

การอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated Steam Drying of Food)

จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

กระบวนการอบแห้งเป็นกรรมวิธีถนอมอาหารโดยการลดความชื้นเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีข้อดี คือ ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้อาหารเสื่อมสภาพ และการควบแน่นของไอน้ำในช่วงต้นของการอบแห้งยังเป็นการฆ่าเชื้อ กำจัดกลิ่น หรือ เป็นการลวกผลิตภัณฑ์ไปในตัว ในระยะแรกของการศึกษาวิจัยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นส่วนมากเป็นการอบแห้งที่ความดันบรรยากาศ ต่อมาจึงพัฒนาเป็นการอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จนเมื่อเร็วๆ นี้ จึงได้มีการนำแหล่งความร้อนอื่นมาใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน หรือการอบแห้งแบบสูญญากาศ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ ซึ่งลักษณะจะแตกต่างกันไปตาม ชนิดของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ : การขจัดน้ำ การอบแห้ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Abstract

Drying process is a food preservation method by decreasing moisture content to inhibit microorganism growth. Hot air is generally used as a medium for the drying process. However, during the past decades superheated steam has been increasingly used in the drying research works. Due to the absence of oxygen, superheated steam drying permits no oxidative reaction to degrade food quality and steam condensation at the early period of drying allows pasteurization, deodorization, and blanching of food products. At the early stage of application, superheated steam drying was operated at atmospheric pressure and it was later operated at sub-atmospheric pressure. Until quite recently, other heating sources have been combined with the superheated steam to enhance energy efficiency of the drying system. The reviewed research articles indicated that compared to hot air and vacuum drying, superheated steam drying provided products with some superior properties depending on drying materials.

Keywords : Dehydration, Drying, Superheated steam

*Corresponding author. E-Mail: j__jindaporn@yahoo.com

บทนำ

การอบแห้งอาหาร (Food drying) เป็นกระบวนการลดความชื้น (Dewatering) ที่มีอยู่ในอาหารโดยการใช้ความร้อนเปลี่ยนโมเลกุลน้ำให้กลายเป็นไอ หรือการเปลี่ยนโมเลกุลน้ำในสภาพของเหลวให้กลายเป็นของแข็งจากนั้นจึงระเหิดให้กลายเป็นไอ การอบแห้งเป็นการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือ เพื่อให้อาหารสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น ทำให้สามารถขนส่งได้สะดวกเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาตรและน้ำหนักที่ลดลง ทำให้มีผลผลิตไว้ใช้นอกฤดูกาล นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Okos et al., 1992) การอบแห้งเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนและมวลสาร ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เช่น สี การหดตัว และการพองตัว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวเคมี ซึ่งได้แก่ อุดหนุมิ glass transition และ สมบัติด้านความหนืด (pasting property) เป็นต้น

การอบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายแบบ ในกรณีที่ใช้ตัวกลางในการอบแห้งเป็นเกณฑ์นั้น สามารถแบ่งการอบแห้งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การอบแห้งโดยใช้อากาศ (Air drying) และการอบแห้งที่ไม่ใช้อากาศ (Airless drying) ในกรณีของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนนั้นเป็นที่นิยมเนื่องจากระบบสามารถดำเนินการได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น การตากแห้ง หรือการอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบดั้งเดิม (Conventional air drying) ซึ่งมีอุปกรณ์อุ่นอากาศ (Heater) เป็นแหล่งให้ความร้อน เป็นต้น หรือแม้กระทั่งการอบแห้งที่ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนอื่นๆ เช่น การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave drying) หรือการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Infrared drying) ส่วนการอบแห้งที่ไม่ใช้อากาศนั้น อาจจะแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

การอบแห้งโดยใช้ก๊าซและการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สำหรับการอบแห้งโดยใช้ก๊าซนั้น ก๊าซที่นิยมนำมาใช้ คือ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยอาจนำมาใช้กับเครื่องอบแห้งแบบถาด หรือเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (Hawtender et al., 2006) สำหรับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งมีมานานเป็นร้อยปีแล้ว โดยในระยะแรกจะนำมาใช้อบแห้งไม้ กระดาษ และถ่านหิน จากนั้นในระยะต่างๆ จึงเริ่มมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้ในการอบแห้งอาหาร เช่น ข้าว ข้าวกล้อง ถั่วเหลือง มันฝรั่ง tortilla chip แครอท ทุเรียน ถั่วลิสง มะขามป้อม มันสำปะหลัง แอปเปิ้ล (Elustondo et al., 2001) กว๊าดเตี่ยว (Markowski et al., 2003) Parsley (Martinello et al., 2003) ไข่ไก่ และเนื้อหมู

บทความวิชาการนี้ได้นำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง รวมถึงได้รวบรวมและสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไว้โดยสังเขป

กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงการเพิ่มอุณหภูมิในวัสดุ (Heat up period)

ในช่วงต้นของการอบแห้ง ความร้อนแฝงที่มีอยู่ในไอน้ำจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำโดยในช่วงนี้มักเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุ เนื่องจากวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำสัมผัสกับไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงในทันทีทันใด ปริมาณน้ำที่ควบแน่นออกมาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งสูง ปริมาณน้ำที่ควบแน่นจะน้อยกว่ากรณีที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการระเหย

ความชื้นแปรผันตรงกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิไอน้ำกับอุณหภูมิที่ผิววัสดุ (อุณหภูมิอิมตัวของไอน้ำ) ดังนั้นถ้าอุณหภูมิไอน้ำสูง ผลต่างของอุณหภูมิจะมาก ทำให้อัตราการระเหยความชื้นมาก ปริมาณน้ำที่ความชื้นจึงน้อย

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate period)

การนำความร้อนของชั้นฟิล์มของไอน้ำร้อนไปยังวัสดุเป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ และเนื่องจากโดยรอบของวัสดุประกอบไปด้วยไอน้ำ ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นจึงไม่เกิดกลไกการแพร่ (Diffusion mass transfer) แต่เกิดกลไกการพาของไอน้ำซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันไอของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและความดันไอที่ผิวของวัสดุเป็นแรงขับเคลื่อน อุณหภูมิของวัสดุจะคงที่ที่จุดเดือดของน้ำที่สภาวะความดันในระบบ จนกระทั่งความชื้นลดลงจนถึงความชื้นวิกฤติ

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate period)

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุจะมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติการถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดในเนื้อวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังตัวกลางในการอบแห้งทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำลดลงในขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางมายังวัสดุยังคงเท่าเดิม ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น อัตราการระเหยในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุมากกว่าสมบัติของตัวกลาง

เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน ข้อดีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ เนื่องจากไอน้ำไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) การเผาไหม้ (Combustion) หรือการระเบิด (Explosion) และการที่ไอน้ำมีค่าความร้อนแฝง

มากกว่าอากาศทำให้เมื่อระบบอบแห้งเป็นระบบปิดแล้วมีการนำไอน้ำกลับมาใช้ใหม่จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ นอกจากนี้การควบแน่นของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นในช่วงต้นของการอบแห้งยังเป็นการทำให้เชื้อ (Sterilization) การฆ่าเชื้อวิธีพาสเตอร์ (Pasteurization) การกำจัดกลิ่น (Deodorization) หรือ การลวก (Blanching) ผลิตภัณฑ์ไปในตัว (Mujumdar, 2004) อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก็มีข้อเสีย เช่น ระบบมีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูงทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานในระดับครัวเรือน อย่างไรก็ตามในระดับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตสูง ถ้าสามารถลดต้นทุนในส่วนการผลิตไอน้ำและมีการนำความร้อนแฝงจากไอน้ำกลับมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจะลดลงอย่างมาก

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สามารถแบ่งประเภทการอบแห้งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การอบแห้งที่ความดันบรรยากาศ และการอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure- superheated steam drying)

ที่สภาวะความดันบรรยากาศ (1 atm) ไอน้ำร้อนจะต้องมีอุณหภูมิเกิน 100 °C จึงจะเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามปรกติการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่นิยมทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 110 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturated temperature) ปริมาณน้ำที่เกิดจากการควบแน่นจะมาก งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า สำหรับช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะสูงกว่าอัตราการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า “อุณหภูมิ

อินเวอร์ชัน" (Inversion temperature) โดยอุณหภูมิอินเวอร์ชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น อุณหภูมิอินเวอร์ชันของ tortilla chip มันฝรั่ง และกึ่งอยู่ในช่วง 130 °C (Moreira, 2001) 145-165 °C (Tang *et al.*, 2000) และ 140-150 °C (Prachayawarakorn *et al.*, 2002) ตามลำดับ ในช่วงต้นของการอบแห้งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะสูงขึ้นเร็วกว่าในกรณีของการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำจากนั้นความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นจะแพร่เข้าสู่ด้านในของผลิตภัณฑ์ทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงขึ้นถึง 100 °C ในระยะเวลาอันรวดเร็ว อย่างไรก็ตามท้ายที่สุดแล้วอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนจะเข้าสู่อุณหภูมิของตัวกลางได้เร็วกว่าในกรณีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Tang *et al.*, 2000; Uengkimbuan *et al.*, 2006)

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ใช้อบแห้งที่มีต่อจุลนาผลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนอกจากจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นแล้วยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนมากขึ้นความหนาแน่นลดลงหดตัวน้อยลง และมีสีที่เข้มขึ้น (Caixeta *et al.*, 2002; Li *et al.*, 1999) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดการกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว จึงเกิดช่องว่างอากาศภายในเนื้อวัสดุ ทำให้ความพรุนมากขึ้นความหนาแน่นและการหดตัวจึงลดลง ส่วนอิทธิพลของตัวกลางในการอบแห้งที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะแตกต่างกันไป เช่น ในกรณีของมันฝรั่งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการหดตัวและความหนาแน่น (bulk density) มาก ความพรุนน้อย สีอ่อน ค่าความแข็งน้อย และมีปริมาณวิตามินซีคงเหลือมาก (Caixeta *et al.*, 2002) ส่วนที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเรียบและเป็นมันวาวมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เม็ดแป้งบริเวณที่ผิวของมันฝรั่งที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ได้มากกว่าในกรณีที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน (Iyota *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตามสำหรับการอบแห้งทุเรียนดิบ (Jamradloedluk *et al.*, 2007) เนื้อทุเรียน (Uengkimbuan *et al.*, 2006) และกึ่ง (Namsanguan *et al.*, 2004) พบลักษณะที่แตกต่างออกไป คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีสีแดงกว่า มีการหดตัวน้อยกว่า และมีค่าความแข็งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน

เนื่องจากข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งข้าวอยู่มากมาย และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ จากงานวิจัยของ Soponronnarit *et al.* (2006) Rordprapat *et al.* (2005) และ Taechapairoj *et al.* (2003) พบว่า ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีลักษณะคล้ายข้าวเหนียว โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะให้ข้าวที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวตัน (% Head rice yield) สูง ในขณะที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข (% White belly) ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว และมีลักษณะชั้นเหนียว เชื่อมรอยแตก (Crack) หรือรอยร้าวไว้ ทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากการควบแน่นก็มีข้อเสียเนื่องจากเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard ซึ่งทำให้สีของข้าวคล้ำลง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้ในการอบแห้งถั่วเหลือง โดยผลการศึกษาสรุปได้ว่า ถั่วเหลืองซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13.5-19.5% d.b. เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 135 °C สามารถลดปริมาณเอนไซม์ยูรีเอสให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ ในขณะที่การอบแห้งถั่วเหลืองด้วยอากาศร้อนต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่านั้น (135-150 °C) อย่างไรก็ตามพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง

เดียวกัน ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีร้อยละการแตกและร้าวสูงกว่าถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (Prachayawarakom et al., 2006)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถฆ่าเชื้อได้ ทำให้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อบางชนิด เช่น *Fusarium mycotoxin deoxynivalenol* (DON) และ *Geobacillus stearothermophilus* โดยจากผลการศึกษา พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 185 °C เป็นระยะเวลา 6 นาที สามารถลดปริมาณของ DON ได้ถึง 52% (Cenkowski et al., 2007)

เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันบรรยากาศต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนต่อความร้อนเกิดการเสียสภาพได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาการเสียสภาพดังกล่าว จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (Two stage drying) ซึ่งเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (120-180 °C) ต่อด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (50-60 °C) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงในช่วงต้นจะให้อัตราการอบแห้งที่สูง ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำในขั้นตอนที่ 2 จะช่วยรักษาสสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ให้อยู่คงเดิม การอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อด้วยการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (SHS/HA) หรือการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อด้วยการอบแห้งแบบบีบความร้อน (SHS/HP) ทั้งนี้ได้มีการนำวิธีการอบแห้งดังกล่าวมาใช้ในการอบแห้งกุ้ง (Namsanguan et al., 2004) เนื้อไก่ (Nathakaranakule et al., 2007) และเนื้อหมู (Uengkimbuan et al., 2004) โดยสำหรับกุ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอย่างเดียว (SHS) การอบแห้งแบบ SHS/HP สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น กุ้งที่ได้จากการอบแห้งแบบ SHS/HP จะมีการหดตัวน้อยกว่า มีการคินตัวมากกว่า สีแดงกว่า และแข็งน้อยกว่า อย่างไรก็ตามในกรณีของเนื้อไก่นั้น พบว่าการอบแห้งแบบ SHS/HP จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการคินตัวที่ดีขึ้นกว่าการอบแห้ง

แบบ SHS แต่คุณภาพด้านอื่น เช่น การหดตัว สี และค่าความแข็งนั้นไม่ดีขึ้น สำหรับการอบแห้งเนื้อหมูพบว่า การอบแห้งแบบ SHS/HP จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการหดตัวน้อยกว่า สีแดงกว่า และแข็งมากกว่าในกรณีที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนต่อด้วยการอบแห้งแบบบีบความร้อน (HA/HP)

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Sub atmospheric pressure-superheated steam drying)

แนวคิดเกี่ยวกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศเกิดขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารหลายๆ ชนิดนั้นไม่สามารถทนต่อความร้อนได้มากนัก (Heat sensitive) ความดันที่ต่ำจะทำให้การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C ได้ การเสียสภาพเนื่องจากความร้อน (Thermal degradation) จึงเกิดน้อยลง โดยงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ได้แก่ การอบแห้งมะขามป้อม (Methakhup et al., 2005) แครอท (Devahastin et al., 2004) มันฝรั่ง (Leeratanarak et al., 2006) และ basil (Barbieri et al., 2004) ซึ่งงานวิจัยทั้งหมดได้เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันในช่วง 5-13 kPa และอุณหภูมิในช่วง 50-90 °C กับการอบแห้งแบบสุญญากาศ หรือการอบแห้งด้วยอากาศร้อน จากผลการศึกษาที่มีความเด่นชัดว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำสามารถรักษากลิ่น สี และคุณค่าทางอาหาร เช่น เบตาแคโรทีน และวิตามินซี ได้ดีกว่าในกรณีของการอบแห้งแบบสุญญากาศและการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร การคินตัว การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม และปริมาณวิตามินซีคงเหลือมากขึ้น ในขณะที่มีค่าความแข็งลดลง ส่วนความดันที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตร การหดตัว การคินตัว

และปริมาณวิตามินซีคงเหลือลดลง ในขณะที่ค่าความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้น

แม้ว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงแต่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานทำให้เปลืองพลังงาน ดังนั้นเมื่อเร็วๆ นี้จึงได้มีการนำรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน โดยได้ทดลองกับผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่น จากการศึกษาพบว่า นอกจากรังสีอินฟราเรดจะสามารถช่วยลดระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแล้ว ยังให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการหดตัวที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว อีกด้วย (Nimmol et al., 2007) อย่างไรก็ตามการนำรังสีอินฟราเรดมาช่วยในการอบแห้งจะทำให้สีของกล้วยเข้มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้วิธีการป้อนไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรือลดความดันในระบบแบบเป็นช่วงๆ (Intermittent low-pressure superheated steam drying) ซึ่งวิธีการนี้สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานได้เช่นเดียวกับการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ (Thomkapanich et al., 2007)

สรุป

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การอบแห้งที่ความดันบรรยากาศ และการอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิอินเวอร์ชัน การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน การที่ไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่ต้องการออกซิเจน เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น นอกจากนี้การควบแน่นของไอน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงต้นของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 100 °C อย่างรวดเร็ว ลักษณะดังกล่าว

จึงเป็นการทำไร่เชื้อ การฆ่าเชื้อวิธีพาสเตอร์ การกำจัดกลิ่น หรือ การลวกผลิตภัณฑ์ไปในตัว ปัจจุบันมีงานวิจัยอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งอาหาร โดยอาหารส่วนใหญ่ที่นำมาอบแห้งคือ เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้เนื่องจากพบว่า การอบแห้งดังกล่าวสามารถปรับปรุงสมบัติบางอย่างของอาหารได้ และยังคงมีการพัฒนาการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการนำแหล่งพลังงานอื่น เช่น รังสีอินฟราเรดมาใช้ร่วมกัน หรือแม้แต่กระทั่งการเพิ่มขั้นตอนในการอบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปรัชญาวารการ และรองศาสตราจารย์ ดร. ลักกม เทพหัสดิน ณ อยุธยา ที่ช่วยส่งเสริมงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งในประเทศไทยโดยเฉพาะการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- Barbieri, S., Elustondo, M., & Urbicain, M. (2004). Retention of aroma compounds in basil dried with low pressure superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 65, 109-115.
- Caixeta, A.T., Moreira, R., & Castell-Perez, M.E. (2002). Impingement drying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 25, 63-90.
- Cenkowski, S., Pronyk, C., Zmidzinska, D., & Muir, W.E. (2007). Decontamination of food products with superheated stream. *Journal of Food Engineering*, 83, 68-75.

- Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S., & Mujumdar, A.S. (2004). A comparative study of low-pressure superheated steam and vacuum drying of a heat-sensitive material. *Drying Technology*, 22, 1845-1867.
- Elustondo, D., Elustondo, M.P., & Urbicain, M.J. (2001). Mathematical modeling of moisture evaporation from foodstuffs exposed to subatmospheric pressure superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 49, 15-24.
- Hawladar, M. N. A., Perera, O.R., & Tian, M. (2006). Comparison of the retention of 6-Gingerol in drying of ginger under modified atmosphere heat pump drying and other drying methods. *Drying Technology*, 24, 51-56.
- Iyota, H., Nishimura, N., Onuma, T., & Nomura, T. (2001). Drying of sliced raw potatoes in superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 19, 1411-1424.
- Jamradloedluk, J. Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2007). Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. *Journal of Food Engineering*, 78, 198-205.
- Leeratanarak, N., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2006). Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 77, 635-643.
- Li, Y.B., Seyed-Yagoobi, J., Moreira, R.G., & Yamsaengsung, R. (1999). Superheated steam impingement drying of tortilla chips. *Drying Technology*, 17, 191-213.
- Markowski, M., Cenkowski, S., Hatcher, D.W., Dexter, J.E., & Edwards, N.M. (2003). The effect of superheated-steam dehydration kinetics on textural properties of Asian noodles. *Transactions of the ASAE*, 46, 389-395.
- Martinello, M.A., Mattea, M.A., & Crapiste, G. (2003). Superheated steam drying of parsley: a fixed bed model for predicting drying performance. *Latin American Applied Research*, 33, 333-337.
- Methakhup, S., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2005). Effects of drying methods and conditions on drying kinetics and quality of Indian gooseberry flake. *LWT- Food Science and Technology*, 38, 579-587.
- Moreira, R.G. (2001). Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 49, 291-295.
- Mujumdar, A.S. (2004). Research and development in drying: recent trends and future prospects. *Drying Technology*, 22, 1-26.
- Namsanguan, Y., Tia, W., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2004). Drying kinetics and quality of shrimp undergoing different two-stage drying processes. *Drying Technology*, 22, 759-778.
- Nathakaranakule, A., Kraiwanichkul, W., & Soponronnarit, S. (2007). Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. *Journal of Food Engineering*, 80, 1023-1030.

- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T., & Soponronnarit, S. (2007). Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 81, 624-633.
- Okos, M. R., Narsimhan, G., Singh, R. K., & Witnauer, A. C. (1992). *Food dehydration*. In D. R. Helmenst & D. R. Lund (Eds.), *Handbook of food engineering*. New York : Marcel Dekker.
- Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., & Jaisut, D. (2002). Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 20, 669-684.
- Prachayawarakorn, S., Prachayawasin, P., & Soponronnarit, S. (2006). Heating process of soybean using hot-air and superheated-steam fluidized-bed dryers. *LWT - Food Science and Technology*, 39, 770-778.
- Rordprapat, W., Nathakarakule, A., Tia, W., & Soponronnarit, S. (2005). Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 71, 28-36.
- Soponronnarit, S., Nathakarakule, A., Jirajindalert, A., & Taechapairoj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering*, 75, 423-432.
- Tang, Z., & Cenkowski, S. (2000). Dehydration dynamics of potatoes in superheated steam and hot air. *Canadian Agricultural Engineering*, 42, 43-49.
- Taechapairoj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., & Prachayawarakorn, S. (2003). Superheated steam fluidised bed paddy drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 67-73.
- Thomkapanich, O., Suvarnakuta, P., & Devahastin, S. (2007). Study of intermittent low-pressure superheated steam and vacuum drying of a heat-sensitive material. *Drying Technology*, 25, 205-223.
- Uengkimbuan, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., & Nathakarakule, A. (2004). Drying kinetics and physical properties of dried pork using two-stage techniques. In *proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*. (pp 320-328). 11-13 January, Bangkok, Thailand.
- Uengkimbuan, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., & Nathakarakule, A. (2006). A comparative study of pork drying using superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 24, 1665-1672.