



การอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็น

Shredded-Coconut Drying by Spouted-Bed Technique for Cold Press Coconut Oil Production

เกียรติศักดิ์ ใจโต¹, เทวรัตน์ ตรีอำรรค^{1*}, กระวี ตรีอำรรค², นาฏชนก ปรางปรุ¹

Kaattisak Jaito¹, Tawarat Treeamnuk^{1*}, Krawee Treeamnuk², Nartchanok Prangpru¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 30000

²School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 30000

*Corresponding author: Tel: +66-44-224-583, E-mail: tawarat@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น โดยการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52%wb ด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 60 70 และ 80°C ปริมาณของมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นครั้งละ 0.5 1 และ 1.5 kg ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คุณภาพด้านสีของมะพร้าวชูดหลังอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดเนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันสูงสุด 52.23% โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ kg⁻¹ อัตราการระเหยน้ำ 1.41 kg h⁻¹ สีของเนื้อมะพร้าวชูดหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ขาวและคุณภาพน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: มะพร้าวชูด; เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด; การอบแห้ง; น้ำมันมะพร้าว

Abstract

This research was carried out to determine the optimum drying conditions of shredded-coconut using a developed spouted-bed dryer. The samples of shredded-coconut with average initial moisture content of 52%wb were used in the experiment. The drying air temperature of 60, 70 and 80°C and initial shredded-coconut in bed of 0.5, 1 and 1.5 kg were set as drying conditions. The drying rate (DR), specific energy consumption (SEC), color of dried product, efficiency of oil compression and qualities of coconut oil were determined to evaluate the performance of drying. The results indicated that the most suitable drying condition was 70°C, 1 kg of initial bed since it gave the highest of efficiency of oil compression of 52.23% with SEC of 8.95 MJ kg⁻¹, 1.41 kg h⁻¹ of DR, the color of dried product was white and qualities of oil were in standard of Asian and Pacific Coconut Community.

Keywords: shredded-coconut; spouted-bed; drying; coconut oil

1 บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่งสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าว โดยกรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีหมัก เป็นการนำน้ำกะทิมาหมักจนชั้นของน้ำมันและน้ำแยกออกจากกัน แล้วจึง

นำน้ำมันที่ได้ไปให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นและนำไปผ่านการกรองแยกอีกครั้งซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลานาน และให้ปริมาณน้ำมันต่ำ ทั้งยังทำให้น้ำมันที่ได้มีค่ากรดค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีโอกาสปนเปื้อนในกระบวนการผลิต ส่วนวิธีเหวี่ยงแยกเป็นการนำน้ำกะทิมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกจนชั้นของน้ำมันและน้ำแยกออก

จากกัน ซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลาสั้นและให้คุณภาพน้ำมันมะพร้าวดี
เหมาะสำหรับใช้บริโภคแต่มีต้นทุนค่อนข้างสูง ส่วนวิธีบีบเย็นเป็น
การนำเนื้อมะพร้าวมาอบแห้งเพื่อลดความชื้น แล้วจึงนำเนื้อมะ
พร้าวอบแห้งมาเข้าเครื่องบีบจนได้น้ำมัน ปัจจุบันความ
ต้องการบริโภคน้ำมันมะพร้าวมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นการผลิตน้ำมัน
มะพร้าวด้วยวิธีหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาด
นอกจากนี้วิธีเหวี่ยงแยกก็มีต้นทุนในการผลิตสูง ขณะที่วิธีบีบเย็น
สามารถผลิตน้ำมันได้ในปริมาณมากและมีต้นทุนในการผลิตต่ำจึง
เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตน้ำมันมะพร้าวมากที่สุดโดย
วิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็นสามารถแบ่งออกได้เป็น
สองขั้นตอนคือ การเตรียมมะพร้าวโดยการลดความชื้น และการ
บีบมะพร้าวที่ผ่านการลดความชื้นเพื่อสกัดน้ำมัน ในขั้นตอนการ
บีบน้ำมันส่วนใหญ่จะใช้เครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิก
(hydraulic) หรือแบบเกลียวอัด (screw press) ขึ้นอยู่กับความ
เหมาะสมของผู้ผลิต ขณะที่ขั้นตอนการเตรียมมะพร้าวส่วนใหญ่
ใช้วิธีการเกลี่ยเป็นชั้นบางบนภาชนะแล้วทำการผึ่งแดดหรือทำ
การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วง 50-60°C
(คมสัน, 2547) โดยยังมีผู้ศึกษาถึงเทคนิคและวิธีการในการลด
ความชื้นมะพร้าวด้วยการอบแห้งไม่มากนักดังเช่น ยิ่งยงและคณะ
(2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลง
ของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรู
ลำเลียงอนุกรมสองชุดโดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใน
ทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยกำหนดอัตราการป้อนกากมะพร้าว
คงที่ 33.4 g min^{-1} และควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่
12 rpm ในขณะที่อากาศอบแห้งถูกจ่ายเข้าเครื่องอบแห้งผ่านท่อ
กระจายอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงมวล 0.1359 kg s^{-1} ส่วน
อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ศึกษาได้ปรับเปลี่ยนในช่วง 60-140°C
เพิ่มขึ้นครั้งละ 20°C ในแต่ละการทดลอง ผลการทดลองพบว่า
อัตราการอบแห้งกากมะพร้าวที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 140°C มี
ค่าสูงสุด โดยสามารถลดความชื้น จาก 95.28%db เหลือ
0.71%db แต่เนื่องจากการอบแห้งกากมะพร้าวเพื่อใช้เป็น
อาหารสัตว์จึงไม่คำนึงถึงคุณภาพของกากมะพร้าวหลังการอบแห้ง
ขณะที่จินตนาพรและคณะ (2555) ได้ศึกษาผลกระทบของ
อุณหภูมิอบแห้งและชั้นความหนาของกากมะพร้าวต่อการลดลง
ของความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 60 และ 80°C และชั้นความ
หนา 2 3 และ 4 mm ผลการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
จะลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นและชั้นวัสดุบาง เมื่อทำการ
วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจากกากมะพร้าวที่อบแห้งพบว่าพบว่ามี
ปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น

95% ฐานิตย์และคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ
อากาศอบแห้งที่มีต่อการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วยเทคนิคฟลูอิดไซ์
เบด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลให้การลดลงของ
ความชื้นมะพร้าวเร็วขึ้นโดยหลังจากทำการอบแห้งมะพร้าวจน
เหลือความชื้นประมาณ 1%db แล้วพิจารณาถึงคุณภาพของสี
ของมะพร้าวที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 และ 90°C ยังคงอยู่ใน
เกณฑ์โดยจะมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะพร้าวก่อน
ทำการอบแห้งแต่กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C
เนื้อมะพร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัดเมื่อ
ระยะเวลาอบแห้งมากกว่า 1 min โดยสามารถสังเกตเห็นความ
เหลืองที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า จากการศึกษาจะพบว่าการอบแห้ง
กากมะพร้าวหรือเนื้อมะพร้าวชุดเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวยังไม่
มีการศึกษาอย่างชัดเจนทั้งๆ ที่เทคโนโลยีการอบแห้งมี
หลากหลายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับมะพร้าวชุดที่ใช้เป็น
วัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวโดยคณะผู้วิจัยสนใจ
เทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด เนื่องจากเป็นเทคนิคการ
อบแห้งที่ใช้เวลาสั้นกว่าเทคนิคอื่นๆ ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงาน
และค่าใช้จ่าย และยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการ
อบแห้งได้ดีเนื่องจากมีการกระจายตัวและไหลเวียนของ
ผลิตภัณฑ์อย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง
ระหว่างผลิตภัณฑ์และลมร้อน (Marmo, 2007; Takeuchi et
al., 2008) แต่จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อมะพร้าว
ชุด (เกียรติศักดิ์และคณะ, 2557) พบว่ามะพร้าวชุดมีมุมเสียด
ทานภายในมากก่อให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสูงการอบแห้ง
โดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดโดยทั่วไปจะก่อให้เกิดปัญหาการเกิด
โพรงอากาศและไม่เกิดสเปาที่สมบูรณ์จึงจำเป็นที่จะต้องมีการ
พัฒนาเทคนิคการอบแห้งให้เหมาะสมกับการอบแห้งเนื้อมะพร้าว
ชุดโดยเฉพาะพร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งในการ
เตรียมมะพร้าวชุดสำหรับการบีบน้ำมันด้วยวิธีบีบเย็นซึ่งต้องไม่
ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวที่บีบได้ ดังนั้น
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง
เนื้อมะพร้าวชุดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น
สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชุดที่
พัฒนาขึ้น (Figure 1) ประกอบด้วย 1) พัดลมแรงดันสูง (VB-20-
DN, Hitachi Industrial System Equipment System

Co.,Ltd, Japan) ขนาด 1.5 kW ทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ 2) อินเวอร์เตอร์ (WJ200 inverter, Hitachi Industrial System Equipment System Co.,Ltd, Japan) ทำหน้าที่ปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อเพิ่ม-ลดความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบ 3) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) ขนาด 3 kW ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่เป็นตัวกลางในการอบแห้ง 4) ห้องอบแห้งสเปาเต็ดเบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 80 cm อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านช่องทางเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (REX-C100FK02-M*AN, RKC instrument Inc., Japan) ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง (T1) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ช่อง air jet ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวชูดที่จับผนังห้องอบแห้งและจับตัวกันให้เคลื่อนลงสู่เบด ลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศและช่วยให้เกิดสเปาตลอดช่วงของการอบแห้ง

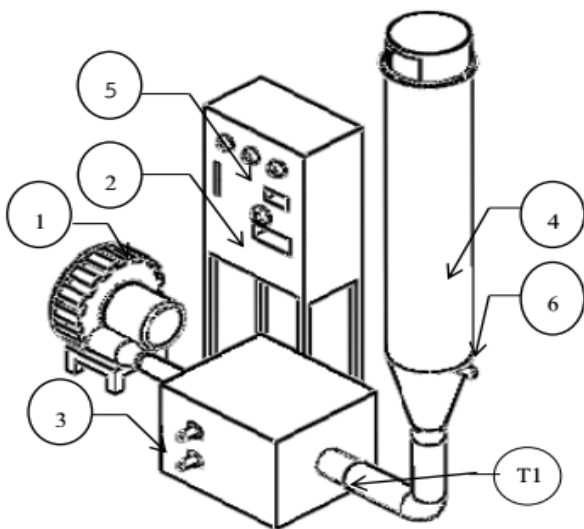


Figure 1 The schematic of spouted bed dryer.

2.2 มะพร้าวชูด

มะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากตลาดแม่กิมเฮงในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยการสั่งซื้อพิเศษเพื่อไม่ให้มีสีน้ำตาลของผิวเปลือกปนมา มะพร้าวชูดตัวอย่างมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52%wb

2.3 การอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูด

การทดสอบอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณของมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นต่อสมรรถนะการอบแห้งเนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้งและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวที่ได้ส่วนปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นมีผลต่อการทำแห้งและการเกิด

สเปา การทดลองได้กำหนดค่าอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60 70 และ 80°C ที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 0.5 1 และ 1.5 kg ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยกำหนดให้ความเร็วลมที่ก่อให้เกิดสเปาในแต่ละปริมาณเบดเริ่มต้นคงที่ ระหว่างการทดสอบได้ทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบการอบแห้งซึ่งประกอบด้วยพัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนไฟฟ้าด้วย kWh-meter บันทึกค่าอัตราการไหลและความดันของอากาศที่ช่อง air jet และเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 min หาความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรดร่วมกับวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 h ค่าความชื้นของมะพร้าวชูดสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$M = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นของมะพร้าวชูด (%wb), w_i คือ น้ำหนักของมะพร้าวชูดก่อนอบแห้ง (g), w_f คือ น้ำหนักของมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง (g)

2.4 ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

ประเมินสมรรถนะในการอบแห้งจะพิจารณาในรูปของความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ความสามารถในการอบแห้ง (drying rate, DR) และค่าคุณภาพสีของเนื้อมะพร้าวชูด

2.4.1 ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ

ความสัมพันธ์พลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนอากาศอบแห้งสามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดความสัมพันธ์พลังงานไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) และพลังงานลมเป่า (air jet) ซึ่งหาได้จากความดันและอัตราการไหลของกระแสอากาศ โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$SEC = \frac{E}{m_{water}} \quad (2)$$

เมื่อ SEC คือ ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (MJ kg^{-1}), E คือพลังงานรวมในระบบอบแห้ง (MJ),

m_{water} คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

2.4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งบ่งบอกความสามารถในการระเหยนํ้าออกจากวัสดุโดยสามารถหาได้จากสมการ (3) และ (4)

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t} \quad (3)$$

$$DR = \frac{M_i - M_f}{t} \quad (4)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg h^{-1} หรือ $\% \text{wb h}^{-1}$) M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น ($\% \text{wb}$), M_f คือความชื้นสุดท้าย ($\% \text{wb}$), t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

2.5 ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของมะพร้าวชุดและน้ำมันมะพร้าว

ทำการเตรียมตัวอย่างมะพร้าวชุดอบแห้งโดยการอบแห้งมะพร้าวชุดตามสภาวะที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2.4 แต่เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมอุณหภูมิการอบแห้งเกินกว่าที่แนะนำไว้ (คมสัน, 2547) จึงได้ทำการเตรียมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C เพิ่มเพื่อดูผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวดังนี้

2.5.1 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

นำเนื้อมะพร้าวชุดและเนื้อมะพร้าวชุดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่องวัดสี (ColorQuestXE, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) ในระบบ L a b เพื่อใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชุดที่อบแห้ง โดยค่า L หมายถึงค่าความสว่าง (lightness) ค่า a หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว (greenness) ในขณะที่ค่า b หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) แล้วทำการหาความแตกต่างของสีระหว่างเนื้อมะพร้าวชุดสดเทียบกับเนื้อมะพร้าวชุดอบแห้ง (ΔE) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (5)

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2} \quad (5)$$

เมื่อ L_o , a_o , b_o เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชุด และ L_p , a_p , b_p เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชุดอบแห้ง

2.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว

เตรียมเนื้อมะพร้าวชุดอบแห้งก่อนบดและหลังบดน้ำมันด้วยเครื่องบดไฮดรอลิกเพื่อนำไปหาปริมาณน้ำมันด้วยเครื่องสกัดไขมัน (Soxtec™ 2050, Foss Analytical AB, Höganäs, Sweden) โดยการเตรียมตัวอย่าง 2 g ใส่ลงในกระตาดกรองและนำกระตาดกรองใส่ลงไปในทิมเบลพร้อมทั้งนำถ้วยอลูมิเนียมที่ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เข้าเครื่องสกัด เมื่อเครื่องสกัดทำงานเสร็จให้นำเอาถ้วยอลูมิเนียมไปอบด้วยเครื่องอบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 h แล้วนำไปชั่งเพื่อหาปริมาณไขมันที่มีอยู่ในเนื้อมะพร้าว (AOAC, 1997)

2.5.3 บดน้ำมันด้วยเครื่องบดไฮดรอลิก

นำเนื้อมะพร้าวชุดอบแห้งที่เตรียมไว้หั่นด้วยผ้าขาวบางแล้วใส่ลงในกระตาดกรองบดน้ำมันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11.5 cm สูง 15 cm จากนั้นบดน้ำมันด้วยเครื่องบดไฮดรอลิกโดยใช้แรงบดขนาด 5 ton น้ำมันมะพร้าวที่บดได้นำไปกรองแล้วทิ้งไว้ให้ใส ทำการประเมินประสิทธิภาพการบดน้ำมันจากสมการ (6)

$$Eff_{\text{oil pressed}} = \frac{m_{\text{oil pressed}}}{m_{\text{total oil}}} \times 100\% \quad (6)$$

เมื่อ $Eff_{\text{oil pressed}}$ คือประสิทธิภาพการบดน้ำมัน (%), $m_{\text{oil pressed}}$ คือ ปริมาณน้ำมันที่บดได้จากเครื่องไฮดรอลิก (g), $m_{\text{total oil}}$ คือ ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ทั้งหมดก่อนทำการบด (g) ซึ่งหาโดยใช้เครื่องสกัดไขมัน

2.5.4 หาปริมาณกรดไขมัน

นำน้ำมันมะพร้าวที่บดได้จากเครื่องบดแบบไฮดรอลิกไปทำ reaction fatty acid แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (Agilent 7890A, Agilent Technologies Inc., USA) โดยน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตเพื่อใช้รับประทานหรือปรุงอาหารต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นไปตามข้อกำหนดของ Asian and Pacific Coconut Community (2015)

3 ผลและวิจารณ์ผล

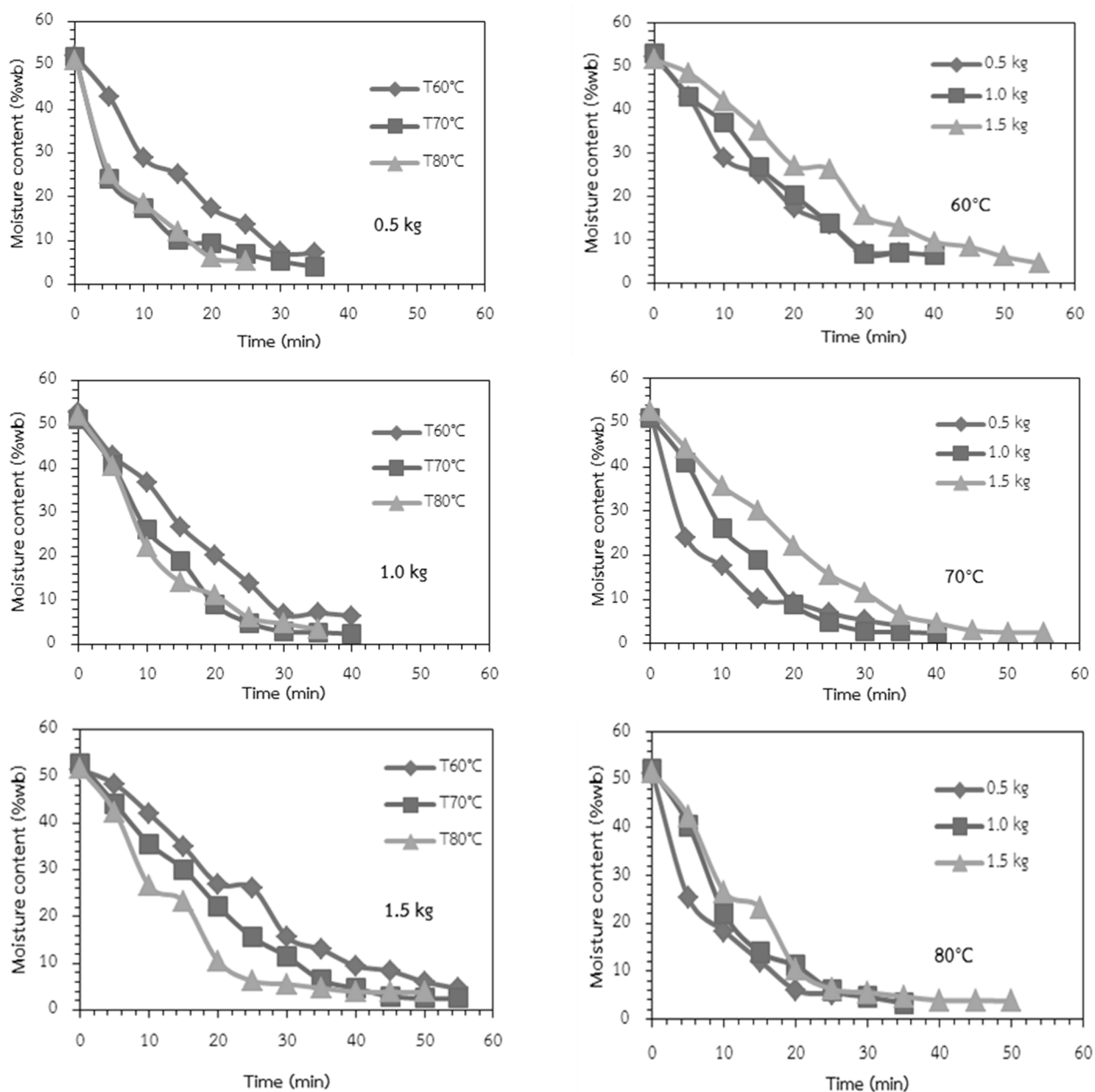
3.1 ผลการอบแห้ง

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบตพบว่าพฤติกรรมการณ์การลดลงของความชื้นมีลักษณะดังแสดงใน Figure 2a และ Figure 2b โดยพฤติกรรมการณ์การอบแห้งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของการอบแห้งลดลง และพบว่าอัตราการลดลงของ

ความชื้นมะพร้าวชูดขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอบแห้งพบว่าที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นเดียวกันอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชูดลดลงเร็วขึ้น (Figure 2a)

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณมะพร้าวชูดจะส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณมะพร้าวชูดที่มากกว่าในเบดเริ่มต้นจะต้องใช้เวลาในการวนกลับเข้าสู่เบดมากกว่าจึงทำให้ใช้เวลาในการลดความชื้นมากขึ้นด้วย ซึ่งพฤติกรรมนี้

ให้ผลเช่นเดียวกับการอบแห้งข้าวโพด (กษมา, 2543) และข้าวเปลือก (วัญญู, 2542) โดยเทคนิคสเปาเด็ดเบดสองมิติ และจาก Figure 2b จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูง (80°C) อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความสามารถในการทำแห้งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะทับกันทั้งสามระดับปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นซึ่งถึงแม้ว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงจะส่งผลดีต่อการลดลงของความชื้นแต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือคุณภาพของมะพร้าวอบแห้งและน้ำมันที่ได้



(a) The effect of temperature at constant initial bed

(b) The effect of initial bed at constant temperature

Figure 2 The drying characteristics curve of shredded-coconut by spouted bed technique

3.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งสามารถแสดงในรูปของอัตราการระเหยน้ำ และอัตราการลดลงของความชื้น เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้ง ในรูปของอัตราการระเหยน้ำพบว่า การอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณ มะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นโดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C พบว่าอัตราการระเหยน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงโดย ค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg (Figure 3) ทั้งนี้ เนื่องจากอัตราส่วนของปริมาณมะพร้าวชูดเริ่มต้นมีความ เหมาะสมกับความสามารถในการรับน้ำของอากาศอบแห้ง แต่ที่ อุณหภูมิ 80°C ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่ายังมีความสามารถในการรับ น้ำได้อีกแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการระเหยน้ำจึงค่าเพิ่มขึ้นตลอด ช่วงปริมาณเบดเริ่มต้นที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นการคิดอัตราการอบแห้งโดยดูจากอัตราการระเหยของน้ำสามารถใช้ตรวจสอบหา สมรรถนะการอบแห้งได้แต่ยังไม่สามารถอธิบายได้ถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงความชื้น ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งในรูป ของการลดลงของความชื้น (Figure 4) นั้นพบว่าอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นและ อุณหภูมิอากาศอบแห้งซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎีคือเมื่อปริมาณ มะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นมีน้อยความสามารถในการลดลงของ ความชื้นจะมีค่ามากกว่าที่เบดหนาแน่น และอัตราการอบแห้ง (อัตราการลดลงของความชื้น) จะแปรตามอุณหภูมิที่ใช้ในการ อบแห้งนั่นคืออุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าดังนั้น การใช้ค่าอัตราการอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำร่วมกับ อัตราการลดลงของความชื้นจะทำให้ทราบความสามารถในการ อบแห้งของเครื่องและพฤติกรรมที่แท้จริงของการอบแห้ง

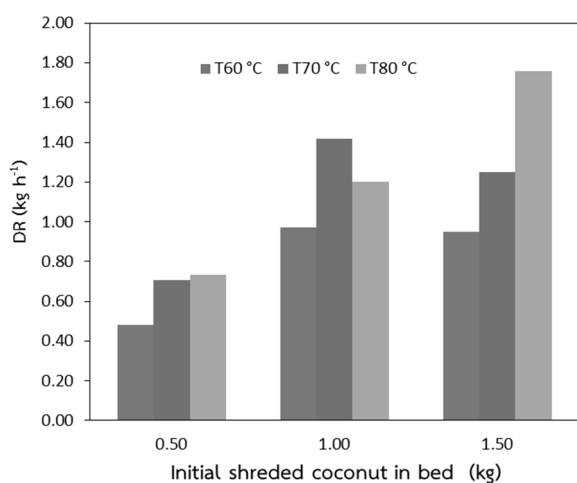


Figure 3 The water evaporation rate of shredded-coconut drying.

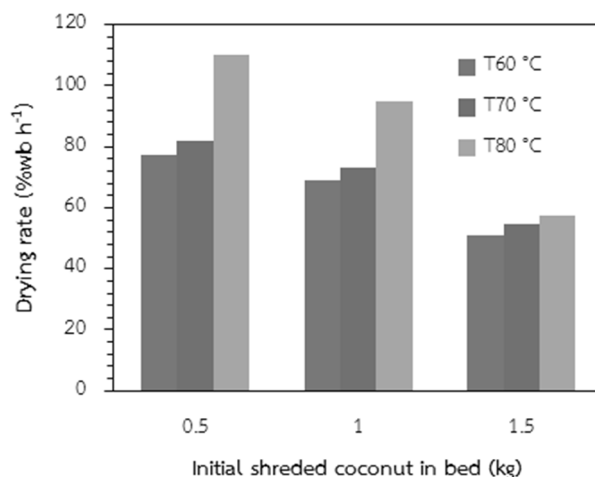


Figure 4 The drying rate of shredded-coconut drying.

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เนื่องจากมะพร้าวชูดที่นำมาใช้ในการอบแห้งมีความชื้น เริ่มต้นที่ก่อให้เกิดค่าความเสียดทานภายในสูงจึงเกิดปัญหาการ จับตัวกันของอนุภาคมะพร้าวในระหว่างการอบแห้งทำให้อนุภาค มะพร้าวชูดไม่วนกลับเข้าสู่เบด ก่อให้เกิดปัญหาโพรงอากาศขึ้น ระหว่างการอบแห้งทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาระบบเป่า ลมด้านข้างเพื่อช่วยให้มะพร้าววนกลับเข้าสู่เบดดังนั้นพลังงานที่ ต้องป้อนเข้าสู่ระบบการอบแห้งจึงมีสองส่วนคือพลังงานไฟฟ้าที่ ให้กับระบบทำความร้อนและพัดลมแรงดันสูง และพลังงานลมที่ใช้ในการทำให้มะพร้าวเคลื่อนตัวเข้าสู่เบดซึ่งเมื่อคิดเป็นค่า SEC แล้วพบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลกระทบต่อค่า SEC มากกว่าปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น (Figure 5) ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นความต้องการ พลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้กับอากาศมีค่ามากขึ้นในขณะที่การ เพิ่มปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นค่า SEC มีแนวโน้มลดลง แล้วเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของพลังงานลม ที่ก่อให้เกิดสเปกามีค่าน้อยกว่าความสามารถในการระเหยน้ำ

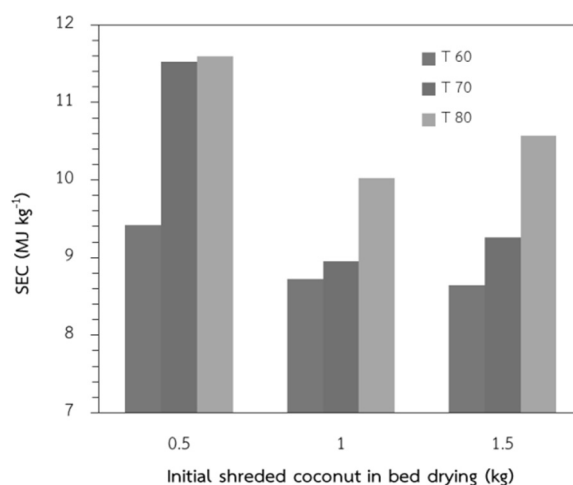


Figure 5 The specific energy consumption of shredded-coconut drying.

การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้นนั้นจะพิจารณาจากค่า SEC ร่วมกับสมรรถนะการอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำ จากการวิเคราะห์ค่าสถิติ (Table 1) พบว่าที่สภาวะ อุณหภูมิอากาศอบแห้งและปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 60°C/ 1.0 kg, 60°C/ 1.5 kg และ 70°C/ 1.0 kg นั้นมีค่า SEC ต่ำสุดและไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่เมื่อ พิจารณาที่สมรรถนะของการอบแห้งพบว่าที่สภาวะการอบแห้ง 70°C/ 1.0 kg นั้นมีค่ามากกว่าส่งผลให้อัตราการผลิตในแต่ละ ครั้งสูงกว่าจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

Table 1 Specific energy consumption and drying rate of shredded-coconut drying.

Drying conditions	SEC (MJ kg ⁻¹)*	DR (kg h ⁻¹)*
T 60°C, W 0.5 kg	9.42±0.23 ^{ab}	0.48±0.01 ^a
T 60°C, W 1.0 kg	8.72±0.15 ^a	0.97±0.02 ^c
T 60°C, W 1.5 kg	8.64±0.33 ^a	0.95±0.03 ^c
T 70°C, W 0.5 kg	11.52±0.98 ^e	0.70±0.01 ^b
T 70°C, W 1.0 kg	8.95±0.55 ^a	1.41±0.07 ^e
T 70°C, W 1.5 kg	9.26±0.49 ^{ab}	1.25±0.02 ^d
T 80°C, W 0.5 kg	11.59±0.25 ^e	0.73±0.02 ^b
T 80°C, W 1.0 kg	10.02±0.24 ^{bc}	1.20±0.01 ^d
T 80°C, W 1.5 kg	10.57±0.25 ^c	1.75±0.03 ^f

* Different letters in the same column indicate significant differences (p<0.05)

3.4 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของมะพร้าวชูดและน้ำมันมะพร้าว

3.4.1 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

มะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้จากการทดลองทุกระดับอุณหภูมิมีสี ขาวไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน (Figure 6) ทั้งนี้ เนื่องจากการอบแห้งใช้ระยะเวลาสั้นซึ่งจากลักษณะของเนื้อ มะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการ ประกอบการทำเบเกอรี่หรืออาหารและขนมที่ต้องการใช้มะพร้าว ชูดอบแห้งแต่งหน้า และเมื่อนำตัวอย่างมะพร้าวชูดอบแห้งมา วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี พบว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 70 และ 80°C มีค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

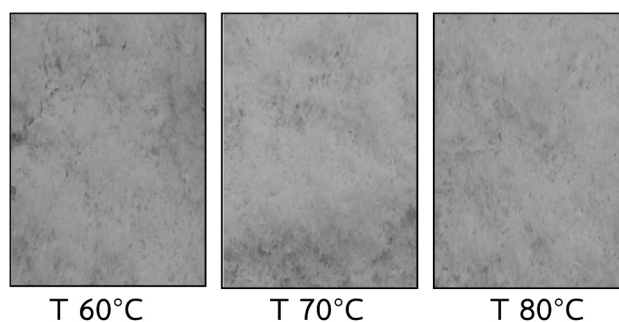


Figure 6 Shredded-coconut after drying at a temperature of 60, 70 and 80°C.

Table 2 The effect of drying temperature on color change of dried shredded-coconut.

Temperature	L	a	b	ΔE*
Fresh meat	77.72±0.46	-0.57±0.05	3.39±0.15	
60°C	76.64±1.18	-0.63±0.07	5.83±0.09	2.20±0.41 ^a
70°C	78.86±0.53	-0.50±0.05	5.92±0.08	2.34±0.52 ^a
80°C	75.90±1.11	-0.70± 0.00	4.90±0.05	2.06±0.67 ^a

*Different letters in the same column indicate significant differences (p<0.05)

3.4.2 ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าว

จากการสกัดน้ำมันในเนื้อมะพร้าวอบแห้งก่อนและหลังการ บีบด้วยเครื่องบีบน้ำมันไฮดรอลิค เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน ทั้งหมดที่มีอยู่ในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนการบีบ และปริมาณ น้ำมันที่เหลืออยู่หลังผ่านการบีบแล้วนั้น พบว่ามะพร้าวชูด อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C มีประสิทธิภาพการบีบที่สูงกว่า

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C (Table 3) อย่างชัดเจนแสดงให้เห็น ว่าการอบแห้งมะพร้าวชูดที่ 70 และ 80°C นั้นช่วยให้มี ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันที่ดี ดังนั้นสภาวะการอบแห้งที่ เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบคืออุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70°C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1.0 kg จึงเป็นสภาวะที่ เหมาะแก่การบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบเย็นแบบไฮดรอลิค

3.4.3 ปริมาณกรดไขมัน

ผลการทดสอบหาร้อยละของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวที่บีบได้จากเครื่องบีบไฮดรอลิก พบว่าการเตรียมเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้นที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60 70 และ 80°C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg นั้น ค่าร้อยละของกรดไขมันอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวดังแสดงใน Table 4 แสดงว่าสภาวะการอบแห้งที่ใช้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันที่ได้ การอบแห้งอุณหภูมิสูงสามารถทำได้หากระยะเวลาในการอบแห้งไม่นานจนก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันอันเนื่องมาจากความร้อนซึ่งผลจากการวิเคราะห์นี้ช่วยสนับสนุนให้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70°C และปริมาณมะพร้าวชูด

ในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อบแห้งเพื่อเตรียมมะพร้าวชูดสำหรับการผลิตน้ำมันด้วยวิธีการบีบเย็น

Table 3 Efficiency of coconut oil production by hydraulic press.

Temperature	Total oil in coconut (g)	Oil pressed (g)	Compression efficiency (%)
60°C	406.78	149.56	36.77
70°C	448.84	234.41	52.23
80°C	446.90	223.57	50.03

Table 4 The effect of drying temperature to percentage of the fatty acids in coconut oil.

Fatty acid	Percent of the fatty acids in coconut oil			Standard (Asian and Pacific Coconut Community, 2015)
	Temp. 60°C	Temp. 70°C	Temp. 80°C	
Caproic acid (C6)	0.07	0.07	0.05	< 1.2
Caprylic acid (C8)	4.91	4.67	4.66	3.4 - 15
Capric acid (C10)	5.53	5.51	5.61	3.2 - 15
Lauric acid (C12)	51.09	51.25	51.32	41 - 56
Myristic acid (C14)	19.63	19.65	19.62	13 - 23
Palmitic acid (C16)	8.75	8.76	8.72	4.2 - 12
Stearic acid (C18)	3.19	3.24	3.20	1.0 - 4.7
Oleic acid (C18:1)	5.63	5.65	5.65	3.4 - 12
Linoleic acid (C18:2)	1.01	1.00	0.99	0.9 - 3.7

4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอบแห้งมะพร้าวชูดโดยมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 70°C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเพื่อเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งสำหรับการบีบน้ำมันด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้นเนื่องจากให้ค่า SEC ต่ำและมีอัตราการระเหยน้ำสูงโดยมะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาวไม่มีสีน้ำตาลปน มีประสิทธิภาพการบีบน้ำมัน 52.23% และคุณภาพของน้ำมันที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

กษมา เจนวิจิตรสกุล. 2543. การอบแห้งข้าวโพดโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำรรค, นาฏชนก ปรางปรุ, เบจวรรณ วานมนตรี, กระวี ตรีอำรรค. 2557. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด. การประชุมวิชาการสมาคม

- วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, 2-4 เมษายน 2557, พระนครศรีอยุธยา, พระนครศรีอยุธยา, 557-561.
- คมสัน หุตะแพทย์. 2547. การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 2, 1-5.
- จินตนาพร ปันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ, ฤทธิ์ชัย อัครวราชันย์. 2555. ผลกระทบของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพของกากมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(3 พิเศษ), 228-231.
- ฐานิตย์ เมธิยานนท์, เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ, ประสาน สกิตเรืองศักดิ์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2549. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วยเทคนิคฟลูอิดไชเบด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549, ปากช่อง, นครราชสีมา.
- ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, ปรัชญา บุญประสิทธิ, อาณัติ พิลา. 2554. อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูลำเลียงอนุกรมสองชุด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554, เมือง, กระบี่.
- วาทัญญู รอดประพัฒน์, สุรเชษฐ์ บำรุงศิริ, ณรงค์ศักดิ์ สุวรรณวงศ์. 2542. การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- AOAC. 1997. Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists. 17thedn. Washington DC.
- Asian and Pacific Coconut Community. APCC standards for virgin coconut oil. Available at: <http://www.apccsec.org/document/VCNO.PDF>. Accessed on 21 September 2015.
- Marmo, L. 2007. Low temperature drying of pomace in spout and spout-fluid beds. Journal of Food Engineering 79, 1179-1190.
- Takeuchi, S., Wang, S., Rhodes, M. 2008. Discrete element method simulation of three dimensional conical-base spouted beds. Powder Technology 184, 141-150.