



อิทธิพลของชนิดตัวกลางในการ อบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการ ลดความชื้นและคุณภาพของเนื้อวัว

ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์^๑
ศิริวัฒน์ สนิประเสริฐ^๒
สมเกียรติ ปรัชญารากร^๓
สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์^๔
ราชบัณฑิต สำนักวิทยาศาสตร์
ราชบัณฑิตยสถาน

บทคัดย่อ

วิธีการอบแห้งมีผลกระทบอย่างมากต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพของอาหาร เพื่อให้ได้คุณภาพเนื้ออบแห้งตามที่ต้องการสำหรับเป็นของกินเล่น จึงได้มีการศึกษาการอบแห้งขั้นตอนเดียวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน และการอบแห้ง ๒ ขั้นตอน เพื่อศึกษาผลของวิธีการอบแห้งดังกล่าวที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพของเนื้อวัวแผ่นที่มีการหั่นชิ้นตัวอย่างแบบตัดขวางและตัดตามเส้นใยกล้ามเนื้อไกการทดลองมีดังนี้ ๑) อบแห้งเนื้อวัวที่มีความชื้นเริ่มต้น ๒๔๕-๒๕๕% dry basis (d.b.) จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ๑๑% d.b. อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่ใช้อยู่ในช่วง ๑๓๐-๑๕๐ องศาเซลเซียสจากการทดลองพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ขณะที่คุณภาพของสีโดยวัดการเปลี่ยนแปลงสีของตัวแปร L, a และ b การหดตัว การคินตัว และความแข็ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาชนิดของตัวกลางในการอบแห้ง พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีค่าสูงกว่ากรณีอบแห้งด้วยอากาศร้อน และสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความสม่ำเสมอกว่า การหดตัวมากกว่า ส่วนการคินตัวและความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาการเรียงของเส้นใยกล้ามเนื้อ พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการแพร่ของน้ำไม่ว่าจะอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรืออากาศร้อน และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านต่างๆ พบว่าการเรียงของเส้นใยกล้ามเนื้อให้คุณภาพด้านสีแตกต่างกันเล็กน้อย เนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใยมีความแข็งมากกว่าและหดตัวน้อยกว่าแบบตัดตามเส้นใยอยู่เล็กน้อย เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว คุณภาพของเนื้อวัวที่ผ่านการอบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอนให้คุณภาพสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งมีสีน้ำตาลอ่อนกว่า การคินตัวสูงขึ้น และความแข็งลดลง

คำสำคัญ : ความแข็ง, คุณภาพ, การหดตัว, ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, เส้นใยกล้ามเนื้อ, เนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใย

^๑ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สนามจันทร์ นครปฐม

^๒ นิสิตปริญญาโท คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

^๓ รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

^๔ ศาสตราจารย์ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ



๑. บทนำ

การถนอมอาหารโดยวิธีการทำให้แห้งเป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีดังกล่าวสามารถรักษาคุณภาพอาหารได้เป็นเวลานาน การอบแห้งมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่น วิธีการอบแห้งโดยวิธีตากแห้งเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดพลังงาน แต่ใช้เวลาในการอบแห้งนาน การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำได้ยากเนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติ สำหรับการอบแห้งโดยการเป่าอากาศผ่านวัสดุขึ้น ซึ่งในกรณีนี้พื้นที่ในการอบแห้งอยู่ในขอบเขตจำกัด การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ง่ายและให้คุณภาพในด้านความสะอาดมากกว่า

เนื้อวัวเป็นเนื้อสัตว์ชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำมาบริโภคกันอย่างกว้างขวาง และเป็นแหล่งอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง การแปรรูปเนื้อสัตว์เพื่อให้สามารถเก็บรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ได้นาน และการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์มีได้หลายวิธี เช่น การตากแห้งโดยใช้แสงแดดซึ่งต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำจากเนื้อเยื่อของสัตว์ทำได้ยากกว่าระเหยน้ำจากเซลล์พืช และยังมีปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากฝุ่นและแมลง การแปรรูปอาหารจึงมักจะใช้เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งสามารถทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนสูงเกินไป จะทำให้คุณภาพและคุณค่าทางอาหาร

ของเนื้อสัตว์สูญเสียไป เช่น สีของเนื้อสัตว์อาจเปลี่ยนแปลงจนไม่น่ารับประทาน การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง ซึ่งสามารถจะอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว ข้อดีของการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการอบแห้งคือ ลดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีดีขึ้น อัตราการอบแห้งสูง รวมถึงเป็นกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารปลอดภัยจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ อย่างไรก็ตาม การอบแห้งโดยไอน้ำร้อนยวดยิ่งก็ยังมีข้อจำกัดบางประการเนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงจึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนต่อความร้อนเกิดการเสียหายได้

ในช่วงระยะทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งกันอย่างมากมาย ซึ่งจากการศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งให้ผลที่ได้คล้ายคลึงกัน^{๒, ๓, ๔} ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากตัวกลางของการอบแห้งทั้งสอง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ เช่น มันฝรั่ง การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีการหดตัว ความหนาแน่นสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน แต่ให้ความเป็นรูปทรงลดต่ำลง หรือกล่าวอีกนัยคือ เนื้อผิวของผลิตภัณฑ์มีความเรียบสม่ำเสมอว่าการอบด้วยลมร้อน ซึ่งเป็นผลอันเนื่องจากการเกิดเจลลิตีในซึบของสตาร์ช^{๒, ๔, ๖} ในการอบแห้งข้าวเปลือก

พบว่า ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สาเหตุจากกระบวนการเจลลิตีในเซชันในเมล็ดข้าวทำให้ข้าวเกิดความแข็งเพิ่มขึ้น ทนต่อการขัดสี จึงทำให้ปริมาณต้นข้าวสูงกว่าการอบด้วยลมร้อน^๖ ส่วนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ทำให้คุณภาพการหดตัวน้อยลงและมีสีของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น^๖ เมื่อใช้การอบแห้งด้วยไอน้ำแทนลมร้อน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ตัวกลางในการอบแห้งที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน อีกทั้งศึกษาผลของลักษณะการหั่นเนื้อวัวที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของเนื้อวัวหลังการอบแห้ง โดยคุณภาพของเนื้อวัวหลังการอบแห้งที่พิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ สี การหดตัว การคืนตัว และความแข็ง

๒. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

๒.๑ การเตรียมวัสดุ

นำเนื้อสันนอก (sirloin) ของเนื้อวัวมาหั่นเป็นแผ่นที่มีขนาด ๓ x ๓ ตารางเซนติเมตร และหนา ๐.๓ เซนติเมตร ลักษณะการหั่นเนื้อวัวเป็นแบบตัดขวาง (transverse section) และตัดตามเส้นใยกล้ามเนื้อ (longitudinal section) จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปคลุกเกลือในอัตราส่วนร้อยละ ๒ โดยมวลต่อมานำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ ๔ องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างออกมาคลุกใหม่ทุก ๆ ๕ นาที เพื่อให้เกลือแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัวอย่างสม่ำเสมอ จนครบ ๒๐ นาที หลังจากคลุกเกลือ เนื้อ



วามีค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงระหว่าง ๒๔.๕-๒๕.๕% d.b. ความชื้นของตัวอย่างหาได้โดยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ ๑๐๓ องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา ๗๒ ชั่วโมง

๒.๒ เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางแสดงดังรูปที่ ๑ ประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาด ๓๐×๓๐×๑๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร อุปกรณ์ให้ความร้อนขนาด ๑๓.๕ กิโลวัตต์ โดยมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID มีความถูกต้อง ± ๑ องศาเซลเซียส พัดลมเป็น

แบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง มีมอเตอร์ขนาด ๒.๒ กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วรอบของพัดลมได้ เครื่องกำเนิดไอน้ำออกแบบความดันใช้งานสูงสุด ๓.๕ บาร์ สามารถผลิตไอน้ำได้ ๓๑ กิโลกรัมต่อชั่วโมง

๒.๓ วิธีการอบแห้งเนื้อวัว

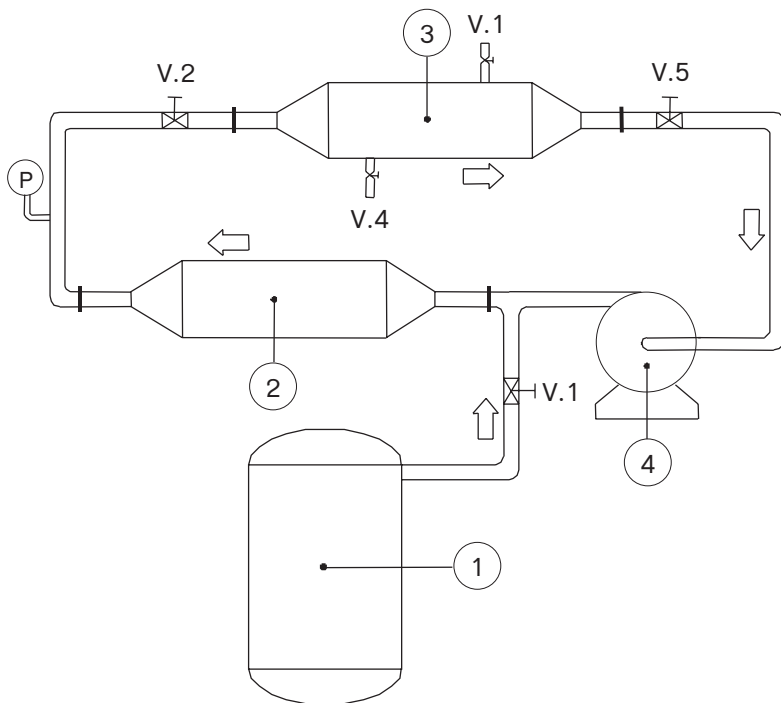
นำเนื้อวัวที่เตรียมไว้มาปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนจะนำไปทดลองอบแห้ง ในการอบแห้งได้ใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส และความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเท่ากับ ๒ เมตรต่อวินาที ความดันของระบบเหนือบรรยากาศเล็กน้อย ในการ

อบแห้งจะนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง Sartorius CP-3202 ซึ่งมีค่าความถูกต้องของการอ่าน ± ๐.๐๑ กรัม ทุก ๆ ๕ นาที อบแห้งจนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ ๑๑% d.b. และเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ภาวะเดียวกัน จากนั้นนำเนื้อวัวที่ผ่านการอบแห้งมาปล่อยให้เย็นตัวลง แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

สำหรับการอบแห้ง ๒ ขั้นตอนเริ่มจากนำเนื้อวัวที่เตรียมไว้นำมาอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ ๔๓% d.b. จากนั้นนำมาอบแห้งต่อด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ ๖๐ ที่ความเร็วลม ๐.๓ เมตรต่อวินาที จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ ๑๑% d.b. แล้วจึงนำเนื้อวัวที่อบแห้งไปทดสอบคุณภาพต่าง ๆ ต่อไป

๒.๔ การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

สีของเนื้อวัวอบแห้งวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหาร MINOLTA รุ่น CR-400 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดซ้ำ (repeat quality) ของเครื่องวัดสีอยู่ที่ ΔE ๐.๐๗ สีของเนื้อวัววัดจากตัวแปร L, a และ b ซึ่งเป็นระบบ Hunter Lab Color Scale โดยค่า L (lightness parameter) แสดงค่าความสว่าง ส่วนค่า a (redness parameter) แสดงค่าสีแดง (+) และสีเขียว (-) และค่า b (yellowness parameter) แสดงค่าสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-) ในการทดสอบจะสุ่มตัวอย่าง ๙ ชิ้น โดย



รูปที่ ๑ ระบบเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (๑) เครื่องกำเนิดไอน้ำ (๒) อุปกรณ์ให้ความร้อน (๓) ห้องอบแห้ง (๔) พัดลม, V = วาล์ว, P = เกจวัดความดัน



ในแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดซ้ำ ๓ ครั้ง

๒.๕ การทดสอบคุณภาพด้าน การหดตัวของผลิตภัณฑ์

การหดตัวของเนื้อวัวหลัง การอบแห้งสามารถทราบได้โดยการ แทนที่ปริมาตรของเนื้อวัวในของเหลว

n-heptane [CH₃(CH₂)₅CH₃] การ หดตัวคำนวณจากสมการ(๑)^{๑๑}

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (๑)$$

โดยที่ V₀, V คือ ปริมาตรของเนื้อวัวก่อนและหลังการอบแห้งตามลำดับ (ม^๓)

๒.๖ การทดสอบคุณภาพด้าน การคืนตัวของผลิตภัณฑ์

ค่าการคืนตัวของเนื้อวัวหลัง การอบแห้งเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปร หนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิต-

ภัณฑ์หลังการอบแห้ง ถ้าค่าการคืนตัว ของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง แสดงว่าคุณภาพ ของชิ้นตัวอย่างมีความเสียหายเนื่อง จากกระบวนการอบแห้งน้อย ในงาน วิจัยนี้การคืนตัวของเนื้อวัวอบแห้ง

สามารถทราบได้โดยการนำเนื้อวัวหลัง การอบแห้งไปแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ ๙๐ ± ๑ องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา ๑๕ นาที จากนั้นนำมาคำนวณหาการ คืนตัวของเนื้อวัวได้ดังสมการที่ (๒)^{๑๑}

$$\% \text{ rehydration} = \frac{W_i - W_d}{W_d} \times 100 \quad (๒)$$

โดยที่ W_d, W_i คือ น้ำหนักของเนื้อวัวที่ทำการคืนตัวก่อนและหลังแช่น้ำอุ่น ตามลำดับ, kg

๒.๗ การทดสอบคุณภาพด้าน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

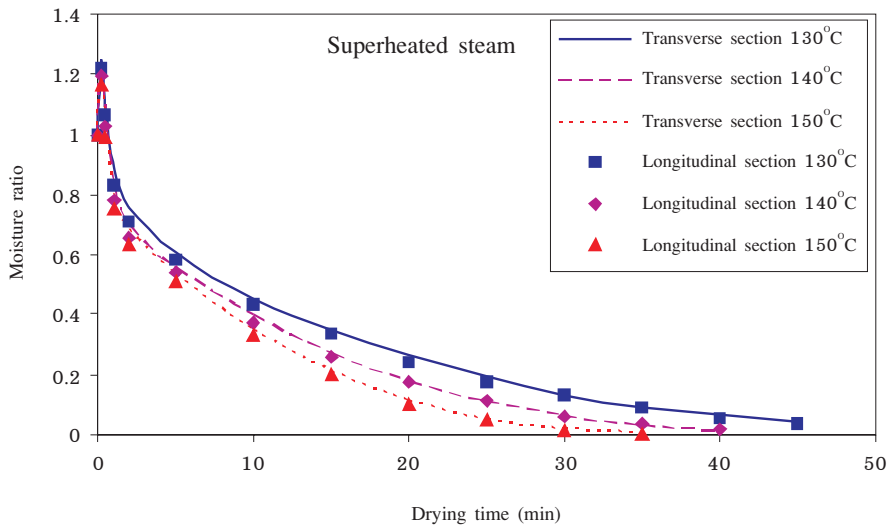
คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของ เนื้อวัวหลังการอบแห้งสามารถทดสอบ ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น TA-XT ๒ โดยการนำชิ้นตัวอย่างมา ทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด หัวกดที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๒ มิลลิเมตร และความเร็วในการ กด ๑ มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกดจน กระทั่งเนื้อวัวแตกออกจากกันแล้วจึง อ่านค่าสูงสุดซึ่งเป็นค่าความแข็งของ เนื้อวัว ในการทดสอบจะสุ่มตัวอย่างใน การกดตัวอย่างจำนวน ๙ ชิ้น

๓. ผลการทดลองและวิจารณ์

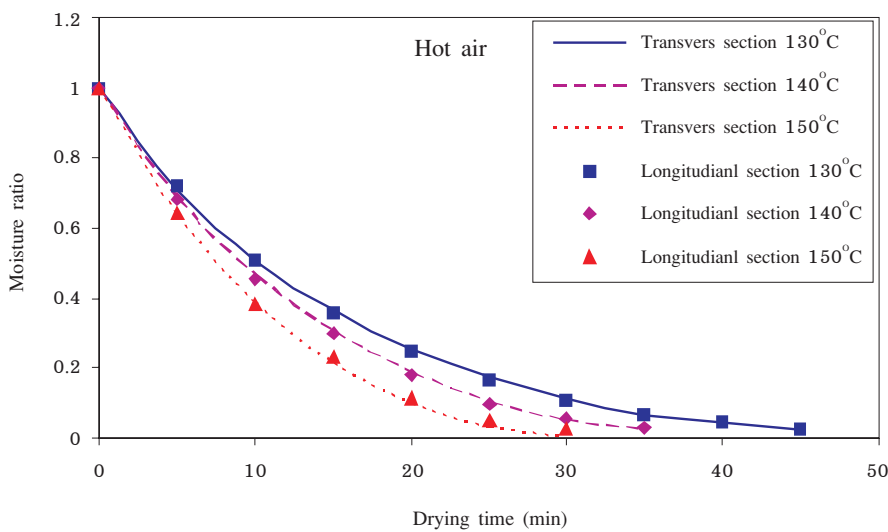
๓.๑ ผลของอุณหภูมิตัวกลาง ต่ออัตราการลดความชื้น

ผลการทดลองการอบแห้ง เนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส มีแสดงในรูปที่ ๒ ซึ่งแสดงความชื้น ของเนื้อวัวในรูปของความชื้นไร้หน่วย จากกราฟพบว่าในช่วงแรกของการ อบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณ ผิวของเนื้อวัว ซึ่งสามารถสังเกตได้ จากช่วงที่ความชื้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความชื้นในผลิตภัณฑ์

ในทางปฏิบัติไม่เป็นที่ต้องการในกระ- บวนการอบแห้ง เพราะว่าจะเป็นการ เพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้น สิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การควบแน่นของไอน้ำมิใช่จะ ส่งผลในเชิงลบเพียงอย่างเดียว จาก รายงานการวิจัยต่าง ๆ พบว่าปรากฏ- การณ์ควบแน่นของไอน้ำในช่วงต้น ของการอบแห้งกลับมีผลดีต่อผลิต- ภัณฑ์บางประเภท เช่น ข้าว นั่นคือข้าว ที่ผ่านการกระบวนการอบแห้งด้วยวิธี นี้ให้ปริมาณข้าวตันที่สูงกว่าการอบ แห้งด้วยลมร้อนซึ่งเกิดจากเจลาทีไน- เซชัน^{๑๑, ๑๒, ๑๓}



รูปที่ ๒ เปรียบเทียบผลของการหั่นเนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ ๓ เปรียบเทียบผลของการหั่นเนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปจะเห็นว่าในช่วงของการควบคุมความชื้นของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก ๑ เป็น ๑.๒ ความชื้นไอน้ำในช่วงของการเพิ่มความชื้นนั้นเป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ จากนั้นจะเป็นช่วงของการลดความชื้นของชิ้นตัวอย่าง จากผลการทดลองที่อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งค่าต่าง ๆ พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของเนื้อวัวได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปยังผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ ๑๕๐ องศาเซลเซียสจะสั้นกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ ๑๓๐ และ ๑๔๐ องศาเซลเซียส สำหรับผลการอบแห้งด้วยอากาศร้อนดังแสดงในรูปที่ ๓ ให้ผลในทำนองเดียวกับกรณีการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง กล่าวคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ สิ่งหนึ่งที่แตกต่างกันชัดเจนระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนคือในกรณีที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนไม่ปรากฏช่วงการเพิ่มขึ้นของความชื้น



๓.๒ ผลของลักษณะการหั่นเนื้อวัวต่ออัตราการอบแห้ง

นอกจากปัจจัยของอุณหภูมิ รูปที่ ๒ และรูปที่ ๓ ยังแสดงถึงผลของลักษณะของการหั่นเนื้อวัวระหว่างตัดขวาง กับตัดตามเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยในกรณีตัดตามเส้นใยแสดงด้วยสัญลักษณ์ต่าง ๆ และตัดขวางแสดงด้วยรูปแบบเส้น จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าอัตราการลดความชื้นของเนื้อวัวที่หั่นแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยนั้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก จนเกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากเมื่อเนื้อวัวได้รับความร้อนทำให้เนื้อวัวเกิดการสูญเสียความสามารถในการจับน้ำ (water holding capacity, WHC) ทำให้น้ำอิสระ (free water) ซึ่งเป็นน้ำที่ถูกดึงดูดไว้ด้วยแรงดึงผิวถูกปลดปล่อยออกมาจากโปรตีนทั้งหลาย ไม่ว่าจะเป็นไมโอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar protein) หรือจะเป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue protein) ซึ่งในการเคลื่อนที่ของน้ำอิสระที่อยู่ตามโปรตีนต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกมาแล้วสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทุกทาง ไม่ว่าจะเป็นเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ หรือจะเคลื่อนที่ออกตามแนวรัศมีของเส้นใยกล้ามเนื้อ ตามปกติแล้วซาร์โคเลมมา (sarcolemma) ซึ่งเป็นผนังของเส้นใยกล้ามเนื้อจะทำหน้าที่ในการปิดกั้นน้ำที่จะออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ แต่เมื่อถูกความร้อนซาร์โคเลมมาก็จะสูญเสียสภาพไป^{๑๔} ทำให้น้ำออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อได้ทุกทิศทุก

ทาง ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้อัตราการอบแห้งของลักษณะการหั่นเนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยนั้น มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ จากข้อมูลการทดลองที่ได้พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จนกระทั่งเนื้อวัวมีความชื้นประมาณ ๑๑% d.b. มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการอบแห้งเนื้อวัวที่หั่นแบบตัดขวางกับแบบตัดตามเส้นใย การอบแห้งที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ ๔๓-๔๔, ๓๓-๓๔ และ ๒๕-๒๖ นาที ตามลำดับ

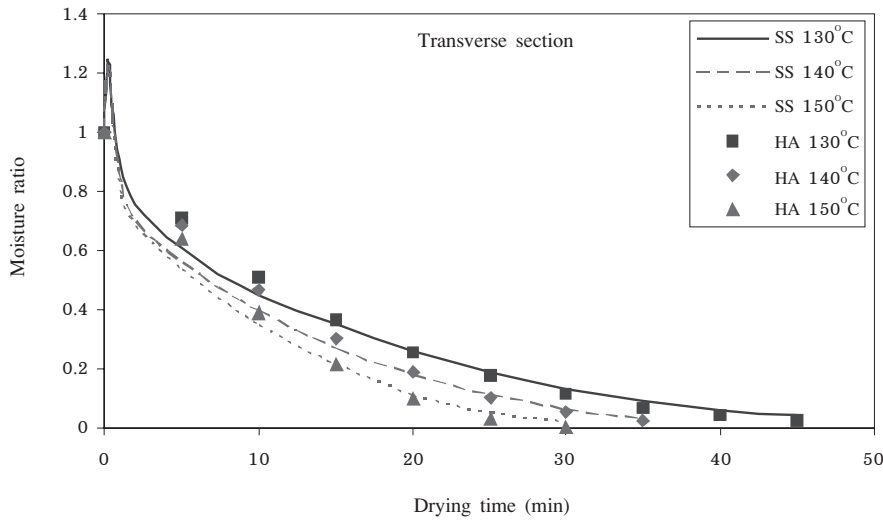
๓.๓ ผลของชนิดตัวกลางที่มีต่ออัตราการลดความชื้น

รูปที่ ๔ และรูปที่ ๕ แสดงถึงชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อการลดความชื้น โดยกำหนดให้ผลการทดลองอบแห้งด้วยไอน้ำแสดงด้วยเส้นชนิดต่าง ๆ และการอบแห้งด้วยอากาศแสดงด้วยรูปสัญลักษณ์ จากผลการทดลองพบว่าในช่วง ๒-๓ นาทีแรกของการอบแห้ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งในกรณีตัดตามและตัดขวางเส้นใยกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าในกรณีของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างเห็นได้ชัด แต่หลังจากนั้นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนสามารถลดความชื้นผลิตภัณฑ์ได้ค่อนข้างเร็วกว่าเล็กน้อย การที่ไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถลดความชื้นได้เร็วในช่วงแรกนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุที่อุณหภูมิของเนื้อวัวสูงขึ้น

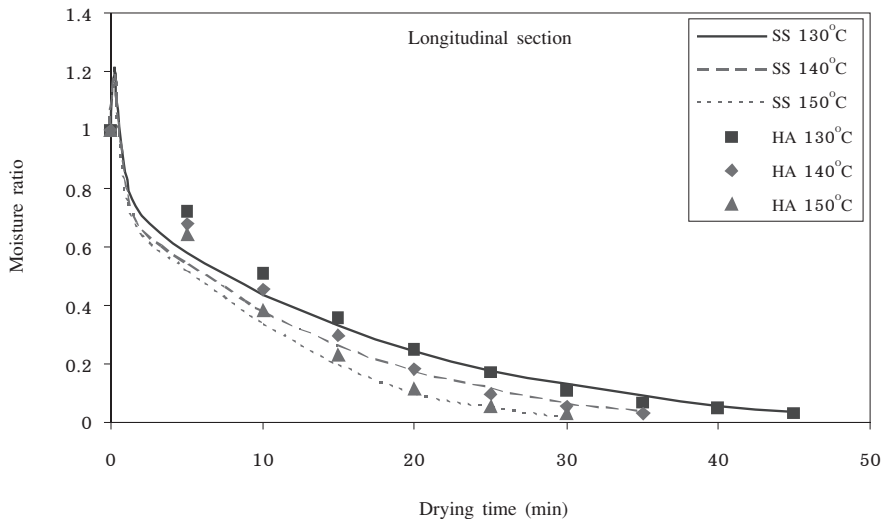
อย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ ๖) เป็นผลให้การแพร่ของความชื้นเกิดขึ้นได้เร็วกว่าในกรณีของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างอบแห้งเกิดขึ้นช้ากว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงของการอบแห้งกลับพบว่า การอบแห้งด้วยอากาศร้อนสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ตามที่ต้องการเร็วกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งประมาณ ๒-๓ นาที ภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งที่เหมือนกันซึ่งในกรณีนี้อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำร้อนและอากาศร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

๓.๔ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อวัวระหว่างการอบแห้ง

รูปที่ ๖ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบแห้งกับอุณหภูมิของเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส พบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้ง ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการควบแน่นของไอน้ำนั้น อุณหภูมิของเนื้อวัวจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิประมาณ ๑๐๐ องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้อัตราส่วนความชื้นในช่วงแรกของการอบแห้งนี้ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ ๔ และรูปที่ ๕ ตามลำดับ ต่อจากนั้นอุณหภูมิของเนื้อวัวจะคงตัวที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอุณหภูมิของเนื้อวัวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง จนกระทั่ง



รูปที่ ๔ เปรียบเทียบผลของตัวกลางที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของเนื้อวัวแบบตัดขวาง เส้นใยที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ ๕ เปรียบเทียบผลของตัวกลางที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของเนื้อวัวแบบตัดตาม เส้นใยที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิในเนื้อวัวมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ใช้ในการอบแห้ง ส่วนผลการทดลองการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ

๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ ๗ พบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งนั้น อุณหภูมิของเนื้อวัวจะเพิ่มสูงขึ้นแต่ด้วยอัตราที่ช้ากว่า

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่นของไอน้ำมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาของอากาศมาก จึงทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเร็วกว่าในกรณีของไอน้ำร้อน อย่างไรก็ตาม ในตอนท้ายของการอบแห้งอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ของการอบแห้งด้วยตัวกลางทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

๓.๕ อัตราการอบแห้ง

จากผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ดังแสดงในรูปที่ ๒ และรูปที่ ๓ ตามลำดับ สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการอบแห้งของเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส ได้โดยนำค่าความชื้นที่ระยะเวลาอบแห้งต่าง ๆ มาฟิต (fit) กับสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นหาอนุพันธ์ของสมการดังกล่าวเทียบกับเวลา ก็จะสามารถทราบอัตราการอบแห้ง ณ ขณะใดขณะหนึ่งได้ ในการคำนวณหาอัตราการอบแห้งเริ่มจากจุดที่มีความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงสุดซึ่งเป็นจุดที่การควบแน่นของไอน้ำสิ้นสุดลง^{๑๔}

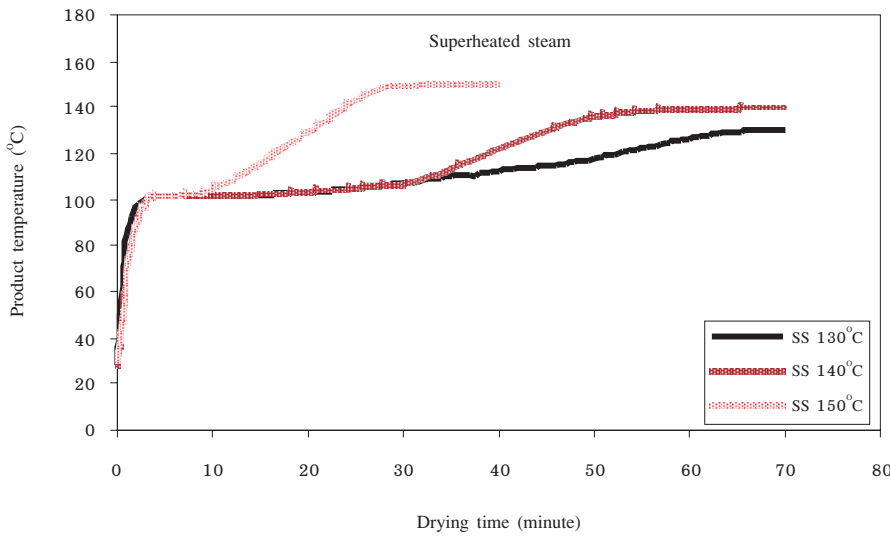
จากอัตราการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส ทั้งแบบตัดขวางเส้นใยและตัดตามเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ ๔ และรูปที่ ๕ ตามลำดับ พบว่า การอบแห้ง



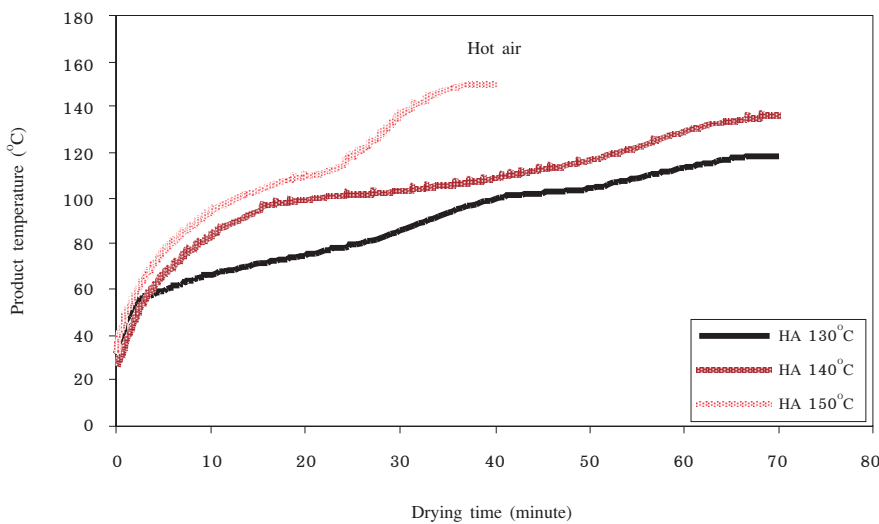
เนื้อวุ้นอยู่ในช่วงของการอบแห้งลดลงเพียงอย่างเดียว และการอบแห้งที่อุณหภูมิ ๑๕๐ องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณห-

ภูมิ ๑๓๐ และ ๑๔๐ องศาเซลเซียสในทุก ๆ ช่วงของความชื้น อัตราการอบแห้งลดลงในลักษณะเชิงเส้นตรงตามปริมาณความชื้นของ

วัสดุที่ลดลงเกือบตลอดช่วงของการอบแห้ง ยกเว้นในช่วงต้นของการอบแห้งด้วยไอน้ำ ซึ่งตรงกับช่วงความชื้นที่สูงกว่า ๑๖๐ (%d.b.) การเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งในช่วงความชื้นสูงดังกล่าวค่อนข้างไวต่อความชื้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากช่วงความชื้นดังกล่าวเป็นช่วงของระเหยความชื้นที่เกิดจากชั้นตัวอย่างดูดซับน้ำจากการควบแน่นของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ปริมาณน้ำที่ดูดซับโดยวัสดุนั้นส่วนใหญ่อยู่บริเวณผิวของวัสดุซึ่งกำจัดได้ง่าย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งกับความชื้นในช่วงดังกล่าวจึงไม่เป็นเชิงเส้นตรง

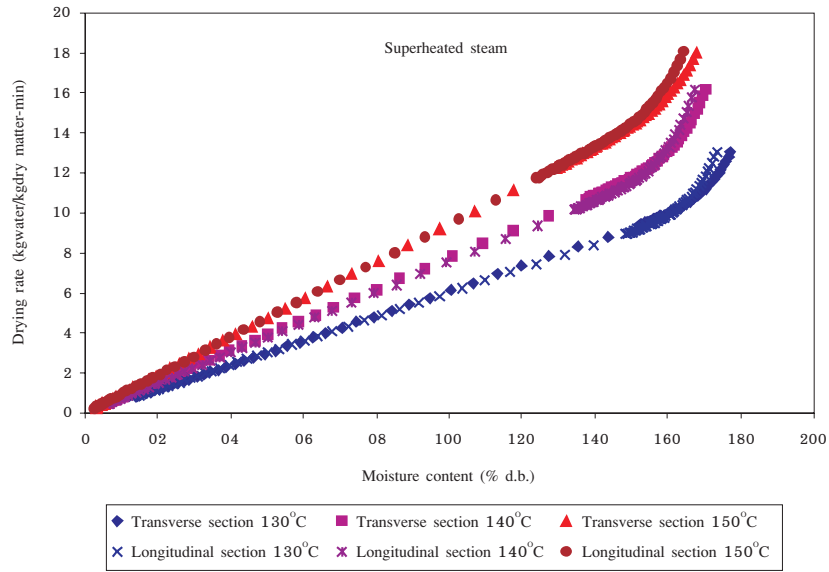


รูปที่ ๖ เปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งกับอุณหภูมิของเนื้อวุ้นที่ทำกรอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

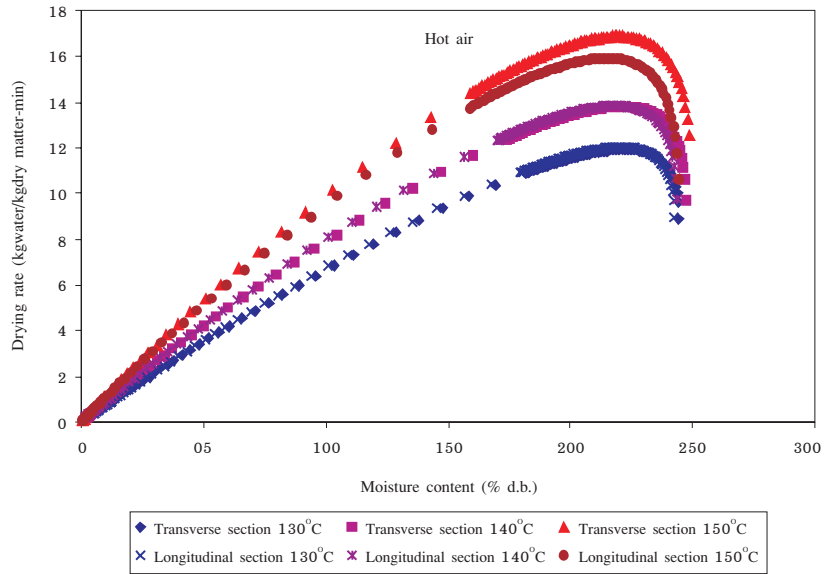


รูปที่ ๗ เปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งกับอุณหภูมิของเนื้อวุ้นที่ทำกรอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเส้นอัตราการอบแห้งกับความชื้นที่ได้จากการอบแห้งด้วยตัวกลางอบแห้งทั้งสองพบว่าลักษณะของเส้นกราฟของอัตราการอบแห้งสำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกัน ยกเว้นเฉพาะในช่วงแรกของการอบแห้ง ในกรณีของอากาศร้อนนั้นอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ช่วงที่เกิดขึ้นนี้สามารถเห็นได้ทั่วไปสำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของการอุณหภูมิจึงร้อนขึ้นและใช้เวลาประมาณ ๑ นาทีเศษ ดังนั้น อัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นนั้น เป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิของวัสดุที่สูงขึ้น นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว ในช่วงดังกล่าวความชื้นส่วนใหญ่อยู่ใกล้ผิวของวัสดุซึ่งกำจัดได้ง่ายสำหรับในกรณีของไอน้ำร้อนปรากฏว่า



รูปที่ ๘ เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ไม่รวมช่วงที่เกิดการควบแน่น)



รูปที่ ๙ เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ไม่พบช่วงของการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงของการอุ่นวัสดุนั้นสั้นมาก ทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นถึงจุดเดือดอย่างรวดเร็ว

รวดเร็ว

๓.๖ สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล

ผลการเปลี่ยนแปลงความ

ชื้นตามเวลาทั้งในกรณีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ดังแสดงในรูปที่ ๒ และรูปที่ ๓ ตามลำดับ และอัตราการอบแห้งของเนื้อวัว



ที่ความชื้นต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ๘ และ ๙ แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งอยู่ในช่วงของการอบแห้งลดลงเพียงอย่างเดียวและการอบแห้งในช่วงดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้ด้วยกฎข้อที่ ๒ ของ

ฟิค ในกรณีของการอบแห้งเนื้อวัวที่หั่นเป็นชั้นบาง ๆ นั้น การเคลื่อนที่ของความชื้นส่วนใหญ่เคลื่อนที่ตามความหนาของชั้นวัสดุ ดังนั้น เราสามารถประมาณได้ว่าการแพร่ของความชื้น

เกิดขึ้นในทิศทางเดียว สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความชื้นในกรณีนี้แสดงได้ด้วยสมการที่ (๓)^๖

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(2m+1)^2} \exp \left[-(2m+1)^2 \pi^2 \frac{Dt}{L^2} \right] \right) \quad (๓)$$

จากสมการดังกล่าว เราสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลได้เมื่อทราบอัตราส่วนความชื้นไ้หน่วยที่เวลาต่าง ๆ ภายใต้

เงื่อนไขของการอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่อันหนึ่ง จากผลการทดลองที่ได้เป็นที่ทราบดีว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการอบแห้งก็จะเร็วขึ้น ความสัมพันธ์

ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลสามารถอธิบายด้วยสมการของ Arrhenius คือ

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left(\frac{-E_a}{RT} \right) \quad (๔)$$

โดยที่ค่าคงตัว D_0 และ E_a สามารถทราบได้โดยการใช้เทคนิคของสมการถดถอยแบบเชิงเส้นในการประมาณค่าคงตัวดังกล่าว ค่าคงตัวต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองในกรณีต่าง ๆ แสดงในตารางที่ ๑ การที่ค่าของ R^2 เข้าใกล้หนึ่งและ SSE มีค่าน้อยแสดงให้เห็นว่าสมการของ Arrhenius สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัม-

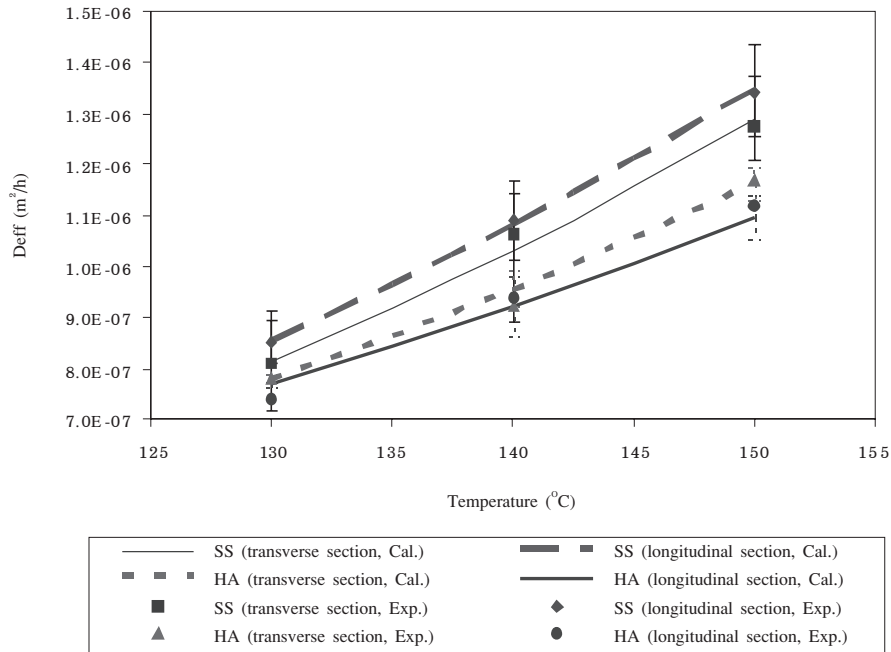
ประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลกับอุณหภูมิได้สอดคล้องกัน อนึ่งการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นภายในเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนี้ จะไม่รวมช่วงที่เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของเนื้อวัว

รูปที่ ๑๐ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลกับอุณหภูมิในการอบแห้ง พบ

ว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของความชื้นของเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าสูงกว่าที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนตลอดช่วงของอุณหภูมิการอบแห้งที่ศึกษา แม้ว่าเวลาในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยรวมจะน้อยกว่าเวลาในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะช่วงแรกของการระเหยความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่

ตารางที่ ๑ ค่าคงที่ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

ตัวกลางอบแห้ง	ลักษณะการหั่น	D_0 ($\times 10^{-3}$ m ² /h)	E_a (kJ/kmol)	R^2 (%)	SSE
ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง	ตัดขวางเส้นใย	13.74	32613.15	99.59	0.01
	ตัดตามเส้นใย	12.96	32260.58	99.69	0.0076
อากาศร้อน	ตัดขวางเส้นใย	3.78	28446.75	97.54	0.0634
	ตัดตามเส้นใย	1.38	25104.82	97.72	0.0584



รูปที่ ๑๐ เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงมีผลกระทบบ่อนข้างสูงต่อการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

๓.๗ คุณภาพด้านสี

จากการทดสอบคุณภาพด้านสี โดยสีเนื้อวัวเริ่มต้นก่อนการอบแห้งมีค่า L, a และ b คือ ๓๔.๔๓, ๙.๕๕ และ ๗.๙๗ ตามลำดับ สีของเนื้อวัวเริ่มต้นมีสีแดงสด เนื่องจากเม็ดสีที่อยู่ในกล้ามเนื้อคือ ไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บโมเลกุลออกซิเจนในเซลล์กล้ามเนื้อเพื่อใช้งานต่อไปตามกระบวนการเมแทบอลิซึม ไมโอโกลบินเป็นโปรตีนประเภท conjugated ประกอบไปด้วย ironporphyrin compound และฮีม (heme) อยู่ร่วมกันกับโปรตีนโกลบิน

โดยฮีมจะทำหน้าที่ในการยึดเกาะออกซิเจนในขณะที่โปรตีนโกลบินจะทำหน้าที่ห่อหุ้มและปกป้องฮีมไว้ แต่เมื่ออบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรืออากาศร้อนนั้น เนื้อวัวจะได้รับความร้อนจากตัวกลางดังกล่าว และความร้อนนี้เองจะทำให้โครงสร้างทางเคมีของเนื้อวัวเปลี่ยน Qxymyoglobin ซึ่งมี Fe²⁺ ในสีเนื้อมีสีแดงไปเป็น met-myoglobin ซึ่งมี Fe³⁺ ส่งผลให้สีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งมีความสว่างลดต่ำลงและมีสีเนื้อเป็นสีน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ ๒ จากข้อมูลที่แสดงในตารางพบว่าไม่ว่าจะอบแห้งเนื้อวัวด้วยวิธีใด สีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งมีสีใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะอบแห้งที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ โดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงคือ ΔL, Δa และ Δb ที่อุณหภูมิ

ต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่าค่า Δb ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลืองต่างกัน โดยการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่า Δb สูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่เล็กน้อย ขณะที่ค่า ΔL และค่า Δa ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการสังเกตด้วยสายตา พบว่าการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะได้เนื้อวัวหลังการอบแห้งที่มีสีสม่ำเสมอว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนซึ่งสามารถสังเกตได้จากการแสดงค่าของ L ที่ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L ในกรณีของไอน้ำร้อนน้อยกว่าในกรณีของอากาศร้อน



ตารางที่ ๒ การทดสอบคุณภาพด้านสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

ค่าสีเริ่มต้นของเนื้อวัวก่อนการอบแห้ง $L = 34.43 \pm 0.85$, $a = 9.55 \pm 1.08$ และ $b = 7.97 \pm 0.56$

	Color		
	ΔL	Δa	Δb
SS 130 °C ตัดขวางเส้นใย	10.51 ± 0.92^b	5.33 ± 0.68^{bcd}	1.97 ± 0.59^{ab}
SS 140 °C ตัดขวางเส้นใย	11.52 ± 0.76^{cd}	5.03 ± 0.83^{abc}	1.99 ± 0.74^{ab}
SS 150 °C ตัดขวางเส้นใย	11.56 ± 0.67^{cd}	5.05 ± 0.65^{abc}	1.67 ± 0.48^a
SS 130 °C ตัดตามเส้นใย	10.36 ± 0.94^b	5.55 ± 0.47^d	1.98 ± 0.51^{ab}
SS 140 °C ตัดตามเส้นใย	11.12 ± 1.01^{bcd}	5.41 ± 0.41^{cd}	2.08 ± 0.44^{bc}
SS 150 °C ตัดตามเส้นใย	11.22 ± 0.66^{bcd}	5.42 ± 0.39^{cd}	1.95 ± 0.49^{ab}
HA 130 °C ตัดขวางเส้นใย	10.50 ± 1.43^b	4.87 ± 0.66^a	2.77 ± 0.60^{de}
HA 140 °C ตัดขวางเส้นใย	10.74 ± 1.23^{bc}	5.14 ± 0.48^{abc}	2.82 ± 0.66^{def}
HA 150 °C ตัดขวางเส้นใย	10.89 ± 1.02^{bc}	4.95 ± 0.42^{ab}	2.63 ± 0.51^{de}
HA 130 °C ตัดตามเส้นใย	10.40 ± 2.11^b	5.19 ± 0.59^{abcd}	2.43 ± 0.78^{cd}
HA 140 °C ตัดตามเส้นใย	11.14 ± 2.12^{bcd}	5.09 ± 0.73^{abc}	2.75 ± 0.68^{de}
HA 150 °C ตัดตามเส้นใย	11.82 ± 0.77^d	5.56 ± 0.49^d	3.18 ± 0.78^f
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดขวางเส้นใย	9.41 ± 1.37^a	7.21 ± 0.86^e	2.97 ± 0.70^{ef}
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดตามเส้นใย	9.37 ± 1.23^a	7.60 ± 0.38^f	3.54 ± 0.37^g

อักษรเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อทำการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอน แล้วนำเนื้อวัวหลังการอบแห้งไปเปรียบเทียบกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรืออากาศร้อนเพียงอย่างเดียว จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าการอบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอนให้คุณภาพทางด้านสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรืออากาศร้อนเพียงอย่างเดียว ($p < 0.05$) เนื่องจากในการอบแห้ง

แบบ ๒ ขั้นตอนนั้นปฏิกิริยา sugar-amine browning ที่อุณหภูมิสูงยังเกิดขึ้นได้ไม่นาน และเมื่อนำเนื้อวัวไปอบแห้งต่อในขั้นตอนที่ ๒ ซึ่งเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นวิธีการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอน ให้เนื้อวัวหลังการอบแห้งมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว

๓.๘ การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัว

จากผลการทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ดังแสดงในตารางที่ ๓ ทำให้พบว่าผลของอุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งมีผลต่อการหดตัวเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งสูงกว่ามีแนวโน้มว่าเนื้อวัวจะหดตัวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ



เนื่องจากการอบแห้งเนื้อวัวที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเส้นใยย่อย (myofibrillar protein) คือโปรตีนแอกทินและไมโอซินเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติแล้วปรากฏว่าอุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งไม่มีผลต่อการหดตัวอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบการหดตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างลักษณะการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใยสามารถแบ่งได้เป็น ๒ อย่าง คือในกรณีอบแห้งด้วยอากาศร้อน การหั่นเนื้อวัวแบบตัดตามเส้นใยหดตัวมากกว่าการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งกลับพบว่า การหดตัวของชิ้นตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกันหันตามกับหันขวางเส้นใยกล้ามเนื้อ และเมื่อเปรียบเทียบการหด

ตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนภายใต้อุณหภูมิที่เดียวกัน พบว่าการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีการหดตัวมากกว่าการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อน เนื่องจากการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเกิดการแปรสภาพของคอลลาเจน (collagen) เป็นเจลาติน (gelatin) ในช่วงแรกของการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีลักษณะเป็นความร้อนเปียก (moist heat) อีกทั้งอุณหภูมิของเนื้อวัวยังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความชื้นที่อยู่ในเนื้อวัวก็ยังคงเหลืออยู่มาก ภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการละลายของคอลลาเจนและแปรสภาพเป็นเจลาติน โดยปรกติคอลลาเจนเริ่มเปลี่ยนสภาพที่อุณหภูมิของเนื้อวัวประมาณ ๖๐-๗๐ องศาเซลเซียส^{๑๔}

ดังนั้น ในการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งคาดว่าเหลือคอลลาเจนที่อยู่ในเนื้อวัวหลังจากการอบแห้งน้อยมาก ซึ่งต่างกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนที่เป็นความร้อนแห้ง (dry heat) จึงทำให้คอลลาเจนแปรสภาพเป็นเจลาตินได้ยาก จึงเป็นเหตุให้เนื้อวัวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนเหลือคอลลาเจนอยู่ในเนื้อวัวเป็นจำนวนมาก

เมื่อทำการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอน แล้วนำเนื้อวัวหลังการอบแห้งไปเปรียบเทียบกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่า ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอนเกิดการหดตัวน้อยกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว แต่เกิดการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ ๓ การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Drying process	% Shrinkage
SS 130 °C ตัดขวางเส้นใย	0.80 ± 0.42 ^{de}
SS 140 °C ตัดขวางเส้นใย	70.62 ± 0.19 ^d
SS 150 °C ตัดขวางเส้นใย	72.10 ± 1.06 ^{ef}
SS 130 °C ตัดตามเส้นใย	71.76 ± 0.99 ^{de}
SS 140 °C ตัดตามเส้นใย	71.96 ± 0.71 ^{de}
SS 150 °C ตัดตามเส้นใย	73.38 ± 0.65 ^f
HA 130 °C ตัดขวางเส้นใย	63.58 ± 1.51 ^a
HA 140 °C ตัดขวางเส้นใย	64.07 ± 2.08 ^a
HA 150 °C ตัดขวางเส้นใย	64.32 ± 1.57 ^a



ตารางที่ ๓ การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Drying process	% Shrinkage
HA 130 °C ตัดตามเส้นใย	66.20 ± 1.43 ^b
HA 140 °C ตัดตามเส้นใย	66.39 ± 0.57 ^b
HA 150 °C ตัดตามเส้นใย	66.78 ± 0.36 ^b
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดขวางเส้นใย	68.64 ± 1.25 ^c
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดตามเส้นใย	70.61 ± 1.40 ^d

อักขระเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

๓.๙ การทดสอบคุณภาพด้านการคินตัว

ตารางที่ ๔ แสดงผลการทดสอบคุณภาพด้านการคินตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน จากการทดลองพบว่าผลของอุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้งมีผลต่อค่าการคินตัวของเนื้อวัวเพียงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งต่ำ ขึ้นตัวอย่างสามารถคินตัวได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเปรียบเทียบค่าการคินตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างลักษณะการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใย พบว่าเนื้อวัวที่มีการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยและผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการคินตัวมากกว่าการหั่นแบบตัดตามเส้นใย ในทางตรงกันข้าม ขึ้นเนื้อวัวที่ตัดขวางเส้นใยและอบแห้งด้วยอากาศร้อนสามารถคินตัวได้มากกว่าแบบตัดตามเส้นใยที่ทุก ๆ อุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม

เมื่อนำค่าการคินตัวที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าลักษณะการหั่นเนื้อวัวของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนไม่มีความแตกต่างของค่าการคินตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ($p < 0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าการคินตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการคินตัวใกล้เคียงกันกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อน

เมื่อทำการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอน แล้วนำเนื้อวัวหลังการอบแห้งไปทดสอบค่าการคินตัวโดยเปรียบเทียบกับค่าการคินตัวของเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่าขึ้นเนื้อวัวที่ผ่านการอบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอน มีค่าการคินตัวสูงกว่าค่าการคินตัวของเนื้อ

วัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเนื่องจากการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอนนั้น โปรตีนต่าง ๆ จะเสียสภาน้อยกว่า จึงอาจจะทำให้โปรตีนสามารถดึงโมเลกุลของน้ำกลับเข้าไปในเนื้อวัวได้มากขึ้น ซึ่งต่างกับเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว ที่โปรตีนต่าง ๆ เสียสภาวะไปมาก เนื่องจากอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน

๓.๑๐ การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

จากผลการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ดังแสดงในตารางที่ ๕ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำจะให้เนื้อวัวหลังการอบแห้งจะมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติแล้วปรากฏว่า อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งนั้น ไม่ทำให้ค่าความแข็งของเนื้อวัวหลังการอบแห้งมี



ตารางที่ ๔ การทดสอบการคืนตัวของเนื้อวัว ที่ผ่านการอบแห้งเงื่อนไขต่าง ๆ

Drying process	% Rehydration
SS 130 °C ตัดขวางเส้นใย	59.11 ± 1.96 ^{fg}
SS 140 °C ตัดขวางเส้นใย	58.09 ± 2.82 ^{efg}
SS 150 °C ตัดขวางเส้นใย	55.56 ± 0.71 ^{cdef}
SS 130 °C ตัดตามเส้นใย	51.71 ± 0.23 ^{abc}
SS 140 °C ตัดตามเส้นใย	51.15 ± 0.71 ^{ab}
SS 150 °C ตัดตามเส้นใย	47.78 ± 0.67 ^a
HA 130 °C ตัดขวางเส้นใย	60.70 ± 2.85 ^g
HA 140 °C ตัดขวางเส้นใย	56.56 ± 3.22 ^{def}
HA 150 °C ตัดขวางเส้นใย	53.76 ± 1.71 ^{bcd}
HA 130 °C ตัดตามเส้นใย	54.10 ± 2.85 ^{bcde}
HA 140 °C ตัดตามเส้นใย	52.75 ± 2.08 ^{bcd}
HA 150 °C ตัดตามเส้นใย	51.52 ± 0.52 ^{abc}
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดขวางเส้นใย	73.17 ± 1.07 ⁱ
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดตามเส้นใย	65.56 ± 0.96 ^h

อักษรเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยกับตัดตามเส้นใย พบว่าการหั่นแบบตัดตามเส้นใยมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าการหั่นแบบตัดขวางเส้นใยอย่างมาก เนื่องจากเมื่อหั่นจากเครื่องทดสอบกดลงบนเนื้อวัวหลังการอบแห้งแบบตัดตามเส้นใย ชิ้นเนื้อวัวจะแตกออกจากกันเป็น ๒ ชิ้นส่วนตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นจุดที่แตกง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโครงสร้างน้อย จึงทำให้ค่าความ

แข็งที่ได้มีค่าน้อยกว่าเนื้อวัวหลังการอบแห้งแบบตัดขวางเส้นใย เนื้อวัวแบบตัดขวางเส้นใยนี้ จะแตกออกจากกันได้เพราะความเค้นอัด (compressive stress) และแตกออกในลักษณะสุม จึงทำให้ค่าความแข็งที่ได้มีค่ามาก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเนื้อวัวหลังการอบแห้งระหว่างเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับที่อบด้วยอากาศร้อน พบว่าเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีแนวโน้มว่าจะมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วย

ไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นอุณหภูมิของเนื้อวัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในขณะนั้นความชื้นที่อยู่ในเนื้อวัวก็ยังคงเหลืออยู่มาก ภาวะดังกล่าวเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการละลายของคอลลาเจนและโปรตีนสภาพเป็นเจลาติน ดังนั้น ในการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งคาดว่าเหลือคอลลาเจนที่อยู่ในเนื้อวัวหลังจากการอบแห้งน้อยมาก ซึ่งต่างกับการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อนที่เป็นความร้อนแห้ง จึงทำให้คอลลาเจนโปรตีนสภาพเป็นเจลาตินได้ยาก และเป็นที่เหตุให้เนื้อวัวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน



เหลือคอลลาเจนอยู่ในเนื้อวัวเป็นจำนวนมาก ทำให้เนื้อวัวมีค่าความแข็งมากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่าความแข็งที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อทำการอบแห้งเนื้อวัวแบบ ๒ ขั้นตอน แล้วนำเนื้อวัวหลังการอบแห้งไปทดสอบค่าความแข็งเปรียบเทียบกับเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งเพียงอย่างเดียว พบว่าเนื้อวัวที่อบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอนจะมีความแข็งน้อยกว่าเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งเพียงอย่างเดียว

๕. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ ๑๓๐, ๑๔๐ และ ๑๕๐ องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ขณะที่คุณภาพด้านสีโดยวัดการเปลี่ยนแปลงสีของตัวแปร L, a และ b การหดตัว และความแข็ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งและอากาศร้อนแบบชนิดของตัวกลางในการอบแห้ง พบว่าสัมประ-

สิทธิ์การแพร่ของเนื้อวัวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งจะมีค่าสูงกว่ากรณีอบแห้งด้วยอากาศร้อน และสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งมีความสม่ำเสมอกว่า การหดตัวมากกว่า ส่วนการคืนตัวและความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาการเรียงของเส้นใยกล้ามเนื้อ พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการแพร่ของน้ำ ไม่ว่าจะอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งหรืออากาศร้อน และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านต่าง ๆ พบว่าการเรียงของเส้นใยกล้ามเนื้อให้คุณภาพ

ตารางที่ ๕ การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวหลังการอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Drying process	Hardness (N)
SS 130 °C ตัดขวางเส้นใย	59.62 ± 17.24 ^{cd}
SS 140 °C ตัดขวางเส้นใย	59.57 ± 14.90 ^{cd}
SS 150 °C ตัดขวางเส้นใย	67.65 ± 12.82 ^d
SS 130 °C ตัดตามเส้นใย	27.09 ± 5.96 ^a
SS 140 °C ตัดตามเส้นใย	31.54 ± 9.96 ^a
SS 150 °C ตัดตามเส้นใย	36.45 ± 10.53 ^{ab}
HA 130 °C ตัดขวางเส้นใย	47.85 ± 12.15 ^{bc}
HA 140 °C ตัดขวางเส้นใย	48.67 ± 14.12 ^{bc}
HA 150 °C ตัดขวางเส้นใย	47.82 ± 9.72 ^{bc}
HA 130 °C ตัดตามเส้นใย	37.94 ± 14.58 ^{ab}
HA 140 °C ตัดตามเส้นใย	38.41 ± 18.27 ^{ab}
HA 150 °C ตัดตามเส้นใย	45.71 ± 14.96 ^b
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดขวางเส้นใย	31.53 ± 13.17 ^a
SS 140 °C (43% d.b.) + HA 60 °C ตัดตามเส้นใย	25.74 ± 5.44 ^a

อักษรเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



สีแตกต่างกันเล็กน้อย เนื้อวุ้นแบบตัดขวางเส้นใยมีความแข็งแรงมากกว่าและหดตัวน้อยกว่าแบบตัดตามเส้นใยอยู่เล็กน้อย เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว การอบแห้งแบบ ๒ ขั้นตอน ทำให้สีที่ได้ของเนื้อวุ้นอบแห้งเป็นสีน้ำตาลอ่อนกว่า การคั้นตัวสูงขึ้นขณะที่ความแข็งของชิ้นเนื้อลดลง

๕. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

๑. Mujumdar, AS. Superheated steam drying, Handbook of Industrial Drying; Pub. Marcel Dekker Inc., New York, 1995.
๒. Li, YB, Seyed-Yagoobi, J, Moreira, RG, Yamsaengsung, R. Superheated steam impingement drying of tortilla chips. *Drying Technology*, 1999; 17(1&2): 191-213.
๓. Tang, Z, Cenkowski, S. Dehydration dynamics of potatoes in superheated steam and hot air. *Canadian Agricultural Engineering*, 2000; 42(1): 6.1-6.13.
๔. Moreira, RG. Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 2001; 49(4): 291-295.
๕. Iyota, N, Nishimura, N, Onuma, T, Nomura, T. Drying of sliced raw potatoes in superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 2001; 19(7): 1411-1424.
๖. Caixeta, AT, Moreira, R, Castell-Perez, ME. Impingement drying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 2002; 25: 63-90.
๗. Rordprapat, W, Nathakaranakule, A, Tia, W, Soponronnarit, S. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 2005; 71(1): 28-36.
๘. Prachayawarakorn, S, Soponronnarit, S, Wetchakama, S, Jaisut, D. Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 2002; 20(3): 669-684.
๙. Uengkimbuan, N, Soponronnarit, S, Prachayawarakorn, S, Nathakaranakule, A. Drying kinetic and physical properties of dried pork using two-stage techniques, *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*, Jan 11-13, 2005; Bangkok, Thailand: 320-328.
๑๐. Maskan, M. Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying, *Journal of Food Engineering*, 2001; 48: 177-182.
๑๑. Taechapairoj, C, Dhuchakallaya, I, Soponronnarit, S, Watchcama, S, Prachayawarakorn, S. Superheated Steam Fluidised Bed Paddy Drying, *Journal of Food Engineering*, 2003; 58: 67-73.
๑๒. Taechapairoj, C, Prachayawarakorn, S, Soponronnarit, S. Characteristic of Rice Dried in Superheated-Steam Fluidized-Bed, *Drying Technology*, 2004; 22(4): 719-743.
๑๓. สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, อธิคม จิรจินดาเลิศ, อติศักดิ์ นาถกรณกุล, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, การผลิตข้าวกล้องนึ่งด้วยเทคนิค ฟลูอิดิเซชันโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, *วารสารราชบัณฑิตยสถาน*, ๒๕๔๘; ๓๐(๑): ๗๖-๘๑.
๑๔. Faustman, C. Postmortem Changes in Muscle Foods, In: *Muscle Foods Meat Poultry and Seafood Technology*, Kinsman, DM, Kotula, AW, Breidenstein, BC, eds., Chapman & Hall, New York, USA, 1994: 63-78.
๑๕. Tang, Z, Cenkowski, S, Izydorczyk, M. Thin-layer Drying of Spent Grains in Superheated Steam, *Journal of Food Engineering*, 2004; 67: 457-465.
๑๖. Crank, J. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., J. W. Arrowsmith LTD. Bristol, England, 1975; 44-68.

**Abstract** **Effects of drying medium on drying kinetics and beef quality***Chaiyong Taechapairoj**Siriwat Sinprasert**Somkiat Prachayawarakorn**Somchart Soponronnarit**Fellow of the Academy of Science, The Royal Institute, Thailand*

Drying method greatly affects drying kinetics and food quality. To obtain desired quality of meat products for serving as snack food, single-stage drying using superheated steam and hot air as well as two-stage drying were selected to investigate their effects on drying kinetics and quality attributes of beef sliced along the longitudinal and transverse directions of muscle fiber. The experiments were set up at drying temperatures of 130-150°C. The samples with the initial moisture contents of 245-255% d.b. were dried until the moisture content of 11% d.b. was reached. The experimental results showed that an increase in drying temperature significantly reduced drying time. However, qualities in terms of color (L, a, b-values), shrinkage, rehydration and hardness were not significantly different amongst drying temperatures ($p > 0.05$). The effective diffusion coefficient of the meat dried by superheated steam was higher than that dried by hot air. The final product obtained from superheated steam drying had more uniform-color and higher degree of shrinkage than that obtained from hot air drying. The muscle fibre orientation had little effect on drying rate and product color. The meat sliced in the transverse direction had lower degree of shrinkage but higher degree of hardness than longitudinal one. The two-stage drying provided the meat product with a light brown color, a higher rehydration capacity, but a lower value of hardness as compared to single drying stage.

Key words : hardness, quality, shrinkage, superheated steam, texture, transverse