

เครื่องอบแห้งลำไยเฉพาะเนื้อโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ Low-pressure superheated steam longan flesh dryer

อารีย์ อัจฉริยวิริยะ^{1, 2}, กอดขวัญ นามสงวน^{1, 2*} และ ศิวัช อัจฉริยวิริยะ^{1, 2}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400

*ติดต่อ: E-mail: kodkwan_n@yahoo.com, เบอร์โทรศัพท์: 053944146, เบอร์โทรสาร: 053944145

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ ศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำสุดได้ 50°C และความดันต่ำสุด 10 kPa เครื่องอบแห้งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ห้องอบแห้งรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ความยาว 40 cm เครื่องกำเนิดไอน้ำ ปั๊มสุญญากาศซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมให้สภาวะภายในห้องอบแห้งมีสภาพเป็นสุญญากาศ อุปกรณ์ให้ความร้อนขนาด 2 kW และพัดลมสำหรับกระจายไอน้ำภายในห้องอบแห้ง จากการทดลองอบแห้งลำไยด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายใต้ความดัน 10 kPa และ 15 kPa ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90°C ตัวอย่างที่นำมาอบมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 425-470% มาตรฐานแห้ง อบจนถึงความชื้นสุดท้าย 22% มาตรฐานแห้ง พบว่า อุณหภูมิและความดันของไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำมีผลให้คุณภาพสีดีขึ้นและส่งผลให้การหดตัวลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความดันต่ำมีผลให้เวลาการอบแห้งลดลง

คำหลัก: การทอดตัว; ลำไย; สี; ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ

Abstract

The objectives of this research are to investigate the drying process using a low pressure superheated steam and to study the effects of temperature and pressure on drying time and product quality for drying longan flesh. The drying product quality can be improved by using the low-pressure superheated steam dryer. The lower limit of superheated steam temperature and pressure are 50°C and 10 kPa, respectively. The dryer mainly consists of a cylindrical drying chamber with dimensions of 40 cm long and 30 cm in diameter, a boiler, a 2 kW electric heater, a vacuum pump which was used to maintain vacuum in the drying chamber, and an electric fan which was used to disperse the steam throughout the drying chamber. In experiments, the drying of longan was carried out at the drying temperatures of 70, 80 and 90°C and absolute pressures of 10 kPa and 15 kPa. Each experiment, peeled longan with the initial moisture content of 425 - 470%d.b. was dried to the final moisture

content of about 22% d.b. The results show that the drying temperature and drying pressure had effects on drying time and product quality. Namely, lower temperature and lower pressure resulted in better color, and reduced the shrinkage of the product. In addition, it was found that lower pressure reduced the drying time.

Keywords: color; longan; low-pressure superheated steam drying; shrinkage.

1. บทนำ

การอบแห้งลำไยเป็นกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่า ปัจจุบันในอุตสาหกรรมนิยมใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนมักมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้นค่อนข้างมาก เช่น สี เนื้อสัมผัส การหดตัว (การเสียรูป) และคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งยังใช้เวลาอบแห้งค่อนข้างมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานส่งผลให้ประสิทธิภาพการอบแห้งต่ำ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เป็นเทคนิคที่ประสบความสำเร็จสูงในการอบแห้ง เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นสูง และยังสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้สีคล้ำ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง คือ สีดีขึ้น การหดตัวน้อยเนื่องจากเกิดรูพรุนขนาดใหญ่จากการที่น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการเดือด และระเหยออกจากภายในวัสดุอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้สามารถคืนกลับสภาพเดิมเมื่อเติมน้ำได้เร็ว อันเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะพรุน และยังสามารถลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไอน้ำที่ได้จากการอบแห้งกลับมาใช้ได้ อีก เป็นการลดการสูญเสียพลังงานอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด โดยเฉพาะผักและผลไม้ซึ่งเป็นวัสดุที่ไวต่อความร้อน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่

อุณหภูมิสูง (สูงกว่าอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันนั้นๆ)

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ เป็นกระบวนการที่รวมเอาข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ ความสามารถในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เข้ากับข้อดีของการอบแห้งแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นเทคนิคที่ให้อัตราการอบแห้งสูง และยังสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้สีคล้ำ [1] ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง คือ สีดีขึ้น การหดตัวน้อยเนื่องจากเกิดรูพรุนขนาดใหญ่จากการที่น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการเดือดและระเหยออกจากภายในวัสดุอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้สามารถคืนกลับสภาพเดิมเมื่อเติมน้ำได้เร็ว อันเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะพรุน [2 - 4] และยังสามารถลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินต่างๆ นอกจากนี้ ด้านการใช้พลังงาน พบว่าเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลาอบแห้งสั้นลง อีกทั้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ผ่านห้องอบแห้งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบ ส่วนไอน้ำที่ระเหยจากวัสดุยังมีความร้อนอยู่ คือ ความร้อนแฝงที่เกิดจากการระเหย สามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบได้ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันบรรยากาศ สามารถอบแห้งได้ดีกับผลิตภัณฑ์หลายชนิด ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ เมล็ดพืช เช่น ทูเรียน มันฝรั่ง หน่อไม้ฝรั่ง แครอท เมล็ดกาแฟ เมล็ดข้าวโพด ข้าว ข้าวสาลี ผลิตภัณฑ์จากแป้ง เช่น ขนมขบเคี้ยว เส้นอูด้ง และเนื้อสัตว์ เช่น กุ้ง เนื้อหมู เนื้อไก่ อย่างไรก็ตาม การอบแห้งดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับลำไย เช่นการอบแห้ง

ลำไยทั้งลูกจะทำให้เปลือกแตก เนื่องจากความดันที่เกิดจากน้ำที่เดือดภายในวัสดุ จากการทดลองอบแห้งลำไยเฉพาะเนื้อด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 120-160°C พบว่าใช้เวลาอบแห้งสั้นมาก (0.5 - 2 h) แต่คุณภาพสีไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากเกิดการไหม้จากปฏิกิริยา Millard เพราะในเนื้อลำไยมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบจำนวนมาก [5] จากผลการทดลองพบว่า เนื้อลำไยจะเริ่มไหม้เมื่ออุณหภูมิของเนื้อลำไยถึงค่า 100°C เมื่ออบแห้งนานขึ้นพบว่าเนื้อแข็งและบิดเบี้ยว การอบแห้งลำไยด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยลมร้อนจึงถูกพัฒนา เพื่อลดการสูญเสียคุณภาพเนื่องจากการใช้ความร้อนสูงตลอดทั้งช่วงของการอบแห้ง โดยทำการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งก่อนที่อุณหภูมิของเนื้อลำไยจะถึง 100°C ไปอบแห้งต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-70°C พบว่าการอบแห้งแบบสองขั้นตอนนี้ ใช้เวลาอบแห้ง 13-18 h และคุณภาพด้านต่าง ๆ คือ สี การหดตัว การคืนตัวและวิตามินซีดีกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว โดยสีของเนื้อลำไยที่ดีที่สุดที่ได้คือ สีส้มทอง (golden orange) [5] โดยช่วงเปลี่ยนขั้นตอนพบว่าสีของเนื้อลำไยยังใสอยู่และจะเริ่มเข้มขึ้นเมื่ออบแห้งต่อด้วยลมร้อน แสดงว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีศักยภาพในการทำให้เนื้อลำไยเป็นสีทองและไม่คล้ำหากใช้อุณหภูมิลดลงคาดว่าความเข้มของสีจะลดลงจนเป็นสีเหลืองทองได้

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับวัสดุที่สูญเสียคุณภาพง่ายเมื่ออุณหภูมิสูง เพราะสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำได้โดยอัตราการอบแห้งเร็ว คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกด้าน เช่น สี โครงสร้าง เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารดีกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันบรรยากาศ เนื่องจากกลไกการอบแห้งเหมือนกัน แต่อุณหภูมิต่ำลง การลดความดันทำได้โดยติดตั้งปั๊มสุญญากาศที่ห้องอบแห้ง ซึ่งต้องออกแบบระบบให้ดีไม่มีรอยรั่ว มิฉะนั้นจะไม่สามารถลดความดันได้ Elustondo (2001) [6] ได้ทดลองอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ได้แก่ กล้วย แอปเปิ้ล มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ไม้ และกุ้ง โดยใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ในช่วง 0.1 – 0.2 บรรยากาศ (boiling point 45 – 60°C) และอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่าจุดเดือดที่ช่วง 60 – 90°C พบว่าสามารถอบแห้งได้ดี การหดตัวของผลิตภัณฑ์น้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายใต้ความดันต่ำโดยมุ่งหวังที่จะพัฒนาการอบแห้งเพื่อลดเวลาการอบแห้งพร้อมกับให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

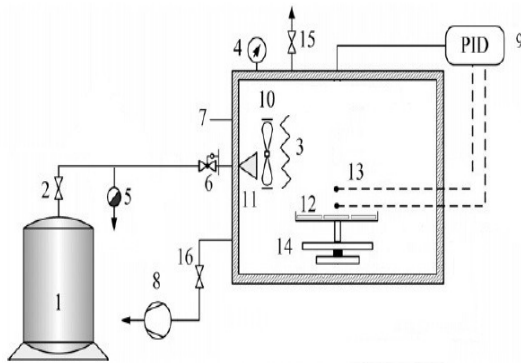
2. วัสดุและวิธีการ

2.1 เครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ

เครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายใต้ความดันต่ำมีส่วนประกอบและหลักการทำงาน แสดงดังรูปที่ 1 หมายเลข 7 ห้องอบแห้งรูปทรงกระบอก (drying chamber) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ความยาว 40 cm ทำด้วยสแตนเลสที่ติดฉนวนกันความร้อน หมายเลข 1 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (boiler) หมายเลข 8 ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมให้สภาวะภายในห้องอบแห้ง มีสภาพเป็นสุญญากาศ หมายเลข 3 คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน (electric heater) ขนาด 2 kW หมายเลข 9 เครื่องควบคุมแบบ PID ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ หมายเลข 10 พัดลมไฟฟ้า (electric fan) ขนาด 180 W เป็นตัวที่ทำให้ไอน้ำกระจายทั่วห้องอบแห้ง หมายเลข 11 ช่องทางเข้าไอน้ำ (steam inlet) และตัวกระจายไอน้ำ (distributor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ไอน้ำมีลักษณะเหมือนกรวยกระจายทั่วห้องอบแห้ง หมายเลข 12 ถาดรับตัวอย่าง (sample holder) ทำด้วยสแตนเลส หมายเลข 14 โหลดเซลล์ (load cell) ทำหน้าที่วัดน้ำหนักของตัวอย่าง อุณหภูมิของไอน้ำและตัวอย่างจะถูกวัดโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งคือ รับไอน้ำมาจากหม้อไอน้ำ ซึ่งเป็นหม้อต้มน้ำขนาดเล็กที่ใช้อยู่ใน

ห้องปฏิบัติการ ไอน้ำที่ได้เป็นไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันบรรยากาศ เมื่อถึงเวลาจะใช้งาน ไอน้ำจะถูกปล่อยเข้าสู่ห้องอบแห้งซึ่งอยู่ในสภาวะสุญญากาศอย่างช้าๆโดยปั๊มสุญญากาศจะทำงานเพื่อลดความดันภายในห้องอบแห้งภายในห้องอบแห้งจะมีอุปกรณ์ให้ความร้อนติดตั้งอยู่เพื่อให้ความร้อนแก่ไอน้ำ โดยไอน้ำอิ่มตัวจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งได้ และมีพัดลมเป็นอุปกรณ์ช่วยในการกระจายไอน้ำให้สม่ำเสมอในห้องอบแห้ง



รูปที่ 1 ระบบเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายใต้ความดันต่ำ : (1) boiler; (2) steam valve; (3) electric heater; (4) pressure gage; (5) steam trap; (6) steam regulator; (7) drying chamber; (8) vacuum pump; (9) PID controller; (10) electric fan; (11) steam inlet and distributor; (12) sample holder; (13) Thermocouples ; (14) load cell; (15) vacuum break up valve; (16) solenoid valve.

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำลำไยพันธุ์ตอมาทำการเด็ดขั้ว แล้วคัดขนาดให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร ทำการเจาะนำเมล็ดออกแล้วจึงปลอกเปลือกออก จากนั้นนำเนื้อลำไยมาวางบนตะแกรงเพื่อนำเข้าห้องอบแห้ง โดยความชื้นเริ่มต้นของลำไยสดอยู่ในช่วงประมาณ 425 – 470% d.b.

2.3 การทดลองอบแห้งลำไยเฉพาะเนื้อ

นำเนื้อลำไยที่วางบนตะแกรงประมาณ 25 ลูกทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบแห้ง แล้วนำเข้าห้องอบแห้งทำการเดินเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำที่อุณหภูมิคงที่ 70°C 80°C และ 90°C และความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 10 kPa และ 15 kPa โดยขณะทำการทดลองจะทำการบันทึกเวลาการอบแห้ง น้ำหนักลำไย อุณหภูมิลำไย อุณหภูมิห้องอบแห้ง ทำการอบแห้งจนถึงความชื้นสุดท้าย ประมาณ 22% d.b. จากนั้นนำตัวอย่างลำไยที่อบแห้งไปหาลำไยแห้ง โดยอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.4 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การทดสอบคุณภาพในด้านสีของผลิตภัณฑ์ใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Miniscan XE Plus ซึ่งค่าสีที่วัดได้แสดงด้วยค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) ในระบบ CIE LAB โดยจะทำการวัดสีของวัสดุก่อนการอบแห้ง และหลังการอบแห้ง ในการวัดค่าสีของวัสดุอบแห้งแต่ละสภาวะการอบแห้ง จะทำการวัดจำนวน 5 ชิ้น ทำการวัด 2 ด้าน ด้านละ 4 จุด จุดละ 4 ซ้ำ

การทดสอบคุณภาพในด้านการหดตัว จะใช้วิธีวัดขนาดของตัวอย่างวัสดุอบแห้งโดยใช้เวอร์เนีย แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{Z_o - Z_f}{Z_o} \times 100 \quad (1)$$

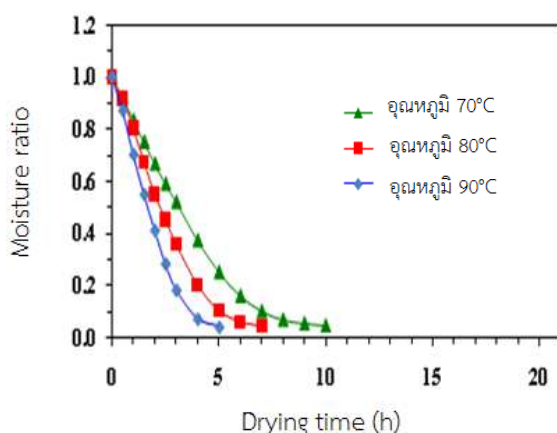
โดยที่ Z_o และ Z_f คือ ขนาดของวัสดุก่อนและหลังการอบแห้ง ตามลำดับ ในแต่ละสภาวะการอบแห้ง ทำการวัดการหดตัวจำนวน 10 ตัวอย่าง โดยทำ 2 ซ้ำ

3. ผลและวิจารณ์

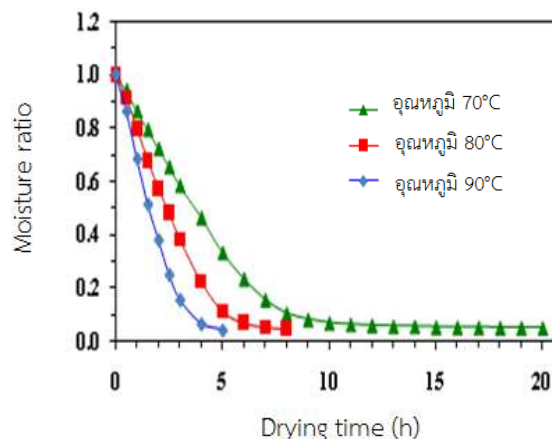
3.1 ผลการทดลองหาเวลาการอบแห้ง

ผลการทดลองการลดลงของความชื้นของลำไยได้ผลตามรูปที่ 2 – 3 พบว่าอุณหภูมิและความดันมีผลต่อเวลาการอบแห้งโดยที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำจะทำให้ความชื้นมีการลดลงเร็วเป็นผลให้อัตราการอบแห้งสูงและใช้เวลาการอบแห้งน้อยลง

เมื่อพิจารณาความชื้นของแต่ละอุณหภูมิ พบว่า การอบแห้งลำไยด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดัน 10 kPa อุณหภูมิอบแห้ง 70, 80 และ 90°C ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 425 – 470% มาตรฐานแห้ง จนถึงความชื้นสุดท้าย 22% มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาประมาณ 9.7, 7 และ 4.6 ชั่วโมง ตามลำดับ และที่ความดัน 15 kPa ใช้เวลาประมาณ 20, 7.5 และ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70, 80 และ 90°C ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งใดๆ เวลาการอบแห้งมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากความดันที่สูงขึ้นทำให้จุดเดือดของน้ำสูงขึ้นจึงส่งผลให้น้ำในวัสดุระเหยได้ยากขึ้น



รูปที่ 2 การลดลงของความชื้นลำไยกับเวลาการอบแห้ง ที่ได้จากการทดลองอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90°C ที่ความดัน 10 kPa



รูปที่ 3 ความชื้นลำไยกับเวลาการอบแห้ง ที่ได้จากการทดลองอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90°C ความดัน 15 kPa

3.2 ผลการทดลองวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์

การวัดค่าสีของเนื้อลำไยได้ผลตามตารางที่ 1 จากการนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิและความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อค่าสี (a^* , b^* และ L^*) ค่าความเป็นสีแดงมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนผลของความดันพบว่าค่าความเป็นสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลืองของลำไยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่างพบว่าค่าความสว่างลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนผลของความดันต่อค่าความสว่างพบว่า ค่าความสว่างมีแนวโน้มไม่แน่นอนเมื่อความดันเปลี่ยนไป

จากการพิจารณาค่าสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า ค่าสีจะดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงเนื่องจากช่วยลดปฏิกิริยา Millard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้มาจากเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยานี้ คืออุณหภูมิและเวลาที่วัสดุสัมผัสกับความร้อน [4, 7] ปฏิกิริยา Millard จะเกิดมากเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง ส่วนผลของความดันพบว่าค่าสีจะดีขึ้นเมื่อความดันของไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดลงเนื่องจากใช้เวลาดลลงเมื่อพิจารณาค่าสีของผลิตภัณฑ์ด้วยสายตา พบว่า การ

อบแห้งที่ 70°C, 10 kPa และ 80°C, 10 kPa ให้สีที่มืดมากที่สุดตามจุดประสงค์ของวิจัย คือ ได้สีของลำไยอบแห้งเป็นสีเหลืองทอง โดยกรณีแรกให้ให้สีที่ดื่ที่สุด กรณีหลังสีจะจางกว่าเล็กน้อย ส่วนการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ ผลิตภัณฑ์จะมีสีส้มเข้ม โดยจะเข้มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1. ผลการวัดค่าสีของเนื้อลำไยหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ

เงื่อนไขการอบแห้ง		พารามิเตอร์ของสี		
อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	a^*	b^*	L^*
70	10	5.69±1.51 ^b	22.83±2.63 ^b	42.42±3.91 ^e
80	10	5.08±1.89 ^a	21.77±3.42 ^a	41.40 ± 2.85 ^d
90	10	6.62±4.27 ^c	23.14±4.54 ^b	43.14 ± 4.10 ^f
70	15	10.65±2.30 ^f	22.89±2.76 ^b	33.44 ± 4.04 ^a
80	15	8.54±2.04 ^d	24.38±4.36 ^c	39.04 ± 3.98 ^c
90	15	9.35±2.67 ^e	27.58±4.92 ^d	37.01 ± 5.29 ^b

a - f ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3.3 ผลการทดลองวัดค่าการหดตัวของผลิตภัณฑ์

ผลการทดลองวัดการหดตัวได้ผลตามตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ที่ความดัน 15 kPa ผลของอุณหภูมิต่อการหดตัวมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับที่ความดัน 10 kPa ยกเว้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และความดัน 15 kPa ซึ่งพบว่าให้ค่าการหดตัวมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลาการอบแห้งนานมากคือประมาณ 20 ชั่วโมง ส่งผลให้การหดตัวมากขึ้นได้ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าความดันมีผลต่อการหดตัวโดยการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อความดันสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่ความดันสูงขึ้นทำให้เวลาการอบแห้งนานขึ้น ส่งผลให้การหดตัวน้อยลง จากการทดลองพบว่า การอบแห้งลำไยที่อุณหภูมิ 70°C และความดัน 10 kPa เป็นสภาวะที่ให้ค่าการหดตัวน้อยที่สุด

ตารางที่ 2. ผลการวัดการหดตัวของลำไยหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ

เงื่อนไขการอบแห้ง		การหดตัว (%)
อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	
70	10	73.68 ± 5.22 ^a
80	10	76.13 ± 6.53 ^{a,b}
90	10	76.14 ± 4.41 ^{a,b}
70	15	83.76 ± 2.76 ^c
80	15	79.17 ± 3.92 ^{b,c}
90	15	81.64 ± 4.64 ^c

a,b,c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4. สรุป

เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งลำไยด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายใต้ความดันต่ำได้ผลดี นอกจากนี้ยังสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นเพื่อพัฒนาคุณภาพได้ โดยเครื่องสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำสุด 50°C และความดันต่ำสุด 10 kPa อุณหภูมิและความดันของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีผลต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของลำไย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและขอขอบพระคุณสถาบันวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวสนับสนุนเครื่องมือวัด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] Li, Y.B., J. Seyed-Yagoobi, R.G. Moreira and R. Yamsaengsung. 1999. Superheated



steam impingement drying of tortilla chips. *Drying Technology*, 17(1 &2), pp. 191-213.

[3] Iyota, H., N. Nishimura, T. Onuma and T. Nomura. 2001. Drying of sliced raw potatoes in superheated steam and hot air. *Drying Technology*. 19(7): 1411-1424.

[4] Jamradloedluk, J., Nathkaranakule, A., Soponronnarit, S. and 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.

[5] Somjai, T., Achariyaviriya, A., Achariyaviriya, S., and Namsanguan, K. 2009. Strategy for Longan Drying in Two-Stage

Superheated Steam and Hot Air. *Journal of Food Engineering*. 95, 313 - 321.

[6] Elustondo, D., Elustondo, M.P., and Uribicain, M.J. 2001. Mathematical Modeling of Moisture Evaporation from Foodstuffs Exposed to Subatmospheric Pressure Superheated Steam, *Jouranl of Food Engineering*. 49, 15-24.

[7] Chua, K.J., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K. and Ho, J.C. 2002. On the study of time-varying temperature drying-effect on drying kinetics and product quality. *Drying Technology*. 20, 1559-1577.