การศึกษาการอบแห้งกล้วยดิบโดยใช้เทคนิคความดันต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด

Study of Drying Raw Banana by Vacuum Cooperate with Superheated Steam Technique

เชาว์ อินทร์ประสิทธ์,[1] ธมนวรรณ ฝูงทองเจริญ[1] และภิสรา อภิเนาวนิเวศน์ [1]*

Chouw Inprasit,[1*] Thamonwan Fungthongcharoen [1] and Pisara Apinaonivej[1]

Received 14 October 2021, Accepted 30 December 2021

ABSTRACT

The purpose of this study was to design drying process using superheated steam under low-pressure. The optimal condition for banana drying was also determined. Raw bananas were sliced in disk shape with 5 mm thickness and placed in the chamber. At the first stage of drying, banana pieces were dried under vacuum at -55 cmHg for 20, 40, 60, 80 and 120 minutes then superheated steam at 170, 180 and 190 degrees Celsius were applied into the drying chamber. The physical properties of bananas i.e., moisture content, color and fracture force were examined and used as quality indices to determine the optimum conditions of drying. The result showed that, moisture contents were 6.73-27.82% for vacuum drying 60-80 minutes at 170 degrees Celsius of superheated steam, 4.21-21.51% for vacuum drying 60-80 minutes at 180 degrees Celsius of superheated steam and 12.68-31.35% for vacuum drying 40-60 minutes at 190 degrees Celsius of superheated steam. The color values of dried bananas obtained from drying under all conditions were not different. The maximum fracture forces of dried bananas were 95 N, 60 N and 65 N at superheated steam temperature of 170, 180 and 190 degrees Celsius, respectively. The optimal superheated steam temperature in this research was 190 degrees Celsius by considering from the short time of drying and the quality indices were not different from the other conditions with short time.

Keywords: Drying, Superheated steam, Vacuum drying

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบกระบวนการอบแห้ง ที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นกล้วย เริ่มจากการนำกล้วยดิบที่หั่นเป็นแว่นหนา 5 มิลลิเมตร เข้าตู้อบแห้งสุญญากาศที่ความดัน -55 เซนติเมตรปรอท เป็นเวลา 20 40 60 80 120 นาที หลังจากนั้นปล่อยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170 180 และ 190 °C นำกล้วยที่ผ่านการอบแห้งมาตรวจสอบคุณภาพเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 170 °C ใช้เวลาในการอบแห้งสุญญากาศ 60-80 นาที มีค่าความชื้น 6.73-27.82 % อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 180 °C ใช้เวลาในการ

[1*] ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[*] Corresponding author: E-mail address: fengchi@ku.ac.th

อบแห้งสุญญากาศ 60-80 นาที มีค่าความชื้น 4.21-21.51% และอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 190 °C ใช้เวลาในการอบแห้งสุญญากาศ 40-60 นาที มีค่าความชื้น 12.68-31.35% จากการวัดค่าสีพบว่ากล้วยที่ได้จากการอบแห้งในทุกสภาวะมีค่าสีใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบแรงกดที่ทำให้แตกหักพบว่ากล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยการใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170 °C ใช้แรงกดสูงสุด 95 นิวตัน หากใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 180 °C ใช้แรงกดสูงสุด 60 นิวตัน และเมื่อใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 190 °Cใช้แรงกดสูงสุด 65 นิวตัน ดังนั้นการอบแห้งที่สภาวะที่เหมาะสมจึงใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง ที่ 190 °C เพราะใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า และ ค่าคุณภาพอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: อบแห้ง ไอน้ำยิ่งยวด อบแห้งแบบสุญญากาศ

คำนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้งเป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค เนื่องจากการทำแห้งมีคุณสมบัติคือสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานาน ไม่เสียคุณค่าทางโภชนาการ อีกทั้งยังช่วยลดน้ำหนักและปริมาตรอาหาร มีความสะดวกต่อการซื้อขายระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค (รุ่งนภา, 2536)

เนื่องจากความแตกต่างของคุณสมบัติอาหาร ดังนั้นการทำอาหารแห้งจึงมีวิธีการหลายรูปแบบที่เหมาะสมกับชนิดของอาหารนั้น โดยส่วนใหญ่จะคำนึงถึง ต้นทุนการผลิต ความสามารถในการทำงาน ระยะเวลาในการดำเนินงานการผลิต เช่น การใช้แสงแดด,การอบแห้งแบบตู้อบลมร้อน การอบแห้งโดยการอบแห้งภายใต้สุญญากาศ และ การอบแห้งแบบการระเหิด แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีความสนใจที่จะออกแบบเทคนิคใหม่เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้

การอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำร่วมกับไอน้ำยิ่งยวด คือการอบแห้งที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด ที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน และระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่น้ำมีจุดเดือดต่ำ การใช้ไอน้ำยิ่งยวดอากาศจะมีการอัดตัวแน่นทำให้เพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และลดความดันในช่วงการถ่ายเทมวล ซึ่งน้ำจะมีจุดเดือดต่ำทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้เร็ว ซึ่งในการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนผ่านมวลไอน้ำที่ถูกอัดแน่นทำให้ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงไปยังอาหารที่ต้องการทำแห้ง และจะลดความดันลงทันทีทันใด ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นไอและถูกกำจัดออกจากอาหาร โดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวลภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้จุดเดือดต่ำ และ ความดันไอน้ำรอบๆ อาหารมีความดันไอน้ำต่ำกว่าความดันไอน้ำในอาหาร ซึ่งประโยชน์ของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำนั้นจะลดระยะเวลาในการอบแห้งอาหารได้

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกระบวนการ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยดิบโดยใช้การอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำร่วมกับไอน้ำยิ่งยวด (Superheated steam) เพื่อใช้ลดความชื้น

วิธีการทดลอง

1. ออกแบบกระบวนการลดความชื้นภายใต้ความดันต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด

ในการออกแบบกระบวนการลดความชื้นภายใต้ความดันต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด เริ่มจากการผลิตไอน้ำที่ความดัน 1.8 บาร์ และเพิ่มความร้อนโดย Heater ให้มีอุณหภูมิ 170 180 และ 190 °C ไหลเข้าในตู้อบที่ปิดสนิท และ มีปั๊มสุญญากาศแบบใช้น้ำดักไอ (Liquid ring) เพื่อสร้างระบบสุญญากาศภายในถังอบ โดยให้ไอน้ำยิ่งยวดเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และลด

ความดันโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ และหลังจากการให้ความร้อนจะหยุดการปล่อยไอน้ำยิ่งยวดเข้าในห้องอบแห้ง แต่จะเปิดเครื่องให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศต่อ อีก 30 นาที

2. การเตรียมตัวอย่างและการเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลองเพื่อทดสอบกระบวนการอบแห้งภายใต้ความดันต่ำ สามารถเตรียมตัวอย่างได้ ดังนี้

1) เลือกกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องดิบที่มีลักษณะสมบูรณ์ คือ ไม่มีรอยกัดเจาะของแมลงมา 3 ลูก สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง

2) ปอกเปลือกกล้วยดิบ และหั่นกล้วยดิบเป็นแผ่นตามแนวขวางให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร โดยตัดส่วนหัว และ ท้าย ทิ้ง

3) นำกล้วยดิบที่หั่นเป็นชิ้นแล้ววางบนตะแกรง เรียงเป็นแถว แถวละ 5 ชิ้น และระหว่างชิ้นวางห่างกัน 2 เซนติเมตร

4) นำกล้วยดิบมาวัดค่าความชื้นเริ่มต้น

2.2 การเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง

การเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้งเป็นการเตรียมความพร้อมเครื่องอบแห้งเบื้องต้นก่อนเข้าสู่เกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ระหว่างการอบแห้งจะมีขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมเครื่องดังนี้

1) เปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำทิ้งไว้จนได้ไอน้ำเต็มถังพร้อมใช้งาน

2) เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปในชิ้นกล้วยที่เตรียมตัวอย่างไว้ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิชิ้นกล้วยขณะอบแห้ง เพื่อดูพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อน นำเข้าถังอบแห้งและปิดฝาถังอบแห้ง

3) ตั้งอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ใช้ในการทดลอง คือ 170 180 หรือ 190 °C ตามความต้องการ

4) เปิดวาล์วไอน้ำเพื่อให้ไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำเข้าถังเก็บไอ โดยให้ความดันภายในถังเก็บไอมีความดันที่ 1.8 kg/cm^2

5) เปิดสวิทช์ ให้ Heater บนตู้ไฟฟ้าให้ทำงาน และ เปิดวาล์วไอน้ำให้ไหลผ่าน Heater เพื่อให้ได้ไอน้ำยิ่งยวดเข้าสู่ถังอบแห้ง และเริ่มจับเวลาในการอบแห้ง

3. ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เนื่องจากกระบวนการการอบแห้งภายใต้ความดันต่ำเป็นวิธีการอบแห้งวิธีการหนึ่งที่ได้ถูกออกแบบเพื่อลดความชื้นภายในอาหาร ดังนั้นจึงได้ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้ง เพื่อหาแนวโน้มของการลดความชื้นของอาหาร และเป็นการทดสอบกระบวนการการอบแห้งภายใต้ความดันต่ำว่าสามารถลดปริมาณน้ำในอาหารได้ โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยแสดงในรายละเอียดในหัวข้อ 2.2

2) เปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดอากาศและน้ำภายในถังออก โดยใช้ความดันในการลดความชื้นที่ -55 cmHg หรือต่ำสุดตามความสามารถของปั๊มสุญญากาศ

3) นำกล้วยที่เตรียมไว้ใส่ในตู้อบ และปิดประตู เปิดปั๊มสุญญากาศ แล้วเปิดวาล์วไอน้ำยิ่งยวด โดยตั้งอุณหภูมิที่ 170 °C และจับเวลาปล่อยไอน้ำเป็นระยะเวลา 20 นาที เมื่อครบเวลาหยุดการปล่อยไอน้ำยิ่งยวดแต่เปิดปั๊มสุญญากาศต่อ อีก 30 นาที จึงถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการอบแห้งในแต่ละสภาวะ

4) นำกล้วยที่ผ่านการอบแห้งไปวัดความชื้น

5) เปลี่ยนค่าเวลาในการเปิดปั๊มสุญญากาศร่วมกับการเปิดวาล์วไอน้ำยิ่งยวด จาก 20 นาที เป็น 40 60 80 และ 120 นาทีตามลำดับ โดยทดลองซ้ำในข้อ 1) ถึง 4)

6) เปลี่ยนค่าอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดเป็น 180 และ 190 °C ตามลำดับ โดยทดลองซ้ำในข้อ 1) ถึง 5)

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคความดัน ต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด

สำหรับการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำ

มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวด และระยะเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการหาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมีวิธีการทดลองคล้ายกับหัวข้อ การทดลองที่ 3 โดยการใช้เกณฑ์ความชื้นฐานเปียก และค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เป็นเกณฑ์ตัดสินหาค่าสภาวะที่เหมาะในแต่ละอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวด

5. ตรวจสอบคุณภาพของกล้วยอบแห้ง

ตรวจสอบคุณภาพของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งในด้านความชื้น สี และความกรอบ โดยมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

5.1 วิธีการวัดความชื้นของกล้วย

ความชื้นของกล้วยก่อนอบแห้ง และ หลังการอบแห้งโดยวิธี AOAC Official Method 945.15 (2000)

5.2 วิธีการวัดสีของกล้วย

การวัดค่าสีใช้ โดยเครื่องวัดสี Spectrophotometer (เครื่องหมายการค้า Hunter Labรุ่น MiniScan EZ 4500L) โดยผลของการวัดจะรายงานผลเป็นหน่วยสีระบบ Hunter Lab ซึ่งในแกน L* บรรยายถึง ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a* บรรยายถึงแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) และแกน b* บรรยายถึงแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึง สีเหลือง (+b*) ซึ่งจะสามารถใช้บ่งบอกสีของแผ่นกล้วยก่อน และหลังอบได้

5.3 การทดสอบแรงกด

ทดสอบค่าแรงกดสูงสุดของตัวอย่างกล้วยดิบหลังการอบแห้ง ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Material Testing Machine) ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR5K โดยใช้หัวกดแบบ Crisp Fracture Jig เป็นหัวกดทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดเท่ากับ 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยการวัดค่าแรงสูงสุด (maximum force) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการใช้แรงในการบดให้เป็นผง เพราะ กล้วยดิบอบแห้งนิยมใช้ประโยชน์ในรูปแบบของผงกล้วยดิบ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การออกแบบกระบวนการลดความชื้นภายใต้ความดันต่ำ

การอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำเป็นการลดความชื้นโดยการใช้ไอน้ำยิ่งยวดถ่ายเทความร้อนให้แก่อาหาร โดยการนำระบบสุญญากาศเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับการถ่ายเทมวลและถ่ายเทความร้อนเพื่อทำให้น้ำระเหยได้เร็วยิ่งขึ้นซึ่งการทำให้เกิดสภาวะนั้นส่งผลให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง น้ำจึงเดือดกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C ทำให้อัตราการป้อนไอน้ำต่ำกว่าอัตราการดูดไอน้ำออกเป็นผลให้ปริมาณน้ำในอาหารลดลง ทำให้อาหารแห้ง โดยมีรูปแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ดัง Figure 1

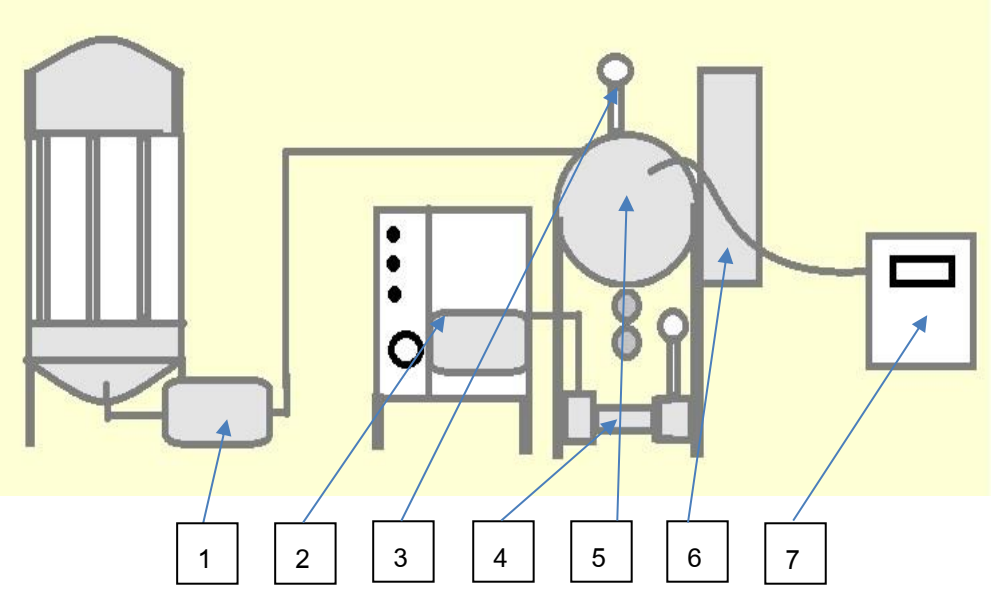

Figure 1 Vacuum dryer with super heat steam for experiment

1 = Liquid ring vacuum pump with 3 Hp

2= Laboratory boiler 36 KW

3= Vacuum gauge

4= Heater for steam

5= Drying chamber

6= Electrical control

7= Center temperature for product

2. การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้ง

จากการทดลองในการหาความชื้นฐานเปียกที่เวลา 20 40 60 80 และ 120 นาที จาก Figure 2 พบว่าในช่วงเริ่มต้น ที่เวลา 0 ถึง 30 นาที พบว่าเป็นช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น อัตราการทำให้แห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเข้าสู่ช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ คือช่วงเวลาที่ 30 ถึง 80 นาที เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าความชันของกราฟแสดงถึงอัตราการทำให้แห้งซึ่งมีแนวโน้มคงที่ โดยในแต่ละอุณหภูมิมีค่าความชันที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 1 %MC/min แสดงว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 170 °C เป็น 180 และ 190 °C มีผลต่อการลดความชื้นไม่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งเริ่มลดลงที่ช่วงเวลา 80 ถึง 120 นาที ตามลำดับ เมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอาหารลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ยังพบอีกว่า ที่ระยะเวลาเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดในการอบแห้งที่สูงค่าการลดความชื้นกล้วยในช่วงการปรับสภาวะแต่ละช่วงนั้นมีค่าต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดในการอบแห้งต่ำ ดัง Figure 2

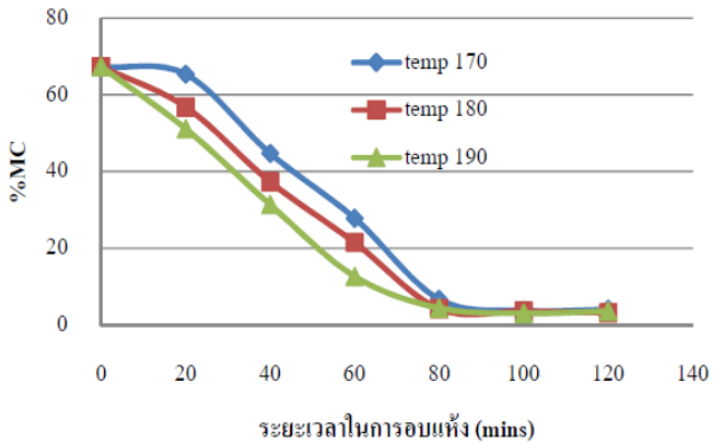

Figure 2 Relationship between moisture content (% w.b.) and drying time

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของกล้วยและระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำดัง Figure 3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการระเหยน้ำ ว่าปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าในห้องอบแห้งมากกว่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ) และสามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงระยะเวลาการเปิดไอน้ำยิ่งยวดเข้าสู่ระบบ ทำให้อุณหภูมิของกล้วยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้น หลังจากการปิดไอน้ำยิ่งยวด มีผลให้อุณหภูมิของกล้วยลดลง

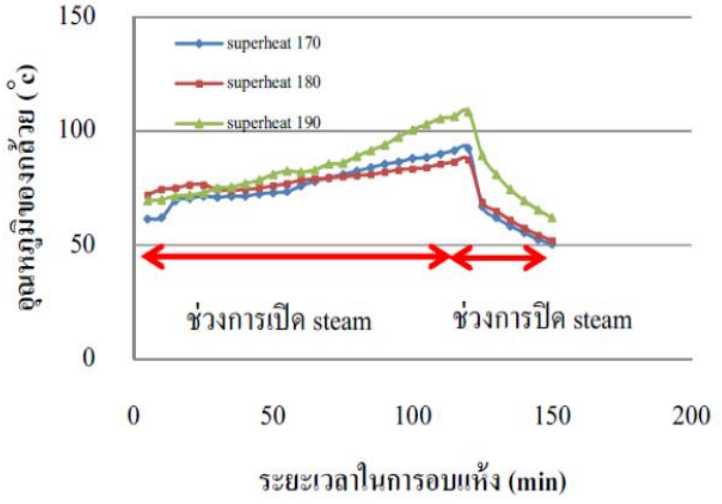

Figure 3 Relationship between banana pieces with drying time

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะเวลาในการอบแห้งดัง Figure 4 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการเปิดไอน้ำ มีแนวโน้มของความดันสูงขึ้นเนื่องจากไอน้ำที่ป้อนให้แก่ระบบเป็นไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ความดันในระบบสูงขึ้น และจากการอ่านเกจวัดความดัน (สุญญากาศ) พบว่าอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 170 °C สามารถทำให้สภาวะในระบบเป็นสภาวะสุญญากาศได้ดีกว่าใช้อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 190 และ 180 °C ตามลำดับ และเมื่อปิดวาล์วไอน้ำยิ่งยวดเข้าในถังอบความดันในห้องอบจะลดต่ำลงจนถึงความสามารถสูงสุดของปั๊มที่ใช้

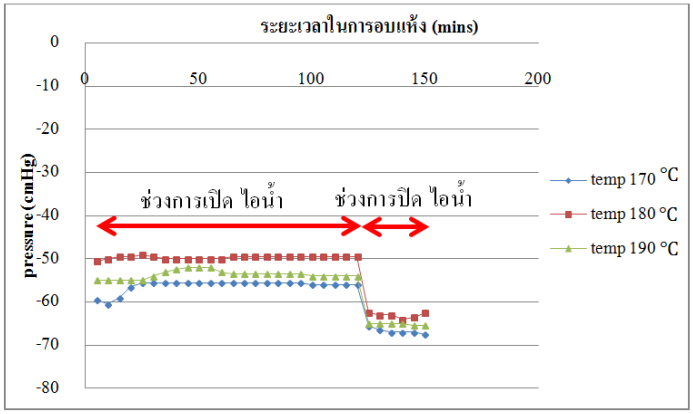

Figure 4 Relationship between pressure in chamber and drying time

3. สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคความดันต่ำร่วมกับการใช้ไอน้ำยิ่งยวด

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เกณฑ์ความชื้นฐานเปียกเป็นตัวชี้วัด จากการทดลองโดยใช้เทคนิคความดันต่ำ โดยกำหนดความดันในถังเก็บไอที่ 1.8 kg/cm^2 และความดันในการลดความชื้น ดังแสดงในFigure 4 โดยมีการเลือกใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 170 180 และ190 °C ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 20 40 60 80 และ 120 นาที เมื่อพิจารณาด้านความชื้นฐานเปียก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 190 °Cสามารถใช้เวลาในการอบแห้งที่ 60 นาที ซึ่งต่างจากอุณหภูมิที่ 170 และ 180 °C จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงเวลา 60-80 นาที หากมีการใช้ระยะเวลาที่ได้กล่าวมานี้จะเป็นผลทำให้อาหารแห้งมีความชื้นต่ำกว่า 15% ซึ่งเป็นค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของอาหารแห้งที่ได้ถูกกำหนดไว้ (James, 1998) ดังนั้นหากต้องการลดความชื้นโดยใช้เวลาในการอบแห้งที่รวดเร็วควรเลือกใช้อุณหภูมิที่ 190 °C เหมาะสมกว่าการใช้อุณหภูมิที่ 180 และ 170 °C ตามลำดับ

3.1 ปริมาณความชื้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลา พบว่า เมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นลดลงจนมีค่าคงที่ และที่ระยะเวลาเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง มีผลให้ความชื้นลดลงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ดัง Figure 2

3.2 สี

จากการทดสอบสีของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันต่ำ ผลปรากฏสีของกล้วยเป็นดังนี้

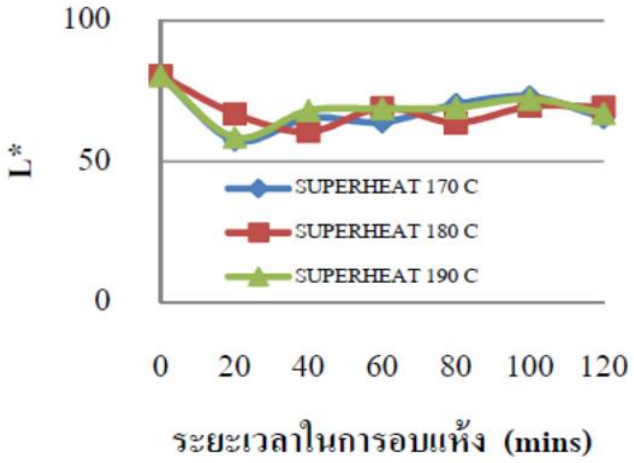

Figure 5 Relationship of lightness of banana after drying and drying time for different drying temperature

จาก Figure 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและเวลาพบว่า แนวโน้มของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันมีค่าความสว่างลดลง และพบว่าไม่ว่าเลือกใช้อุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดที่ 170 180 และ 190 °C ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความสว่างที่ใกล้เคียงกัน

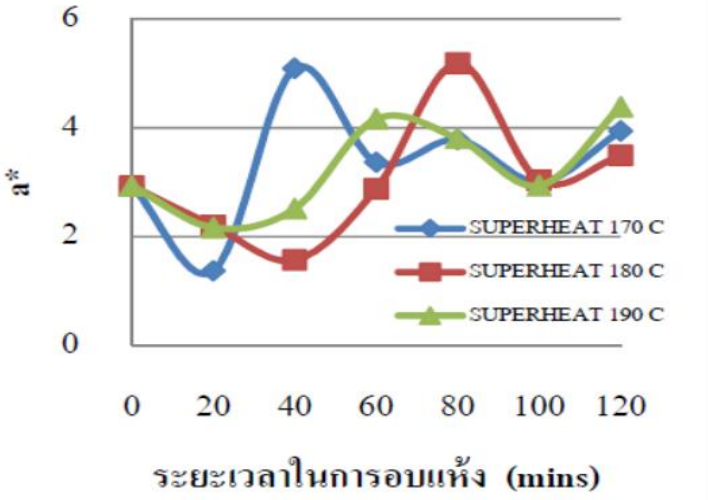

Figure 6 Relationship of redness of banana and drying time for different drying temperature

จาก Figure 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นสีแดงและเวลาพบว่า แนวโน้มของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคความดันมีค่าความเป็นสีแดงมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นและเมื่อเวลาในการอบแห้งมากขึ้นจนถึงเวลาการอบแห้งที่ 100 นาที พบว่า การใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170 180 และ 190 °C มีผลทำให้สีของกล้วยมีค่าความเป็นสีแดงที่ใกล้เคียงกัน

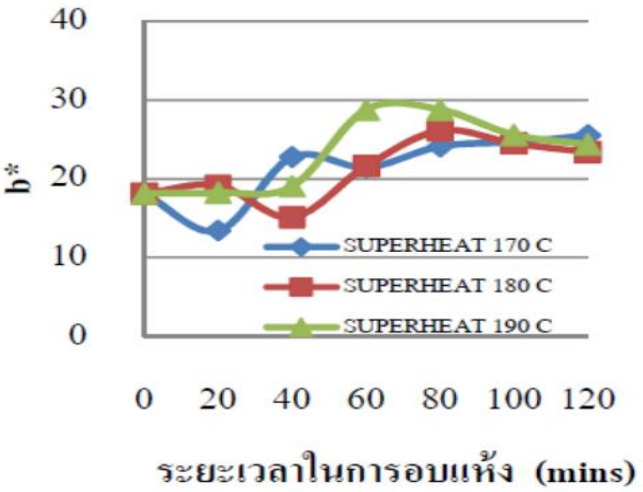

Figure 7 Relationship of yellowness of banana and drying tine for different drying temperature

จาก Figure 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นสีเหลืองและเวลาในการอบแห้ง พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาการอบแห้งที่ 60 นาที ค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยมีแนวโน้มความเป็นสีเหลืองมากขึ้น

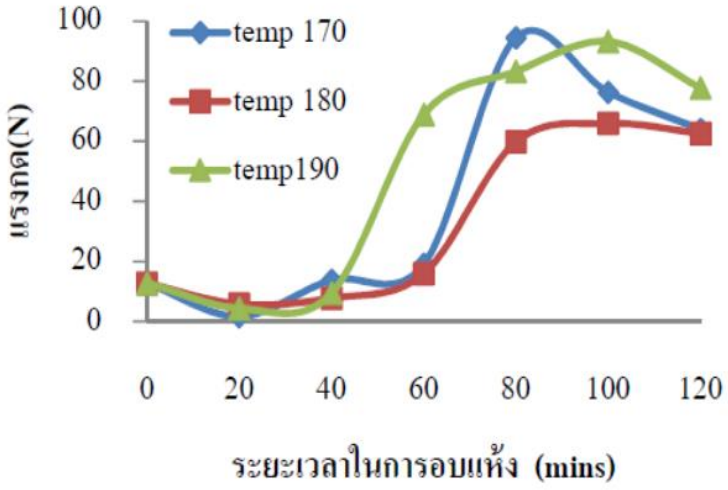

Figure 8 Relationship of compression force and deflection of banana after drying

3.3 การทดสอบแรงกด

จาก Figure 8 จากการทดลองโดยใช้หัววัดแบบ Crip Fracture Jig และใช้แรงกด 500 นิวตัน ในการกดชิ้นกล้วยอบแห้งพบว่าค่าแรงกดที่พบโดยทั่วไปที่เวลาอบแห้งสั้นจะใช้แรงไม่มาก เนื่องจากกล้วยจะมีลักษณะนิ่มแต่เมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นจนมีความชื้นต่ำจะต้องใช้แรงในการกดให้หักสูงขึ้น และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 170 °C มีค่าแรงกดสูงสุดที่เวลาในการอบแห้ง 80 นาที มีค่า 95 N เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 180 °C ค่าแรงกดสูงสุดที่เวลาในการอบแห้ง100 นาที มีค่า 60 N หลังจากนั้นแรงกดมีค่าลดลง และเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 190 °C ค่าแรงกดสูงสุดที่เวลาในการอบแห้ง 100 นาที มีค่า 65 N โดยหลังจากแรงกดสูงสุด ค่าแรงกดจะลดลงเนื่องจากกล้วยมีค่าความชื้นลดลง นั่นแสดงว่าเมื่ออบแห้งนานขึ้นแรงที่ใช้ในการบดกล้วยอบแห้งจะมีค่าน้อยลง

สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบกระบวนการลดความชื้นภายใต้ความดันสามารถนำมาใช้ได้จริง ด้วยวิธีการประยุกต์ร่วมกันของการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ หลักการถ่ายเทความร้อนจะอาศัยตัวกลางไอน้ำยิ่งยวดถ่ายเทความร้อนให้กับชิ้นกล้วยที่ต้องการทำแห้งและอาศัยหลักการถ่ายเทมวลทำให้จุดเดือดต่ำลงด้วยวิธีการลดความดัน ทำให้น้ำภายในชิ้นอาหารเดือดกลายเป็นไอได้ที่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ในช่วงของการอบแห้งที่สภาวะเหมาะสม คือ ช่วงที่อุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวดที่ 170 และ 180 °Cโดยมีการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงเวลา 60-80 นาที และ อุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวดที่ 190 °C ใช้เวลา 60 นาที อีกทั้งกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยกระบวนการสภาวะดังกล่าวมีผลให้กล้วยอบแห้งมีปริมาณความชื้นฐานเปียกที่อยู่ในเกณฑ์ของอาหารแห้ง (ต่ำกว่า 15%) นอกจากนี้ค่าสีที่ได้จากการอบแห้งในทุกสภาวะมีค่าสีที่ใกล้เคียงกันคือ กล้วยที่ได้ผ่านการอบแห้งมีค่าความเป็นสีเหลืองและสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนด้านความกรอบพบว่ากล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยการใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170 °C สามารถรับแรงกดได้ 95 นิวตัน หากใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 180 °C สามารถรับแรงกดได้ 60 นิวตัน และเมื่อใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 190 °C สามารถรับแรงกดได้ 65 นิวตัน ดังนั้นการอบแห้งที่สภาวะที่เหมาะสม

จึงใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง ที่ 190 °C และใช้เวลานาน 60 นาที เพราะใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า และ ค่าคุณภาพอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2556). *บทที่ 2 การอบแห้ง.* สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2557, สืบค้นจาก www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/.../chapter%202%20dry.pdf

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2536). *วิศวกรรมแปรรูปอาหาร.* นครปฐม: โอเดียนสโตร์.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เท็กซ์แอนด์เจอร์นัล.

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2008). *การอบแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ.* สืบค้นเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2555, สืบค้นจาก http://www.vcharkarn.com/varticle/38207

Arsdel, V. (1963). Food dehydration. Principles. *Food dehydration. Volume I. Principles.*

Barbieri, S., Elustondo, M., & Urbicain, M., (2004). Retention of Aroma Compounds in Basil Dried with Low Pressure Superheated Steam, *Journal of Food Engineering, 65*(1), 109-115.

Davahastin, 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*(8), 1845-1867.

Food Network Solution Co., Ltd. (2010). *การทำแห้ง.* สืบค้นเมื่อ 7 ธันวาคม 2555, สืบค้นจากสืบค้น http://www.foodnetworksolution.com

James, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (1998). *Modern Food Microbiology.* Massachusetts, USA: Spinger science business media.

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*(6), 579-587.

Suvarnakuta, S., Davahastin, S., & Mujumdar, A. S. (2005). Drying Kinetics and β-carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes. *Journal of Food Science, 70*(8), 520-526.

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*(1), 205-223.