทยที่สุกแล้วมาแช่ในน้ำ เพื่อลอกเปลือกชั้นนอกออกไป จากนั้นนำไปตากแห้ง เมื่อนำพริกไทยมากลั่นด้วยไอน้ำจะได้น้ำมันหอมระเหย เรียกว่า น้ำมันพริกไทย ในปริมาณร้อยละ 2 – 4 การนำพริกไทยมาใช้ประโยชน์ นอกจากจะใช้แต่งกลิ่นรสและถนอมอาหารแล้ว ยังนำมาใช้เป็นสมุนไพรด้วย โดยมีสรรพคุณตามตำรับยาไทยคือ ใช้เป็นยาขับลม แก้ท้องอืดเฟ้อ บำรุงธาตุเจริญอาหาร ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะและกระตุ้นประสาท ชาวจีนใช้พริกไทยระงับอาการปวดท้อง แก้ไข้มาลาเรีย แก้อหิวาตกโรค (สุพจน์ คิลานเภสัช, 2543)

การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย การอบแห้งช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลายาวนานขึ้น เทคโนโลยีการอบแห้งเป็นสิ่งที่ไม่ซับซ้อน แต่การวางแผนดำเนินการอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศและเงื่อนไขที่กำหนด เป็นสิ่ง

ที่จำเป็นที่จะต้องศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้ได้วิธีดำเนินการที่เหมาะสมที่สุด (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

การอบแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่มนุษย์คุ้นเคยมาแต่โบราณ เช่น ตากหญ้า ตากข้าว ตากเมล็ดพันธุ์พืช ตากเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ธัญชาติ การอบแห้งถ้าใช้พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ เรียกว่า การตากแห้ง ถ้าการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า ก๊าซ ไอน้ำในเครื่องอบแห้ง เรียกว่า การอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งมีประโยชน์หลายด้านดังนี้ (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550)

1 ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมี การผลิตเอนไซม์ การเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์

2. ทำให้มีผลิตภัณฑ์ไว้ใช้อุปโภคและบริโภคในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือในแหล่งห่างไกล

3. ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย

4. เป็นการลดน้ำหนักอาหาร ขนาดของอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ การเก็บรักษา การขนส่ง ลดพื้นที่ และค่าใช้จ่าย

5 เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ที่มีลักษณะ กลิ่นรสเฉพาะ เช่น ลูกเกด ซึ่งได้จากการอบแห้งองุ่น ลูกพรุน หมูแผ่น หมูหยอง กุนเชียง เป็นต้น

6. เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้อุปโภคและบริโภค เช่น ชา กาแฟผล สำเร็จรูป

ความสำคัญของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย วัสดุอบแห้งมีมากมายหลายชนิด แต่ที่จะกล่าวต่อไปจะเกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารเท่านั้น ประโยชน์ของการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารอาจสรุปได้ตามลำดับความสำคัญต่อไปนี้

1 เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

2 เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง

3. เพื่อช่วยให้กระบวนการการการผลิตดีขึ้น ในกรณีนี้อาจจะไม่จริงเสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

ในกรณีของเมล็ดพืชเกษตรกรสามารถที่จะเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดพืชยังมีความชื้นสูงอยู่ ทำให้ลดการสูญเสียของเมล็ดพืชอันเนื่องจากการร่วงหล่นก่อน ระหว่างและหลังเก็บเกี่ยวการเก็บเกี่ยวที่เร็วขึ้นอาจช่วยให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชครั้งที่สองอย่างได้ผล การอบแห้งที่ถูกหลักยังสามารถช่วยให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืช ทำให้สามารถนำไปเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมล็ดพืชที่อบแห้งแล้วมีคุณภาพสูงและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ทำให้เกษตรกรสามารถรอเวลาขายในขณะที่ผลิตผลมีราคาดี

ข้อดีและข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง

การทำให้อาหารแห้งนั้นนอกจากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้นานแล้ว ยังมีข้อดีและข้อเสียอื่น ๆ ดังนี้ ข้อดีของการทำให้อาหารแห้ง มีดังนี้

1. น้ำหนักเบา การทำให้แห้งสามารถลดน้ำหนักลงได้ประมาณร้อยละ 60 – 90 ของอาหารสด ยกเว้นธัญพืชประกอบด้วยน้ำ และน้ำส่วนนี้เองจะถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการอบแห้งหรือตากแห้ง

2. มีความกระชับ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งต้องการเนื้อที่น้อยกว่าของอาหารสด อาหารแช่เยือกแข็ง หรืออาหารกระป๋อง โดยเฉพาะสามารถจัดเก็บในภาชนะบรรจุได้

3 ความคงตัวที่สภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ตู้เย็นในการเก็บรักษา แต่มีข้อจำกัดของอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการเก็บรักษา เพื่อให้ได้ระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

ข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง แม้ว่าบางข้อจะสามารถแก้ไข โดยวิธีอบแห้งสมัยใหม่การปฏิบัติก่อนการอบแห้งก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อเสีย ดังนี้

1 ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง อาจทำให้เกิดกลิ่นรสไหม้ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม

2. เกิดการสูญเสียกลิ่น รสชาติ สารระเหย ที่ระเหยได้ และเกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ได้

3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องจากการหดตัว

4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดการหืนไขมัน

5 เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้าปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีการอบแห้ง (ชมพู่ ยิ้มโต, 2550)

การอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ แบ่งออกได้ 2 วิธี คือ

1. การอบแห้งแห้งโดยอาศัยแสงแดดโดยตรง ส่วนใหญ่ใช้ไอร้อนจากแสงแดดหรืออาศัยการผึ่งลม อาหารที่ทำให้แห้งโดยวิธีนี้ ได้แก่ ปลา เนื้อสัตว์ เมล็ดธัญพืช ตลอดจนผลไม้บางชนิด เช่น กล้วยตาก วิธีนี้นับเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายภายในประเทศที่ค่อนข้างยากจนและมีแสงแดดเพียงพอ เป็นวิธีที่ค่อนข้างถูกแต่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำเนื่องจากไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วในการอบแห้งได้

2. การอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ วิธีทำให้อาหารแห้งโดยอาศัยธรรมชาติด้วยการตากแดดนั้น มีปัญหามากในเรื่องของการปนเปื้อนจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งเป็นผลเสียต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ และประสิทธิภาพในการอบแห้งด้วยการตากแดดมักต่ำ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น โดยตู้อบดังกล่าวนี้จะอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีอยู่ในตู้อบ เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการทำให้แห้งได้เร็วขึ้น และในตำแหน่งเดียวกันตู้ดังกล่าวจะมีวัสดุกั้น เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนจากสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น แมลง ฝุ่น เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ มีคุณภาพและความสะดวกดีขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแดด

การอบแห้งด้วยเครื่องจักรกล วิธีการนี้มีการนำเอาเทคนิคและหลักวิชาการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอย่างมาก ซึ่งอาศัยการส่งความร้อนเข้าไปในชิ้นอาหารเพื่อทำให้น้ำหรือความชื้นกลายเป็นไอระเหยออกไปจากผิวหน้าอาหาร โดยความร้อนที่ส่งเข้าไปอาจจะเป็นการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีก็ได้ แต่โดยทั่วไปการทำให้แห้งด้วยเครื่องจักรกลมักนิยมใช้หลักการนำความร้อนและการพาความร้อนเป็นส่วนใหญ่

ข้อเปรียบเทียบการอบแห้งทั้งสองวิธี ดังนี้

1. การอบแห้งโดยเครื่องสามารถควบคุมสภาวะทั่วไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้นและการหมุนเวียนของบรรยากาศได้ในระดับที่เหมาะสม ส่วนการอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติขึ้นอยู่กับดินฟ้าอากาศ

2 การอบแห้งโดยใช้เครื่อง ใช้พื้นที่น้อยกว่าวิธีที่อาศัยแสงแดด ได้มีการคำนวณไว้ว่าผู้ที่ประกอบกสิกรรมในเนื้อที่ 20 ไร่ ต้องมีพื้นที่สำหรับตากแห้งเป็นเนื้อที่ 1 ไร่ จึงจะเพียงพอ

3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทำให้อาหารแห้งสะอาด และมีคุณภาพดีกว่าวิธีการอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ

4 คุณสมบัติในการคืนรูป เมื่อนำไปหุงต้ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งจะดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ

5 ระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง จะเร็วกว่าการอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ

6 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งโดยอาศัยธรรมชาติจะถูกกว่าอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง

การจำแนกวิธีการอบแห้ง

การอบแห้งวัสดุสามารถจำแนกตามวิธีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ได้ดังนี้ คือ

1 การใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปจากวัสดุ เป็นวิธีการอบแห้งด้วยการพาความร้อน (Convection) เครื่องอบแห้งส่วนมากจะใช้วิธีนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปนัก

2 การแผ่ระจายวัสดุออกเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน เป็นวิธีการอบแห้งด้วยการนำความร้อน (Conduction) ไอน้ำจะกระจายตัวสู่บรรยากาศแวดล้อมได้ดี วัสดุจะแห้งภายในเวลาอันสั้น แต่การสัมผัสความร้อนโดยตรง อาจทำให้เกิดความเสียหายได้

3 การให้ความร้อนบริเวณผนังรอบ ๆ ห้องอบแห้ง โดยวัสดุไม่สัมผัสกับแหล่งความร้อน เป็นวิธีการอบแห้งด้วย การแผ่รังสี (Radiation) บางครั้งอาจเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบดูดไอน้ำออก หรือใช้สุญญากาศลดความดันช่วยประหยัดพลังงานความร้อนได้

4 การปรับสภาวะความดันและอุณหภูมิ เพื่อทำให้น้ำในวัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (Triple Point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลง จนกระทั่งเกิดการระเหิด น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง เรียกว่าการอบแห้งแบบเยือกแข็ง หรือการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze Drying, Sublimation Drying หรือ Lyophilization) วิธีการนี้จะช่วยรักษาคุณภาพ และการคืนตัวของวัสดุได้ดีมาก แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงตามไปด้วย

5 การใช้ความดันออสโมติกกำจัดน้ำภายในวัสดุ (Osmotic Dehydration) ด้วยการแช่วัสดุลงในสารละลายที่ มีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจะแพร่ผ่านผนัง Membrane ออกมาภายนอก และสารละลายจะแพร่สวนทางเข้าไปภายในวัสดุ จนกระทั่งความเข้มข้นทั้งสองเท่ากัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น

ความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้งประเภทนี้ ส่วนมากจะได้จากกระแสไฟฟ้า หรือก๊าซ ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้อบอาหารให้แห้งในระบบอุตสาหกรรม มีหลายแบบหลายขนาด โดยใช้หลักการที่แตกต่างกัน เช่น

1 เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบตู้หรือถาด มีลักษณะเป็นตู้ที่บุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน มีถาดสำหรับวางอาหารที่จะอบ ความร้อนกระจายภายในตู้ โดยแผงที่ช่วยการไหลเวียนของอากาศร้อน หรือโดยพัดลม เครื่องมือชนิดนี้จะใช้อบอาหารที่มีปริมาณน้อย หรือสำหรับงานทดลอง

2. เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบต่อเนื่อง มีลักษณะคล้ายอุโมงค์ นำอาหารที่ต้องการอบแห้งวางบนสายพานที่เคลื่อนผ่านอากาศร้อนในอุโมงค์ เมื่ออาหารเคลื่อนออกจากอุโมงค์ก็จะแห้งพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับอุณหภูมิของอากาศร้อน และความเร็วของสายพานที่เคลื่อนผ่านอากาศร้อนในอุโมงค์ ตัวอย่างอาหารเช่น ผักหรือผลไม้อบแห้ง

3. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย การทำงานของเครื่องอบแบบนี้ คือ ของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งต้องฉีดพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีอากาศร้อนผ่านเข้ามา เมื่อละอองของอาหาร และอากาศร้อนสัมผัสกัน จะทำให้น้ำระเหยออกไป แล้วอนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลม เข้าสู่เครื่องแยกเป็นผงละเอียด แล้วนำอาหารผงนั้น บรรจุในภาชนะต่อไป เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง น้ำผลไม้ผง ซุปผง เป็นต้น

4 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กไร้สนิม อาจเป็นแบบลูกกลิ้งคู่ หรือลูกกลิ้งเดี่ยวก็ได้ ภายในมีลักษณะกลวง และทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ หรือไฟฟ้า อาหารที่จะอบแห้ง ต้องมีลักษณะเละ ๆ ป้อนเข้าเครื่องตรงผิวนอกของลูกกลิ้งเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ แผ่นฟิล์มของอาหารที่แห้งติดบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง แซะออก โดยใบมีดที่ติดให้ขนานกับผิวหน้าของลูกกลิ้ง จะได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เป็นแผ่นบาง ๆ และกรอบเป็นเกล็ด หรือเป็นผง

5 เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง ประกอบด้วย เครื่องที่ทำให้อาหารเย็นจัด แผ่นให้ความร้อน และตู้สุญญากาศ หลักการในการอบแห้งแบบนี้ คือ การไล่น้ำจากอาหารออกไป ในสภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็ง แล้วกลายเป็นไอ หรือที่เรียกว่า เกิดการระเหยขึ้นภายในตู้สุญญากาศ ผลิตภัณฑ์เยือกแข็งจะวางอยู่ในถาด และถาดวางอยู่บนแผ่นให้ความร้อน ถ้าใช้ไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้งร่วมกับการอบแห้งแบบเยือกแข็ง จะช่วยลดเวลาของการอบแห้งลงไปในถึงหนึ่งในสิบ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด คือ กาแฟผงสำเร็จรูป

6 ตู้อบแห้งด้วยไมโครเวฟ ขณะนี้ได้มีการใช้ไมโครเวฟคลื่นความถี่ 13×10^6 H_z เพื่อลดความชื้นของผัก เช่น กะหล่ำปลี จากร้อยละ 90 – 95 เหลือความชื้นเพียงร้อยละ 5 – 7 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน จะช่วยลดเวลาเหลือเพียงหนึ่งในห้า ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และผลิตภัณฑ์ที่จะมีคุณภาพดี และมีสีสวย

กลไกของการอบแห้งวัสดุ

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นวัสดุ จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เพื่อทำให้วัสดุมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อม ๆ กัน โดยทั่วไปแล้ว การอบแห้งมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลาง (Drying Medium) ในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศร้อน ด้วยเหตุนี้ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้นกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างวัสดุและของไหล โดยอาศัยแรงขับจากความต่างศักย์ของอุณหภูมิและความชื้น กล่าวคือ ความร้อนสัมผัสจากของไหลจะถูกถ่ายเทสู่วัสดุ ทำให้ความชื้นระเหยออกไปกับอากาศ ในขณะเดียวกันไอน้ำก็จะเคลื่อนที่จากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศด้วยความเข้มข้นของความชื้นด้วย

การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากวัสดุนั้นมี 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การเคลื่อนที่ด้วยแรง Capillary จะเกิดกับวัสดุที่ มีเซลล์โปร่ง ความพรุนสูง และมีความต่อเนื่องระหว่างเซลล์โดยมักจะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการอบแห้ง

2 การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์จะเกิดกับวัสดุที่มีเนื้อแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือเกิดกับวัสดุที่ผ่านการอบแห้งไประยะหนึ่ง เซลล์เกิดการหดตัวทำให้แรง Capillary หมดไป น้ำจึงต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่

การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุจะมีผลต่ออัตราการอบแห้ง (Drying Rate) คือ ถ้าวัสดุมีเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่ด้วยการไหลแบบ Capillary น้ำจะเคลื่อนที่มาที่ผิวได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ผิววัสดุเปียกชุ่มไปด้วยน้ำ การระเหยเป็นไปอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) ต่อมาเมื่อการไหลแบบ Capillary หมดไป น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ ซึ่งช้าลงมากจนมาสู่ผิวหน้าไม่ทัน ผิวของวัสดุจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้อัตราเร็วลดลง จึงเรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) สำหรับวัสดุที่มีเนื้อแน่น น้ำเคลื่อนที่ได้ช้าจะมีเฉพาะ

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น และเมื่อความชื้นของอากาศภายในตู้อบสมดุลกับความชื้นของวัสดุ การอบแห้งจะสิ้นสุดลง และเรียกความชื้นของวัสดุขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้ง

ชมพู่ ยิ้มโต (2550) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายน้ำมีผลต่ออัตราเร็วในการอบแห้ง ดังนี้

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารมีเนื้อโปร่ง น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวด คลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่างอาหาร ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิว ต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ความหนาของอาหาร อาหารยิ่งหนามากเท่าไหร่ การอบแห้งก็ใช้เวลานาน นอกจากนั้นต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา อัตราการอบแห้งภายในเครื่องอบเกิดไม่สม่ำเสมอขึ้นกับชนิด ประสิทธิภาพ ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม น้ำในอาหารที่สัมผัสลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจาย ผ่านชั้นอาหารด้านบนออกมา ได้จึงแห้งช้า

5 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity RH) ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนกับอาหารมีผลต่อแรงขับดันความชื้นออกจากอาหาร ในการอบแห้งยิ่งมีความชื้นต่ำ (น้ำน้อย อากาศร้อนมีอุณหภูมิสูง) อัตราการอบแห้งยิ่งสูง แต่ถ้าอากาศร้อนมีความชื้นเข้าใกล้จุดอิ่มตัว (น้ำเยอะ) จะรับไอน้ำได้น้อย อัตราการอบแห้งจะต่ำ ความชื้นของอากาศจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศ ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่ออัตราการอบแห้งและอุณหภูมิที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม

อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงจนทำให้อาหารไหม้ หรือเกิดความเสียหายจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพ

การกำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนและระยะเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งผักและผลไม้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 45 – 70°C ถ้าสูงกว่า 70°C น้ำจะระเหยเร็วเกินไป อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงซ้อนทางเคมี กายภาพที่ผิวหน้า ผิวหน้าเกิดเปลือกแห้งแข็งกระด้าง น้ำซึมผ่านไม่ได้ เรียกว่า Case Hardening อัตราการอบแห้งลดต่ำลง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้จะเกิดการเน่าเสีย เกิดสีคล้ำ

7. ความเร็วของอากาศร้อน ในการอบแห้งอากาศร้อนมีหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร พาความชื้นออกไป ถ้าใช้ความเร็วลมสูงก็จะพาไอน้ำออกจากผิวหน้าของอาหารสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น และยังช่วยป้องกันการเกิดสภาวะอิ่มตัวในบรรยากาศเหนือผิวของอาหาร

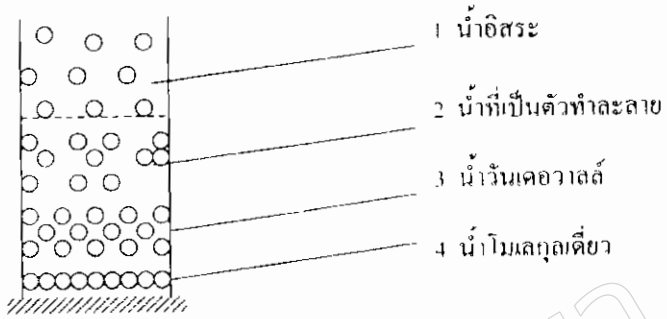
8. ปริมาณน้ำในอาหาร ปริมาณน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการอบแห้ง อาหารที่น้ำมากจะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าอาหารที่มีน้ำน้อย

ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัสดุ

น้ำที่เกาะตัวบนของแข็งในวัตถุชื้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- น้ำอิสระ (Free Water)
- น้ำที่เป็นตัวทำละลาย (Solvent Water)
- น้ำที่เกาะตัวโดยแรงแวนเดอร์วาลล์ (water attached with van de waal force)
- น้ำโมเลกุลเดี่ยว (Mono – Molecular Water)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2 – 1 แสดงแผนภูมิของน้ำประเภทต่าง ๆ ในวัตถุชื้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

การเกาะของน้ำอิสระจะอยู่ชั้นนอกสุดของผิวของแข็ง ส่วนน้ำแบบอื่นจะอยู่ถัดลงมาจนถึงน้ำแบบโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งคลุมบริเวณผิวสัมผัสของของแข็ง ในการแยกน้ำแบบอิสระจะใช้พลังงานน้อยสุด ส่วนน้ำแบบโมเลกุลเดี่ยวต้องใช้พลังงานในการแยกน้ำออกจากวัตถุชื้นมากสุด

ความชื้นของวัสดุ

ความชื้นของวัสดุ (Moisture Content) เป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง สำหรับค่าความชื้นในวัสดุโดยทั่วไป ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ จะถูกนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดหรือต่อมวลแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ ดังสมการที่ 2 – 1 และ 2 – 2

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \qquad (2-1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \qquad (2-2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %(w b)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %(d b)

w คือ น้ำหนักของวัสดุ, g

d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (ไม่มีความชื้น), g

ความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เนื่องจากช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น เพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่ว่าเกือบคงที่นี้ เพราะผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเล็กน้อย (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

การอบแห้งวัสดุทางการเกษตร

การอบแห้งวัสดุทางการเกษตรโดยทั่วไปนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งมากที่สุดคือเทคนิคที่นำมาใช้ในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรนิยมใช้อากาศร้อนมาเป็นตัวกลางสำหรับใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างง่าย แต่พบว่าจะต้องใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างยาวนาน จนได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีเพื่อใช้ลดระยะเวลาในการอบแห้ง อีกทั้งสามารถผลิตภัณฑ์ได้ดีเป็นที่ต้องการของท้องตลาด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเป็นตัวกลางสำหรับใช้ในการอบแห้ง

การอบแห้งด้วยอากาศร้อน (ศิริวัฒ สินประเสริฐ, 2548)

ในการอบแห้งวัสดุทั่ว ๆ ไปนั้น มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศโดยการแพร่อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำ การอบแห้งวัสดุการเกษตรด้วยอากาศร้อน สามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็นสองช่วง คือ 1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และ 2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. **ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่** (Constant Rate Drying Period)

ช่วงที่วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ คือ ที่บริเวณผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างวัสดุและอากาศจึงเหมือนกับการถ่ายเทมวลและความร้อนที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ โดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิววัสดุกับอากาศเป็นแบบการพาความร้อนและการถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายเทความร้อน โดยการถ่ายเทมวลเกิดจากการแพร่อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำร้อนที่ผิววัสดุและที่อากาศรอบนอก

2. **ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง** (Falling Rate Drying Period)

สำหรับช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต ปริมาณน้ำบริเวณผิววัสดุจะลดลงมาก ส่งผลให้การถ่ายเทมวลและความร้อนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดการถ่ายเทในเนื้อวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำลดลงและอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น สำหรับสมการการถ่ายเทมวลภายในเนื้อวัสดุ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (ศรันย์ ฉายากุล, 2550)

ในการอบแห้งทั่วไปมักจะใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ในปัจจุบันได้มีการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้ในการอบแห้งมากขึ้น การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน ความร้อนจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ และไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial Pressure) ที่แตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุและอากาศร้อน สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบอย่างเดียว ความดันไอย่อย (Partial Pressure of Vapor) จึงมีค่าเท่ากับความดันไอรวม (Total Pressure) และความดันไอในไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าสูงกว่าความดันไอในวัสดุ จึงไม่มีการแพร่ของความชื้น ดังนั้นในการระเหยน้ำจึงต้องทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดเดือดของน้ำในวัสดุ น้ำจึงระเหยได้ โดยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถแบ่งช่วงการอบแห้งได้เป็น 3 ช่วง คือ

1. **ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ** (Heat Up Period)

สำหรับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน ในช่วงแรกของการอบแห้ง ความร้อนที่ให้กับวัสดุจะอยู่ในรูปของ Sensible Heat โดยทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก แต่สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิของวัสดุจะสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำในวัสดุ ซึ่งจะเป็นช่วงที่ใช้ปริมาณความร้อนสูง และถ้า Degree of Superheat ไม่สูงพอจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำที่ผิววัสดุ ซึ่งจะทำให้ความชื้นในวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณไอน้ำกลั่นตัวจะขึ้นอยู่กับ Thermal Diffusivity ของวัสดุ ($\alpha = k/\rho c_p$) ความชื้นในวัสดุ และ Degree of Superheat ไอน้ำควบแน่นนี้จะไม่ทำให้ความชื้นในวัสดุเพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้น

2. **ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่** (Constant Rate Drying Period)

ในช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเกิดขึ้นเฉพาะที่รอบ ๆ ผิวของวัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังผิวของวัสดุโดยการนำความร้อนผ่านชั้นฟิล์มของก๊าซ และวัสดุจะแพร่ความชื้นจากผิวผ่านชั้นฟิล์มของก๊าซไปยังอากาศร้อน โดยมีผลต่างของอุณหภูมิและผลต่างของความดันไอที่ผิวของวัสดุและอากาศร้อนเป็นตัวผลักดัน วัสดุจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

ส่วนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นเฉพาะที่รอบ ๆ ผิวของวัสดุ การนำความร้อนจะผ่านจากไอน้ำไปยังที่ผิวด้านนอกของวัสดุ โดยมีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับผิววัสดุเป็นตัวผลักดัน และเนื่องจากโดยรอบวัสดุเต็มไปด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นที่ผิวด้านนอกจึงไม่ได้เกิดจากการแพร่เหมือนกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่เกิดจากการระเหยน้ำที่ผิวด้านนอกของวัสดุไปในทันที โดยมีกลไกการพามวลของน้ำมาจากภายในวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะคงที่ที่จุดเดือดของน้ำที่ความดันในระบบ จนกระทั่งความชื้นของวัสดุลดลงถึงความชื้นวิกฤต ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการพาจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปยังวัสดุมีค่าเท่ากับความแตกต่างของเอนทัลปีของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

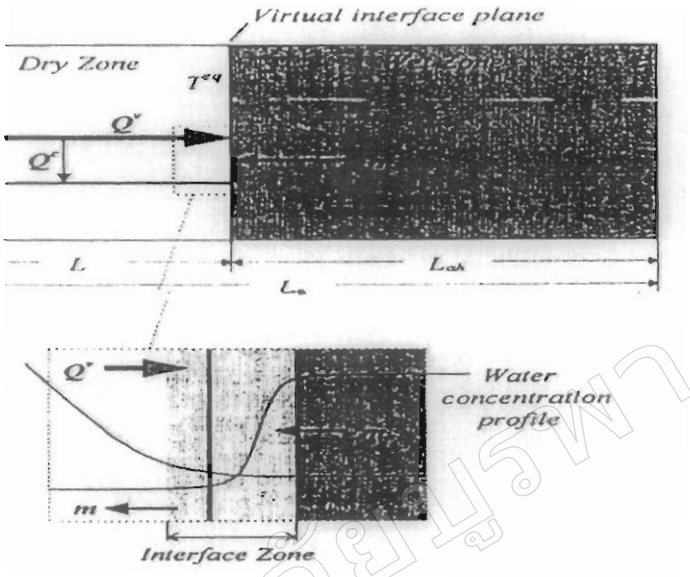
3. **ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง**

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงสำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ความชื้นวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ

เท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อของวัสดุ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิว ช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง ในขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลมายังวัสดุยังคงเท่าเดิม ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น และความดันไอในวัสดุจะสูงกว่าความดันไออิ่มตัว อัตราการอบแห้งลดลงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุมากกว่าคุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้อบแห้ง แต่การเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้อบแห้งจะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

ส่วนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่รอบ ๆ ผิวของวัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งลดลงจะเกิดเมื่อปริมาณน้ำในวัสดุมีน้อยลง ทำให้ชั้นวัสดุซึ่งถัดจากผิวด้านนอกแห้ง เรียกว่า ชั้นแห้ง (Dry Layer) การนำความร้อนจะผ่านจากไอน้ำไปยังผิวด้านนอกของวัสดุชั้นแห้ง และภายในวัสดุซึ่งเปียกหรือโซนเปียก (Wet Zone) ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 – 2 โดยมีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับแต่ละโซนดังกล่าวในวัสดุเป็นตัวผลักดัน ในกรณีของการถ่ายเทความชื้นจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณชั้นแห้ง โดยการระเหยน้ำในชั้นแห้งไปในทันที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่งและความดันไอในวัสดุเป็นตัวผลักดัน ชั้นแห้งจะแผ่ขยายเข้าไปยังโซนเปียก ภายในโซนเปียกจะไม่มีการระเหยเกิดขึ้น นอกจากนี้ชั้นแห้งยังเพิ่มความต้านการนำความร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2 – 2 ลักษณะทางกายภาพของชั้นแห้งและโซนเปียกในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Elustondo et al., 2001)

ในระหว่างการอบแห้ง ไอน้ำจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดควบแน่นของน้ำตลอดเวลา เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำบนผิววัสดุ อย่างไรก็ตามในช่วงแรกอาจมีการควบแน่นของไอน้ำที่ผิววัสดุเมื่อเริ่มใส่วัสดุเข้าไปในห้องอบแห้ง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยให้ความร้อนแก่วัสดุก่อนทำการอบแห้ง

การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะให้อัตราการอบแห้งจะสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เมื่อการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอุณหภูมิอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion Temperature) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้งจะดี อย่างไรก็ตาม การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่เหมาะที่จะใช้กับวัสดุที่ไวต่อการรับความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิที่สูง จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียหาย

สมการการอบแห้งทางทฤษฎี (Theoretical Drying Kinetic Equation)

(ศิริวัฒ สินประเสริฐ, 2548)

ได้มีผู้ศึกษานำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโรงสร้างภายในเป็นรูพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง Luikov ได้เสนอกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุ ซึ่งอาจจะเกิดแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. การเคลื่อนที่ในรูปของเหลวเนื่องจาก Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force)

2 การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Liquid Diffusion)

3 การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็ก ๆ (Surface Diffusion)

4 การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion)

5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Diffusion)

6 การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (Hydrodynamic Flow)

การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การเคลื่อนที่ของน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) ที่เป็นไปในลักษณะของการแพร่ของน้ำภายในวัสดุ การถ่ายเทมวลภายในอธิบายได้ด้วยสมการการแพร่ความชื้นที่อยู่บนพื้นฐานตามกฎข้อที่สองของ Fick

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \qquad (2-3)$$

เมื่อ M คือ ความชื้น, %(d.b)

D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/min

t คือ เวลาในการอบแห้ง, minute

ถ้าพิจารณาการถ่ายเทมวลในทิศทาง x, y, z ซึ่งตั้งฉากกันและกันและตั้งสมมุติฐานว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ไม่ขึ้นกับปริมาณความชื้นในวัสดุ (ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่คงที่) จะได้ว่า

$$\frac{\partial MR}{\partial t} = D_{eff}\left(\frac{\partial^2 MR}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 MR}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 MR}{\partial z^2}\right) \qquad (2-4)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยกำหนดให้

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_i - M_{eq})} \qquad (2-5)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M คือ ความชื้นเริ่มต้น, %(d.b.)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, %(d.b.)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ, %(d.b.)

สำหรับวัสดุที่มีรูปทรงเป็นทรงกลม (sphere) ที่มีระยะรัศมีเท่ากับ r_0 ตัวอย่างวัสดุที่มีรูปร่างทรงกลม เช่น ลำไย ลิ้นจี่ องุ่น เมล็ดถั่วเหลือง เป็นต้น

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2}\right) \exp\left(-\frac{n^2 D_{eff} \pi^2 t}{r_0^2}\right) \qquad (2-6)$$

เมื่อ n คือ จำนวนเต็ม (1,2,3)

จากการทดลองสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลได้ โดยนำค่าความชื้นและเวลาที่ได้จากการทดลองมาฟิตกับสมการที่ 2 – 6

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (คำพัน บัวละพัน, 2550)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเป็นสมบัติทางกายภาพของเฉพาะวัสดุ เป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกความสามารถในการอบแห้งวัสดุ ซึ่งแสดงในรูปของอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลได้จากการทดลองหาอัตราการอบแห้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสมการถดถอย โดยใช้สมการถดถอย โดยใช้สมการที่ 2 – 6 ซึ่งเป็นสมการการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุแผ่นกลม

จากการทดลองสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลได้ โดยนำค่าความชื้นและเวลาที่ได้จากการทดลองมาฟิตกับสมการที่ 2 – 6 โดยกำหนดสมการถดถอยจะได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่า D และจากสมการที่ 2 – 5 จะสามารถหาค่าอัตราส่วนความชื้นของวัสดุได้ จากผลของการทดลองเป็นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยอุณหภูมิที่ใช้มีค่ามากกว่าจุดเดือดของน้ำ จึงทำการสมมติค่าความชื้นสมดุลที่ใช้ในการคำนวณให้มีค่าเป็นศูนย์ได้ เมื่อได้ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการคำนวณระยะเวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจากการทดลองแล้ว จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนได้ โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งในรูปแบบของ Arrhenius ตามสมการที่ 2 – 7 นำค่าอัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิในการอบแห้งและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมาคำนวณร่วมกับสมการที่ 2 – 6 จะสามารถหาค่า D_0 และ E_a ได้

$$D_{eff} = D_0 \exp\left[\frac{-E_a}{RT}\right] \qquad (2-7)$$

เมื่อ D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม, m^2/min

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ มีค่าเท่ากับ 8.314 kJ/kmol.K

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, K

D คือ ค่าคงที่ของ Arrhenius, m^2/min

E_a คือ พลังงานกระตุ้น, kJ/mol

ความถูกต้องของการทำนายอัตราการอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พิจารณาจากค่า SSE (Summation of Square Error) ซึ่งได้จากสมการที่ 2 – 8

$$SSE = \sum_{i=1}^{N}\left(M_{Exp} - M_{pre}\right)^2 \qquad (2-8)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลของการทดลอง

นำค่า D_0 และ E_a ที่ได้จากสมการที่ 2 – 7 มาแทนค่ากลับลงในสมการอีกครั้ง โดยแทนค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองลงไป จะสามารถหาค่าของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุในกระบวนการอบแห้งแบบชั้นบาง ได้แก่ แบบจำลองทางทฤษฎี แบบจำลองกึ่งทฤษฎี และแบบจำลองแบบเอมไพริเคิล การอบแห้งแบบนี้ วัตถุชั้นจะเรียงเป็นชั้นบาง ๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืช กรณีที่การอบแห้งเมล็ดพืชแบบชั้นบาง การลดลงของความชื้น เมื่อพิจารณาในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชั่นลด ตามรูปแบบของสมการเอ็กโปเนนท์เชียล และความชื้นจะลดลงเข้าใกล้ความชื้นสมดุล จะได้สมการที่อยู่ในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) ดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} = \exp(-kt) \qquad (2-9)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ, %(d.b.)

M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น, %(d.b.)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, %(d.b.)

T คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, min

k คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง, min^{-1}

การอบแห้งของผลิตผลทางการเกษตรในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง มีการควบคุมโดยกลไกการแพร่น้ำหรือไอน้ำ แบบจำลองการอบแห้งแบบชั้นบางซึ่งแสดงการอบแห้งของผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยแบบจำลองการอบแห้งที่นำมาศึกษาดังตารางที่ 2 - 1

338614

ตารางที่ 2 – 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบาง (อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และคณะ, 2555)

ที่	ชื่อแบบจำลอง	ชนิดแบบจำลอง
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
4	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt)+c$
5	Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$
6	Two Term	$MR = a \exp(-k_0t)+b \exp(-k_1t)$
7	Two Term Exponential	$MR = a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$
8	Wang and Singh	$MR = 1+at+bt^2$
9	Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$
10	Midilli et al	$MR = a \exp(-kt^n)+bt$
11	Verma et al	$MR = a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-gt)$
12	Modified Henderson and Pabis.	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Duc, Hun and Keum (2011) ศึกษาหาแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยได้ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ความชื้นสัมพัทธ์ 30 45 และ 60% จากการผลทดลองพบว่าแบบจำลอง Page เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้อธิบายการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดเรพซีด โดยที่อัตราการอบแห้งเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงและอัตราการกำจัดความชื้นออกจากเมล็ดเรพซีดถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ของน้ำไปยังผิวของเมล็ด ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการการแพร่รูปทรงกลมโดยใช้กฎข้อที่สองของ Fick ซึ่งสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าระหว่าง 1.72 x 10^{-} ถึง 3.31 x 10^{-11} m^2/min ตลอดช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่ขึ้นกับอุณหภูมิอธิบายได้จากสมการของ Arrhenius และพลังงานกระตุ้นมีค่าเท่ากับ 28.47 kJ/mol

Ertekin and Yaldiz (2004) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งชั้นบางมะเขือยาวด้วยเครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิอบแห้ง 30 – 70°C และความเร็วอากาศ 0.5 – 2.0 m/s แล้วได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง อิทธิพลจากมะเขือยาวที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและความหนาของมะเขือยาวที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้ง และศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคุณภาพของมะเขือยาวหลังการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้เวลาการอบแห้งสั้นลง มะเขือยาวที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างก็ทำให้เวลาการอบแห้งลดลง ความบางของมะเขือยาวก็ทำให้เวลาการอบแห้งสั้นลง แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งค่าความสว่างของสีจะลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจะทำให้ค่าความสว่างของสีเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาไม่มีอิทธิพลต่อค่าสี และอัตราการคืนตัวจะมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วอากาศที่มีต่อค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ พบว่าแบบจำลอง Midilli et al เป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการถ่ายเทความชื้นในมะเขือยาว

Iyota, Nishimura, Elena, Onuma, and Nomura (2001) ทดลองอบแห้งมันฝรั่งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนคือ 170 และ 240°C จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งมันฝรั่งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 170°C จะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และมีค่าใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 240°C ดังนั้นอุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion Temperature) มีค่าประมาณ 240°C

Madamba, Driscoll, and Buckle (1996) ศึกษาการอบแห้งชั้นบางของชิ้นกระเทียมที่ความหนา 2 – 4 mm ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 – 80°C ความเร็วอากาศ 0.5 – 1 m/s จากการวิเคราะห์ (ANOVA) พบว่าอุณหภูมิและความหนาของชิ้นกระเทียมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ (ที่มีค่าต่ำ) และความเร็วอากาศไม่มีนัยสำคัญต่ออัตราการอบแห้ง สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำมีค่าระหว่าง 2.0 ถึง 4.2×10^{-10} m^2/s ตลอดช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลองพลังงานกระตุ้นมีค่า 989 kJ/kg จากข้อมูลการทดลองสามารถวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 4 แบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง Page และ Two – compartment ให้ผลการทำนายดีกว่าแบบจำลอง Exponential และ Thomson และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลที่ขึ้นกับอุณหภูมิสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของ Arrhenius

Prachayawarakorn, Soponronnarit, Wetchacama, and Jaisut (2002) ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของการอบแห้งกุ้ง (Drying Characteristics) ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ในช่วง 120 – 180°C และอุณหภูมิของอากาศร้อนอยู่ในช่วง 70 – 140°C ความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน 1.6 ± 0.2 m/s จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งกุ้งจะมีเฉพาะช่วงการอบแห้งลดลง โดยอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D_{eff}) ซึ่ง D_{eff} เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางจะมีค่าสูงกว่า เมื่อใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C แสดงว่าอัตราการอบแห้งกุ้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ในทางตรงกันข้าม D_{eff} เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางจะมีค่าต่ำกว่า D_{eff} เมื่อใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางที่อุณหภูมิ 140°C แสดงว่าอัตราการอบแห้งกุ้งด้วยอากาศร้อนจะสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C สรุปว่า อุณหภูมิอินเวอร์ชันจะอยู่ในช่วง 140 – 150°C

Tang and Cenkowski (2000) ได้เปรียบเทียบการอบแห้งมันฝรั่งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่สภาวะอุณหภูมิการอบแห้งที่ 125 145 และ 165°C พบว่า ที่ช่วงเริ่มต้นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเกิดการควบแน่นที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของตัวกลางของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการอบมีผลต่ออัตราการอบแห้ง การแพร่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 125 ถึง 165°C จะลดเวลาในการอบแห้งลง 60% สำหรับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและ 24% สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ช่วงอุณหภูมิ Inversion อยู่ระหว่าง 145 ถึง 165°C

Tarnawaki, Mitera, Borowski, and Klepaczka (1996) ทดลองเปรียบเทียบการอบแห้งกระดาษและกระดาษอัดแข็งด้วยไอน้ำร้อนยวดและอากาศร้อน โดยศึกษาการเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 100°C ถึง 600°C กับการเปลี่ยนค่าความเร็วในการฉีดไอน้ำ พบว่า ถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 245°C การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเร็วกว่าอากาศร้อน

จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ (2550) ได้ศึกษากระบวนการอบแห้งซึ่งเป็นกรรมวิธีถนอมอาหารโดยการลดความชื้นเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีข้อดี คือ ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งทำให้อาหารเสื่อมสภาพ และการควบแน่นของไอน้ำในช่วงต้นของการอบแห้งยังเป็นการฆ่าเชื้อ กำจัดกลิ่น หรือเป็นการลวกผลิตภัณฑ์ไปในตัว ในระยะแรกของการศึกษาวิจัยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นส่วนมากเป็นการอบแห้งที่ความดันบรรยากาศ ต่อมาจึงพัฒนาเป็นการอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จนเมื่อเร็ว ๆ นี้จึงได้มีการนำแหล่งความร้อนอื่นมาใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนหรือการอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ ซึ่งลักษณะจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์

ประทีป ดุ้มทอง อำไพศักดิ์ ทีบุญมา ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และธนกร หอมจำปา (2555) ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลานิลด้วยอากาศร้อน และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งโดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความเร็ว 1.0 1.5 และ 2.0 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา ได้แก่ อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วลม หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าสมการของ Two Term สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งปลานิลด้วยอากาศร้อนดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.999) มากที่สุด และ RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน (2544) ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของเนื้อหมูและปลาร้าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยเงื่อนไขการทดลองดังนี้ อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนคือ 120 140 และ 160°C อัตราการไหลเชิงปริมาตร 0.071 m^3/s น้ำหนัก

ผลิตภัณฑ์ 0.2 kg เพื่อลดความชื้นเนื้อหมูจาก 350 %(d.b.) ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 25 %(d.b.) และลดความชื้นปลาร้าจาก 240 %(d.b.)ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 4 %(d.b.) จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งปลาร้าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 และ 140°C ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และมีค่าใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 160°C ในขณะที่อัตราการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ทุก ๆ อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ดังนั้นอุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion Temperature) สำหรับปลาร้าและเนื้อหมูมีค่าเท่ากับ 160°C และสูงกว่า 160°C ตามลำดับ

วันเพ็ญ หวานระรื่น ภาณุพงศ์ บุญเพียร และณรงค์ อึ้งกิมบ้วน (2544) ศึกษาจลนพลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90°C จากผลการทดลองจะใช้แบบจำลองการอบแห้งจำนวน 11 แบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองพริกไทย โดยความถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ไคสแควร์ และรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง จากผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งพริกไทยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น แบบจำลองการอบแห้งแบบ Logarithm จะให้ผลการทำนายการอบแห้งพริกไทยดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 สูงที่สุด ในขณะที่ให้ค่า χ^2 และ RMSE น้อยที่สุด

ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน และภาณุพงศ์ บุญเพียร (2553) ศึกษาอิทธิพลของระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อจลนศาสตร์การอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของพริกไทยและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเงื่อนไขที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ 160 320 และ 480 W ความชื้นเริ่มต้นของพริกไทยประมาณ 190 %(d.b.) จากผลการศึกษา พบว่า การอบแห้งพริกไทยด้วยไมโครเวฟประกอบด้วยช่วงการอบแห้ง 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงการเพิ่มของอุณหภูมิ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยการเพิ่มขึ้นของระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลงอย่างนัยสำคัญ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ให้ค่าความถูกต้องของการทำนายจลนศาสตร์การอบแห้งพริกไทยดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงมากกว่าร้อยละ 99.5 และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของพริกไทยมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีค่าเพิ่มขึ้น

ดลฤดี ใจสุทธิ์ (2543) ศึกษาการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบแห้งกุ้งแบบตู้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทดลองศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งและคุณภาพของกุ้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และ

พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งกุ้งขาวที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120 – 180°C และอุณหภูมิอากาศร้อน 70 – 140°C เพื่อลดความชื้นจากประมาณ 82 %(w.b.) ให้เหลือประมาณ 20 %(w.b.) คุณภาพกุ้งหลังการอบแห้งที่นำมาใช้ในการประเมินคือ การหดตัว สี และการประเมินด้วยประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เหมาะสมต่อการอบแห้งกุ้งอยู่ในช่วง 140 – 160°C เนื่องจากมีอัตราการลดความชื้นเร็วกว่ากรณีใช้อากาศร้อน และคุณภาพด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จากผลการทำนายการอบแห้งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ และอัตราการไหลของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน 0.03486 m^3/s พบว่า ได้ผลสอดคล้องกับการทดลอง กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น อัตราการลดความชื้นเร็วขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง

ทวีชัย วงศ์ศักดิ์ไพโรจน์ (2543) ศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งหน่อไม้เปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับอากาศร้อน เพื่อหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหน่อไม้ โดยทำการทดลองอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160°C อัตราการไหลเชิงมวลประมาณ 0.024 kg/s มวลหน่อไม้ประมาณ 0 5 kg เพื่อลดความชื้นจากประมาณ 1,900 %(d.b.) ลงเหลือประมาณ 17 %(d.b.) และทำการเปรียบเทียบคุณภาพหน่อไม้หลังการอบแห้งระหว่างหน่อไม้แห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนอุณหภูมิสูง อากาศร้อนอุณหภูมิต่ำ (55 และ 70°C) และหน่อไม้ตามแห้งที่มีจำหน่ายในตลาด จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอยู่ในช่วง 140 – 160°C ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งซึ่งมีสมมติฐานการแพร่ความชื้นและการถ่ายเทมวลที่ผิวเป็นกลไกควบคุมการอบแห้ง สามารถทำนายการอบแห้งได้ค่อนข้างดีทั้งการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน จากผลการคำนวณอัตราการอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ความเร็วที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้อยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 m/s คุณภาพในด้านสีของหน่อไม้หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูงตลอดการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับหน่อไม้แห้งที่มีจำหน่าย ขณะที่สีของหน่อไม้จากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอุณหภูมิต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและน่ารับประทาน

ธณัฏฐ์ยศ สมใจ (2547) ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนของลำไยพันธุ์ดอและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูกด้วยอากาศร้อนโดยใช้แบบจำลองการอบแห้งแบบไม่สมดุล สำหรับการจำลองสภาพการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบงวด พร้อมทั้งได้จำลองสภาพของการอบแห้งเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของลำไย อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านชั้นลำไย อุณหภูมิของลำไย อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ผ่านชั้นลำไย และค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

ในงานวิจัยได้ทำการหาสมบัติทางความร้อนของลำไยพันธุ์ดอ ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงของการระเหยน้ำของลำไย โดยการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะของลำไยด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่า ค่าความร้อนจำเพาะของลำไยแปรผันตรงกับความชื้นของลำไย สำหรับค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำของลำไยได้คำนวณโดยใช้สมการของ Othmer พบว่าค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำของลำไยแปรผกผันกับความชื้นของลำไย

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบไม่สมดุล ประกอบด้วยแบบจำลองแบบย่อย คือ แบบจำลองการผสมของกระแสอากาศ แบบจำลองความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและแบบจำลองการอบแห้ง โดยทำการทดลองสภาวะการอบแห้งเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายผลการทดลองได้ และค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความหนาของชั้นลำไย อัตราการไหลจำเพาะของอากาศและสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยกำหนดให้ความแตกต่างของความชื้นสมดุลของวัสดุระหว่างชั้นบนและล่างต่างกันไม่เกิด 10% ได้ความหนาของลำไยอยู่ในช่วง 10 – 20 cm มีความหนาของชั้นลำไยแปรผกผันกับอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ ส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแปรผันตรงกับอัตราการไหลจำเพาะของอากาศและแปรผกผันกับสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่

ศรัณย์ ฉายากุล (2550) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง คุณภาพของเส้นอุด้งญี่ปุ่น และค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งได้ดำเนินการทดลองการอบแห้งเส้นอุด้งญี่ปุ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 110 ถึง 140°C และความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วง 2 ถึง 4 m/s ภายใต้ความดันบรรยากาศทั้งนี้ในการทดลองใช้อุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้งในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2°C จากข้อมูลการ

ทดลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและค่าคงที่ของการอบแห้งของสมการการอบแห้งทั้ง 3 สมการ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นได้ทำการพัฒนาสมการค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมและค่าคงที่ของการอบแห้งเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดพบว่ารูปแบบโพลิโนเมียลดีกรี 2 ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎีให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและสมการโพลิโนเมียลดีกรี 2 ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎีให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม สมการโพลิโนเมียลดีกรี 2 ของสมการการอบแห้งกึ่งทฤษฎีให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด และค่า MRS ต่ำที่สุด การจำลองสภาพการอบแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 140°C และความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s จะประหยัดพลังงานที่สุด

สิรินทร เนินชัด (2551) ศึกษาการอบแห้งเผือกแผ่นขนาด 30 x 30 x 3 mm^3 ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130 – 150°C โดยได้หาจลนพลศาสตร์การอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของเผือกแผ่นที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนสามารถลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังนั้น อุณหภูมิอินเวอร์ชันของเผือกแผ่นมีค่าสูงกว่า 150°C เมื่อนำสมการการอบแห้งต่าง ๆ ซึ่งได้แก่สมการ Lewis, Henderson and Pabis, Page, และ Wang and Singh มาใช้อธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่ได้ พบว่า สมการของ Page สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของเผือกแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ในช่วง 14 75 × 10 ถึง 16.81 × 10^{10} m^2/s และ 5 44 × 10^{-10} ถึง 9.36 × 10^{10} m^2/s ตามลำดับ