



รายงานการวิจัย

การทำแห้งเนื้อมะพร้าวขูดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วย
เทคนิคสเปาต์เบด
(Shredded-coconut Drying for Virgin Coconut Oil Production with
Spouted-bed Technique)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รายงานการวิจัย

การทำแห้งเนื้อมะพร้าวขูดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วย เทคนิคสเปาต์เทคเบด (Shredded-coconut Drying for Virgin Coconut Oil Production with Spouted-bed Technique)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. เทวรัตน์ ตรีอำรรค

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. กระวี ตรีอำรรค

นายเกียรติศักดิ์ ใจโต

นางสาวเบญจวรรณ วานมนตรี

นางสาวนาฏชนก ปรางปรุ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2558 ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และนักวิจัยทุกท่านที่ได้ช่วยกันทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดสำหรับใช้ในการอบแห้งมะพร้าวชูด เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 1) หีงอบแห้งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 80 cm ประกอบอยู่กับท่อทรงกรวยซึ่งมีมุมเอียง 70 องศาสูง 25 cm ต่อเข้ากับท่อลมร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 2) หีงผลิตลมร้อนที่ติดตั้งฮีตเตอร์พร้อมกริบขนาด 1300 w จำนวน 2 ตัว 3) พัดลมพร้อมมอเตอร์ขนาด 3 hp 4) ระบบควบคุมความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 5) ชุดเป่าลมด้านข้างประกอบด้วยท่อลมและปั๊มลม ทำการทดสอบอบแห้งมะพร้าวชูดที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 50 %wb ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60, 70, และ 80 °C ปริมาณของมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 0.5 1.0 และ 1.5 kg ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสีของมะพร้าวชูดอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ผลจากการทดสอบพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70 °C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนือมะพร้าวชูดเนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันสูงสุด โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ/kg อัตราการอบแห้ง 1.41 kg/h สีของเนือมะพร้าวชูดหลังการอบแห้งอยู่ในเฉดสีขาว และคุณภาพน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



Abstract

The objective of this research was to design, development, and evaluate performance of a spouted-bed dryer for dried shredded coconut. The dryer consists of: 1) conical-cylindrical spouted-bed chamber, the cylindrical had diameter and height of 20 and 80 cm, respectively; the conical base with closed angle of 70° had a height of 25 cm connected with hot air tube diameter of 7 cm, 2) hot air production chamber with two cartridge-fin heater of 1500 w, 3) blower with 3 hp of motor, 4) control panel for control airflow and drying air temperature, 5) side air jet slot with air tube and compressor. The dryer was tested to evaluate the drying performance by using shredded coconut at average initial moisture content of 52 %wb. The drying air temperature of 60, 70, and 80 °C and initial coconut shredded 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 production 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 production with SEC of 8.95 MJ/kg, DR of 1.41 kg/h, the color of dried product was white, and qualities of oil were in standard.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 มะพร้าว.....	3
2.2 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์.....	3
2.3 การอบแห้ง.....	8
2.4 เครื่องอบแห้งวัสดุเกษตรและอาหาร.....	10
2.5 ทฤษฎีและหลักการเป่าตัดเบด.....	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.2 วิธีการ.....	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวหูด.....	39
4.2 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	43
4.3 ผลการทดสอบการอบแห้ง.....	45
4.4 ผลการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง.....	46
4.5 ผลการทดสอบการบีบน้ำมันมะพร้าว.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบเครื่องอบแห้ง.....	57
ภาคผนวก ข ผลงานเผยแพร่	61
ประวัติผู้วิจัย.....	75

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการนำสเปาเต็ดเบดไปใช้งานด้านต่างๆ.....	14
ตารางที่ 3.1 Percent fatty acids in coconut oil.	38
ตารางที่ 4.1 การใช้พลังงานจำเพาะและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมะพร้าวชูดฝอย	48
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะพร้าวชูดแห้ง	50
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันและประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก	51
ตารางที่ 4.4 ปริมาณของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว	52

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน โดยมีผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของโพน	11
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลสวนทาง	12
รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลตาม	13
รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด	13
รูปที่ 2.5 การเกิดสเปาภายในสเปาเต็ดเบด.....	15
รูปที่ 2.6 แผนภาพลักษณะต่างๆ ของเบด.....	16
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ใช้ในการอบแห้ง.....	19
รูปที่ 3.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)	19

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.3 เครื่องน้ำหนักแบบดิจิทัล.....	20
รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบหาความเสียดทาน	20
รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum	21
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดสี HunterLab.....	21
รูปที่ 3.7 เครื่องสกัดไขมัน (soxtec).....	22
รูปที่ 3.8 เครื่อง Gas chromatography.....	22
รูปที่ 3.9 เครื่องบีบน้ำมันแบบสกรูอัด	23
รูปที่ 3.10 การหาค่ามุกองของมะพร้าวชูด	24
รูปที่ 3.11 การหามุมเสียดทานของมะพร้าวชูด	25
รูปที่ 3.12 การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูด	25
รูปที่ 3.13 การหาความพรุนของมะพร้าวชูด.....	25
รูปที่ 3.14 กระบวนการให้ความร้อนและอบแห้งบนไซโครเมตริกซ์	29
รูปที่ 3.15 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	34
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุกองกับความชื้นของมะพร้าวชูด.....	40
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทาน.....	40
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทานภายใน.....	41
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความแน่นของมะพร้าวชูด.....	42
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความพรุน.....	42
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูด.....	43
รูปที่ 4.7 แบบของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	44
รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูด เมื่ออบแห้งครั้งละ 0.5, 1, และ 1.5 kg ตามลำดับ.....	45
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง.....	46
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยน้ำกับน้ำหนักของวัสดุ.....	47
รูปที่ 4.11 มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C.....	49
รูปที่ 4.12 ปริมาณและประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบแบบสกรูอัด.....	50
รูปที่ 4.13 น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากมะพร้าวชูดอบแห้ง.....	53

คำอธิบายสัญลักษณ์

M_d	= ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg (db))
M_w	= ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg (wb))
W	= มวลของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)
d	= มวลแห้งของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)
ϕ	= มุมกองของมะพร้าวชูด (องศา)
P	= ความดัน
V	= ปริมาตร (m^3)
C_{pg}	= ความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดตัวอย่าง (kJ/kg°C)
C_f	= ค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ (kJ/°C)
T_e	= อุณหภูมิในภาวะสมดุลของระบบ (°C)
T_i	= อุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอรีมิเตอร์ (°C)
T_g	= อุณหภูมิของมะพร้าวชูด (°C)
m_w	= ปริมาณน้ำ ระเหย (kg_{water})
M_{di}	= ความชื้นเริ่มต้น (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$)
M_{df}	= ความชื้นสุดท้าย (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$)
W_f	= กำลังที่ให้กับพัดลม
ΔP	= ความดันลดในระบบ (Pa)
\dot{m}	= อัตราการไหลของอากาศอบแห้ง (m^3/s)
\dot{m}_a	= อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง ($kg_{dry\ air}/s$)
H	= ความสูงของห้องอบแห้ง (m)
D_i	= เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
D	= เส้นผ่านศูนย์กลางห้องอบแห้ง (m)
ϵ	= ค่าความขรุขระของผิวของวัสดุ
η_f	= ประสิทธิภาพของพัดลม
η_m	= ประสิทธิภาพมอเตอร์
w_i	= น้ำหนักของมะพร้าวชูดก่อนอบแห้ง (g)
w_f	= น้ำหนักของมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง (g)
SEC	= ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (MJ / kg_{water})
E	= พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (J)

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

- m_{water} = ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (kg)
- DR = อัตราการอบแห้ง (kg /h)
- T = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)
- L_0 = ค่าความสว่างของเนื้อมะพร้าวหูดเริ่มต้น
- a_0 = ค่าความเป็นสีเขียวของเนื้อมะพร้าวหูดเริ่มต้น
- b_0 = ค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อมะพร้าวหูดเริ่มต้น
- L_p = ค่าความสว่างของเนื้อมะพร้าวหูดหลังการอบแห้ง
- a_p = ค่าความเป็นสีเขียวของเนื้อมะพร้าวหูดหลังการอบแห้ง
- b_p = ค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อมะพร้าวหูดหลังการอบแห้ง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

มะพร้าว (*Cocos nucifera* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ Palmae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ประเทศไทยมีผลผลิตของมะพร้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก รองลงมาจากประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิลและศรีลังกาตามลำดับ โดยผลผลิตของมะพร้าวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO) พ.ศ. 2550 พบว่า ผลผลิตมะพร้าวของประเทศไทยมีประมาณ 1.72 ล้านตันต่อปี ซึ่งมากกว่าผลผลิตของมะพร้าวในปี พ.ศ. 2542-2547 ที่มีประมาณ 1.38-1.45 ล้านตันต่อปี โดยมะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (virgin coconut oils: VCO) หรือเรียกอีกอย่างว่า “น้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง” (cold-pressed coconut oil) ซึ่งปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมและสนใจจากผู้บริโภคในประเทศแถบเอเชียและแปซิฟิกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งเป็นอาหารและยา กล่าวคือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งประกอบด้วยอาหารประเภทไขมัน (dietary fat) เส้นใยอาหาร (dietary fibers) โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุรอง (micro mineral) เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส รวมทั้งวิตามิน เช่น ไนอะซิน (niacin) และไรโบฟลาวิน (riboflavin) (Bawalan and Chapman, 2006) จึงนำมาประกอบในอาหารหวานคาว ใช้เป็นน้ำมันทอดอาหาร (frying oil) และน้ำมันปรุงอาหาร (cooking oil) นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและโอเลโอเคมีเคิล ทั้งนี้เพราะว่าองค์ประกอบทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าว มีความแตกต่างไปจากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ น้ำมันมะพร้าวสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุปโภคและบริโภคเช่นเป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่อาบน้ำและเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังและช่วยในการผ่อนคลายได้ อีกทั้งในน้ำมันมะพร้าวยังมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นและสายปานกลางเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำไปช่วยลดคอเลสเตอรอล (LDL-cholesterol) ในเลือด ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Nevin and Rajamohan, 2004)

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สามารถผลิตได้หลายแนวทาง แต่จากการสำรวจผู้ผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในไทย มีกระบวนการผลิต 3 วิธีหลักๆ ได้แก่ การเหวี่ยงแยก (centrifuge process), การบีบเย็น (cold press) และการหมัก (fermentation process) การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมัก เป็นวิธีที่ชาวบ้านใช้ผลิต ซึ่งใช้ระยะเวลาานาน ได้ปริมาณของผลผลิตต่ำ คุณภาพน้ำมันที่ได้มีค่ากรดค่อนข้างสูง และมีโอกาสปนเปื้อนสูง การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีเหวี่ยงแยก

(centrifuge process) ใช้ระยะเวลาสั้นและรักษาคุณภาพน้ำมันมะพร้าวได้ดี เหมาะเป็นน้ำมันสำหรับใช้บริโภค แต่ต้นทุนเครื่องเหวี่ยงแยกค่อนข้างสูง วิธีบีบเย็น (cold press) เป็นวิธีแยกเอาน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวที่อบแห้งเหลือความชื้น ประมาณ 10-12% นำมาเข้าเครื่องบีบน้ำมันที่ได้จะมีตะกอนละเอียดปนออกมากับน้ำมันด้วย จึงต้องทิ้งไว้ให้ตกตะกอนหรือกรองให้ใสวิธีนี้มีต้นทุนสูงกว่าวิธีหมัก แต่จะได้น้ำมันมากกว่าและมีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอ กระบวนการผลิตทั้ง 3 วิธีนี้ไม่ได้ใช้ความร้อนสูง ดังนั้นน้ำมันมะพร้าวจึงเก็บไว้ได้นาน ในปัจจุบันความต้องการน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เพิ่มมากขึ้น การผลิตด้วยวิธีการหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาด ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีเหวี่ยงแยกมีต้นทุนสูง วิธีการบีบเย็นจึงเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการผลิตระดับอุตสาหกรรม แต่มีความจำเป็นต้องเตรียมมะพร้าวโดยการลดความชื้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อจะหาข้อมูลพื้นฐานในด้านการเตรียมมะพร้าวชุบอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็คเบด (spouted bed) เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยวิธีการบีบเย็น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็คเบดให้เหมาะสมกับการอบแห้งมะพร้าวชุบ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการอบแห้งมะพร้าวชุบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็คเบด
3. เพื่อประเมินความสามารถการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวชุบอบแห้งด้วยวิธีบีบ

เย็น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็คเบดต้นแบบสำหรับอบแห้งเนื้อมะพร้าวขนาดระดับห้องปฏิบัติการ
2. การประเมินความสามารถการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวชุบที่ได้จากการอบแห้งจะทำโดยวิธีเกลียวอัด (screw press) และวิธีการบีบด้วยไฮดรอลิก (hydraulic press)

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 มะพร้าว

มะพร้าว (*cocos nucifera* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ *palmae* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตของมะพร้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก รองลงมาจากประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิลและศรีลังกาตามลำดับ โดยผลผลิตของมะพร้าวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO) พ.ศ 2550 พบว่า ผลผลิตมะพร้าวของประเทศไทยมีประมาณ 1.72 ล้านตันต่อปี ซึ่งมากกว่าผลผลิตของมะพร้าวในปี พ.ศ 2542-2547 ที่มีประมาณ 1.38-1.45 ล้านตันต่อปี โดยมะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมและสนใจจากผู้บริโภคในประเทศแถบเอเชียและแปซิฟิกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งเป็นอาหารและยา กล่าวคือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งประกอบด้วยอาหารประเภทไขมัน (dietary fat) เส้นใยอาหาร (dietary fibres) โพรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุรอง (micromineral) เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส รวมทั้งวิตามิน เช่น ไนอะซิน (niacin) และไรโบฟลาวิน (riboflavin) (Bawalan and Chapman, 2006) จึงนำมาประกอบในอาหารหวานคาว ใช้เป็นน้ำมันทอดอาหาร (frying oil) และน้ำมันปรุงอาหาร (cooking oil) นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยังสามารถใช้เป็นยาและสมุนไพรในการรักษาอาการเจ็บป่วย รักษาแผลเรื้อรัง และใช้สมานแผล อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่อาบน้ำและเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังและช่วยในการผ่อนคลายได้

2.2 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (virgin coconut oils: VCO) หรือเรียกอีกอย่างว่า “น้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง” (cold-pressed coconut oil) คือ น้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวสดโดยวิธีการกลหรือวิธีการธรรมชาติ โดยใช้หรือไม่ใช้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ควรต่ำกว่า 60 °C (ลลิตา, 2548) เพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณความชื้นต่ำ น้ำมันมะพร้าวที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปบริโภคนั้นต้องมีสีใส ประกอบด้วยวิตามินอีธรรมชาติ ไม่เกิดการออกซิเดชันภายใต้สภาวะบรรยากาศ ไม่มีตะกอน มีกลิ่นหอมของมะพร้าว ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนและเหม็นเปรี้ยว สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีความแตกต่างจากน้ำมันมะพร้าวที่วางจำหน่ายในท้องตลาดที่เรียกว่า copra-derived oil ซึ่งผลิตโดยใช้สารเคมีและความร้อนสูงในการทำบริสุทธิ์ (chemical

refining) ผ่านการฟอกสี (bleaching) และการกำจัดกลิ่น (de-odorsing) ก่อนนำไปบริโภค บางครั้งอาจกล่าวได้ว่าเป็นน้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ (coconut oil) แต่ความจริงแล้วเป็นน้ำมันมะพร้าว RBD ที่ย่อมาจาก Refined, Bleached, De-odorised coconut oil โดยน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้จะมีสีเหลือง ไม่มีกลิ่น (แต่เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะมีกลิ่นเหม็นหืน) ไม่มีรสชาติ และวิตามินอีธรรมชาติ เนื่องจากวิตามินอีได้ถูกกำจัดออกไประหว่างกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงและใช้สารเคมี (Bawalan and Chapman, 2006)

2.2.1 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำมันมะพร้าว RBD และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือน้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (กันทิมาและคณะ, 2548) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. น้ำมันมะพร้าว RBD เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวห้าวโดยการบีบหรือใช้ตัวทำละลายแล้วนำมาผ่านความร้อนสูงและกระบวนการทางเคมีคือ การทำให้บริสุทธิ์ (refining) การฟอกสี (bleaching) และการกำจัดกลิ่น (deodorization) ซึ่งน้ำมันมะพร้าวภายหลังการสกัดที่เหมาะสมสำหรับนำมาบริโภคนั้นจะมีสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่นและรสชาติ ปราศจากวิตามินอี มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.1 % ปัจจุบันไม่ค่อยมีน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้จำหน่าย เนื่องจากโรงงานสกัดน้ำมันมะพร้าวประเภทนี้ส่วนใหญ่เลิกดำเนินการไปแล้ว

2. น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (cold-pressed coconut oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจากเนื้อมะพร้าวสดผ่านกระบวนการบีบ แต่ไม่ผ่านความร้อนสูง เป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สุด สีใสเหมือนน้ำ มีวิตามินอีและไม่ผ่านกระบวนการเติมออกซิเจน (oxidation) มีค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระต่ำ มีกลิ่นมะพร้าวอ่อนๆ ถึงแรง (ขึ้นอยู่กับกระบวนการการผลิต) มีความชื้นไม่เกิน 0.1% โดยเรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้อีกอย่างว่า “น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์” (virgin coconut oil) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ผลิตโดยอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือในครัวเรือน ทั้งนี้ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวสดจะมีปริมาณส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bio-active components) มากกว่าน้ำมันมะพร้าว RBD ที่สกัดโดยใช้การสกัดแบบแห้ง หรือ dry process

2.2.2 การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

การผลิตน้ำมันมะพร้าวในอุตสาหกรรมทั่วไป จะเริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวออกจากผลมะพร้าวโดยนำมตากแห้งหรืออบแห้ง จากนั้นจึงบดย่อยเนื้อมะพร้าวแห้งให้เป็นชิ้นเล็กๆ และทำการบีบน้ำมันมะพร้าวออกด้วยเครื่องบีบแบบเกลียวอัด น้ำมันที่ได้มักมีเศษมะพร้าวแห้งปนมาด้วย จึงต้องนำไปกรองเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวดิบสีน้ำตาลใสปราศจากเศษมะพร้าวแห้ง โดยกากของเนื้อมะพร้าวจะถูกส่งขายเป็นอาหารสัตว์ และน้ำมันมะพร้าวดิบสีน้ำตาลใสนั้นจะนำไปเข้าสู่กระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมี (โดยใช้ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าว จากนั้นล้างสบู่และด่างส่วนเกินออกด้วยน้ำจนมีสภาพเป็นกลาง วิธีนี้อาจทำให้สูญเสีย

น้ำมันมะพร้าวสูง) หรือกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ทำโดยการนำน้ำมันมะพร้าวดิบที่ได้จากการสกัดมากำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกและฟอกสีด้วยผงฟอกสี จากนั้นนำน้ำมันเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำกว่าบรรยากาศเพื่อแยกกรดไขมัน กลิ่นและสีออก จากนั้นนำมากรองอีกครั้งจึงได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพื่อรอจำหน่ายต่อไป ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (ลลิตา, 2548) มีดังนี้

1. วัตถุดิบ จะใช้มะพร้าวที่มีอายุ 12-13 เดือน ซึ่งเป็นมะพร้าวที่โตเต็มที่ (fully mature nut) และต้องไม่มีเชลล์เบียน (haustorium) เนื่องจากจะทำให้ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวลดลง โดยจำนวนมะพร้าวที่ใช้ผลิตเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าว 1 ลิตร คือ 10-15 ลูก หรือเนื้อมะพร้าวชุดที่อบแห้งแล้ว 1 กิโลกรัม เมื่อผ่านการบีบเย็นแล้วจะให้ผลผลิตของน้ำมันมะพร้าว 0.17 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของการผลิตและกระบวนการที่ใช้การผลิตระดับจุลภาค (micro-scale enterprise) หรือระดับครัวเรือนจะมีกำลังการผลิตน้อยกว่า 1,000 ลูกต่อวันขณะที่การผลิตระดับหมู่บ้าน (village-scale enterprise) มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1,000-5,000 ลูกต่อวัน (Bawalan and Chapman, 2006)

2. การเตรียมวัตถุดิบ ควรเลือกใช้มะพร้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกใหม่ๆ และระมัดระวังไม่ให้ผลมะพร้าวปริแตกระหว่างขนส่งเนื่องจากลูกมะพร้าวจะเกิดการเน่าเสีย (spoilage) จากการทำงานของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ ทำให้น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้มีกลิ่นและรสที่ไม่ดี โดยทั่วไปเนื้อมะพร้าวชุดจะมีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ควรนำเนื้อมะพร้าวนั้นเข้าอบแห้งภายใน 4 ชั่วโมง และไม่ควรทิ้งไว้ข้ามคืน

3. กระบวนการในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวมีหลายกรรมวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมในระดับครัวเรือน วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวอัด วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงและวิธีการหมัก (ลลิตา, 2548) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) Traditional hand pressed method เป็นกรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวในระดับครัวเรือนแบบดั้งเดิม การผลิตเริ่มต้นจากการบีบน้ำกะทิจากเนื้อมะพร้าวชุดที่เก็บรักษาไว้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งองค์ประกอบในน้ำกะทิประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ โปรตีนและอื่นๆ น้ำกะทิจะถูกหมักเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมงเพื่อให้ไขมันมะพร้าวแยกออกจากชั้นน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันมะพร้าวเพื่อไล่ความชื้นและทำการกรอง ข้อเสียของวิธีการนี้คือ เป็นการผลิตในระดับกำลังการผลิตขนาดเล็ก ทำให้การควบคุมคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวให้สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก

(2) Centrifuge process เป็นการผลิตโดยใช้เครื่องเหวี่ยง การผลิตน้ำมันมะพร้าววิธีนี้จะได้น้ำมันมะพร้าวที่มีคุณภาพสูงกว่าวิธี Traditional hand pressed method เนื่องจากไม่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันในขั้นตอนของการผลิต การผลิตเริ่มต้นจากการนำน้ำกะทิมาเหวี่ยงเพื่อแยกของแข็งและน้ำออกจากชั้นน้ำมันจนได้ชั้นของน้ำมันอยู่ด้านบน ข้อเสียของวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องเหวี่ยงซึ่งมีราคาแพง ทั้งนี้การสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงมักจะใช้ในการ

สกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในระดับโรงงาน ซึ่งข้อดีของการสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงคือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี ผ่านความร้อนและมีความชื้นน้อย (คมสัน, 2547) จากการศึกษาของ (ชนานันท์, 2549) โดยใช้เครื่องเหวี่ยงในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ความเร็วในการเหวี่ยงหมุน 6,000-12,000 รอบต่อนาที และใช้เวลา 30-105 นาที นั้นพบว่าความเร็วและเวลาที่ใช้ในการเหวี่ยงมีผลต่อปริมาณของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเหวี่ยงเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพิ่ม โดยความหนืดของน้ำมันมะพร้าวและน้ำจะมีความไวต่ออุณหภูมิ ซึ่งแรงเหวี่ยงจะทำให้เกิดความร้อนจากการเหวี่ยงหมุน เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ความหนืดของน้ำมันมะพร้าวจะลดลง ส่วนการเพิ่มอัตราเร่งในการเหวี่ยงหมุนจะทำให้อัตราเร็วในการแยกน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น ผลที่ได้คือ ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าผลผลิต (yield) ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สูงสุดอยู่ที่ 29.5 % โดยใช้ความเร็วและเวลาในการเหวี่ยงหมุน 1,200 รอบต่อนาทีและ 105 นาทีตามลำดับ

(3) Direct micro expeller (DME)- fresh dry process เป็นการผลิตน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เครื่องบีบแบบสกรู (screw type press) โดยเนื้อมะพร้าวที่ใช้ได้ผ่านการซูดและอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50-60 °C นานประมาณ 4 ชั่วโมงหลังจากกะเทาะเปลือกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรีย การผลิตวิธีนี้สามารถใช้ความดันต่ำร่วมด้วย หรือเรียกว่า low pressure oil extraction โดยเนื้อมะพร้าวที่ใช้จะมีความชื้นประมาณ 10-12% ทำให้น้ำมันมะพร้าวที่บีบได้มีองค์ประกอบของน้ำที่มาจากความชื้นของเนื้อมะพร้าวประมาณ 10% ของน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ เมื่อวางทิ้งไว้ให้น้ำมันและน้ำแยกชั้นแล้วอาจใช้ความร้อนเพื่อกำจัดปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ ระยะเวลาที่ใช้ต่อการดำเนินงาน 1 ครั้ง ประมาณ 1.5 ชั่วโมงและมีประสิทธิภาพในการสกัด (extraction efficiency: OEE) มากกว่า 85%

(4) การสกัดด้วยเครื่องไฮโดรลิก วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิกและวิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวอัดนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตเชิงธุรกิจ เนื่องจากต้องลงทุนเกี่ยวกับเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างแพง โดยขั้นตอนในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีดังนี้คือ นำเนื้อมะพร้าวสดไปอบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 °C เป็นระยะเวลา 30-45 นาที นำเนื้อมะพร้าวที่อบแห้งมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปบีบด้วยเครื่องบีบแบบไฮโดรลิก จะได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ออกมา จากนั้นนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไปกรองด้วยผ้ากรองตาถี่หลายชั้น แล้วใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด ตั้งทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ให้ตกตะกอนและนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เฉพาะน้ำมันใสๆ มากรองอีกครั้งหนึ่ง จะได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบบีบเย็น (cold pressed) จากนั้นนำไปบรรจุลงในขวดที่มีฝาปิด (คมสัน, 2547)

(5) การสกัดด้วยวิธีการหมัก เป็นวิธีการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ง่าย สะดวกและลงทุนต่ำการหมักเป็นวิธีการดั้งเดิมของชาวฟิลิปปินส์ อินเดีย และชาวเกาะแปซิฟิก ทำโดยการคั้นน้ำกะทิจากผลมะพร้าวแก่ที่เก็บมาจากต้นภายใน 24 ชั่วโมง วิธีการหมักมีข้อเสียเกี่ยวกับ

ความชื้นในน้ำมันมะพร้าว ถ้าน้ำมันมะพร้าวไปไล่ความชื้นออกโดยผ่านการให้ความร้อนก็สามารถไล่ความชื้นออกไปได้และได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีการสกัดด้วยวิธีการหมัก มีขั้นตอนดังนี้คือ นำเนื้อมะพร้าวชูดใส่ในกะละมัง เติมน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 °C ลงไปโดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 1 ส่วน จากนั้นคั้นน้ำกะทิในกะละมังแล้วใช้ผ้าขาวบาง หรือ ตะแกรงลวดกรองเอากากมะพร้าวทิ้งไป โดยกากมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น ทำปุ๋ย หรือใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น นำน้ำกะทิที่คั้นได้ไปหมักในสภาวะไร้อากาศ โดยใส่ในขวดโหลหรือภาชนะอื่นๆ ที่มีทรงสูง โดยให้ขอบบนของน้ำกะทิห่างจากปากขวดประมาณ 2 นิ้ว ปิดปากขวดโหลด้วยฝาพลาสติก ให้นำขวดโหลให้แน่น แล้วตั้งทิ้งไว้ 36-48 ชั่วโมง เอนไซม์ที่มีอยู่ในมะพร้าวตามธรรมชาติจะทำให้โปรตีนแยกตัวออกจากน้ำมันหลังจากตั้งทิ้งไว้ 36-48 ชั่วโมงโดยน้ำกะทิจะแยกออกเป็น 3 ส่วนคือน้ำมันมะพร้าวจะลอยตัวอยู่ด้านบน ซึ่งอาจพบกากกะทิปนอยู่ด้วย ส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำจะเป็นกากกะทิ และส่วนล่างซึ่งมีปริมาณมากที่สุดก็คือ น้ำ ขั้นตอนสุดท้ายนำน้ำมันมะพร้าวที่ลอยอยู่ด้านบนแยกออกจากน้ำ โดยใช้สายยางหรือกระบอกตักน้ำ แล้วตั้งทิ้งไว้ 2-3 วัน เพื่อให้ตกตะกอน ทำการกรองเอาแต่น้ำมันใสๆ มาบรรจุลงในภาชนะที่ปิดแสงหรือขวดที่มีฝาปิด ซึ่งสามารถเก็บน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้นานเป็นปีโดยไม่เสื่อมคุณภาพ การสกัดน้ำมันมะพร้าววิธีนี้จะได้น้ำมันออกมาประมาณ 15-20% ของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวที่นำมาสกัด (คมสัน, 2547)

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งแบบรับประทานได้ (edible use) ได้แก่ น้ำมันทอดอาหาร ยาและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ และแบบรับประทานไม่ได้ (inedible use) ได้แก่ วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ซักกรีดและสบู่อาบน้ำ พลังงาน และเครื่องสำอาง (Bawalan and Chapman, 2006) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แบบรับประทานได้ (edible use)

(1) น้ำมันทอดอาหาร น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถนำมารับประทานได้ (edible use) โดยการนำมาใช้เป็นน้ำมันทอดอาหารและน้ำมันปรุงอาหาร ประโยชน์ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้านอื่นๆ เช่น เป็นแหล่งของไขมันสำหรับทารกหรืออาหารสำหรับทารก (baby foods) เนื่องจากสามารถย่อย (digestibility) และดูดซึมง่าย (absorbability) ใช้เป็น spray oil สำหรับขนมปังกรอบ (crackers) คุกกี้ (cookies) และอาหารเช้าที่ทำจากธัญพืช (cereal) เพื่อเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (shelf-life) และเพิ่มความมันเงาของอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผสมในขนมหวาน (confectionaries) ได้แก่ ขนมที่มีลักษณะเป็นแท่งแบน (candy bar) ท็อฟฟี่ (toffee) และคาราเมล (caramel) (Bawalan and Chapman, 2006)

(2) ยาและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ มีคุณสมบัติของ anti-inflammatory, anti-microbial และ antioxidant properties ที่ทำงานร่วมกันและป้องกันโรคหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) โรคหัวใจ (cardiovascular disease) และช่วยป้องกันภาวะอ้วนลงพุง

(obesity) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการติดเชื้อโรค (infectious disease) ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารโดยการเพิ่มการดูดซึมของวิตามิน แร่ธาตุและกรดอะมิโนต่างๆ และช่วยยับยั้งการเกิดมะเร็ง (cancer-forming)

2. แบบรับประทานไม่ได้ (inedible use)

(1) วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ซักกรีดและสบู่อาบน้ำ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถนำมาใช้เป็นสารเคมีในการผลิตสารชำระล้างที่มีความสามารถในการย่อยสลาย (biodegradable detergent) แชมพู เจลอาบน้ำ และเป็นสารทำความสะอาด (cleaning agent) ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์สำหรับชำระล้าง และเป็นสารช่วยให้เกิดฟอง (foaming booster) (Bawalan and Chapman, 2006)

(2) พลังงาน มีการใช้น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจาก coco methyl ester สำหรับใช้ผลิตเชื้อเพลิงดีเซลทดแทน ปัจจุบันประเทศฟิลิปปินส์ใช้ coco methyl ester เป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพในเชื้อเพลิงดีเซล (fuel additive) โดยใช้ส่วนผสม 5% เพื่อลดการปล่อยควันและการเกิดของไนโตรสออกไซด์ ในประเทศไทยมีการนำน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับ 10-20% kerosene ในการกำจัดไขมันต่างๆ นำมาใช้เป็นสารตัวเติม (filler) และใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยเช่นเดียวกัน

(3) เครื่องสำอาง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีคุณสมบัติอ่อนโยนต่อผิวหนัง (hypoallergenic properties) ปัจจุบันจึงนิยมใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในด้านหลักๆ ดังนี้คือ คอนดิชันเนอร์สำหรับเส้นผมและผิวหนัง เป็นส่วนผสมน้ำมันในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลผิว หรือเป็นน้ำมันพื้นฐาน (carrier oil) ในสுவคนธบำบัด (aromatherapy) และน้ำมันนวด (massage oil)

2.3 การอบแห้ง

2.3.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหยของน้ำโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับจะเป็นความร้อนแฝงของการระเหย (สมชาติ, 2540) โดยทั่วไปการอบแห้งมักจะใช้อากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันกับการถ่ายเทมวล (ความชื้น) จากวัสดุไปยังอากาศโดยรอบ ความร้อนที่ได้รับจากอากาศส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้ว อัตราการอบแห้งจะคงที่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อถึงสภาวะสมดุล

ในกรณีของวัสดุทางการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่มีความชื้นค่อนข้างสูงทั้งขณะเก็บเกี่ยว และหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานาน เพราะผลผลิต อาจเกิดการเสียหายจากเชื้อราที่เกิดจากความชื้นของวัสดุ การอบแห้งจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานานขึ้น นอกจากนั้นสามารถนำกระบวนการอบแห้งไปประยุกต์ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญ ๆ ที่สามารถใช้กระบวนการอบแห้งในการเก็บรักษาหรือแปรรูปได้แก่ ข้าวเปลือก ข้าวโพด รวมถึงเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ เป็นต้น

2.3.2 ความชื้นวัสดุ

ความชื้นในวัสดุ (moisture content) เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือมวลของวัสดุแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้สองรูปแบบ กล่าวคือความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis moisture content) และความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis moisture content) โดยความชื้นทั้งสองรูปแบบสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) ตามลำดับ

$$M_d = \frac{w - d}{d} \quad (2.1)$$

$$M_w = \frac{w - d}{w} \quad (2.2)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งและความชื้นมาตรฐานเปียกแสดงได้ด้วยสมการที่ (2.3)

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d} \quad (2.3)$$

โดยที่ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg, db.)

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg, wb.)

w คือ มวลของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

2.3.3 การหาความชื้นของวัสดุทางเกษตร

ความชื้นในวัสดุสามารถหาได้โดยใช้ตู้อบ (oven) ซึ่งอาจเป็นตู้อบไล่ความชื้นปกติ หรือเป็นตู้อบสุญญากาศก็ได้ ตัวอย่างการหาความชื้นในวัสดุโดยใช้ตู้อบมีดังนี้ (สมชาติ, 2540) เช่น ผลไม้แห้ง อบที่ 70°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ นมผงแห้ง อบที่ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ กากน้ำตาล อบที่ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในตู้อบสุญญากาศ เมล็ดพันธุ์ อบที่ 130°C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงในตู้อบไล่ความชื้นปกติ หรือ อบที่ 100°C เป็นเวลา 72-96 ชั่วโมงในตู้อบไล่ความชื้นปกติ

อย่างไรก็ตาม ตัวเลขดังกล่าวเป็นเพียงข้อเสนอแนะเท่านั้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาความชื้นโดยการอบ อาจสังเกตได้จากน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนไป หากพบว่าน้ำหนักของวัสดุยังมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบเวลาอบที่กำหนดไว้ แสดงว่าความชื้นในอาหารยังถูกกำจัดออกไปได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรอบต่อไปจนกระทั่งน้ำหนักวัสดุที่อบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง การหาความชื้นของอาหารบางชนิดสามารถหารายละเอียดอ้างอิงเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000)

นอกจากการหาความชื้นด้วยวิธีอบในตู้อบไล่ความชื้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่นที่สามารถหาความชื้นได้แต่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่า ได้แก่ มาตรวัดความชื้น (moisture content meter) เครื่องดังกล่าวใช้หลักการอบไล่ความชื้นของ โดยการใช้ความร้อนแก่วัสดุตัวอย่างที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก การให้ความร้อนอาจทำได้โดยการใช้ขดลวดกำเนิดความร้อนหรือหลอดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด เครื่องวัดความชื้นนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟอินฟราเรดเพื่อให้ความร้อน และเครื่องชั่งอยู่ในเครื่องเดียวกัน ในขณะที่หลอดอินฟราเรดให้ความร้อนแก่อาหาร น้ำจะระเหยออกไป ในขณะที่ชั่งเครื่องชั่งก็จะทำการอ่านบันทึกค่ามวลของอาหารที่เปลี่ยนไปเทียบกับมวลเริ่มต้น ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งมวลไม่มีการเปลี่ยนแปลง เครื่องจะทำการคำนวณค่าความชื้นสุดท้าย

2.4 เครื่องอบแห้งวัสดุเกษตรและอาหาร

สำหรับเครื่องอบแห้งวัสดุเกษตรและอาหารนั้นมีเทคนิคในการอบแห้งหลายแบบทั้งนี้ในการเลือกใช้ ควรดูให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการนำมาอบแห้ง

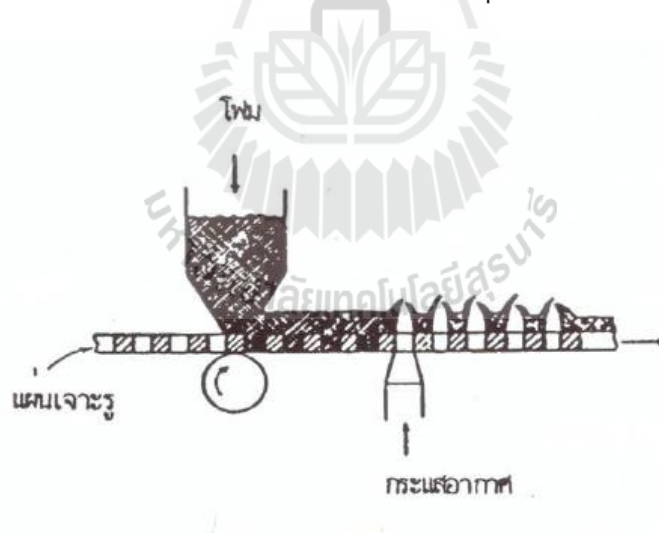
2.4.1 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (fixed-tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ที่เหมาะสมกับอาหารที่อยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันเป็นปริมาณมาก (bulk drying) เครื่องอบแห้งแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) และเครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet dryer) ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งเรียงอยู่บนถาดซึ่งวางซ้อนกัน โดยมีช่องว่างของอากาศระหว่างถาด ถาดดังกล่าวมีขนาดประมาณ 1 m × 1 m และวางอยู่บนรถเข็นซึ่งสูงประมาณ 1-1.5 m เพื่อให้คนจับและยกถาดได้สะดวก

2.4.2 เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (moving-bed dryer)

ตัวอย่างอันหนึ่งของเครื่องอบแห้งแบบนี้คือ การอบแห้งโดยใช้สายพาน ชั้นของวัสดุที่ต้องการอบแห้งอยู่บนสายพานซึ่งเคลื่อนที่และมีรูให้อากาศไหลผ่านได้ อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีทิศทางไปด้านบนหรือด้านล่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุอบแห้ง ในบางครั้งอาจมีการกลับทิศทางลมร้อนเป็นช่วงเวลาเพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง สภาพของอากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของสายพาน เช่นส่วนต้นของสายพานวัสดุอบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่ที่ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง ส่วนตอนปลายของสายพานก็ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าเพราะวัสดุอบแห้งมีความชื้นลดลงใกล้ถึงจุดที่ต้องการแล้ว การอบแห้งแบบสายพานนี้มีข้อเสียที่ว่าไม่สามารถอบแห้งวัสดุให้มีความชื้นต่ำกว่า 10% wb ได้โดยประหยัด โดยทั่วไปเมื่อวัสดุมีความชื้นเหลือประมาณ 27% wb หรือต่ำกว่าก็จะถูกถ่ายไปยังเครื่องอบแห้งตัวที่สอง เช่น เครื่องอบแห้งแบบถังหรือถังเก็บเพื่อลดความชื้นต่อไป

เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถใช้กับวัสดุในรูปของเหลว ซึ่งได้มีการทำให้คงตัวในรูปของโฟมโดยการอัดอากาศหรือก๊าซอื่นและใส่สารเพิ่มเติมบางอย่าง โดยป้อนเข้าสายพานซึ่งมีรูแล้วผ่านลมร้อนไปตามรูเหล่านั้นดังรูปที่ 2.1 ชั้นของโฟมโดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธีนี้จะมีโครงสร้างโปร่งพรุน สามารถนำกลับเพื่อไปผสมกับน้ำเพื่อให้กลับคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเหมาะกับพวกน้ำผลไม้แห้งเป็นต้น นอกจากผลิตภัณฑ์พวกโฟมแล้ว เครื่องอบแห้งแบบสายพานยังใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ด้วย



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน โดยมีผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของโฟม

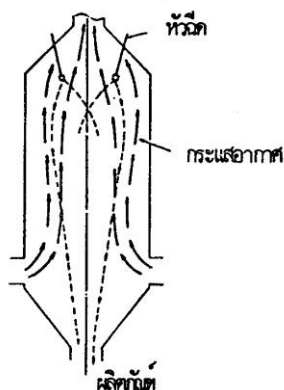
ที่มา : (สมชาติ, 2540)

2.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

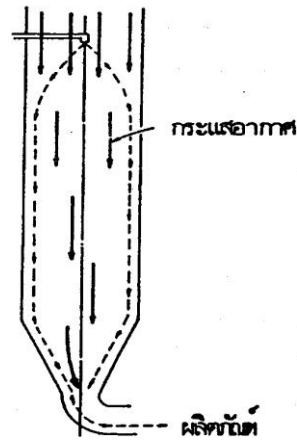
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเหมาะสำหรับวัสดุซึ่งอยู่ในรูปของเหลว เมื่ออบแห้งแล้วผลิตภัณฑ์จะอยู่ในรูปของแข็งเม็ดเล็กๆ เช่น นมผง ไข่ผง กาแฟ เป็นต้น เนื่องจากช่วงเวลาในการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสั้นมาก อาจจะมีประมาณ 3-10 วินาที ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับอาหารซึ่งมีคุณภาพสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นมากเป็นผลมาจากการทำให้อาหารเหลวเป็นละอองโดยใช้เครื่องทำละออง (atomizer) ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนมาก เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบไหลสวนทางและแบบไหลตามดั่งที่แสดงในรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางคือการใช้ความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแต่ก็มีข้อเสียคือคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งอาจจะไม่ดีนัก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนที่แห้งแล้วจะสัมผัสกับอากาศซึ่งร้อนจัด นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศต้องไม่สูงมากนัก เพื่อป้องกันการพัดพาเอาอาหารซึ่งแห้งแล้วออกจากเครื่องอบแห้ง

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบไหลตามกันมีข้อดีตรงที่ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งสูง แต่การใช้ประโยชน์ของลมร้อนอาจไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตามความเร็วลมจะมีค่าระหว่าง 2.1-3 m/s

เครื่องทำละอองทำหน้าที่ผลิตหยดของเหลวเล็กๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ แบบหัวฉีดความดัน (pressure nozzles) แบบของไหลสองชนิด (two-fluid atomizers) และแบบจานหมุน (rotary atomizers) เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดความดันทำงานโดยอาศัยความดันสูงอัดของเหลวให้ผ่านรูเล็กๆ ส่วนแบบของไหลสองชนิดทำงานโดยอาศัยกระแสอากาศความเร็วสูงวิ่งเข้ากระทบของเหลว ทำให้ของเหลวแตกกระจายออกเป็นหยดเล็กๆ ส่วนแบบจานหมุนทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงซึ่งเกิดจากจานหมุนความเร็วสูงทำให้ของเหลวเหวี่ยงกระจายออกไปเป็นหยดเล็กๆ จำนวนมาก แบบจานหมุนมีข้อดี คือสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่อาจอุดตันในกรณีของหัวฉีดความดัน หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องทำละอองคือเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์เหลว



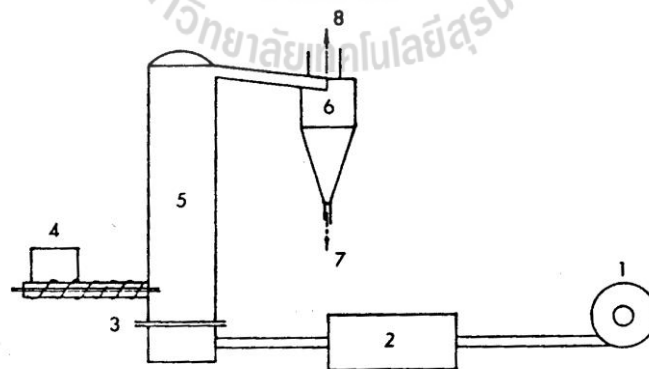
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหล สวนทาง (สมชาติ, 2540)



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบดแบบไหลตาม (สมชาติ, 2540)

2.4.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด (fluidized bed dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ วัสดุอบแห้งอยู่ในลักษณะของแข็งชิ้นเล็กๆ ลมร้อนถูกเป่าด้วยความเร็วสูงพอที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงของวัสดุ และทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้มีคุณลักษณะเหมือนของไหล ความเร็วลมที่นิยมใช้กันอยู่ในช่วง 100-200 m/min ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาดและรูปทรงของวัสดุ รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด ซึ่ง พัดลม (1) เป่าอากาศผ่านตัวทำอากาศร้อน (2) และไหลผ่านแผ่นตะแกรง (3) วัสดุไหลเข้าเครื่องโดยเก็ลยวลำเลียง (4) และปะทะกับกระแสน้ำอากาศทำให้แขวนลอยอยู่ในห้องอบแห้ง (5) วัสดุที่แห้งแล้วจะเบาขึ้น ทำให้ลอยได้สูงขึ้น และไหลไปที่เครื่องแยกคัดแบบไซโคลน (6) โดยอากาศขึ้นออกทางด้านบน (8) และวัสดุที่แห้งแล้วถูกรวบรวมที่ (7)



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด (สมชาติ, 2540)

2.5 ทฤษฎีและหลักการเป่าตัดเบด

สเปาตัดเบด เป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ทั้งนี้เนื่องจากเม็ด

หรือชั้นของแข็งดังกล่าว แรกเริ่มจะถูกวางไว้บนตะแกรงในภาชนะที่มักมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ปัจจุบันนี้ดัดแปลงให้อยู่ในรูปร่างในแนวนอนก็มี ของไหลที่ใช้อาจมีก๊าซหรือของเหลว ปล่อยให้ไหลผ่านช่องว่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลก็จะผ่านชั้นเม็ดของแข็ง แล้วไหลออกทางส่วนบนของภาชนะเมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเม็ดของแข็งจะขยับตัว และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกันของแข็งที่อยู่ใกล้ๆ นี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในภาชนะ

สมศักดิ์ (2528) กล่าวว่า เม็ดของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมักมีรูปร่างแปลกๆ ต่างกันออกไป จะนำมาผ่านกระบวนการของฟลูอิดไดซ์เบด กระทำได้ยาก เพราะก๊าซมักจะผ่านขึ้นมาบนเบดเป็นช่องหรือถ้าเกิดก็มักไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ตัวอย่างที่พบบ่อยคือ ข้าวที่มีรูปร่างรีและยาว หรือวัสดุที่ผิวขรุขระ หยิบ ถ้านำมาทำให้แห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดมักเกิดปัญหาเสมอ หรือการเคลือบเม็ดยาที่มีรูปร่างแปลกๆ เป็นต้น ดังนั้นสเปาเต็ดเบดจึงเป็นเทคนิควิธีหนึ่งที่จะใช้ได้ดีกับวัสดุที่มีรูปร่างแปลกๆ แรกเริ่มนั้นสเปาเต็ดเบดพัฒนาจากวิธีที่จะทำให้มีการสัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งขนาดใหญ่กับก๊าซ โดยการผ่านก๊าซที่มีความเร็วสูงในลักษณะของลำเจ็ทขึ้นมาในแนวตั้ง มาชนกับเม็ดของแข็งทำให้เม็ดของแข็งขยับและลอยตัวไปตามกระแสของลำเจ็ทอย่างรวดเร็ว เมื่อขึ้นมาได้ระยะหนึ่งก็จะตกลงไปทางรอบข้างผนังของภาชนะ การทำงานโดยใช้เทคนิคของสเปาเต็ดเบดในปัจจุบันได้รับความสนใจมากดังสรุปรายละเอียดตัวอย่างงานบางส่วนไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการนำสเปาเต็ดเบดไปใช้งานด้านต่างๆ

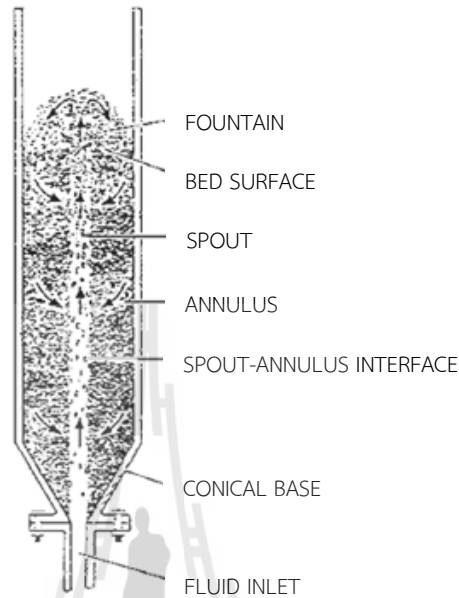
งานที่นำไปใช้	ลักษณะของงาน	ระยะในการพัฒนา
1. การอบแห้งวัตถุที่เป็นเม็ดทั้งพืชและสารเคมี	เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับวัตถุที่เป็นพวกไวต่อความร้อน เช่น ธัญพืช หรือ โพลีเมอร์	ใช้งาน อุตสาหกรรม
2. การเคลือบเม็ดยา	ขบวนการไม่ต่อเนื่อง พ่นสารที่ใช้เคลือบเม็ดยาเข้าไปในเบดได้เม็ดยาที่ขนาดสม่ำเสมอ และแห้งภายในเวลาอันสั้น	ใช้งาน อุตสาหกรรม
3. การผสม	การผสมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ประหยัดทั้งเวลาและเงินตรา ใช้ได้กับของแข็งทุกชนิด	ใช้งาน อุตสาหกรรม

ที่มา: (ธนิต, 2554)

2.5.1 ลักษณะของการเกิดสเปาเต็ดเบด

สเปาเต็ดเบดก่อตัวขึ้นจากกระแสลำเจ็ทของของไหลที่ผ่านเข้ามาภายในเบด โดยกระแสของไหลนี้มีความเร็วสูงและโมเมนตัมมากจะดันเม็ดของแข็งให้ลอยขึ้นเป็นแนวตามแกนของภาชนะ

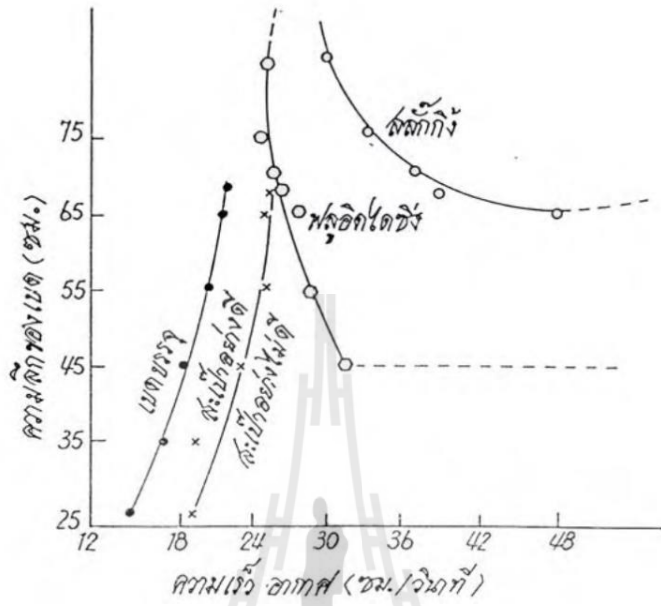
และเมื่อพื้นเบดแล้วเม็ดของแข็งก็จะตกกลับลงมาใหม่ดังรูปที่ 2.5 ของไหลที่ใช้นี้อาจเป็นของเหลวหรือก๊าซก็ได้



รูปที่ 2.5 การเกิดสเปลาภายในสเปาเต็ดเบด
ที่มา: Mathur and Gishler (1955)

เบดในสเปาเต็ดเบดแบ่งเป็นสองโซน คือ โซนที่เป็นเบดเบาบางที่เรียกว่าสเปา (spout) บริเวณนี้เม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่ขึ้น กับอีกโซนหนึ่งที่เป็นเบดหนาแน่นบริเวณนี้อยู่รอบผนังของภาชนะซึ่งเรียกว่าแอนนูลัส (annulus) เม็ดของแข็งบริเวณนี้จะเคลื่อนที่ลงข้างล่าง ตรงบริเวณด้านล่างของเบดจะเป็นรูปกรวยเพื่อให้เม็ดของแข็งเคลื่อนที่เข้าหากระแสลำเจ็ดได้ง่าย ส่วนบริเวณที่เม็ดของแข็งมีลักษณะคล้ายน้ำพุและตกลงสู่บริเวณแอนนูลัสจะเรียกว่าฟาว์นเทน (fountain) ความเร็วของเม็ดของแข็งที่บริเวณสเปาจะมีความเร็วมากกว่าบริเวณรอบๆ เม็ดของแข็งที่ลอยขึ้นมาตามกระแสลำเจ็ดจะชนกับเม็ดของแข็งที่เคลื่อนที่ตกลงมาตรงบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นตรงบริเวณที่ใกล้ๆ กับลำเจ็ดจะมีปริมาณของแข็งน้อยกว่าบริเวณที่อยู่สูงขึ้นไป (สมศักดิ์, 2528) กล่าวว่า การที่เบดสามารถเกิดสเปาได้โดยถาวรนั้นขึ้นกับสภาวะมากมายที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดเป็นแบบส้อม การเคลื่อนที่นี้สามารถเข้าไปสู่สภาวะฟลูอิดไดเซชันแบบเดือดผ่าน หรือแบบสลักกิ่งได้เมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.6) ตัวแปรที่สำคัญในเรื่องนี้ได้แก่ ขนาดของเม็ดของแข็ง ขนาดของท่อที่ให้ของไหลไหลเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ มุมกรวย อัตราการไหลของก๊าซและความสูงของเบด (Mathur and Gishler, 1955) ได้นำทรายขนาด 0.6 mm บรรจุในเบดขนาด 15 cm มาใช้ทดลองการเกิดส

เป่า จากการทดลองพบว่าไม่สามารถทำให้เกิดสเปาได้แม้จะทำการเพิ่มความเร็วของก๊าซให้สูงขึ้น เมื่อทำการลดขนาดของท่อทางเข้าของก๊าซเป็น 1.5cm แล้วเพิ่มความเร็วก๊าซพบว่าเบดเปลี่ยนจากเบดที่นิ่งเป็นฟลูอิดไดซ์เบดทันที และเมื่อลดขนาดท่อส่งก๊าซให้เล็กลงเหลือ 1.24 cm ก็จะเกิดสเปาที่สมบูรณ์ขึ้น โดยความสูงของเบดจะต้องต่ำกว่า 68 cm



รูปที่ 2.6 แผนภาพลักษณะต่างๆ ของเบด
ที่มา: (ธนิต, 2554)

2.5.3 ข้อดี ข้อเสีย ของการทำสเปาเต็ดเบด

ข้อดี

1. มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างของไหลและอนุภาคที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน
2. การที่ก้นของหอทดลองของสเปาเต็ดเบดเป็นรูปกรวยนั้นจะช่วยลดการเกิดจุดอับหรือจุดที่อนุภาคเกิดการสะสม และไม่มีการไหลเวียน ซึ่งจะพบมากในกรณีของฟลูอิดไดซ์เบดที่มีก้นหอทดลองแบน

ข้อเสีย

1. อนุภาคที่จะถูกเป่าขึ้นไปในแนวแกนนั้น สามารถมาได้จากทุกๆ ความสูงของเบด
2. ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบในการเป่า และการสัมผัสกันระหว่างของไหลและอนุภาค

3. ความสูงของอนุภาคที่ไหลลงมาในแนวรัศมีนั้นจะถูกจำกัดด้วยความเร็วของของไหล

นักวิจัยได้นำเทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตมาใช้กับผลผลิตเกษตรหลายชนิดดังนี้

พรศักดิ์ (2542) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบตขนาดอุตสาหกรรม โดยผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในช่วง 130-190°C โดยใช้ปริมาณวัสดุอบแห้ง 1900 kg อัตราการไหลอากาศอบแห้ง 0.7 kg/s สัดส่วนอากาศอบแห้งเวียนกลับมาประมาณ 0.62 ระยะเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง 17 min พบว่าสามารถลดความชื้นของข้าวลงจากความชื้นเริ่มต้น 30.3 %db เหลือความชื้นสุดท้าย 21.3 %db ในส่วนของคุณภาพข้าวเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นก่อนและหลังการอบแห้ง 48.2 และ 48 % ตามลำดับ ความขาวของข้าวก่อนและหลังการอบแห้ง 46 และ 46.7 ตามลำดับ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในรูปพลังงานปฏุนภูมิ 7.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

กษมา (2543) ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบตสองมิติ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการทดลองการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้น 38%db. อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอบแห้ง 130, 140, และ 150°C ปริมาณข้าวโพด (hold-up) 20, 25, และ 30 kg พบว่า ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนความชื้นคืออุณหภูมิอากาศอบแห้งและปริมาณข้าวโพดในห้องอบแห้ง (hold-up) สมการของ Lewis มีความเหมาะสมและสะดวกในการทำนายการอบแห้ง ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง ในด้านการร้าว การแตก และสีของเมล็ด คือ ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพด ซึ่งไม่ควรต่ำกว่า 22 %db. เพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าวมากขึ้น จากผลการพัฒนาสมการทำนายสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับเมล็ดข้าวโพดในช่องสเปา (h_s) และสัมประสิทธิ์ผลรวมทั้งห้องอบแห้ง (h_{eff}) พบว่าเป็นฟังก์ชันกับความสูงเบต Reynolds number และ Prandtl number โดย h_s และ h_{eff} มีค่าอยู่ระหว่าง 83-173 W/m² °C และ 12-13 W/m² °C ตามลำดับ

วาทัญญ และคณะ(2542) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคสเปาเต็ดเบต พบว่าตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณข้าวต้นนั้น ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศ และยังพบอีกว่าความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดในส่วน ช่องสเปา

สำหรับการศึกษางานวิจัยด้านการอบแห้งเนื้อมะพร้าวพบว่า ยิงยงและคณะ(2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกามะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูลำเลียงอนุกรมสองชุดซึ่งไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในทุกเงื่อนไขการทดลองใช้อัตราการป้อนกามะพร้าว 33.4 g/min และควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่ 12 rpm ในขณะที่อากาศ

อบแห้งถูกจ่ายเข้าเครื่องอบแห้งผ่านท่อกระจายอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงมวล 0.1359 kg/s ส่วนอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ศึกษาได้ปรับเปลี่ยนในช่วง 60-140°C เพิ่มขึ้น 20°C ในแต่ละการทดลอง ผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งกากมะพร้าวของเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 140°C มีค่าสูงสุด โดยสามารถลดความชื้น จาก 95.28%db. เหลือ 0.71%db. เพราะการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80-140°C มีค่าในช่วง 0.71-4.92 %db. สำหรับกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60°C นั้นมีความชื้นสุดท้าย 16.51% db. ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์กำหนดไว้ที่ 5% db.

จินตนาพรและคณะ(2555) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิตอบแห้งที่ 40, 60, และ 80°C และชั้นความหนาที่ 2, 3, และ 4 mm ของกากมะพร้าวพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิตอบแห้งสูงขึ้นและชั้นวัสดุบาง ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเมื่อนำกากมะพร้าวที่อบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบลมร้อนและชั้นความหนาของวัสดุแตกต่างกัน กากมะพร้าวอบแห้งมีปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ฐานิตย์และคณะ(2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิตอบแห้งที่มีต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลให้การลดลงของความชื้นของมะพร้าวเร็วขึ้น โดยหลังจากการอบแห้งมะพร้าวจนเหลือความชื้นประมาณ 1%db. เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของสีของมะพร้าวที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 และ 90°C ยังคงอยู่ในเกณฑ์ดีโดยจะมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะพร้าวก่อนทำการอบแต่กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 120 °C เนื้อมะพร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาอบแห้งมากกว่า 1 min โดยสามารถสังเกตเห็นความเหลืองที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า

เทคนิคสเปาเต็ดเบดเป็นวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมกับอนุภาคและมีความไวต่อความร้อนสูง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของอนุภาคจะถูกจำกัดโดยการผสมกันอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคและระยะเวลาช่วงสั้น ๆ ที่อยู่ในสเปา ทำให้สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิสูงและมีอัตราการอบแห้งสูงด้วย (กษมา, 2543) จึงเป็นทางเลือกนำมาใช้ออบแห้งมะพร้าวชูดเพื่อลดความชื้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องมือวัดและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 มะพร้าวชูดขาว ในการทดสอบอบแห้ง ได้ใช้มะพร้าวชูดที่ซื้อมาจากตลาดแม่กิมเฮงในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยวิธีสังขุดพิเศษเพื่อไม่ให้มีสีน้ำตาลของผนังหุ้มติดมา (รูปที่ 3.1) มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ใช้ในการอบแห้ง

3.1.2 เครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบคตันแบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.2.2

3.1.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ใช้สำหรับการอบหาความชื้นมะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 3.2)



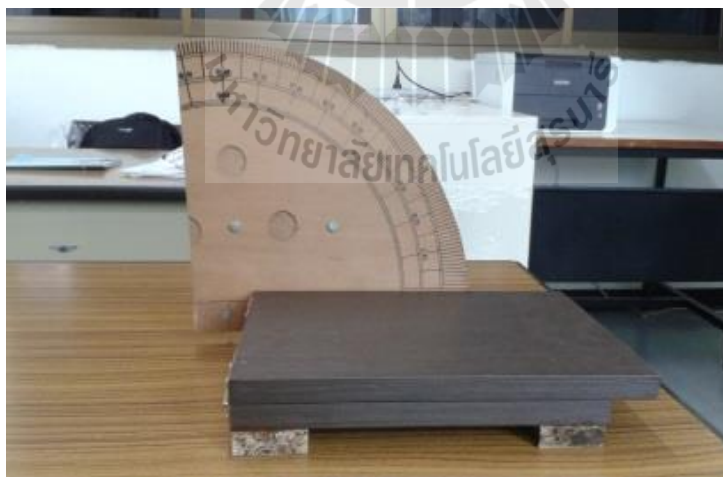
รูปที่ 3.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลพิกัด 2500 g ความละเอียด 0.01 g สำหรับชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุอบแห้ง (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 เครื่องน้ำหนักแบบดิจิทัล

3.1.5 ชุดทดสอบหาความเสียดทาน (รูปที่ 3.4) ใช้สำหรับหาค่ามุมเสียดทานของมะพร้าวชูด



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบหาความเสียดทาน

3.1.6 ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum (รูปที่ 3.5) ใช้สำหรับทดสอบหาความพรุนของมะพร้าวชูด



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum

3.1.7 แคลอริมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูด

3.1.8 เครื่อง Colorflex ระบบ HunterLab (รูปที่ 3.6) ใช้สำหรับวัดสีของมะพร้าวชูด และมะพร้าวชูดอบแห้ง



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดสี HunterLab

3.1.9 เครื่องสกัดไขมัน (รูปที่ 3.7) ใช้สำหรับสกัดน้ำมันเพื่อหาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในมะพร้าวชูดอบแห้ง



รูปที่ 3.7 เครื่องสกัดไขมัน (soxtec)

3.1.10 เครื่อง Gas chromatography (รูปที่ 3.8) ใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะพร้าว



รูปที่ 3.8 เครื่อง Gas chromatography

3.1.11 ชุดกระบอกอัดไฮโดรลิก ใช้สำหรับบีบน้ำมันมะพร้าวจากมะพร้าวชูดอบแห้ง

3.1.12 เครื่องบีบน้ำมันแบบสกรูอัด (รูปที่ 3.9) ใช้สำหรับบีบน้ำมันมะพร้าวจากมะพร้าวชูดอบแห้ง



รูปที่ 3.9 เครื่องบีบน้ำมันแบบสกรูอัด

3.2 วิธีการ

3.2.1 การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ โดยเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ระบบลำเลียง การอบแห้ง การบรรจุ และการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการคงคุณภาพและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเกษตรให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งตัวแปรหนึ่งในการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวคือสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นผู้วิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและความร้อนของมะพร้าวชูดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด โดยสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษาคือ มุมกอง มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน ความหนาแน่น ความพรุน และความร้อนจำเพาะซึ่งที่สัมพันธ์กับความชื้น โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เตรียมมะพร้าวชูด

มะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลองได้ถูกนำไปหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน (AOAC, 1995) กล่าวคือก่อนอบแห้งจะชั่งน้ำหนักมะพร้าวชูดสดประมาณ 10-20 g และนำไปใส่กระป๋องหาความชื้น แล้วนำไปเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C อบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน ทราบความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างมะพร้าวชูดมีค่าเฉลี่ย 51 %wb. จากนั้นทำการปรับความชื้นของมะพร้าวชูดด้วยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนให้มีความชื้นของตัวอย่างเป็น 14, 28, 41 และ 51 %wb.

โดยใช้ระยะเวลาต่างกันเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการและเตรียมพร้อมรอการทดลองเพื่อหาสมบัติทางกายภาพและความร้อนต่างๆ ต่อไป

2. การหามุมกอง (angle of repose)

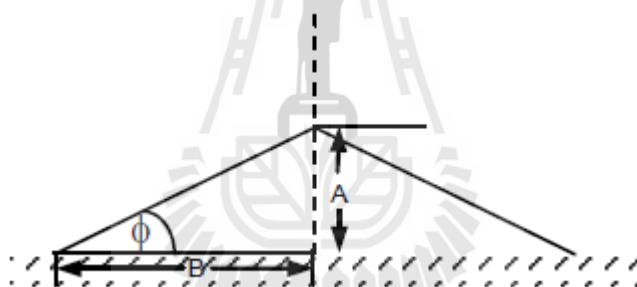
มุมกองของมะพร้าวชูดในการศึกษาครั้งนี้เป็นค่า static angle of repose ทำการทดลองโดยการปล่อยให้ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 ไหลผ่านกรวยลงสู่พื้นราบวัดความสูงและรัศมีของกองตามรูปที่ 3.10 จากนั้นทำการคำนวณค่ามุมกอง ด้วยสมการ (3.1)

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{A}{B}\right) \quad (3.1)$$

โดยที่ φ คือ มุมกองของมะพร้าวชูด (องศา)

A คือ ระยะความสูงของกอง (mm.)

B คือ ระยะรัศมีของกอง (mm.)



รูปที่ 3.10 การหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูด

ทีมา (เทวรัตน์, 2552)

3. การหามุมเสียดทาน (angle of friction)

การหามุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวต่างๆ ทำการทดสอบโดยการติดตั้งแผ่น สังกะสี และสแตนเลส บนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนพื้นผิววัสดุดังกล่าว



รูปที่ 3.11 การหามุมเสียดทานของมะพร้าวชูด

4. การหามุมเสียดทานภายใน (internal angle of friction)

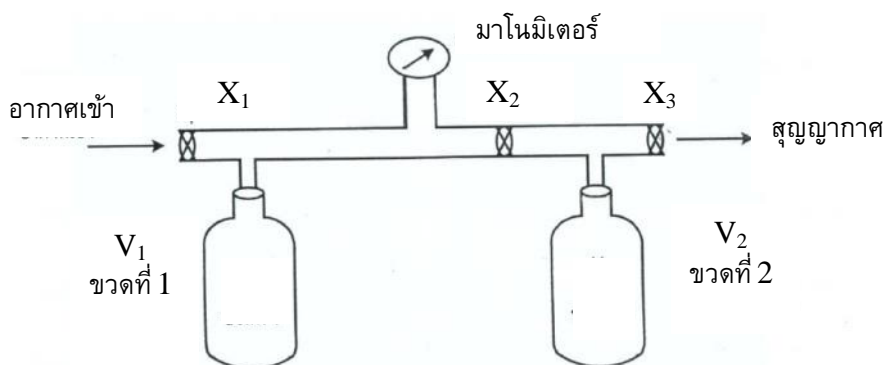
การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูดทดสอบโดยการติดตั้งกล่องสี่เหลี่ยมบนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนเนื้อของมะพร้าวชูดเอง



รูปที่ 3.12 การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูด

5. การหาค่าความหนาแน่นและความพรุน

ค่าความหนาแน่นของมะพร้าวชูด (bulk density) หาโดยตัวอย่างของมะพร้าวชูด ที่ปรับความชื้นแล้วจะถูกนำมาชั่งและวัดปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่นกอง



รูปที่ 3.13 การหาความพรุนของมะพร้าวชูด

ที่มา (บัณฑิต, 2545)

สำหรับการหาค่าความพรุน (porosity) ใช้วิธีการแทนที่ของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยในเบื้องต้นเริ่มแรกปิดวาล์ว X_1 เปิดวาล์ว X_2, X_3 และทำให้ระบบวัดเป็นสุญญากาศผ่านวาล์ว X_3 เมื่อระบบเป็นสุญญากาศได้สถานะสม่ำเสมอ (steady-state) แล้วปิด X_3 และ X_2 นำอากาศเข้าระบบผ่านวาล์ว X_1 และเมื่อระบบได้สถานะสม่ำเสมอที่ 1 ปิดวาล์ว X_1 อ่านค่า P_1 จากนั้นเปิดวาล์ว X_2 ให้อากาศจากขวด V_1 กระจายไปยังขวด V_2 จนเกิดสถานะสม่ำเสมอที่ 2 อ่านค่า P_2 ซึ่งหาค่าความพรุนของมะพร้าวชูดได้จาก (บัณฑิต, 2545)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2} \quad (3.2)$$

โดยที่ คือค่าความพรุน P_1 คือความดันสัมบูรณ์ที่สถานะที่ 1

P_2 คือความดันสัมบูรณ์ที่สถานะที่ 2

6. การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat)

ค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูด ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการผสมในแคลอรีมิเตอร์ (Bala, 1997) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) ชั่งหามวลของแคลอรีมิเตอร์และเครื่องกวนซึ่งเป็นอะลูมิเนียม (มีค่าความร้อนจำเพาะ = 0.22 cal/gm °C)

(2) เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มลงในแคลอรีมิเตอร์ประมาณ 3/4 ของปริมาตรของแคลอรีมิเตอร์ แล้วนำไปชั่งเพื่อหาค่ามวลของน้ำ

(3) นำแคลอรีมิเตอร์ที่เติมน้ำกลั่นแล้วใส่ลงในภาชนะป้องกันความร้อนพร้อมทั้งเอาฝาปิดภาชนะครอบปิดให้สนิท แล้วนำเทอร์โมมิเตอร์เสียบเข้าไปในจุกยาง แล้วนำไปสวมตรงช่องสวมจุกยางที่ฝาปิด ปรับให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงไปใต้น้ำประมาณครึ่งหนึ่งของความลึกของน้ำทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที อ่านอุณหภูมิตั้งต้นของน้ำ แคลอรีมิเตอร์ และเครื่องกวนจากเทอร์โมมิเตอร์

(4) นำมะพร้าวชูดแช่เย็นเพื่อปรับอุณหภูมิใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์แล้วกวนน้ำด้วยเครื่องกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ปริมาณความร้อนแผ่กระจายไปทั่วสารผสมอย่างสม่ำเสมอคอยสังเกตอุณหภูมิผสมที่เทอร์โมมิเตอร์ เมื่อเห็นอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อยู่คงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้รีบอ่านค่าอุณหภูมินี้ไว้เป็นอุณหภูมิผสม (อุณหภูมิสมดุล) บันทึกข้อมูลที่ได้โดยความร้อนที่มะพร้าวชูดสูญเสียจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำและแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถหาค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดได้จาก

$$C_{pg} = \frac{(C_f + C_{pw} m_w)(T_c - T_i)}{m_g (T_g - T_c)} \quad (3.3)$$

โดยที่ C_{pg} คือค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดตัวอย่าง ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

C_f คือค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ ($\text{kJ}/^\circ\text{C}$)

T_c คืออุณหภูมิในภาวะสมดุลของระบบ ($^\circ\text{C}$)

T_i คืออุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอรีมิเตอร์ ($^\circ\text{C}$)

T_g คือ อุณหภูมิของมะพร้าวชูด ($^\circ\text{C}$)

3.2.2 การพัฒนาเครื่องอบแห้งต้นแบบ

ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดต้นแบบเพื่อการอบแห้งมะพร้าวชูดนั้น ได้มีเกณฑ์ในการออกแบบดังนี้

1. เครื่องอบแห้งทำงานในลักษณะเป็นกะ (Batch Type)
2. เครื่องอบแห้งสามารถบรรจุมะพร้าวชูดได้ 1.5 kg
3. ระบบการให้ความร้อนอากาศใช้ทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric Heater)

โดยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้นนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสองส่วนหลักคือ ส่วนของห้องอบแห้งและส่วนของระบบทำความร้อนที่สัมพันธ์กันในการออกแบบดำเนินการดังนี้

1. การออกแบบห้องอบแห้ง

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาค่า bulk density ของมะพร้าวชูด พบว่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb มีค่า bulk density 313 kg/m^3 โดยกำหนดให้การอบแห้งเป็นสเปาเต็ดเบด โดยใช้ปริมาณเบดเริ่มต้น 1.5 kg สามารถหาปริมาตรที่มะพร้าวชูดสด 1.5 kg บรรจุได้

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{1.5}{313}$$

$$= 4.79 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

ดังนั้นปริมาตรห้องอบแห้งต้องมีปริมาตรไม่น้อยกว่า $4.79 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้ออกแบบให้ห้องอบแห้งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกข้างล่างของห้องอบแห้งเป็นทรงกรวยเพื่อให้วัสดุเกิดการลื่นไถลในขณะอบแห้งโดยทำการศึกษามุมกอนของมะพร้าวชูดมาคำนวณเพื่อหามุมเอียงของกรวย โดยการกำหนดขนาดของห้องอบแห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 cm จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่ามุมกอนของมะพร้าวชูดมีค่า 50 องศา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกมุมเอียงที่ 30 องศาเพื่อทำให้มะพร้าวชูดอบแห้งเกิดการลื่นไถลได้ ความสูงของห้องอบแห้งกำหนดขนาด 80 cm เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับมะพร้าวชูดเกิดสเปภายในห้องอบแห้ง

2. ออกแบบระบบชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater)

การออกแบบเลือกใช้มะพร้าวชูดเป็นหลักในการคำนวณออกแบบขนาดชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater) โดยพิจารณาการอบแห้งมะพร้าวชูดภายใต้เงื่อนไขดังนี้

ความชื้นเริ่มต้น 51 %wb หรือ 104.08 %db.

ปริมาณเริ่มต้น 1.5 kg

ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ 10 %wb หรือ 11.11 %db.

ดังนั้นต้องระเหยนํ้าออกจากมะพร้าวชูด หาได้จากสมการ

$$M_w = m_d(M_{di} - M_{df})$$

เมื่อ m_w คือปริมาณนํ้าระเหย (kg_{water})

m_d คือปริมาณมวลแห้งปราศจากนํ้า ($\text{kg}_{\text{dry solid}}$)

M_{di} คือความชื้นเริ่มต้น (decimal, $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry solid}}$)

M_{df} คือความชื้นสุดท้าย (decimal, $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry solid}}$)

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ จะได้

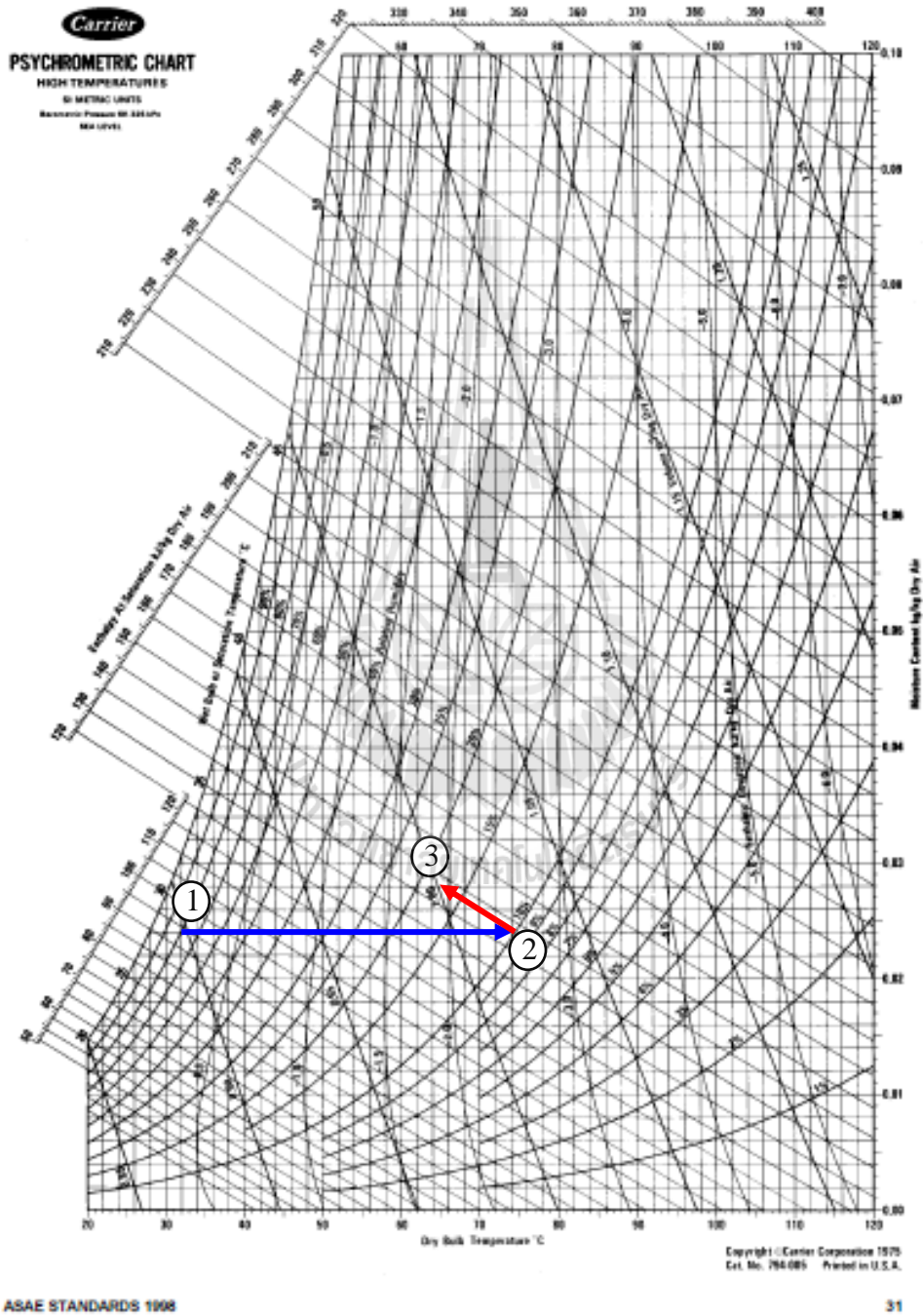
$$m_w = \frac{1.5 \text{ kg}}{1 + 1.04} (1.05 - 0.11) = 0.69 \text{ kg}$$

หากใช้เวลาในการระเหยนํ้าอิสระ 1 ชั่วโมง จะได้อัตราการอบแห้งคือ 0.69 kg/h ซึ่งจากอัตราการระเหยนํ้านี้นำไปหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยวิธีการทางไซโครเมตริก (รูปที่ 3.14) โดยมีกระบวนการต่างๆ ดังนี้

(1) กระบวนการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ โดยกำหนดให้อากาศขาเข้าเริ่มต้นคือ 32°C , 80 %rh (สภาวะอากาศเฉลี่ยของนครราชสีมา) เป็น 32°C

(2) ให้ความร้อนกับอากาศอบแห้ง โดยกำหนดอากาศอบแห้งก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C

(3) กระบวนการอบแห้ง โดยกำหนดให้อากาศอบแห้งออกจากเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C



รูปที่ 3.14 กระบวนการให้ความร้อนและอบแห้งบนไซโครเมตริกซ์

จากแผนภาพไซโครเมตริกซ์ รูปที่ 3.14 ที่สภาวะ 32°C , 80 %rh จะหาค่าอัตราส่วนความชื้นได้
 $0.0241 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$
 อัตราส่วนความชื้นอากาศออกจากห้องอบแห้ง $0.0280 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$
 หากต้องการอัตราการระเหยน้ำ $0.69 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ จะได้ว่า

$$0.69 \frac{\text{kg}_{\text{water}}}{\text{h}} = \dot{m}_a (0.0280 - 0.0241) \frac{\text{kg}_{\text{water}}}{\text{kg}_{\text{dry air}}}$$

$$\dot{m}_a = 176.92 \frac{\text{kg}_{\text{dry air}}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_a = 0.049 \frac{\text{kg}_{\text{dry air}}}{\text{s}}$$

ปริมาณความร้อนที่ต้องให้กับอากาศ โดยกำหนดให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_a) คือ $1.0069 \text{ kJ}/(\text{kg}_{\text{dry air}}^{\circ}\text{C})$ และ ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ (C_v) คือ $1.5524 \text{ kJ}/(\text{kg}_{\text{water}}^{\circ}\text{C})$
 คำนวณหาปริมาณความร้อน ได้จากสมการ

$$Q_c = \dot{m}_a (C_a + C_v H_1)(T_2 - T_1)$$

$$= 0.049 \frac{\text{kg}_{\text{dry air}}}{\text{s}} \left[1.0069 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{dry air}}^{\circ}\text{C}} + (1.5524 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{water}}^{\circ}\text{C}})(0.0241 \frac{\text{kg}_{\text{water}}}{\text{kg}_{\text{dry air}}}) \right] (80 - 32)^{\circ}\text{C}$$

$$= 2.456 \text{ kW}$$

เพื่อให้เหมาะสมกับชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater) ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ จึงเลือกชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater) ที่มีขนาด 1.5 kW จำนวน 2 ตัว

3.ขนาดพัดลมในระบบ

การคำนวณหาขนาดพัดลม สามารถหาได้จากการพิจารณาความดัน

สูญเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ ดังนี้

ความดันตกคร่อมสำหรับการรักษาความเสถียรของลำสเปา เพราะต้องการใช้ความดันที่สูงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน จนกระทั่งเกิดเป็นลำสเปาได้ อนุภาคจะเกาะตัวกันอย่างเบาบางซึ่งทำให้ความดันลดลงอย่างรวดเร็ว (Manurung et al, 1964) จึงได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมสูงสุดของสเปา เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคด้วยกัน พบว่าความสัมพันธ์ของมิติต่าง ๆ แสดงได้ในรูปของเทอมไร้มิติดัง สมการ

$$\frac{\Delta P_m}{\rho_p g} = \left[\frac{6.8}{\tan \gamma} \times \left(\frac{D_i}{D} \right) + 0.08 \right] - 34.4 \times \left(\frac{d_p}{H} \right)$$

$$\frac{\Delta P_m}{0.8 \times 313.3 \times 9.81} = \left[\frac{6.8}{\tan 60} \times \left(\frac{0.07}{0.2} \right) + 0.08 \right] - 34.4 \times \left(\frac{0.001}{0.8} \right)$$

$$\Delta P_m = 5234 \text{ Pa}$$

หาค่าการสูญเสียเนื่องจากท่อตรงที่ทางเข้าห้องเผาไหม้ ทางออกห้องเผาไหม้ และก่อนเข้าห้องอบแห้ง

ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 0.07 m ยาว (L) = 1.2 m

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-4}}{0.07} = 0.000214$$

จากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ $0.049 \frac{\text{kg dry air}}{\text{s}}$ และค่าความหนาแน่นอากาศ $1.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ จะได้

$$\dot{m} = \dot{m}_a \rho = AV$$

$$\left(0.049 \frac{\text{kg dry air}}{\text{s}} \right) \left(1.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\pi}{4} (0.07^2) V$$

$$V = 14.34 \text{ m/s}$$

$$R_e = \rho_a V \frac{D}{\mu_a}$$

$$R_e = 1.13 \times 14.34 \times \frac{0.07}{1.95 \times 10^{-5}}$$

$$R_e = 58,168$$

จาก Moody Diagram ได้ $f = 0.022$

$$h_{L1} = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$h_{L1} = 0.022 \left(\frac{1.2}{0.07} \right) \left(\frac{14.34^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_{L1} = 3.95 \text{ m}$$

หาค่าการสูญเสียเนื่องจากข้องอที่ทางเข้าห้องห้องอบแห้งโดยข้องอมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 0.07 m

$R = D$ จะได้ค่า $K = 0.5$ และ $V = 19 \text{ m/s}$

$$\text{จะได้ } h_{L2} = k \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{L2} = 0.5 \frac{14.34^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_{L2} = 5.24 \text{ m}$$

ดังนั้นความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบ คือ

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{total}} &= \Delta P_m + (h_{L1} + h_{L2})\rho g \\ &= 5234 + ((3.95 + 5.24) \times 9.81 \times 1.13) \\ &= 5335.87 \text{ Pa}\end{aligned}$$

กำลังที่ให้กับพัดลมเมื่อกำหนดให้พัดลมและมอเตอร์มีประสิทธิภาพ 60% และ 80% ตามลำดับ

$$W_f = \frac{\dot{m}\Delta P_{\text{total}}}{\eta_f \eta_m}$$

$$W_f = \frac{0.055 \times 5335.87}{0.6 \times 0.8}$$

$$W_f = 613.62 \text{ W}$$

ทางที่มวิจัยได้เลือกใช้พัดลมที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 kW

เมื่อ W_f คือกำลังที่ให้กับพัดลม

ΔP คือความดันลดในระบบ (Pa)

\dot{m} คืออัตราการไหลของอากาศอบแห้ง (m^3/s)

η_f คือประสิทธิภาพของพัดลม

η_m คือประสิทธิภาพมอเตอร์

3.2.3 การทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูด

การทดสอบการอบแห้ง เป็นแบบ 3 X 3 คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ 60, 70, และ 80 °C ระดับปริมาณน้ำหนักเริ่มต้น 0.5, 1 และ 1.5 kg ทำการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 3.15 สภาวะละ 3 ชั่วโมง แต่แต่ละครั้งเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 นาที มาหาความชื้นด้วยวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 h ค่าความชื้นของมะพร้าวชูดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2)



รูปที่ 3.15 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

3.2.4 ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะในการอบแห้งจะพิจารณาในรูปของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) อัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) และค่าคุณภาพสีของเนื้อมะพร้าวชูด

1. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงเพื่อทำให้มะพร้าวชูดเกิดสเปาและพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดทำความร้อนอากาศอบแห้ง โดยความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นสามารถวัดได้โดยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) และพลังงานลมที่ให้ออกเป่าลม (air jet) วัดได้เป็นความเร็ว หาพลังงานที่ใช้ในการผลิตลมได้จากสมการ (3.4)

$$E_{\text{air jet}} = 3600 \times P \times Q \times t \quad (3.4)$$

- เมื่อ $E_{\text{air jet}}$ คือพลังงานจากลมเป่า (J)
 P คือความดันกระแสอากาศ (Pa)
 Q คืออัตราการไหลของกระแสอากาศ (m^3/s)
 t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

สำหรับพลังงานที่ให้กับ heater และ พัดลมหลักในระบบสามารถอ่านได้จากมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งพลังงานที่ใช้ในส่วนนี้หาได้จากสมการ (3.5)

$$E_{\text{fan\&blower}} = 3.6 \times 10^6 \times P_e \quad (3.5)$$

- เมื่อ $E_{\text{fan\&blower}}$ คือพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับพัดลมและheater (J)
 P_e คือค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดไฟฟ้า (kWh)

โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.6)

$$SEC = \frac{(E_{\text{total}})}{m_{\text{water}}} \times 10^{-6} \quad (3.6)$$

- เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง ($\text{MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$)
 E_{total} คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (J)
 m_{water} คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

2. อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งสามารถบ่งบอกความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ โดยสามารถหาได้จากสมการ (3.7)

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t} \quad (3.7)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

3. คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

นำเนื้อมะพร้าวชูดและเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorflex ระบบ HunterLab ดังรูปที่ 3.13 และบันทึกข้อมูลค่า L a b ที่ใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชูดที่อบแห้ง มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำมาวัดค่าคุณภาพด้านสีโดยการเปรียบเทียบกับสีของมะพร้าวชูดสด โดยมีวิธีการดังนี้

(1) นำตัวอย่างมะพร้าวชูดมาวัดระหว่าค่าสีด้วยเครื่อง HunterLab โดยนำมะพร้าวชูดใส่ลงในคิวเวทรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์จนเต็มพื้นที่ทั้งหมด

(2) ทำการเปิดคอมและเครื่องวัดสีแล้วจึงทำการเปิดโปรแกรม Easy Math QC และทำการ Calibrate เครื่องก่อนทำการวัดค่าสีของมะพร้าวชูดด้วยการใส่แผ่นเทียบสีเริ่มจากแผ่นสีดำและตามด้วยแผ่นสีขาว และเมื่อทำการ Calibrate เรียบร้อยแล้วจึงทำการวัดค่าสีโดยกำหนดให้แหล่งสีที่ใช้เป็น D65/10 พร้อมทั้งทำการกำหนดค่าสีที่ได้ให้เป็นค่า L (ค่าความสว่าง) a (ค่าความเป็นสีแดง) b (ค่าความเป็นสีเหลือง)

(3) ทำการวัดค่าสีทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ

(4) คำนวณความแตกต่างค่าสีด้วยสมการ (3.8)

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2} \quad (3.8)$$

เมื่อ L_o, a_o, b_o เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูด

L_p, a_p, b_p เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้ง

3.2.5 การบีบน้ำมันมะพร้าว

การบีบน้ำมันมะพร้าวเป็นขั้นตอนการหาสถานะที่เหมาะสมและตรวจคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น โดยทำการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ในการศึกษาได้นำเนื้อมะพร้าวชูดที่ได้จากการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น เป็นวัตถุดิบในการบีบน้ำมัน โดยทดสอบบีบน้ำมันมะพร้าวเป็นแบบ 3 ซ้ำ คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ 60, 70, และ 80 °C ระดับปริมาณน้ำหนักที่ 0.5 kg โดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักมะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจำนวน 0.5 kg ห่อด้วยผ้าขาวบาง

2. นำไปบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบแบบไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11.5 cm สูง 15 cm โดยใช้แรงกด 5 ton
3. นำน้ำมันมะพร้าวที่ได้กรองให้ใสด้วยผ้าขาวบาง
4. นำน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการกรองมาชั่งน้ำหนักบันทึกผล คำนวณหาประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าวโดยสามารถหาได้จากสมการ (3.8)

$$\text{compression efficiency(\%)} = \frac{\text{oil pressed from the calculations (g)}}{\text{total oil in coconut (g)}} \times 100 \quad (3.8)$$

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิกเทียบกับแบบสกรุนั้นจะทำการบีบน้ำมันด้วยสกรูอัดที่สภาวะการอบแห้งที่พบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

3.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว

การหาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าวชุดหลังการอบแห้งและเนื้อมะพร้าวชุดหลังการบีบน้ำมันมะพร้าวโดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักมะพร้าวชุดตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่ลงในกระดาษกรองและนำกระดาษกรองใส่ลงไปในทิมเบิล
2. ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม 80 ml
3. เปิดเครื่อง soxtec ดังรูปที่ 3.7 ตั้งค่าการทำงานของเครื่อง ใช้อุณหภูมิในการสกัด 150 °C เวลาแช่ตัวอย่างสกัด 30 นาที เวลาดึงไขมัน 1.30 ชั่วโมง เวลาระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) 5 นาที
4. นำเอาถ้วยอลูมิเนียมไปอบด้วยเครื่องอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำถ้วยอลูมิเนียมไปชั่งเพื่อหาปริมาณไขมันจذبบันทึกผล

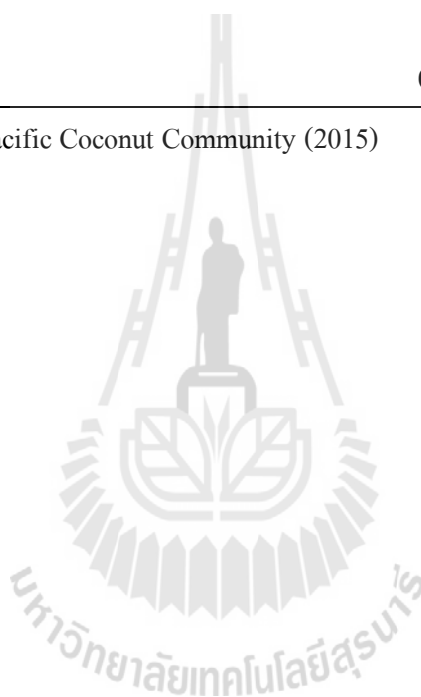
3.2.7 หาปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas chromatography

นำน้ำมันมะพร้าวที่ได้ไปทำ reaction fatty acid และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography รูปที่ 3.8 น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตเพื่อใช้รับประทานหรือปรุงอาหารต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันมะพร้าวดัง ตารางที่ 3.1 (Asian and Pacific Coconut Community, 2015)

ตารางที่ 3.1 Percent fatty acids in coconut oil.

fatty acid	percent of the fatty acids in coconut oil
Caproic acid	< 1.2
Caprylic acid	3.4 - 15
Capric acid	3.2 - 15
Lauric acid	41 - 56
Myristic acid	13 - 23
Palmitic acid	4.2 - 12
Stearic acid	1.0 - 4.7
Oleic acid	3.4 - 12
Linoleic acid	0.9 - 3.7

ที่มา: Asian and Pacific Coconut Community (2015)



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาการทำแห้งเนื้อมะพร้าวชูดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดได้ทำการศึกษาตั้งแต่สมบัติกายภาพเบื้องต้นของมะพร้าวชูด ออกแบบ สร้างเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดเพื่อใช้ในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูด และศึกษาศึกษาผลกระทบของสภาวะการทำแห้งที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันที่บีบได้โดยผลการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด

สมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษา คือ มุมกอง มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน ความหนาแน่น ความพรุน และความชื้นจำเพาะ

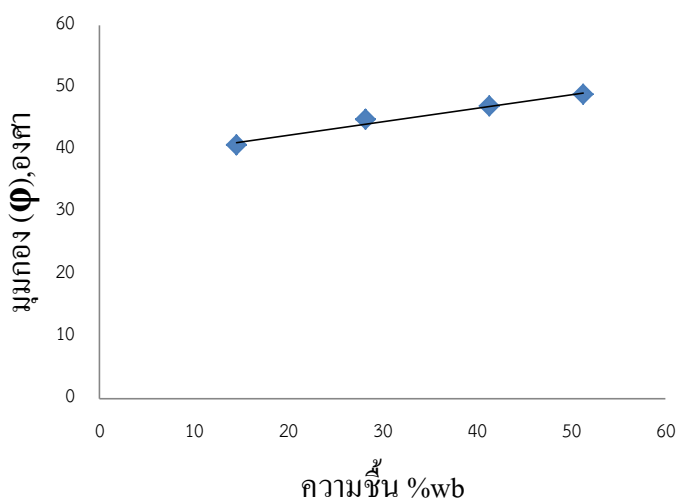
4.1.1 การหามุมกอง (angle of repose)

จากการทดลองเพื่อหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูดพบว่าเมื่อความชื้นของมะพร้าวชูดเพิ่มมากขึ้นมุมกองของมะพร้าวชูดมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความชื้นเป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอื่น (Bala, 1997) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั้นแสดงว่าความชื้นมากขึ้นมะพร้าวชูดสามารถยึดเกาะกันเองได้มากขึ้นทำให้ต้องใช้พลังในการเคลื่อนย้ายมากขึ้น ค่ามุมกองของมะพร้าวชูด สามารถแสดงความสัมพันธ์กับความชื้นได้ด้วยสมการเส้นตรงดังนี้

$$\varphi = 0.2173x + 38.023 \quad , R^2 = 0.9779$$

โดยที่ φ คือมุมกอง (องศา)

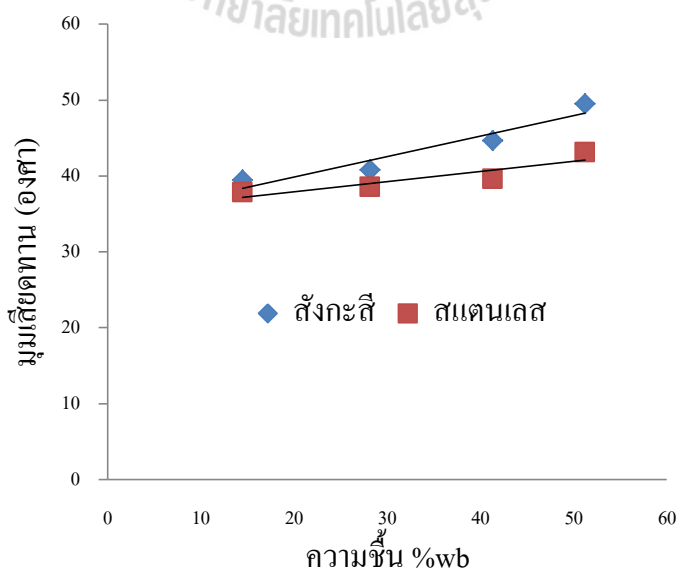
x คือความชื้นของมะพร้าวชูด (%wb)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมูมก่องกับความชื้นของมะพร้าวชูด

4.1.2 มุมเสียดทาน (angle of friction)

สำหรับมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูด กับพื้นผิวต่างๆ ตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าค่าของความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นผิวนั้นส่งผลต่อค่ามุมเสียดทานดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะพบว่ามุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดและสังกะสีมีค่าสูงกว่าสแตนเลส ดังนั้นมะพร้าวชูดจึงสามารถขึ้นไถลบนพื้นผิวสแตนเลสได้ดีกว่าสังกะสี โดยค่ามุมเสียดของมะพร้าวชูดกับวัสดุทั้งสองมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังสมการ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทาน

$$\alpha_z = 0.2709x + 34.412, \quad R^2 = 0.9164$$

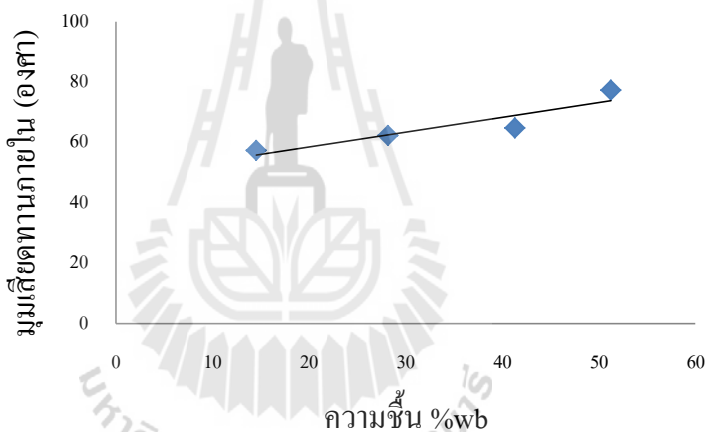
$$\alpha_s = 0.1333x + 35.241, \quad R^2 = 0.8188$$

โดยที่ α คือมุมเสียดทาน, ตัวห้อย z หมายถึงสังกะสี และ s หมายถึงสแตนเลส

4.1.3 มุมเสียดทานภายใน

สำหรับมุมเสียดทานภายในของมะพร้าวพบว่าค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นมุมเสียดทานภายในของเนื้อชูดเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.3 นั้นแสดงว่าเมื่อความชื้นมากขึ้นมะพร้าวชูดมีแรงจับตัวกันเองมากยิ่งขึ้นทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ต้องใช้พลังงานในการคลื่อนย้ายมากขึ้น

$$f = 0.4917x + 48.705, \quad R^2 = 0.8484$$

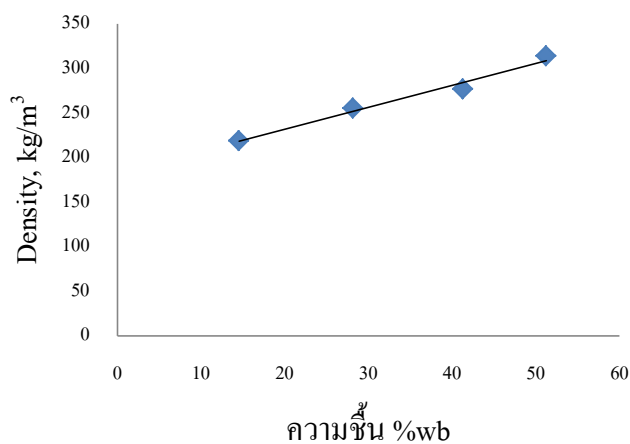


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทานภายใน

4.1.4 ความหนาแน่นและความพรุน

เมื่อระดับความชื้นของมะพร้าวชูดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มะพร้าวชูดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นกองมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความชื้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นสำหรับมะพร้าวชูดได้ดังนี้

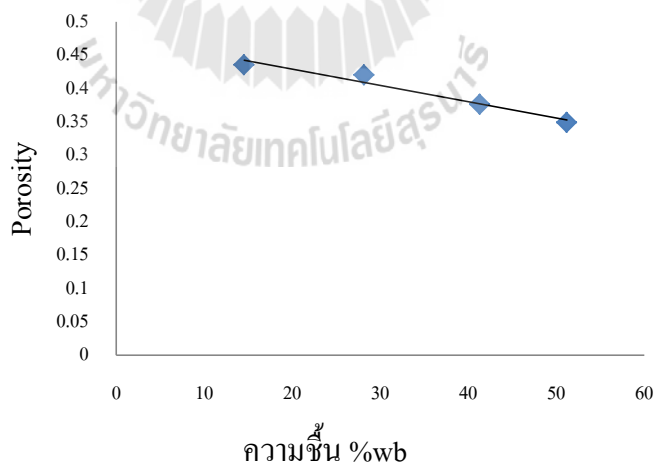
$$\rho_b = 2.4699x + 182.46, \quad R^2 = 0.9807$$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความแน่นของมะพร้าวชูด

เมื่อทำการหาค่าความพรุนของมะพร้าวชูดพบว่าค่าความพรุนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 และได้สมการสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon = -0.0024x + 0.4779, R^2 = 0.9622$$

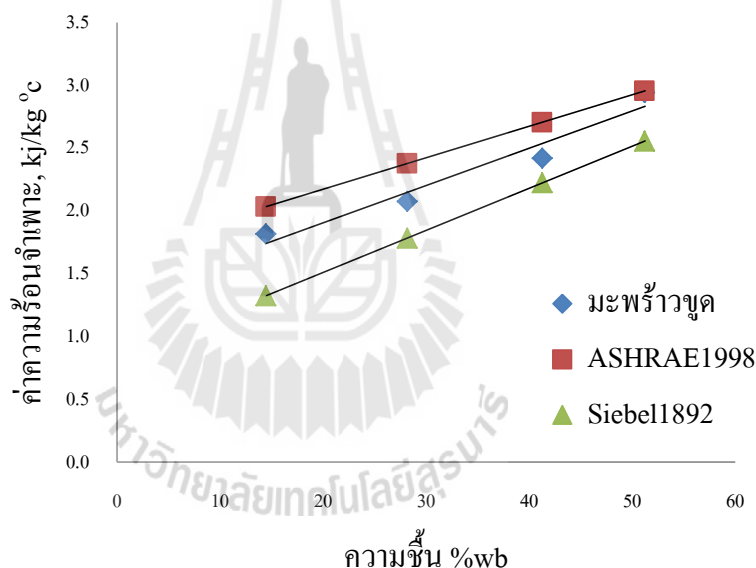


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความพรุน

4.1.5 การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat)

สำหรับค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นซึ่งสอดคล้องกับ (Bala, 1997) ซึ่งได้แนะนำว่าปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเกษตรและอาหารมากกว่าองค์ประกอบอื่นและขึ้นอยู่กับสถานะของวัสดุนั้นๆ ซึ่งในที่นี้มะพร้าวที่นำมาทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะตามวิธีใน 3.2.1 ข้อ 6 และลองใช้สมการที่แนะนำไว้ใน (Luther et al. 2004) พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวจากการทดลองมีค่าอยู่ระหว่างสมการที่แนะนำไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.6

$$C_{p(\text{coconut})} = 0.0297x + 1.3123, \quad R^2 = 0.9483$$

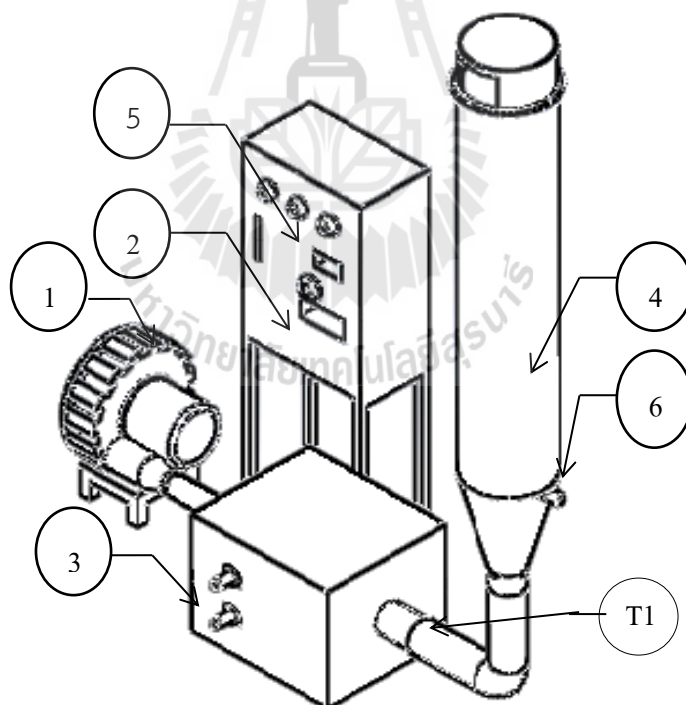


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชุด

4.2 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

จากการศึกษาการอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดพบว่า มีรูปแบบการอบแห้งที่หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่ต้องการอบแห้ง เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดโดยทั่วไปส่วนห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกต่อกับทรงกรวยหรือเป็นแบบห้องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยมต่อกับฮอปเปอร์ด้านล่างซึ่งลักษณะการอบแห้งแบบทรงสี่เหลี่ยมมีข้อจำกัดอยู่ที่การเกิดจุดอับลมทำให้

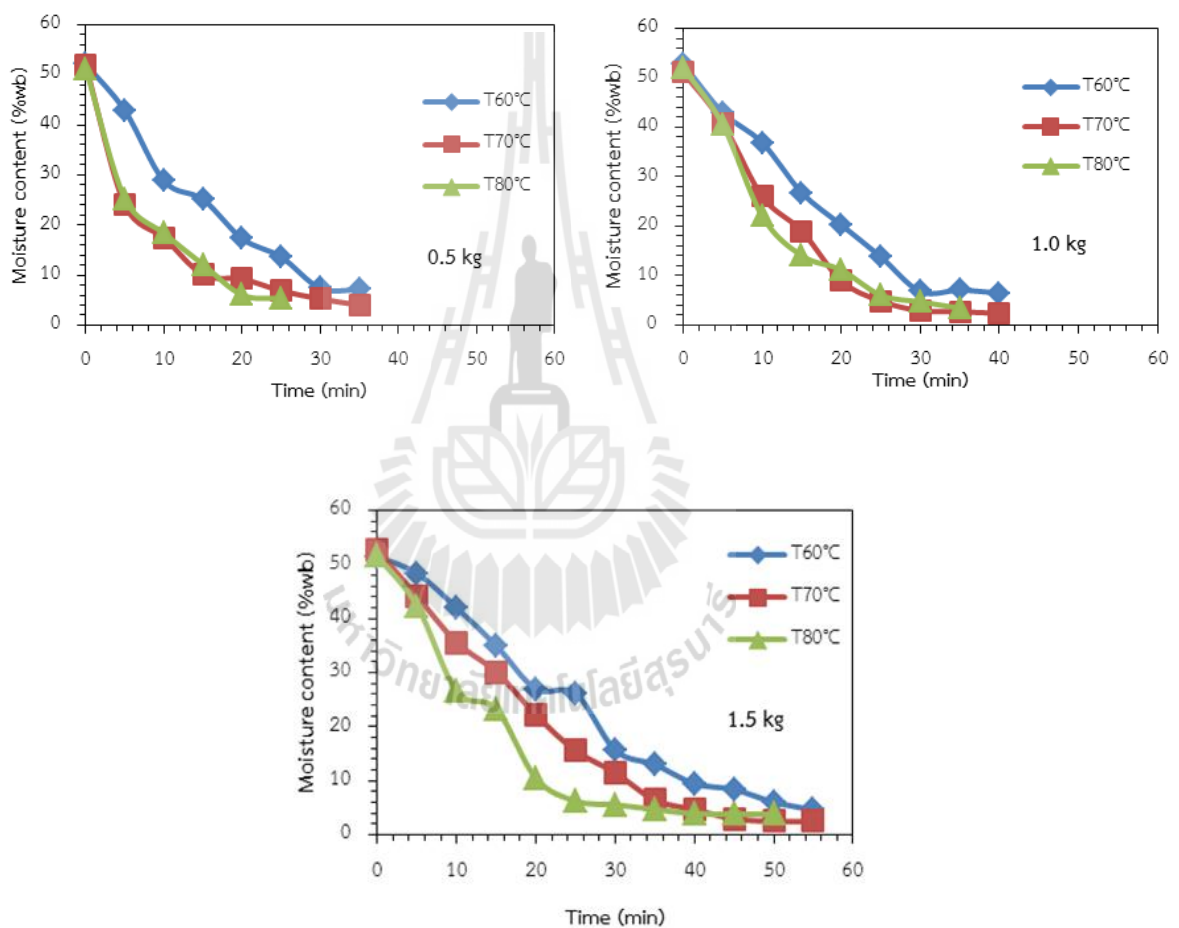
มะพร้าวชูดไม่ไหลวนเฉพาะจุด ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบห้องอบแห้งเป็นลักษณะทรงกรวยโดยมีรายละเอียดการออกแบบดังรูป 4.7 ซึ่งต้นแบบเครื่องอบแห้งประกอบไปด้วย หมายเลข 1) พัดลมแรงดันสูง (high-pressure fan) (hitachi blower, VB-20-DN) ขนาด 1.5 kW ทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ 2) อินเวอร์เตอร์ (inverter) ทำหน้าที่ปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อเพิ่มลดความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบ 3) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) ขนาด 3 kW ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่เป็นตัวกลางในการอบแห้ง 4) ห้องอบแห้งสเปาเต็ดเบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 80 cm อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่าง ผ่านช่องทางเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกห้องเผาไหม้ (T1) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ช่องเป่าลม (air jet) ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวชูดให้เกิดสเปาเต็ดเบด เนื่องจากมะพร้าวชูดมีความเสียดทานภายในสูงทำให้จับตัวติดกับผนังอบแห้งจึงต้องใช้ลมเป่าช่วยเพื่อให้เกิดสเปาได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.7 แบบของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

4.3 ผลการทดสอบการอบแห้ง

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคสเปาเต็คเบค พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชูดมีค่าลดลงเร็วขึ้น โดยลดลงแบบแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.8 และปริมาณเบดเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้แรงลมเป่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากมะพร้าวมีแรง cohesion ของตัวมันเองสูงดังรูปที่ 4.3 จึงต้องใช้แรงลมช่วยเพื่อช่วยเป่ามะพร้าวให้เข้าสู่สเปาได้ดีขึ้น โดยที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 0.5, 1, และ 1.5 kg ใช้ความเร็วลมที่ 6, 10, และ 16 m/s ตามลำดับ

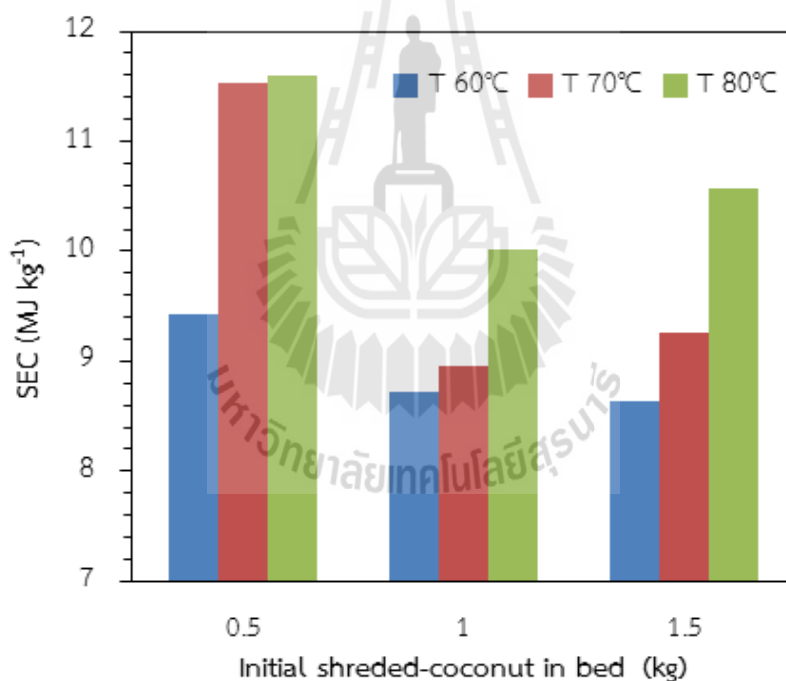


รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูดเมื่ออบแห้งครั้งละ 0.5, 1, และ 1.5 kg ตามลำดับ

4.4 ผลการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

4.4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

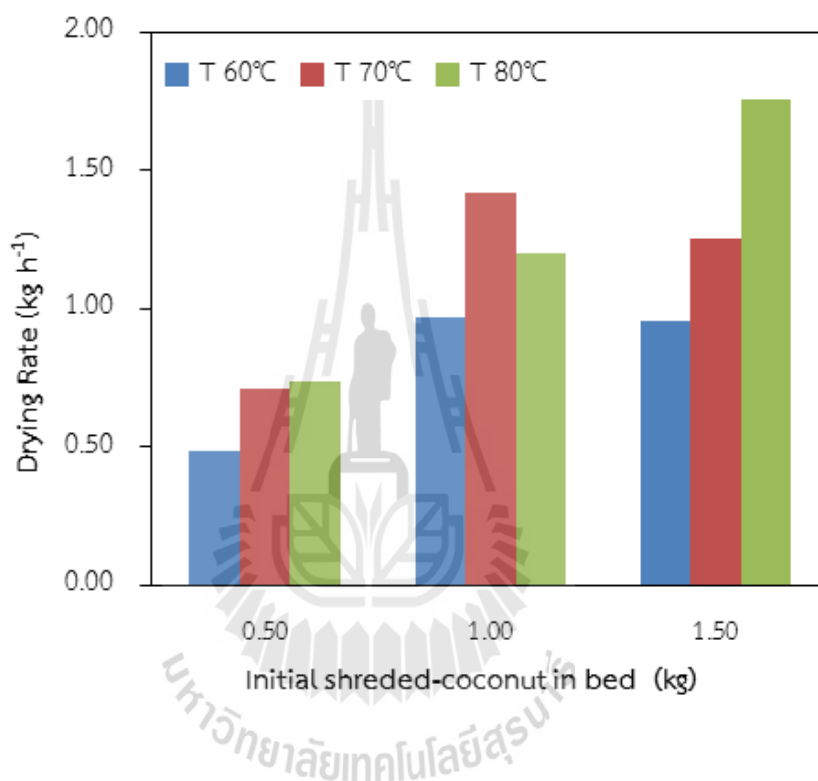
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดัง รูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณาพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบพบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้กับอากาศมีค่ามากขึ้นและเมื่อปริมาณมะพร้าวในเบดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานลมในการก่อให้เกิดสเปามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมะพร้าวในเบดเริ่มต้นเมื่อคิดเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแล้วพบว่าที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg ใช้พลังงานน้อยที่สุดของทุกอุณหภูมิอบแห้ง เนื่องจากที่ 0.5 kg นั้นปริมาณน้ำที่มีในเนื้อมะพร้าวน้อย แต่อากาศอบแห้งสามารถพาความชื้นออกไปได้อีกจึงส่งผลให้ใช้พลังงานไปโดยสิ้นเปลือง ส่วนที่ 1.5 kg มีปริมาณเบดเริ่มต้นที่สูงทำให้ต้องเพิ่มพลังงานในส่วนของลมเป่าเพื่อให้เกิดสเปามากกว่าที่เบดเริ่มต้นอื่น



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง

4.4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการระเหยน้ำของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งที่ปริมาณการอบแห้ง 0.5, 1, และ 1.5 kg พบว่าที่ 0.5 และ 1.5 kg อัตราการระเหยน้ำสูงสุดเมื่ออุณหภูมิอบแห้งที่ 80 °C ส่วนปริมาณการอบแห้งที่ 1 kg อัตราการระเหยน้ำสูงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งที่ 70 °C สภาวะการอบแห้งที่มีอัตราการระเหยน้ำมากที่สุดของแต่ละอุณหภูมิทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าปริมาณการอบแห้งที่เหลือ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยน้ำกับน้ำหนักของวัสดุ

ตารางที่ 4.1 การใช้พลังงานจำเพาะและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมะพร้าวชูดฝอย

Drying conditions	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)
T 60 °C, W 0.5 kg	9.42±0.23 ^{ab}	0.48±0.01 ^a
T 60 °C, W 1 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 ^c	0.70±0.01 ^b
T 70 °C, W 1 kg	8.95±0.55 ^a	1.41±0.07 ^c
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 ^c	0.73±0.02 ^b
T 80 °C, W 1 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

a-f Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะร่วมกับค่าอัตราการระเหยน้ำ (ตารางที่ 4.1) พบว่าที่สภาวะการอบแห้ง อุณหภูมิ 60 °C ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 และ 1.5 kg และที่อุณหภูมิ 70 °C ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าอัตราการอบแห้งพบว่าที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg และอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70 °C เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ และให้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าสองสภาวะการอบแห้งที่กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอบแห้งที่ดีกว่า ดังนั้นการอบแห้งที่สภาวะนี้จึงเป็นการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองนี้ นอกจากนี้การทดสอบในครั้งนี้ยังพบว่าปริมาณการอบแห้งครั้งละ 1 kg เนื่องจากปริมาณของมะพร้าวชูดในเบดไม่มากเกินไปจึงได้ใช้ปริมาณการอบแห้งครั้งละ 1 kg นี้ทดสอบหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพของมะพร้าวชูดอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการอบแห้งเพื่อทดสอบสมมติฐานว่า หากการอบแห้งเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ ถึงแม้อุณหภูมิการอบแห้งสูงเกินกว่า 60 °C อาจไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ได้

4.4.3 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

จากการนำมะพร้าวชุบอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg และอุณหภูมิการอบแห้ง 60, 70, และ 80 °C มาทำการตรวจสอบคุณภาพด้านสีพบว่าสีของมะพร้าวชุบอบแห้งที่ได้จากการทดลองทุกระดับอุณหภูมิมีสีขาวไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งใช้ระยะเวลาสั้น โดยพบว่ามีความสว่าง (L) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.90 ถึง 78.86, สีเขียว (a) -0.57 ถึง -0.69 และสีเหลือง (b) 4.01 ถึง 5.91 และเมื่อนำค่า L a b ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีเทียบกับสีของมะพร้าวชุบก่อนทำการอบแห้งแล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติได้ผล ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C ไม่มีความแตกต่างของค่าสีทางสถิติ ดังนั้นอุณหภูมิในช่วง 60-80 °C ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของสี ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งจากผลการทดสอบอบแห้งนี้ทำให้เห็นว่าการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดเป็นวิธีการอบแห้งที่มีศักยภาพต่อการผลิตมะพร้าวชุบอบแห้งทั้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการบีบน้ำมันมะพร้าวตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยแล้วยังสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์นำไปต่อยอดในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอื่นเช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้เนื่องจากมะพร้าวชุบที่ได้มีความชื้นที่ต่ำและมีคุณภาพด้านสีที่ดี



รูปที่ 4.11 มะพร้าวชุบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะพร้าวชูดแห้ง

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

a-b Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

4.5 ผลการทดสอบการบีบน้ำมันมะพร้าว

4.5.1 บีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องไฮดรอลิก

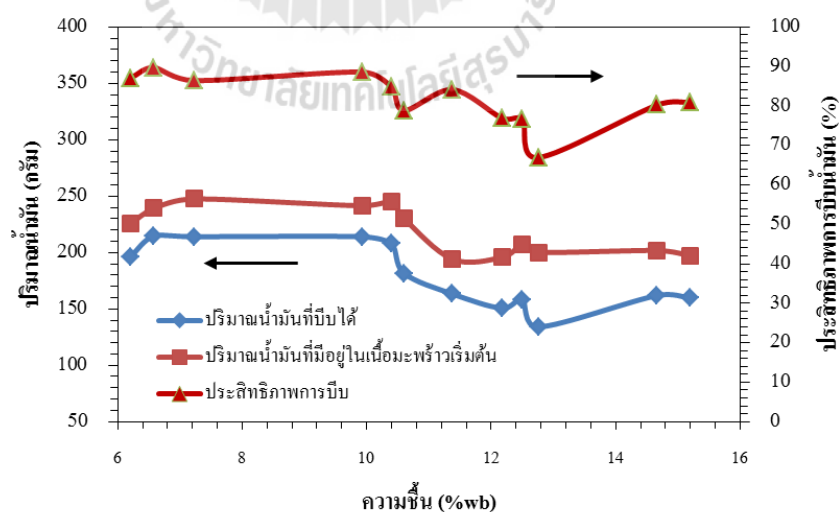
ผลการบีบน้ำมันมะพร้าวพบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 °C ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ บีบได้ 234.41 g ที่ อุณหภูมิ 80 °C ได้ 223.57 g และได้น้ำมันน้อยที่สุด 60 °C ได้ 149.56 g จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นสถานะที่บีบน้ำมันมะพร้าวได้มากที่สุด (ตารางที่ 4.3) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้กับข้อมูลของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2553) ที่ว่าเนื้อมะพร้าวอบแห้ง 1 kg เมื่อผ่านการบีบแล้วจะให้ผลผลิตน้ำมันมะพร้าวเฉลี่ย 0.17 kg ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบีบของเครื่องบีบน้ำมัน จากผลการทดลองพบว่ามีน้ำมันมะพร้าวเริ่มต้นที่ 448 g จากเนื้อมะพร้าวอบแห้ง 1 kg เมื่อผ่านการบีบด้วยเครื่องไฮดรอลิกให้ผลผลิตน้ำมันมะพร้าว 0.21 kg ซึ่งสูงกว่าแต่ก็ยังมีประสิทธิภาพการบีบที่ต่ำคือ 47.55% ทำให้มีน้ำมันตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งหากมีเครื่องบีบน้ำมันที่มีประสิทธิภาพการบีบที่ดีกว่าเครื่องบีบไฮดรอลิกก็จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นและกากที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของอาหารหรือเบเกอรี่ไขมันต่ำได้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันและประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก

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

4.5.2 การบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบแบบสกรู

จากการศึกษาการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกพบว่าที่อุณหภูมิ 70°C ได้ปริมาณการบีบน้ำมันสูงสุดจึงได้ใช้น้ำตัวอย่างมะพร้าวชุดอบแห้งที่สภาวะการทดสอบนี้มาทำการบีบน้ำมันด้วยเครื่องแบบสกรูอัดซึ่งพบว่าการบีบน้ำมันด้วยสกรูอัดจะให้ประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันสูงกว่าการใช้เครื่องแบบน้ำมันแบบไฮดรอลิก และเมื่อทำการปรับค่าความชื้นพบว่าที่ความชื้นต่ำ 10%wb. ประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันจะช่วงความชื้นที่เหมาะสมแก่การบีบน้ำมันอยู่ในช่วง 7-10%wb. (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 ปริมาณและประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบแบบสกรูอัด

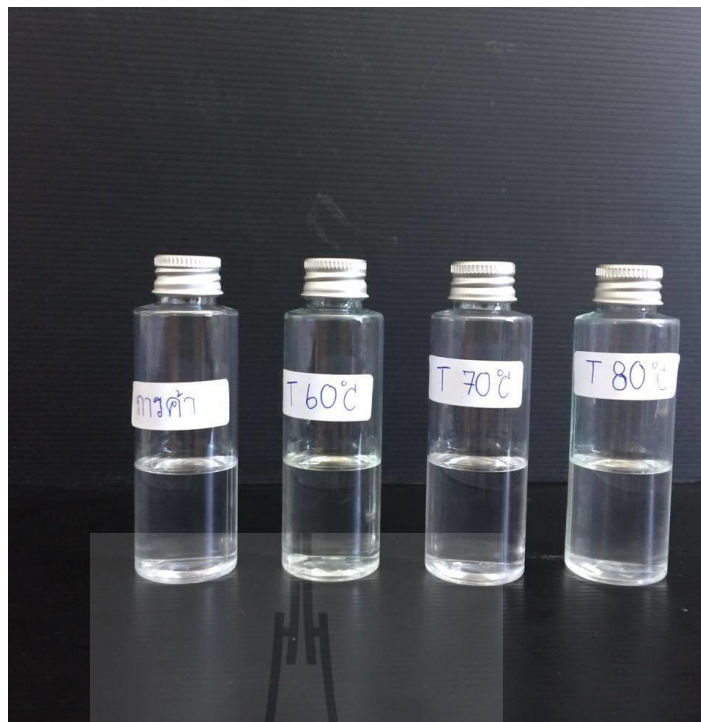
4.5.4 ปริมาณกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว

จากการทดสอบหาร้อยละของกรดไขมันที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเครื่อง gas chromatography พบว่าค่าร้อยละของกรดไขมันในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวโดยประกอบด้วย Caproic acid อยู่ในช่วง 0.05-0.07, Caprylic acid อยู่ในช่วง 4.66-4.91, Capric acid อยู่ในช่วง 5.53-5.61, Lauric acid อยู่ในช่วง 51.09-51.32, Myristic acid อยู่ในช่วง 19.62-19.65, Palmitic acid อยู่ในช่วง 8.72-8.76, Stearic acid อยู่ในช่วง 3.19-3.24, Oleic acid อยู่ในช่วง 5.63-5.65 และ Linoleic acid อยู่ในช่วง 0.99-1.01 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 แสดงว่าอุณหภูมิที่ 60, 70, และ 80 °C ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว

fatty acid	percent of the fatty acids in coconut oil			standard
	T 60 °C	T 70 °C	T 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

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการผลิตนี้กับน้ำมันมะพร้าวในท้องตลาดโดยการสังเกตพบว่าน้ำมันที่ได้มีความใสไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.13) และมีกลิ่นหอมของน้ำมันตามธรรมชาติ



รูปที่ 4.13 น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากมะพร้าวชูดอบแห้ง



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเดเบคที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 1) พัดลมแรงดันสูง ทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ 2) อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่ปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อเพิ่มลดความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบ 3) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่เป็นตัวกลางในการอบแห้ง 4) ห้องอบแห้งสเปาเดเบคมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 80 cm ทำหน้าที่บรรจุผลผลิตในระหว่างการอบแห้ง 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ช่องเป่าลม ทำหน้าที่เป่ามะพร้าวชุดให้เกิดขึ้นได้ดีขึ้น

จากนั้นนำเครื่องอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดสอบโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งมะพร้าวชุดพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C อัตราการป้อนมะพร้าวชุดที่ 1 kg และใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความชื้นเฉลี่ย 8.90 %wb ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ/(kg_{evaporated water}) อัตราการอบแห้ง 1.41 kg_{evaporated water} /h ผลการวัดสีของมะพร้าวชุดอบแห้งมีสีขาวไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน

การบีบน้ำมันมะพร้าวชุดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูจะให้ประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันมากกว่าการบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิกโดยช่วงความชื้นที่เหมาะสมในการบีบน้ำมันมะพร้าวคือ 7-10%wb โดยมีประสิทธิภาพการบีบน้ำมันสูงสุดของเครื่องบีบแบบสกรูและเครื่องบีบแบบไฮดรอลิกคือ 89.76% และ 52.23% ตามลำดับ ด้านคุณภาพของน้ำมันพบว่าค่าร้อยละของกรดไขมันอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

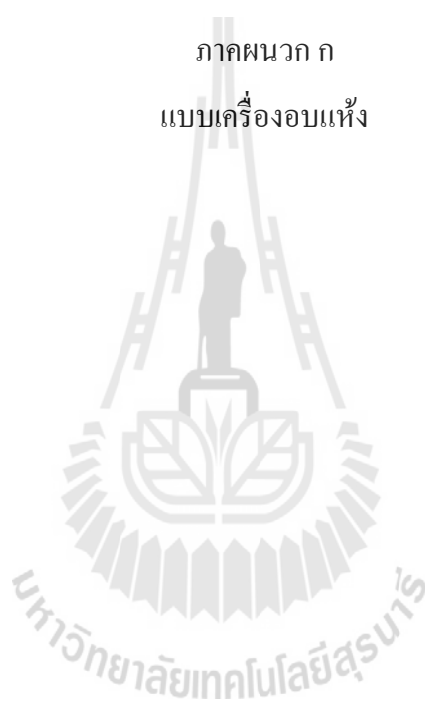
ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเดเบคสำหรับอบแห้งมะพร้าวชุดยังต้องปรับปรุงเพิ่มเติมคือแรงลมที่ทำให้เกิดสเปาเพื่อให้ได้ปริมาณการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นแต่ต้องคำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลม ห้องอบแห้งควรมี ครงาพท์ ทิวบ์ เพื่อให้การเกิดสเปาที่เป็นระเบียบและถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

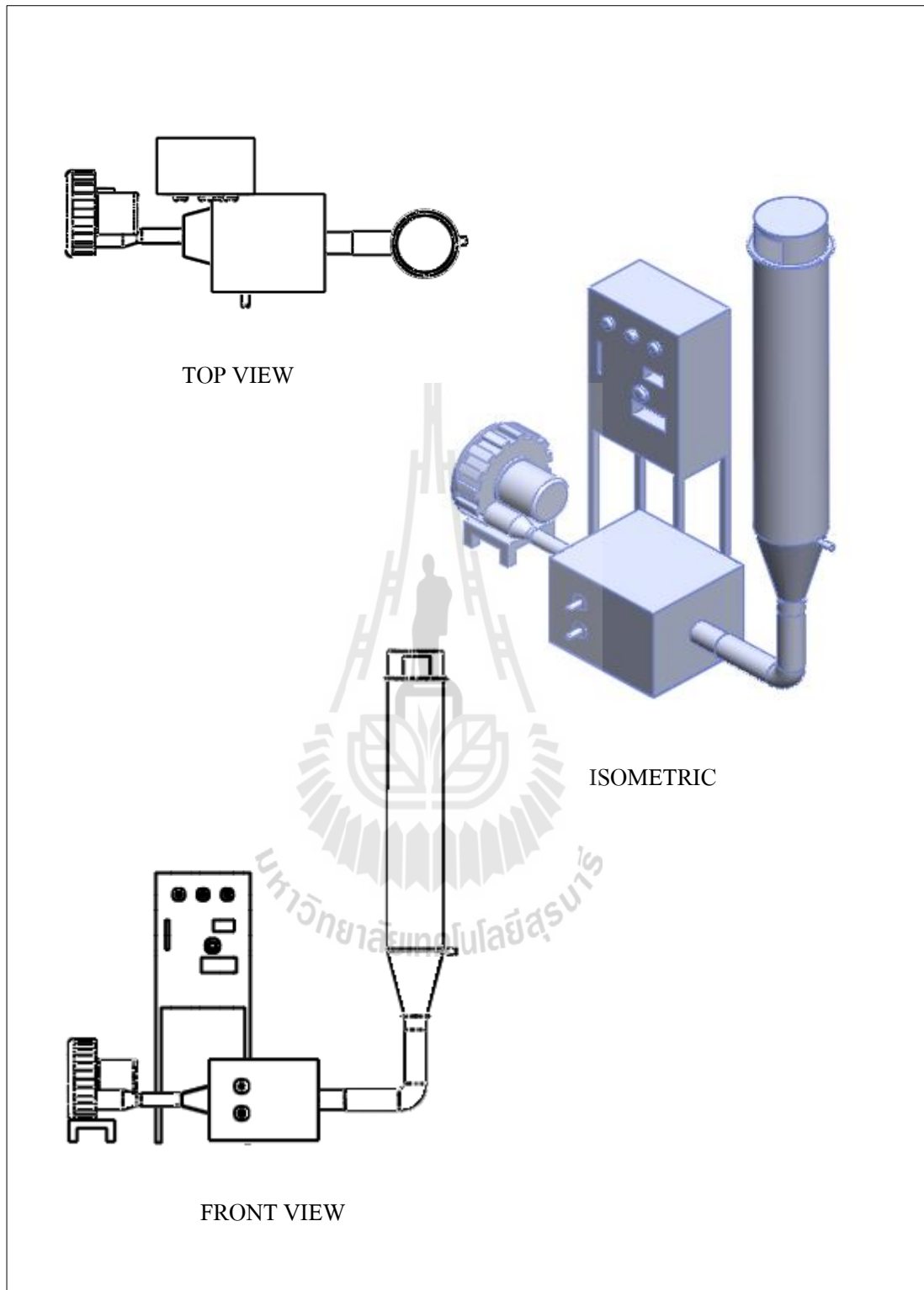
เอกสารอ้างอิง

- กษมา เจนวิจิตรสกุล.2543. การอบแห้งข้าวโพดโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- กันทิมา สิทธิชัยกิจ และ วิมลนารถ ประดับเวทย์. 2548. บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ
และความงาม. พศจิกายน 30; กลุ่มงานพัฒนาวิชาการฯ สถาบันการแพทย์แผนไทย : กรม
พัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 2548. 13 หน้า
- กรมวิชาการเกษตร. 2558. ข้อมูลการปลูกมะพร้าว. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2558, จาก
http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n15/v_6-july/ceaksong.html.
- คมสัน หุตะแพทย์. 2547. การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 2547
ฉบับที่ 2, หน้า 1-5.
- จินตนาพร ปิ่นพรม. 2555. ผลกระทบของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพของกาก
มะพร้าว. วิทยาศาสตร์เกษตร. กันยายน-ธันวาคม 2555 ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 228 -231.
- ฐานิตย์ เมธิยานนท์, เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ, ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และ สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์.
2549. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกากอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชุบด้วย
เทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่
20. จังหวัดนครราชสีมา.
- ทวิช จิตรสมบุญ. 2553. กลศาสตร์ของไหล. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2552. การอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. เอกสารประกอบการสอน
สาขา วิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ชนานันท์ ตันจกุล. 2549. การศึกษากระบวนการแยกน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยการเหวี่ยงแยก.
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 131 น.
- ชนิด สวัสดิ์เสวี. 2554. การศึกษาการถ่ายเทมวลสารและการถ่ายเทความร้อนในสเปาเต็ดเบดโดยใช้
ดีไอเอ็ม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บัณฑิต จริโมภาส. 2545. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พรศักดิ์ ทองมา. 2542. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดขนาดอุตสาหกรรม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

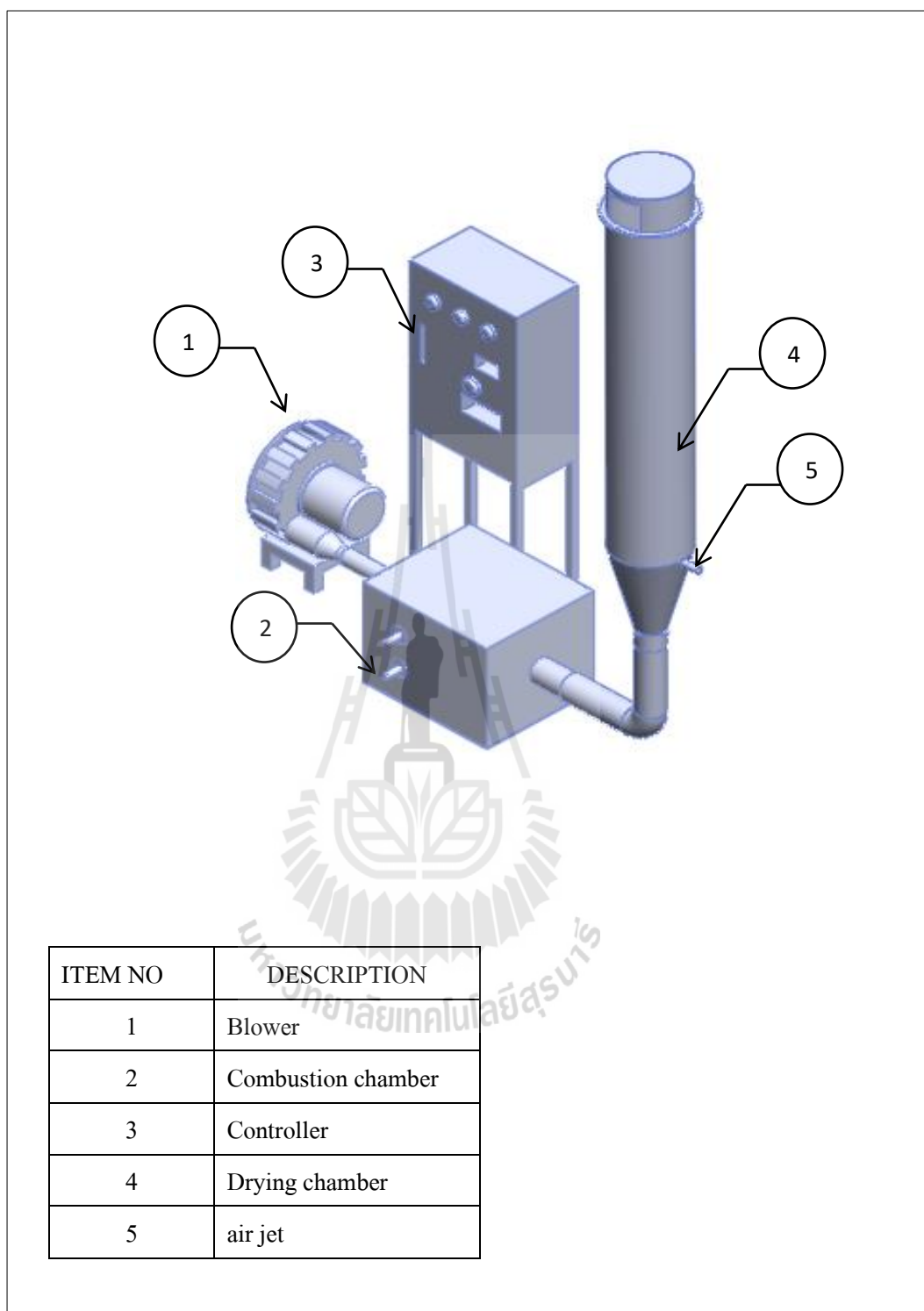
- ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, ประชญา บุญประสิทธิ์, และ อาณัติ พิลา. 2554. อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูตาเลียงอนุกรมสองชุด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. จังหวัดกระบี่.
- ลลิตา อัดน โถ. 2548. การผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เมษายน-มิถุนายน 2548 ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 หน้า 67-72.
- วาทัญญู รอดประพัฒน์, สุรเชษฐ์ บำรุงศิริ, และณรงค์ศักดิ์ สุวรรณวงศ์. 2542. รายงานวิจัยการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- สมศักดิ์ ดารงค์เลิศ. 2528. ฟลูอิดไดซ์เซชัน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 225 –233.
- สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis, 17 th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2000.
- Asian and Pacific Coconut Community. APCC standards for virgin coconut oil. [Online] [cited 21 September 2015] Available from internet :
<http://www.apccsec.org/document/VCNO.PDF>
- Bala, B.K. 1997. Drying and Storage of Cereal. Grains. Science Publishers. USA. 302p.
- Bawalan, DD., and Chapman, KR. 2006. Virgin coconut oil production manual for micro and village-scale processing. Bangkok FAO : Regional Office for Asia and the Pacific, 2006, 112 p.
- Nevin K.G. and Rajamohan T. 2004. Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid Parameters and in vitro LDL oxidation. Journal of Clinical Biochemistry, Vol.37,pp.830-835.
- Norman Epstein and John R. Grace. 2011. Spouted and Spout-Fluid Beds. Text book. Cambridge University Press 2011.
- Nutiva. Coconut Oil Processing Chart. five most common techniques to process coconut oil. [Online] [cited February 2012] Available from internet :
http://nutiva.com/graphics/misc/coco_oil_process_chart.pdf.
- Mathur, K.B. and Gishler, P.E. 1955. A Study of The Application of The Spouted Bed Technique to Wheat Drying. Journal Application of Chemistry. Vol. 5, pp. 624.

ภาคผนวก ก
แบบเครื่องอบแห้ง

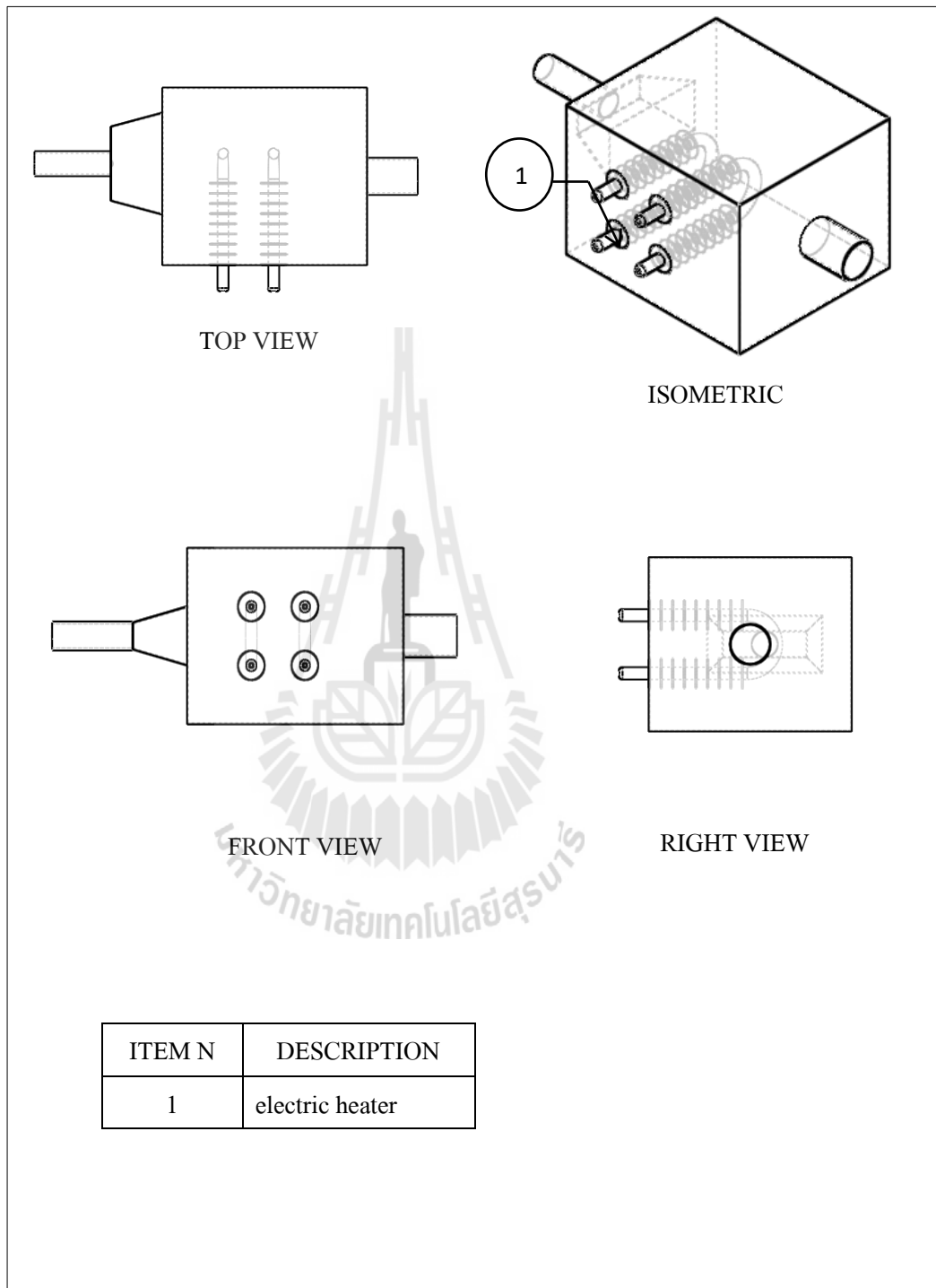




รูปผนวกที่ 1 มุมมองต่างๆ ของเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด



รูปผนวกที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด



รูปผนวกที่ 3 แสดงแบบของห้องเผาไหม้

ภาคผนวก ข
ผลงานเผยแพร่





ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูด ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

*เกียรติศักดิ์ ใจโต¹, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ¹, และ กระวี ตรีอำนาจ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: เกียรติศักดิ์ ใจโต E-mail: ball-417@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิกาศต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น โดยมีปัจจัยที่ศึกษาประกอบไปด้วย อุณหภูมิกาศอบแห้งที่ 60, 70, และ 80°C ปริมาณการอบแห้งของมะพร้าวชูดครั้งละ 0.5, 1 และ 1.5 kg ทำการอบแห้งมะพร้าวชูดที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52%wb ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้น โดยหลังจากการอบแห้งมะพร้าวจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 %wb พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และปริมาณมะพร้าวชูดที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการทำแห้งมากที่สุด เนื่องจากมีค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ต่ำคือ 7.78 MJ/kg water มีอัตราการระเหยน้ำสูงสุดที่ 1.81 kg/h และมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของแต่ละอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: มะพร้าวชูด; เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด; การอบแห้ง

1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง มีการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้เพราะว่าองค์ประกอบทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าว มีความแตกต่างไปจากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ น้ำมันมะพร้าวสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค อีกทั้งในน้ำมันมะพร้าวยังมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นและสายปานกลางเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำไปช่วยลดคอเลสเตอรอล (LDL-cholesterol) ในเลือด ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ [1]

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สามารถผลิตได้หลายแนวทาง แต่จากการสำรวจผู้ผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในไทย มีกระบวนการผลิต 3 วิธีหลักๆ ได้แก่ การเหวี่ยงแยก (centrifuge process), การบีบเย็น (cold press) และการหมัก (fermentation process) การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีการหมัก เป็นวิธีที่ชาวบ้านใช้ผลิต ซึ่งใช้ระยะเวลาอันได้ปริมาณของผลผลิตต่ำ คุณภาพน้ำมันที่ได้มีค่ากรดไขมันสูง และมีโอกาสปนเปื้อนสูง การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีเหวี่ยงแยก (centrifuge process) ใช้ระยะเวลาสั้นและรักษาคุณภาพน้ำมันมะพร้าวได้ดี เหมาะ

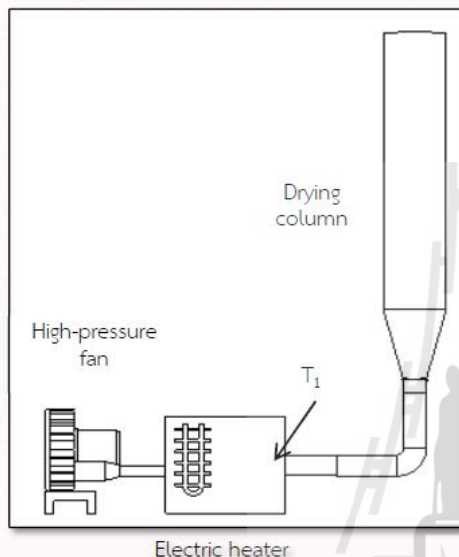
เป็นน้ำมันสำหรับใช้บริโภค แต่ต้นทุนเครื่องเหวี่ยงแยกค่อนข้างสูงวิธีบีบเย็น (cold press) เป็นวิธีแยกเอาน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวที่อบแห้งเหลือความชื้น ประมาณ 10-12% นำมาเข้าเครื่องบีบ น้ำมันที่ได้จะมีตะกอนละเอียดปนออกมากับน้ำมันด้วย จึงต้องทิ้งไว้ให้ตกตะกอนหรือกรองให้โลก่อน วิธีนี้มีต้นทุนสูงกว่าวิธีหมักแต่จะได้น้ำมันมากกว่า และมีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอ กระบวนการผลิตทั้ง 3 วิธีนี้ไม่ได้ใช้ความร้อนสูง ดังนั้นน้ำมันมะพร้าวจึงเก็บไว้ได้นาน [2]

ในปัจจุบันความต้องการน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีการหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาดงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อจะหาข้อมูลพื้นฐานในด้านการเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด (spouted bed) เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยวิธีการบีบเย็น



2. อุปกรณ์แล้ววิธีการ

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด

เครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูดแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบไปด้วย 1) พัดลมแรงดันสูง (High-pressure fan) (Hitachi Blower, VB-20-DN) ขนาด 1.5 kW ซึ่งทำหน้าที่เป่าอากาศเข้าสู่ระบบ 2) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งทำหน้าที่ปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อเพิ่มลดความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบ 3) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric Heater) ขนาด 3 kW ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่เป็นตัวกลางในการอบแห้ง 4) ห้องอบแห้งสเปาตัดเบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 80 cm อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านช่องทางเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ชุดควบคุมนี้ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง (T_1) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ชุดเป่าลม (air jet) ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวชูดให้เกิดสเปาตัดเบด

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในงานการทดลองนี้ได้ใช้มะพร้าวชูดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb เป็นวัสดุอบแห้ง

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองทำโดยการนำมะพร้าวชูดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 kg ใส่ลงในห้องอบแห้ง หลังจากนั้นทำการปรับอุณหภูมิและความเร็วของอากาศให้ได้ตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งในการทดลองอบมะพร้าวชูดนี้ใช้อุณหภูมิอากาศ 3 ระดับคือ 60, 70 และ 80 °C เก็บตัวอย่างมะพร้าวชูดทุกๆ 5 นาทีเพื่อนำไปหาความชื้นมะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorimeter

2.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูด

ระหว่างการอบแห้ง

มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดที่ได้จะถูกนำไปหาความชื้นด้วยวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ค่าความชื้นของมะพร้าวชูดสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

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

เมื่อ M คือ ความชื้นของมะพร้าวชูด (%wb) w_f คือ น้ำหนักของมะพร้าวชูดก่อนอบแห้ง (g) และ w_i คือ น้ำหนักของมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง (g) [4]

2.5 ประสิทธิภาพการอบแห้ง

ประสิทธิภาพการอบแห้งจะพิจารณาในรูปของความสัมพันธ์เปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) และความสามารถในการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ซึ่งความสัมพันธ์พลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงเพื่อทำให้มะพร้าวชูดเกิดสเปาตัดเบดและพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดทำความร้อนอากาศอบแห้ง โดยความสัมพันธ์พลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นสามารถวัดได้โดยมาตรวัดความสัมพันธ์พลังงานไฟฟ้า (Kilowatt-hour Meter) โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$SEC = \frac{3.6 (E)}{m_{water}} \quad \dots(2)$$

เมื่อ SEC คือ ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (MJ/kg_{water}) E คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh) และ m_{water} คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

อัตราการอบแห้งสามารถบอกความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยสามารถหาได้จากสมการ (3)



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

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h) t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

2.6 การวิเคราะห์คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

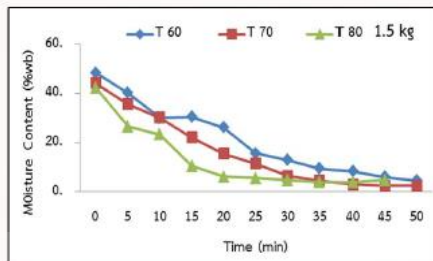
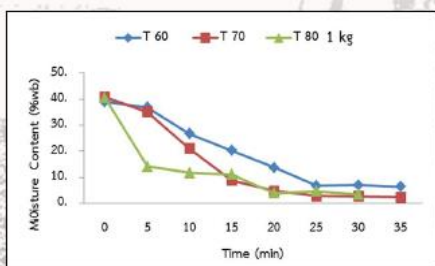
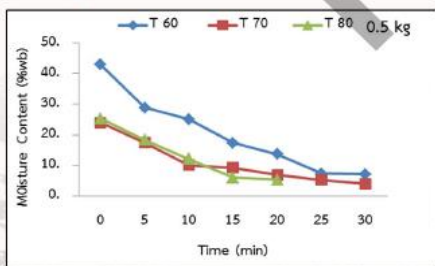
นำเนื้อมะพร้าวชูดและเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ HunterLab และบันทึกข้อมูลค่า L a b ที่ใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชูดที่อบแห้ง โดยค่า L หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) ในขณะที่ค่า b หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) [3] แล้วทำการหาความแตกต่างของสีเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งจากการทดลองเทียบกับเนื้อมะพร้าวชูด (ΔE) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (4)

$$\Delta E_c = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2} \dots(4)$$

เมื่อกำหนดให้ L_o, a_o, b_o เป็นค่าสีของมะพร้าวชูด และ L_p, a_p, b_p เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้ง

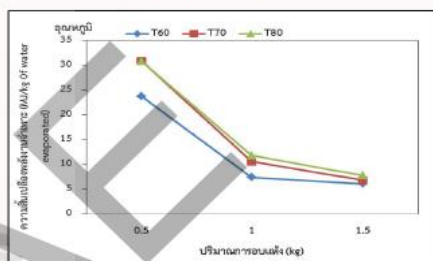
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคสเปาแดดเบด พบว่าผลจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชูดมีค่าลดลงเร็วขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2)



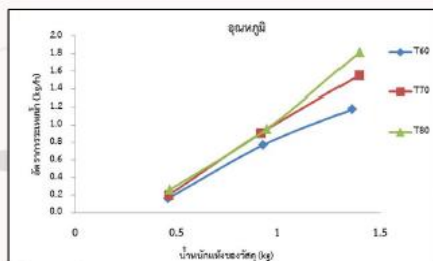
รูปที่ 2 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูด

3.1 ประสิทธิภาพการอบแห้ง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง

ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, 80°C และปริมาณการอบแห้งที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการทำให้แห้งมากที่สุดเนื่องจากใช้พลังงานน้อยในการระเหยน้ำ (ความชื้น) 1 kg ออกจากมะพร้าวชูด



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยน้ำกับน้ำหนักแห้งของวัสดุ

อัตราการระเหยน้ำของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และน้ำหนักแห้งของวัสดุที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มี



อัตราการระเหยน้ำมากที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C

3.2 ค่าคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

ผลการวัดสีของมะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้จากการทดลองพบว่ามีความสว่าง (L) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.90-78.86, สีเขียว (a) (-0.57)-(-0.69) และสีเหลือง (b) 4.01-5.91 และเมื่อนำค่า L a b ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี ดังตารางที่ 1 พบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจึงทำให้สรุปได้ว่า

อุณหภูมิในช่วง 60-80°C ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอบแห้งมะพร้าวชูด โดยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 52% พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และปริมาณการอบแห้งที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการทำแห้งมากที่สุดเนื่องจากใช้พลังงานน้อยในการระเหยน้ำ (ความชื้น) 1 kg ออกจากมะพร้าวชูดและมีอัตราการระเหยน้ำสูง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C

ตารางที่ 1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนค่าสีของมะพร้าวชูด

อุณหภูมิ	L	a	b	ΔE
60 °C	76.64±1.18a	-0.63±0.07a	5.83±0.09a	2.20±0.41a
70 °C	78.86±0.53b	-0.50±0.05a	5.92±0.08a	2.34±0.52a
80 °C	75.90±1.11a	-0.70±0.00b	4.90±0.05b	2.06±0.67a

a, b และ c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

5. อ้างอิง

- [1] Nevin K.G. and Rajamohan T (2004). Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid Parameters and in vitro LDL oxidation, Journal of Clinical Biochemistry, Vol.37,pp.830-835.
- [2] คมสัน หุตะแพทย์ (2547). การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ, 2547, ฉบับที่ 2, หน้า 1-5
- [3] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, เสริมพงษ์ อุดิเรกรัฐ, ประสาน สติธเรืองศักดิ์ และ สมชาติ โสภณธรณ์ (2549). การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, จังหวัดนครราชสีมา
- [4] เทวรัตน์ ทิพย์วิมล (2552). การอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. เอกสารประกอบการสอนสาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.





การอบแห้งมะพร้าวขูดด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็น

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

เกียรติศักดิ์ ใจโต¹, เทวรัตน์ ตริอำนาจ^{1*}, กระวี ตริอำนาจ², นาฏชนก ปรางปรุ¹

Kaittisak Jaito¹, Tawarat Treeamnu^{1*}, Krawee Treeamnu², 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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวขูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น โดยการอบแห้งเนื้อมะพร้าวขูดที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52%wb ด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 60 70 และ 80°C ปริมาณของมะพร้าวขูดในเบดเริ่มต้นครั้งละ 0.5 1 และ 1.5 kg ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คุณภาพด้านสีของมะพร้าวขูดหลังอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และปริมาณมะพร้าวขูดในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวขูดเนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันสูงสุด 52.23% โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ kg⁻¹ อัตราการระเหยน้ำ 1.41 kg h⁻¹ สีของเนื้อมะพร้าวหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ขาวและคุณภาพน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: มะพร้าวขูด; 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

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่ง สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าว โดยกรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีหมัก เป็นการนำน้ำกะทิมาหมักจนขึ้นของน้ำมันและน้ำแยกออกจากกัน แล้วจึง

นำน้ำมันที่ได้ไปให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นและนำไปผ่านการกรองแยกอีกครั้งซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลานาน และให้ปริมาณน้ำมันต่ำ ทั้งยังทำให้น้ำมันที่ได้มีค่ากรดค่อนข้างสูงอีกทั้งยังมีโอกาสปนเปื้อนในกระบวนการผลิต ส่วนวิธีเหวี่ยงแยกเป็นการนำน้ำกะทิมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกจนขึ้นของน้ำมันและน้ำแยกออก

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 (2559), 64-72

จากกัน ซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลาสั้นและให้คุณภาพน้ำมันมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับใช้บริโภคแต่มีต้นทุนค่อนข้างสูง ส่วนวิธีบีบเย็นเป็นการนำเนื้อมะพร้าวมาอบแห้งเพื่อลดความชื้น แล้วจึงนำเนื้อมะพร้าวอบแห้งมาเข้าเครื่องบีบจนได้น้ำมัน ปัจจุบันความต้องการบริโภคน้ำมันมะพร้าวมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาด นอกจากนี้วิธีเหวี่ยงแยกก็มีต้นทุนในการผลิตสูง ขณะที่วิธีบีบเย็นสามารถผลิตน้ำมันได้ในปริมาณมากและมีต้นทุนในการผลิตต่ำจึงเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตน้ำมันมะพร้าวมากที่สุดโดยวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอนคือ การเตรียมมะพร้าวโดยการลดความชื้น และการบีบมะพร้าวที่ผ่านการลดความชื้นเพื่อสกัดน้ำมัน ในขั้นตอนการบีบน้ำมันส่วนใหญ่จะใช้เครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิก (hydraulic) หรือแบบเกลียวอัด (screw press) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผู้ผลิต ขณะที่ขั้นตอนการเตรียมมะพร้าวส่วนใหญ่ใช้วิธีการเกลี่ยเป็นชั้นบางบนภาชนะแล้วทำการผึ่งแดดหรือทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วง 50-60°C (คมสัน, 2547) โดยยังมีผู้ศึกษาถึงเทคนิคและวิธีการในการลดความชื้นมะพร้าวด้วยการอบแห้งไม่มากนักดังเช่น อึ้งยงและคณะ (2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูล้ำเลียงอนุกรมสองชุดโดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยกำหนดอัตราการป้อนกากมะพร้าวคงที่ 33.4 g min^{-1} และควบคุมความเร็วรอบของสกรูล้ำเลียงที่ 12 rpm ในขณะที่อากาศอบแห้งถูกจ่ายเข้าเครื่องอบแห้งผ่านท่อกระจายอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงมวล 0.1359 kg s^{-1} ส่วนอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ศึกษาได้ปรับเปลี่ยนในช่วง 60-140°C เพิ่มขึ้นครั้งละ 20°C ในแต่ละการทดลอง ผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งกากมะพร้าวที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 140°C มีค่าสูงสุด โดยสามารถลดความชื้น จาก 95.28%db เหลือ 0.71%db แต่เนื่องจากการอบแห้งกากมะพร้าวเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์จึงไม่คำนึงคุณภาพของกากมะพร้าวหลังการอบแห้ง ขณะที่จินตนาพรและคณะ (2555) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและชั้นความหนาของกากมะพร้าวต่อการลดลงของความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 60 และ 80°C และชั้นความหนา 2 3 และ 4 mm ผลการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นและชั้นวัสดุบาง เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจากกากมะพร้าวที่อบแห้งพบว่าพบว่ามีปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น

95% ฐานิตยและคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีต่อการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลให้การลดลงของความชื้นมะพร้าวเร็วขึ้นโดยหลังจากทำการอบแห้งมะพร้าวจนเหลือความชื้นประมาณ 1%db แล้วพิจารณาถึงคุณภาพของสีของมะพร้าวที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 และ 90°C ยังคงอยู่ในเกณฑ์ดีโดยจะมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะพร้าวก่อนทำการอบแห้งแต่กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C เนื้อมะพร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาอบแห้งมากกว่า 1 min โดยสามารถสังเกตเห็นความเหลืองที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า จากการศึกษาจะพบว่าการอบแห้งกากมะพร้าวหรือเนื้อมะพร้าวชุดเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนทั้งๆ ที่เทคโนโลยีการอบแห้งมีหลากหลายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับมะพร้าวชุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันมะพร้าวโดยคณะผู้วิจัยสนใจเทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด เนื่องจากเป็นเทคนิคการอบแห้งที่ใช้เวลาสั้นกว่าเทคนิคอื่นๆ ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย และยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ดีเนื่องจากการกระจายตัวและไหลเวียนของผลิตภัณฑ์อย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างผลิตภัณฑ์และลมร้อน (Marmo, 2007; Takeuchi et al., 2008) แต่จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อมะพร้าวชุด (เกียรติศักดิ์และคณะ, 2557) พบว่ามะพร้าวชุดมีมุมเสียดทานภายในมากก่อให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสูงการอบแห้งโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดโดยทั่วไปจะก่อให้เกิดปัญหาการเกิดโพรงอากาศและไม่เกิดสเปาที่สมบูรณ์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งให้เหมาะสมกับการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชุดโดยเฉพาะพร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งในการเตรียมมะพร้าวชุดสำหรับการบีบน้ำมันด้วยวิธีบีบเย็นซึ่งต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวที่บีบได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีบีบเย็น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชุดที่พัฒนาขึ้น (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) ห้องอบแห้งสเปาเต็คเบต 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 ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวชูดที่จับผนังห้องอบแห้งและจับตัวกันให้เคลื่อนลงสู่เบต ลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศและช่วยให้เกิดสเปาตลอดช่วงของการอบแห้ง

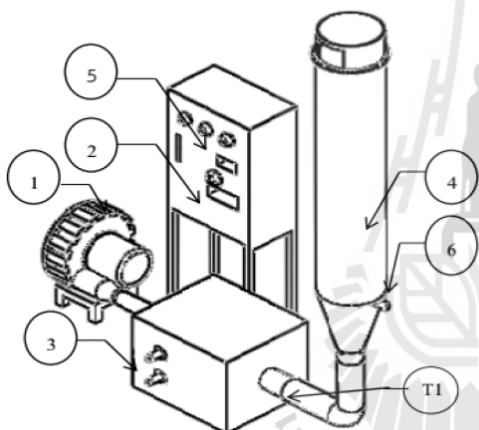


Figure 1 The schematic of spouted bed dryer.

2.2 มะพร้าวชูด

มะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากตลาดแม่กิมเฮงในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยการสั่งซื้อพิเศษเพื่อไม่ให้มีสีน้ำตาลของผิวเปลือกปนมา มะพร้าวชูดตัวอย่างมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52%wb

2.3 การอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูด

การทดสอบอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณของมะพร้าวชูดในเบตเริ่มต้นต่อสมรรถนะการอบแห้งเนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำแห้งและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวที่ได้ส่วนปริมาณมะพร้าวชูดในเบตเริ่มต้นมีผลต่อการทำแห้งและการเกิด

สเปา การทดลองได้กำหนดค่าอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 60 70 และ 80°C ที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบตเริ่มต้น 0.5 1 และ 1.5 kg ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยกำหนดให้ความเร็วลมที่ก่อให้เกิดสเปาในแต่ละปริมาณเบตเริ่มต้นคงที่ ระหว่างการทดสอบได้ทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบการอบแห้งซึ่งประกอบด้วยพัลลัมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนไฟฟ้าด้วย kWh-meter บันทึกค่าอัตราการไหลและความดันของอากาศที่ช่อง air jet และเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 min หาความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบอินฟาเรดร่วมกับวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน (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

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

2.4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัลลัมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนอากาศอบแห้งสามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดความสัมพันธ์เปลืองพลังงานไฟฟ้า (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 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง ($MJ \text{ kg}^{-1}$), E คือพลังงานรวมในระบบอบแห้ง (MJ),

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 (2559), 64-72

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

2.4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งบ่งบอกความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยสามารถหาได้จากสมการ (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 ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของมะพร้าวชูดและน้ำมันมะพร้าว

ทำการเตรียมตัวอย่างมะพร้าวชูดอบแห้งโดยการอบแห้งมะพร้าวชูดตามสภาวะที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2.4 แต่เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมอุณหภูมิการอบแห้งเกินกว่าที่แนะนำไว้ (คมสัน, 2547) จึงได้ทำการเตรียมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C เพิ่มเพื่อดูผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าว ดังนี้

2.5.1 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

นำเนื้อมะพร้าวชูดและเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่องวัดสี (ColorQuestXE, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) ในระบบ L a b เพื่อใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชูดที่อบแห้ง โดยค่า L หมายถึงค่าความสว่าง (lightness) ค่า a หมายถึงค่าความเป็นสีเขียว (greenness) ในขณะที่ค่า b หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) แล้วทำการหาความแตกต่างของสีระหว่างเนื้อมะพร้าวชูดสดเทียบกับเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้ง (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 เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูด และ L_p , a_p , b_p เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้ง

2.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว

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

2.5.3 บิบน้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก

นำเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งที่เตรียมไว้ห่อด้วยผ้าขาวบางแล้วใส่ลงในกระดาดชองบิบน้ำมันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11.5 cm สูง 15 cm จากนั้นบิบน้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิกโดยใช้แรงบิขนาด 5 ton นำน้ำมันมะพร้าวที่บีบได้นำไปกรองแล้วทิ้งไว้ให้ใส ทำการประเมินประสิทธิภาพการบิบน้ำมันจากสมการ (6)

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

เมื่อ $\text{Eff}_{\text{oil pressed}}$ คือประสิทธิภาพการบิบน้ำมัน (%), $m_{\text{oil pressed}}$ คือ ปริมาณน้ำมันที่บีบได้จากเครื่องไฮดรอลิก (g), $m_{\text{total oil}}$ คือ ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ทั้งหมดก่อนทำการบีบ (g) ซึ่งหาโดยใช้เครื่องสกัดไขมัน

2.5.4 หาปริมาณกรดไขมัน

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

3 ผลและวิจารณ์ผล

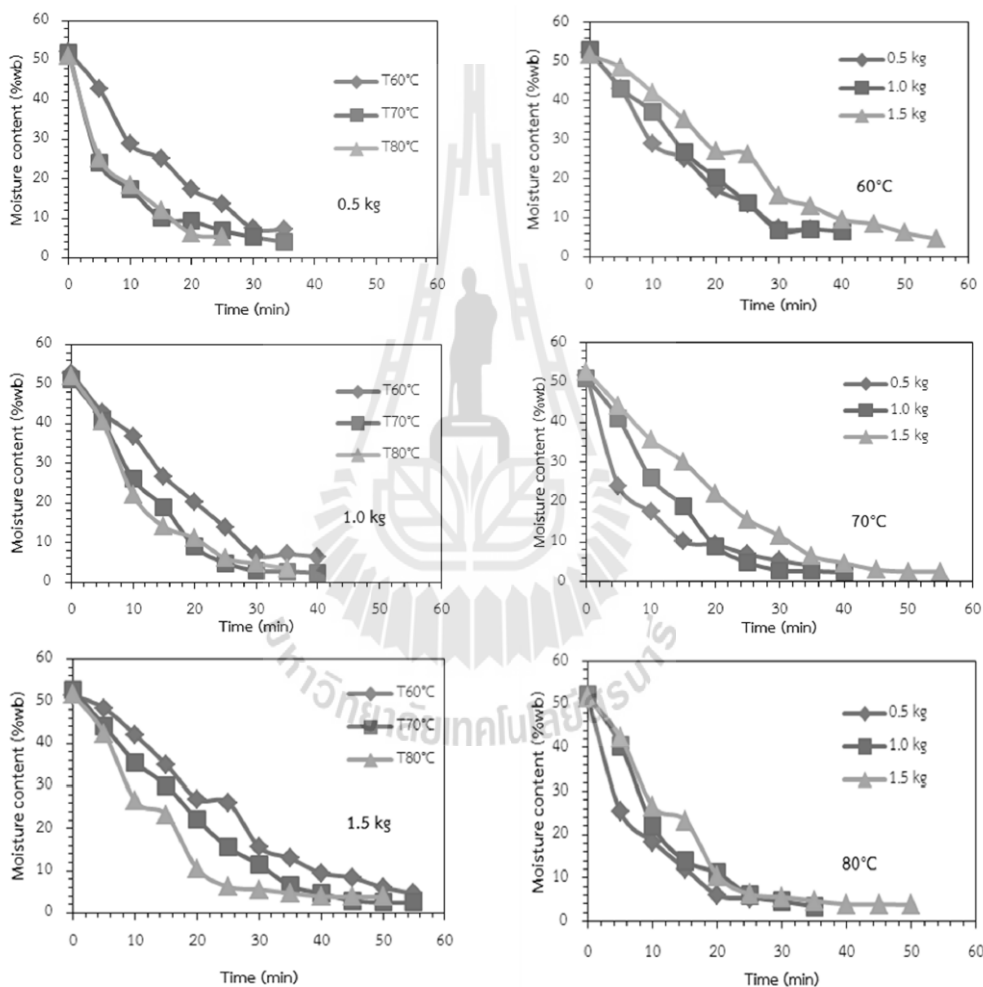
3.1 ผลการอบแห้ง

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคสเปาเต็ดพบพบว่าพฤติกรรมลดลงของความชื้นมีลักษณะดังแสดงใน Figure 2a และ Figure 2b โดยพฤติกรรมการอบแห้งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของการอบแห้งลดลง และพบว่าการลดลงของ

ความชื้นมะพร้าวชูดขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอบแห้งพบว่าที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นเดียวกันอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชูดลดลงเร็วขึ้น (Figure 2a)

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณมะพร้าวชูดจะส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณมะพร้าวชูดที่มากกว่าในเบดเริ่มต้นจะต้องใช้เวลาในการวนกลับเข้าสู่เบดมากกว่าจึงทำให้ใช้เวลาในการลดความชื้นมากขึ้นด้วย ซึ่งพฤติกรรมนี้

ให้ผลเช่นเดียวกับการอบแห้งข้าวโพด (กษมา, 2543) และข้าวเปลือก (วชิณูญ, 2542) โดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ และจาก Figure 2b จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งสูง (80°C) อิทธิพลของอุณหภูมิมอบแห้งต่อความสามารถในการทำแห้งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะทับกันทั้งสามระดับปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นซึ่งถึงแม้ว่าอุณหภูมิมอบแห้งที่สูงจะส่งผลดีต่อการลดลงของความชื้นแต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือคุณภาพของมะพร้าวอบแห้งและน้ำมันที่ได้



(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

อัตราการอบแห้งสามารถแสดงในรูปของอัตราการระเหยน้ำและอัตราการลดลงของความชื้น เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำพบว่า การอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นโดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C พบว่าอัตราการระเหยน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงโดยค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg (Figure 3) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของปริมาณมะพร้าวชูดเริ่มต้นมีความเหมาะสมกับความสามารถในการรับน้ำของอากาศอบแห้ง แต่ที่อุณหภูมิ 80°C ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่ายังมีความสามารถในการรับน้ำได้อีกแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการระเหยน้ำจึงค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงปริมาณเบดเริ่มต้นที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นการคิดอัตราการอบแห้งโดยดูจากอัตราการระเหยของน้ำสามารถใช้ตรวจสอบหาสมรรถนะการอบแห้งได้แต่ยังไม่สามารถอธิบายได้ถึงพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงความชื้น ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งในรูปของการลดลงของความชื้น (Figure 4) นั้นพบว่าอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นและอุณหภูมิอากาศอบแห้งซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎีคือเมื่อปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นมีน้อยความสามารถในการลดลงของความชื้นจะมีค่ามากกว่าที่เบดหนาแน่น และอัตราการอบแห้ง (อัตราการลดลงของความชื้น) จะแปรตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนั้นคืออุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่า ดังนั้นการใช้ค่าอัตราการอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำร่วมกับอัตราการลดลงของความชื้นจะทำให้ทราบความสามารถในการอบแห้งของเครื่องและพฤติกรรมที่แท้จริงของการอบแห้ง

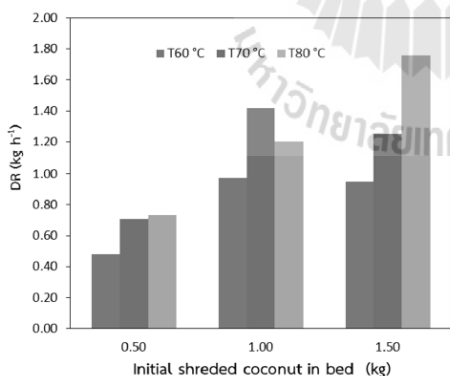


Figure 3 The water evaporation rate of shredded-coconut drying.

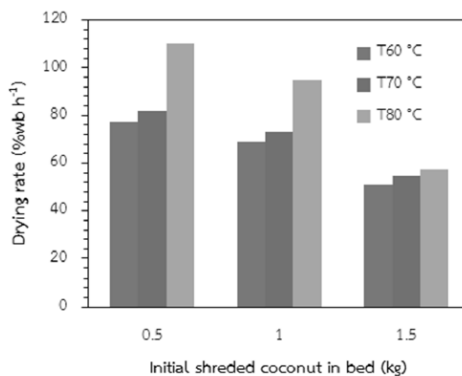


Figure 4 The drying rate of shredded-coconut drying.

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เนื่องจากมะพร้าวชูดที่นำมาใช้ในการอบแห้งมีความชื้นเริ่มต้นที่ก่อให้เกิดค่าความเสียหายภายในสูงจึงเกิดปัญหาการจับตัวกันของอนุภาคมะพร้าวในระหว่างการอบแห้งทำให้อนุภาคมะพร้าวชูดไม่วนกลับเข้าสู่เบด ก่อให้เกิดปัญหาโพรงอากาศขึ้นระหว่างการอบแห้งทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาระบบเป่าลมด้านข้างเพื่อช่วยให้มะพร้าววนกลับเข้าสู่เบดตั้งนั้นพลังงานที่ต้องป้อนเข้าสู่ระบบการอบแห้งจึงมีสองส่วนคือพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับระบบทำความร้อนและพัดลมแรงดันสูง และพลังงานลมที่ใช้ในการทำให้มะพร้าวเคลื่อนตัวเข้าสู่เบดซึ่งเมื่อคิดเป็นค่า SEC แล้วพบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลกระทบต่อค่า SEC มากกว่าปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น (Figure 5) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้กับอากาศมีค่ามากขึ้นในขณะที่การเพิ่มปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้นค่า SEC มีแนวโน้มลดลงแล้วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของพลังงานลมที่ก่อให้เกิดสเปามีค่าน้อยกว่าความสามารถในการระเหยน้ำ

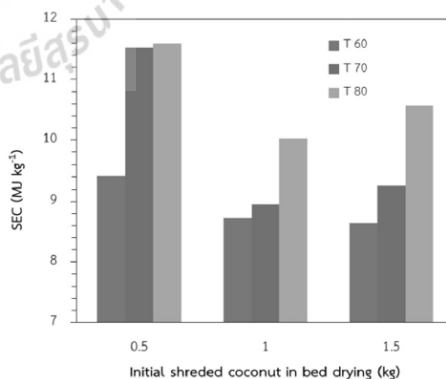


Figure 5 The specific energy consumption of shredded-coconut drying.

Thai Society of Agricultural Engineering Journal Vol. 22 No. 1 (2016), 64-72

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 ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่เมื่อพิจารณาที่สมรรถนะของการอบแห้งพบว่าที่สภาวะการอบแห้ง 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

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

จากการสกัดน้ำมันในเนื้อมะพร้าวอบแห้งก่อนและหลังการบีบด้วยเครื่องบีบน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่มีอยู่ในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนการบีบ และปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่หลังผ่านการบีบแล้วนั้น พบว่ามะพร้าวชูดอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C มีประสิทธิภาพการบีบน้ำมันสูงกว่า

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

3.4 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของมะพร้าวชูดและน้ำมันมะพร้าว

3.4.1 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

มะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้จากการทดลองทุกระดับอุณหภูมิมีสีขาวไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน (Figure 6) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งใช้ระยะเวลาสั้นซึ่งจากลักษณะของเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการประกอบการทำเบเกอรี่หรืออาหารและขนมที่ต้องการใช้มะพร้าวชูดอบแห้งแต่งหน้า และเมื่อนำตัวอย่างมะพร้าวชูดอบแห้งมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี พบว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 70 และ 80°C มีค่าสีไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

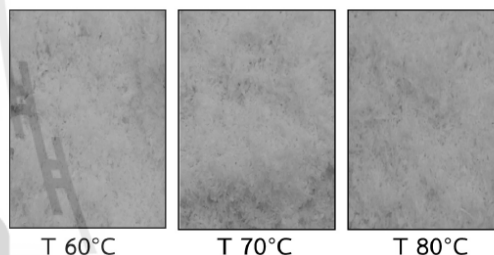


Figure 6 Shredded-coconut after drying at a temperature of 60, 70 and 80°C.

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C (Table 3) อย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งมะพร้าวชูดที่ 70 และ 80°C นั้นช่วยให้มีประสิทธิภาพการบีบน้ำมันที่ดี ดังนั้นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบคืออุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70°C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1.0 kg จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบเย็นแบบไฮดรอลิก

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 (2559), 64-72

3.4.3 ปริมาณกรดไขมัน

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

ในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่ออบแห้งเพื่อเตรียมมะพร้าวชูดสำหรับการผลิตน้ำมันด้วยวิธีการบีบเย็น

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 ตรีอำนาจ, นาฏชนก ปรางปรู, เบจวรรณ วานมนตรี, กระวี ตรีอำนาจ. 2557. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด. การประชุมวิชาการสมาคม

Thai Society of Agricultural Engineering Journal Vol. 22 No. 1 (2016), 64-72

- วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, 2-4 เมษายน 2557, พระนครศรีอยุธยา, พระนครศรีอยุธยา, 557-561.
 คมสัน หุตะแพทย์. 2547. การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 2, 1-5.
- จินตนาพร ปันพรม, จุฑามาศ บุญเลา, โชติพงศ์ กาญจนประโชติ, ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2555. ผลกระทบของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพของกากมะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(3 พิเศษ), 228-231.
- ฐานิตย์ เมธียนนท์, เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ, ประสาน สถิตเรืองศักดิ์, สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ. 2549. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วยเทคนิคฟลูอิดไช้เบต. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549, ปากช่อง, นครราชสีมา.
- ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, ปรัชญา บุญประสิทธิ์, อาณัติ พิลา. 2554. อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูล้ำเลียงอนุกรมสองชุด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554, เมือง, กระบี่.
- วทันัญญ์ รอดประพัฒน์, สุรเชษฐ์ บำรุงศิริ, ณรงค์ศักดิ์ สุวรรณวงศ์. 2542. การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบต. 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.

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ

(ภาษาไทย) นางเทวรัตน์ ตรีอำรรค

(ภาษาอังกฤษ) Ms. Tawarat Treeamnuk

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 300000

โทร. 044-224583

E-mail: tawarat@sut.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วศ.บ (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542

วศ.ม (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545

วศ.ด (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551

5. ผลงานวิชาการ / ผลงานวิจัย

1) บัณฑิต จริโมภาส, ชัยพร ทองปัญญา, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, นฤมล บุญกระจ่าง และ มาลัย ไกรทอง. 2543. การศึกษาการยุบตัวของส้มเขียวหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งระหว่างการขนส่งทางบก. วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 18 (2), หน้า 137-147.

2) สมยศ เชิญอักษร และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบป้อนความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 367-374.

- 3) บัณฑิต จริโมภาส และ เทวรัตน์ ทิพยวิมล. 2547. ภาชนะสุญญากาศสำหรับการทดสอบรอยร้าวของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว. 2547. บทความวิจัย เสนอในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 1 จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม วันที่ 7-9 ธันวาคม.
- 4) เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2548. การอบแห้งพริกด้วยระบบลมร้อนและไมโครเวฟ. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 113-114.
- 5) เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2549. การอบสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 112.
- 6) เทวรัตน์ ทิพยวิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2550. การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 25 (1), หน้า 46-57.
- 7) เทวรัตน์ ทิพยวิมล, สมยศ เชิญอักษร, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และเชาว์ อินประสิทธิ์. 2550. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 13 (1), หน้า 23-29.
- 8) เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2251. ความขึ้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 86.
- 9) เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2551. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 164-167.
- 10) ธนรัช มุขพันธ์, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อาจหาญ. 2552. การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ. รายงานการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6., หน้า 582-588.

- 11) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, ชรรมรัตน์ ขาวสำอางค์ และกระวี ตรีอำนาจ. 2554. เครื่องแยกแกลบจากข้างกล้องข้อมมือแบบประหยัด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 517-520.
- 12) พงศ์ศักดิ์ จุลยุเสน, อธา วาทกิจ, พรธยา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาดมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 501-504.
- 13) ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนุน, กระวี ตรีอำนาจ และเทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2554. การอบแห้งสับประรดแช่แข็งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน-ไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 493-496.
- 14) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2554. ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ): 139-142.
- 15) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2554. การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครั้งที่ 12 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554 ณ ชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี.
- 16) วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อัจหาญ. 2555. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้งจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 660-666.
- 17) เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, ปรีศนา แสงรุ่ง ปัตตะนี สุดตะนะ. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้งจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 526-531.
- 18) สักยะ สมบัติไพรวัน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนาจ. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมสัมมนาวิชาการครั้งที่ 13 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 4-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้งจังหวัดเชียงใหม่, หน้า 518-525.

- 19) เทวรัตน์ ตรีอำรรค, เกียรติศักดิ์ ใจโต, วีรชัย อัจหาญ และกระวี ตรีอำรรค. 2555. การอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ): 135-138.
- 20) กระวี ตรีอำรรค เทวรัตน์ ตรีอำรรค. 2556. การพัฒนาและทดสอบเครื่องรีดและกีดเส้น ผักตบชวาสำหรับงานหัตถกรรม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 25-30.
- 21) วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำรรค นัยวัฒน์ สุขทั้ง วีรชัย อัจหาญ. 2556. การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 19 (1), หน้า 7-13.
- 22) เทวรัตน์ ตรีอำรรค อธิพรรณ ชันชเสน และ กระวี ตรีอำรรค. 2556. เครื่องคัดขนาดกลีบกระเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44:3 (พิเศษ): 466-469
- 23) นาถชนก ปรางปรุ วิเชียร ดวงสีเสน เทวรัตน์ ตรีอำรรค และเกียรติศักดิ์ ใจโต. 2556. การทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 382-386, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 24) เบญจวรรณ วานมนตรี เทวรัตน์ ตรีอำรรค ภัทธา จิตกุล และวุฒิชนา สิงห์คง. 2556. การศึกษาการอบแห้งโถงข้าวกล้องงอกกิ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 520-523, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.
- 25) ธนากร แนวกลาง เทวรัตน์ ตรีอำรรค วีรชัย อัจหาญ และกระวี ตรีอำรรค. 2556. การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 680-684, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.

26) เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2556. เครื่องรีดและกรีด ผักตบชวา, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, หน้า 266-270, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 1-4 เมษายน 2556, ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์.

27) กระวี ตรีอำนาจ, สถาพร แต่งลี, วรุฒ เนตรสว่าง และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2557. การทดสอบและประเมินผลเครื่องคว้านลำไยกิ่งอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 317-320.

28) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง, พงศ์ ลบแจ้ง, วรรณวิษา ไชญเหลือ้ม และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. การศึกษาความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาดฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45(3/1)(พิเศษ), หน้า 369-372.

29) เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, นาฏชนก ปรางปรุ, เบญจวรรณ วานมนตรี, และกระวี ตรีอำนาจ. 2557. ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวหูด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 557-561), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.

30) เบญจวรรณ วานมนตรี, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, เกียรติศักดิ์ ใจโต, และนาฏชนก ปรางปรุ. 2557. อิทธิพลของสภาวะไฮโดรสแตติกต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของไข่เป็ด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 15 (หน้า 573-578), สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2-4 เมษายน 2557, ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ.อยุธยา.

31) เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, ธนากร แนวกลาง และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ความสามารถในการปกป้องผล แอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาดฟางข้าวภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจำลอง. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 46:3/1 (พิเศษ) : 473-476

32) เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ การอบแห้งมะพร้าวหูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร แห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 505-508. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่ง

ประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร

33) ธนากร แนวกลาง, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ , วีรชัย ออาจหาญ และ กระวี ตรีอำนาจ . 2558. การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษจากฟางข้าวด้วย วิธีการทดสอบแบบ ballistic pendulum. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. หน้า 509-513. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

34) นาถุชนก ปรางปรุ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และกระวี ตรีอำนาจ. 2558. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของสารตัวพาทที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบ ลูกกลิ้ง. ใน การประชุม วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 480-485. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพมหานคร.

35) เบญจวรรณ วานมนตรี และเทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2558. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภายใน ไข่เยี่ยว ม้าที่ผลิตภายใต้สภาวะความดันสูงเทียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด. ใน การประชุม วิชาการสมาคม วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16. หน้า 475-476. สมาคม วิศวกรรมเกษตรแห่ง ประเทศไทย. 17-19 มีนาคม 2558. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา, กรุงเทพมหานคร

36) จีรศักดิ์ ปาประกอบ นัยวัฒน์ สุขทั้ง เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และวีรชัย ออาจหาญ. 2558. การอบแห้งมันเส้นสะอาดด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29. 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา.

37) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2006. Thai aroma herb drying with microwave assisted heat pump dryer. Proceedings of the 13th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2006, Oct. 29-Nov. 2. Mie University, Japan. Pp. 278-281.

38) Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food

and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

39) Nartchanok PRANGPRU, Kattisak JAITO, Benjawan VANMONTREE, Tawarat TREEAMNUK and Krawee Treamnuk. 2014. Comparing the Efficiency of Carrier Type on Drum Drying of Tamarind Juice, in 7th International Conference on Agricultural Engineering, 2nd – 4th April 2014, Krungsri river Hotel Pranakhornsriayothanya, 114-120

40) Prangpru, N. Treamnuk, T., Jaito, K. Vanmontree, B. & Treamnuk, K. 2015. Comparing the Efficiency of Two Carrier Tyes on Drum Drying of Tamarind Juice. Thai Society of Argiculturea Engineering Journal, 21(1) : 1-6.

