

# การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด



นายเกียรติศักดิ์ ใจโต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2558

**DEVELOPMENT OF A SPOUTED BED DRYER FOR  
SHREDDED COCONUT DRYING**



**Kaattisak Jaito**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Agriculture and Food Engineering**

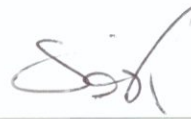
**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2015**

## การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวขูด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร. วีระศักดิ์ เลิศศิริ โยธิน)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร. สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



(ศ. ดร. ชุกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร. กนดรร ข่านิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เกียรติศักดิ์ ใจโต : การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด  
(DEVELOPMENT OF A SPOUTED BED DRYER FOR SHREDDED COCONUT  
DRYING) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 116 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับใช้ในการอบแห้งมะพร้าวชูด เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 1) ห้องอบแห้งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 80 cm ประกอบอยู่กับท่อทรงกรวยซึ่งมีมุมเอียง 70 องศาสูง 25 cm ต่อเข้ากับท่อลมร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 2) ห้องผลิตลมร้อนที่ติดตั้งฮีตเตอร์พร้อมกริบขนาด 1500 w จำนวน 2 ตัว 3) พัดลมพร้อมมอเตอร์ขนาด 3 hp 4) ระบบควบคุมความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 5) ชุดเป่าลมด้านข้างประกอบด้วยท่อลมและปั๊มลม ทำการทดสอบอบแห้งมะพร้าวชูดที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60, 70, และ 80 °C ปริมาณของมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 0.5, 1 และ 1.5 kg ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสีของมะพร้าวชูดอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ผลจากการทดสอบพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70 °C และปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg เป็นสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมะพร้าวชูดเนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพในการบีบน้ำมันสูงสุด 52 % โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ/kg อัตราการอบแห้ง 1.41 kg/h สีของเนื้อมะพร้าวชูดหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์สีขาวและคุณภาพน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา เกียรติศักดิ์ ใจโต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค



KAITTISAK JAITO : DEVELOPMENT OF A SPOUTED BED DRYER  
FOR SHREDDED COCONUT DRYING. THESIS ADVISOR : ASST.  
PROF. TAWARAT TREEAMNUK, D.Eng., 116 PP.

#### SPOUTED BED/ SHREDDED COCONUT/DRYING



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  $70^\circ$  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  $80^\circ\text{C}$  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  $70^\circ\text{C}$ , 1 kg of initial bed since it gave the highest of efficiency of oil production of 52% 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.

School of Agricultural Engineering

Academic Year 2015

Student's Signature

Advisor's Signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ศรีอำรรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน และอาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ ที่คอยแนะนำปรึกษาการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ทำนุขกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เกียรติศักดิ์ ใจโต

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 บทนำ.....	3
2.2 มะพร้าว.....	3
2.2.1 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์คืออะไร.....	4
2.2.2 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว.....	4
2.2.3 การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์.....	5
2.2.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์.....	8
2.3 การบแห้ง.....	9
2.3.1 การอบแห้ง.....	9
2.3.2 ความชื้นวัสดุ.....	9
2.3.3 การหาความชื้นของวัสดุทางการเกษตร.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	เครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่น .....	11
2.4.1	เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (fixed-tray dryer).....	11
2.4.2	เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (moving-bed dryer).....	11
2.4.3	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	12
2.4.4	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดิไซด์เบด (fluidized bed dryer).....	14
2.5	ทฤษฎีและหลักการสเปาเต็ดเบด.....	15
2.5.1	ลักษณะของการเกิดสเปาเต็ดเบด.....	16
3	เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	20
3.1	ตัวอย่างวัสดุอบแห้ง.....	20
3.2	การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด.....	21
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.2.2	วิธีการทดสอบ.....	23
3.3	การพัฒนาเครื่องอบแห้งต้นแบบ.....	27
3.3.1	วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องต้นแบบ.....	27
3.3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ.....	27
3.3.3	เกณฑ์การออกแบบเครื่องต้นแบบ.....	27
3.3.4	การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด.....	27
3.4	การทดสอบอบแห้งมะพร้าวชูด.....	34
3.5	ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง.....	35
3.6	การบีบน้ำมันมะพร้าว.....	38
3.6.1	บีบน้ำมันมะพร้าว.....	38
3.6.2	การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว.....	39
3.6.3	หาปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas chromatography.....	39
4	ผลและวิจารณ์ผล.....	41
4.1	ผลการศึกษาศักยภาพทางกายภาพของมะพร้าวชูด.....	41
4.1.1	การหามุมกอง (angle of repose).....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 มุมเสียดทาน (angle of friction).....	42
4.1.3 มุมเสียดทานภายใน.....	43
4.1.4 ความหนาแน่นและความพรุน.....	43
4.1.5 การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat).....	44
4.2 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	45
4.3 ผลการทดสอบการอบแห้ง.....	47
4.4 ผลการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง.....	49
4.4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ.....	49
4.4.2 อัตราการอบแห้ง.....	49
4.4.3 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์.....	51
4.5 ผลการทดสอบการบีบน้ำมันมะพร้าว.....	52
4.5.1 บีบน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องไฮดรอลิก.....	52
4.5.2 ปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว.....	52
4.5.3 ปริมาณกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่อง Gas Chromatography.....	54
<b>5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>56</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง.....	59
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	77
ภาคผนวก ค. แบบเครื่องอบแห้ง.....	82
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองหาปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว.....	86
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	105
ประวัติผู้เขียน.....	116

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการนำสเปาเต็ดเบดไปใช้งานด้านต่างๆ.....	15
3.1 Percent fatty acids in coconut oil. ....	40
4.1 การใช้พลังงานจำเพาะและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมะพร้าวชูด.....	50
4.2 อุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีมะพร้าวแห้งชูด.....	52
4.3 ปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดก่อนและหลังบีบน้ำมะพร้าว.....	53
4.4 ปริมาณของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว.....	54
ก1 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 1.....	60
ก2 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 2.....	60
ก3 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 3.....	61
ก4 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 1.....	61
ก5 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 2.....	62
ก6 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 3.....	62
ก7 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 1.....	63
ก8 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 2.....	63
ก9 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 3.....	64



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก23 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 2.....	71
ก24 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 3.....	71
ก25 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 1.....	72
ก26 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 2.....	72
ก27 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 1.5 kg การทดลองที่ 3.....	73
ก28 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบ น้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 1.....	74
ก29 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบ น้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 2.....	75
ก30 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบ น้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 3.....	76



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพานโดยมีผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของโพน	12
2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลสวนทาง	13
2.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลตาม	14
2.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด	14
2.5 การเกิดสเปกภายในสเปาเต็คเบด	15
2.6 แผนภาพลักษณะต่างๆ ของเบด	17
3.1 ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ใช้ในการอบแห้ง	20
3.2 ตู้อบลมร้อน	21
3.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	22
3.4 ชุดทดสอบหาความเสียดทาน	22
3.5 ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum	22
3.6 แคลอริมิเตอร์	23
3.7 การหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูด	24
3.8 การหามุมเสียดทานของมะพร้าวชูด	24
3.9 การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูด	25
3.10 การหาความพรุนของมะพร้าวชูด	25
3.11 กระบวนการบนไซโครเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	30
3.12 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น	35
3.13 เครื่องวัดสี HunterLab	38
3.14 เครื่องสกัดไขมัน (soxtec)	39
3.15 เครื่อง Gas chromatography	40
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับความชื้นของมะพร้าวชูด	42
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทาน	42
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทานภายใน	43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความแน่นของมะพร้าวชูด.....	43
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความพรุน.....	44
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูด.....	45
4.7 แบบของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	46
4.8 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น.....	46
4.9 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ของมะพร้าวชูดเมื่ออบแห้งครั้งละ 0.5, 1, และ 1.5 kg ตามลำดับ.....	48
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง.....	49
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยน้ำกับน้ำหนักของวัสดุ.....	50
4.12 มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C.....	52
4.13 แสดงปริมาณน้ำมันที่หาจากเครื่องสกัดน้ำมันกับปริมาณน้ำมันที่บีบได้จริง.....	53
4.14 น้ำมันมะพร้าว.....	55

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$M_d$	=	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg (d.b))
$M_w$	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg (w.b))
$W$	=	มวลของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)
$d$	=	มวลแห้งของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)
$\varphi$	=	มุมกองของมะพร้าวขูด (องศา)
$P$	=	ความดัน
$V$	=	ปริมาตร ( $m^3$ )
$C_{pg}$	=	ความร้อนจำเพาะของมะพร้าวขูดตัวอย่าง ( $kJ/kg^\circ C$ )
$C_f$	=	ค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ ( $kJ/^\circ C$ )
$T_c$	=	อุณหภูมิในภาวะสมดุลของระบบ ( $^\circ C$ )
$T_i$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอรีมิเตอร์ ( $^\circ C$ )
$T_g$	=	อุณหภูมิของมะพร้าวขูด ( $^\circ C$ )
$m_w$	=	ปริมาณน้ำระเหย ( $kg_{water}$ )
$M_{di}$	=	ความชื้นเริ่มต้น (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$ )
$M_{df}$	=	ความชื้นสุดท้าย (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$ )
$W_f$	=	กำลังที่ให้กับพัดลม
$\Delta P$	=	ความดันลดในระบบ (Pa)
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของอากาศอบแห้ง ( $m^3/s$ )
$H$	=	ความสูงของห้องอบแห้ง (m)
$D_i$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
$D$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางห้องอบแห้ง (m)
$\mathcal{E}$	=	ค่าความขรุขระของผิวของวัสดุ
$\eta_f$	=	ประสิทธิภาพของพัดลม
$\eta_m$	=	ประสิทธิภาพมอเตอร์
$w_i$	=	น้ำหนักของมะพร้าวขูดก่อนอบแห้ง (g)

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$w_f$	=	น้ำหนักของมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง (g)
SEC	=	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (MJ /kg <sub>water</sub> )
E	=	พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (J)
$m_{water}$	=	ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)
DR	=	อัตราการอบแห้ง (kg /h)
T	=	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)
$L_0$	=	ค่าความสว่างของเนื้อมะพร้าวชูดเริ่มต้น
$a_0$	=	ค่าความเป็นสีเขียวของเนื้อมะพร้าวชูดเริ่มต้น
$b_0$	=	ค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อมะพร้าวชูดเริ่มต้น
$L_p$	=	ค่าความสว่างของเนื้อมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง
$b_p$	=	ค่าความเป็นสีเขียวของเนื้อมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง
$b_p$	=	ค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อมะพร้าวชูดหลังการอบแห้ง



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นผลผลิตทางการเกษตรของไทยอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรม ประโยชน์ของผลมะพร้าวนอกจากนำมาทำอาหารคาว และอาหารหวานแล้วเนื้อมะพร้าวยังสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวได้อีกด้วย

มะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งในซีกโลกตะวันออก มีการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและโอเลโอเคมีเคิล ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าว มีความแตกต่างไปจากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ น้ำมันมะพร้าวสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค อีกทั้งในน้ำมันมะพร้าวยังมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นและสายปานกลางเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำไปช่วยลดคอเลสเตอรอล (LDL-cholesterol) ในเลือด ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Nevin and Rajamohan, 2004)

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สามารถผลิตได้หลายแนวทาง แต่จากการสำรวจ (Nutiva, 2013) ผู้ผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในไทย 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% นำมาเข้าเครื่องบีบ น้ำมันที่ได้จะมีตะกอนละเอียดปนออกมากับน้ำมันด้วย จึงต้องทิ้งไว้ให้ตกตะกอนหรือกรองให้ใส วิธีนี้มีต้นทุนสูงกว่าวิธีหมักแต่จะได้น้ำมันมากกว่าและมีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอ กระบวนการผลิตทั้ง 3 วิธีนี้ไม่ได้ใช้ความร้อนสูง ดังนั้นน้ำมันมะพร้าวจึงเก็บไว้ได้นาน

ในปัจจุบันความต้องการน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เพิ่มมากขึ้น การผลิตด้วยวิธีการหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาด ส่วนการผลิตด้วยวิธีเหวี่ยงแยกมีต้นทุนสูง วิธีการบีบเย็นจึงเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการผลิตระดับอุตสาหกรรม แต่มีความจำเป็นต้องเตรียมมะพร้าวโดยการลดความชื้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อจะหาข้อมูลพื้นฐานในด้านการเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด (spouted bed) เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยวิธีการบีบเย็น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่เหมาะสมกับการอบแห้งมะพร้าวชูด

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 การพัฒนาเครื่องอบแห้งมะพร้าวชูดแบบสเปาเต็ดเบดนี้จะพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาทดลองอบแห้งมะพร้าวชูดขนาดห้องอบแห้งสามารถบรรจุมะพร้าวชูดได้ครั้งละไม่เกิน 1.5 กิโลกรัม

1.3.2 การประเมินสมรรถนะการอบแห้งจะสนใจศึกษาในเรื่องเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ข้อดีและข้อเสียในการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น

1.3.3 การศึกษาคุณภาพของมะพร้าวชูดประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้น สีของมะพร้าวชูด ปริมาณน้ำมันที่บีบได้ ซึ่งเป็นสมบัติที่ส่งถึงคุณภาพของน้ำมันมะพร้าว

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดได้

1.4.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะพร้าวชูด

1.4.3 สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เพื่อสร้างรายได้แก่ชุมชน

## บทที่ 2

### ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบค สำหรับอบแห้งมะพร้าวชูดเพื่อนำไปผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีบีบเย็น ได้แก่ ทฤษฎีการอบแห้ง การอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบค น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ รวมถึงกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.2 มะพร้าว

มะพร้าว (*cocos nucifera* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ palmae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตของมะพร้าวมากเป็นอันดับ 6 ของ โลก รองลงมาจากประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิลและศรีลังกาตามลำดับ โดยผลผลิตของมะพร้าวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO) พ.ศ 2553 พบว่า ผลผลิตมะพร้าวของประเทศไทยมีประมาณ 1.72 ล้านตันต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2558) ซึ่งมากกว่าผลผลิตของมะพร้าวในปี พ.ศ 2542-2547 ที่มีประมาณ 1.38-1.45 ล้านตันต่อปี โดยมะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมและสนใจจากผู้บริโภคในประเทศแถบเอเชียและแปซิฟิกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งเป็นอาหารและยา กล่าวคือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งประกอบด้วยอาหารประเภทไขมัน (dietary fat) เส้นใยอาหาร (dietary fibres) โปรตีน 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

### 2.2.1 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (virgin coconut oils: VCO) หรือเรียกอีกอย่างว่า “น้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง” (cold-pressed coconut oil) คือ น้ำมันมะพร้าวที่สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวสดโดยวิธีทางกลหรือวิธีทางธรรมชาติ โดยใช้หรือไม่ใช้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ควรต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส (ลิตา อตัน โถ, 2548) เพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณความชื้นต่ำ น้ำมันมะพร้าวที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปบริโภคนั้นต้องมีสีใส ประกอบด้วยวิตามินอีธรรมชาติ ไม่เกิดการออกซิเดชันภายใต้สภาวะบรรยากาศ ไม่มีตะกอน มีกลิ่นหอมของมะพร้าว ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนและเหม็นเปรี้ยว สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีความแตกต่างจากน้ำมันมะพร้าวที่วางจำหน่ายในท้องตลาดที่เรียกว่า copra-derived oil ซึ่งผลิตโดยใช้สารเคมีและความร้อนสูงในการทำให้บริสุทธิ์ (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)

### 2.2.2 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำมันมะพร้าว RBD และ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือน้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (กันทิมา และคณะ, 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 (ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต) มีความชื้นไม่เกิน 0.1 % โดยเรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้อีกอย่างว่า “น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์” (virgin coconut oil) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ผลิตโดยอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือในครัวเรือน ทั้งนี้ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวสดจะมีปริมาณส่วนประกอบที่



ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive components) มากกว่าน้ำมันมะพร้าว RBD ที่สกัดโดยใช้การสกัดแบบแห้ง หรือ dry process

### 2.2.3 การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

การผลิตน้ำมันมะพร้าวในอุตสาหกรรมทั่วไป จะเริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวออกจากผลมะพร้าวโดยนำมาตากแห้งหรืออบแห้ง จากนั้นจึงบดย่อยเนื้อมะพร้าวแห้งให้เป็นชิ้นเล็กๆ และทำการบีบน้ำมันมะพร้าวออกด้วยเครื่องบีบแบบเกลียวอัด น้ำมันที่ได้มักมีเศษมะพร้าวแห้งปนมาด้วย จึงต้องนำไปกรองเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวคิปลีนน้ำตาลใสปราศจากเศษมะพร้าวแห้ง โดยกากของเนื้อมะพร้าวจะถูกส่งขายเป็นอาหารสัตว์ และน้ำมันมะพร้าวคิปลีนน้ำตาลใสนั้นจะนำไปเข้าสู่กระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมี (โดยใช้ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าว จากนั้นล้างสบู่และล้างส่วนเกินออกด้วยน้ำจนมีสภาพเป็นกลาง วิธีนี้อาจทำให้สูญเสียน้ำมันมะพร้าวสูง) หรือกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ทำโดยการนำน้ำมันมะพร้าวคิปลีนที่ได้จากการสกัดมากำจัดขางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกและฟอกสีด้วยผงฟอกสี จากนั้นนำน้ำมันเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำกว่าบรรยากาศเพื่อแยกกรดไขมัน กลิ่นและสีออก จากนั้นนำมากรองอีกครั้งจึงได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพื่อรอจำหน่ายต่อไป ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (ลลิตา อตัน โถ, 2548) มีดังนี้คือ 1. วัตถุดิบ จะใช้มะพร้าวที่มีอายุ 12-13 เดือน ซึ่งเป็นมะพร้าวที่โตเต็มที่ (fully mature nut) และต้องไม่มีเชลล์เบียน (haustorium) เนื่องจากจะทำให้ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวลดลง โดยจำนวนมะพร้าวที่ใช้ผลิตเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าว 1 ลิตร คือ 10-15 ลูก หรือเนื้อมะพร้าวชูดที่อบแห้งแล้ว 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 และระมัดระวังไม่ให้ผลมะพร้าวปริแตกระหว่างการขนส่งเนื่องจากลูกมะพร้าวจะเกิดการเน่าเสีย (spoilage) จากการทำงานของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ ทำให้น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้มีกลิ่นและรสชาติไม่ดี โดยทั่วไปเนื้อมะพร้าวชูดจะมีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ควรนำเนื้อมะพร้าวนั้นเข้าอบแห้งภายใน 4 ชั่วโมง และไม่ควรทิ้งไว้ข้ามคืน 3. กระบวนการในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ กระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวมีหลายกรรมวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมในระดับครัวเรือน วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวอัด วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงและวิธีการหมัก (ลลิตา อตัน โถ, 2548) โดยมีรายละเอียดดังนี้

-Traditinal hand pressed method เป็นกรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวในระดับครัวเรือนแบบดั้งเดิม การผลิตเริ่มต้นจากการบีบน้ำกะทิจากเนื้อมะพร้าวขูดที่เก็บรักษาไว้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งองค์ประกอบในน้ำกะทิประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ โปรตีนและอื่นๆ น้ำกะทิจะถูกหมักเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมงเพื่อให้ไขมันมะพร้าวแยกออกจากชั้นน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันมะพร้าวเพื่อไ้ความชื้นและทำการกรอง ข้อเสียของวิธีการนี้คือ เป็นการผลิตในระดับกำลังการผลิตขนาดเล็ก ทำให้การควบคุมคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวให้สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก

-Centrifuge process เป็นการผลิตโดยใช้เครื่องเหวี่ยง การผลิตน้ำมันมะพร้าววิธีนี้จะได้น้ำมันมะพร้าวที่มีคุณภาพสูงกว่าวิธี Traditinal hand pressed method เนื่องจากไม่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันในขั้นตอนของการผลิต การผลิตเริ่มต้นจากการนำน้ำกะทิมาเหวี่ยงเพื่อแยกของแข็งและน้ำออกจากชั้นน้ำมันจนได้ชั้นของน้ำมันอยู่ด้านบน ข้อเสียของวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องเหวี่ยงซึ่งมีราคาแพง ทั้งนี้การสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงมักจะใช้ในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในระดับโรงงาน ซึ่งข้อดีของการสกัดโดยใช้เครื่องเหวี่ยงคือ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี ผ่านความร้อนและมีความชื้นน้อย (คมสัน หุตะแพทย์, 2547) จากการศึกษาของ (ชนานันท์ ตันตกุล, 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 % โดยใช้เวลาและความเร็วในการเหวี่ยงหมุน 1,200 รอบต่อนาทีและ 105 นาทีตามลำดับ

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

- การสกัดด้วยเครื่องไฮโดรลิก วิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิกและวิธีการสกัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวอัดนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตเชิงธุรกิจ เนื่องจากต้องลงทุนเกี่ยวกับเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างแพง โดยขั้นตอนในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีดังนี้คือ นำเนื้อมะพร้าวสดไปอบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30-45 นาที นำเนื้อมะพร้าวที่อบแห้งมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปบีบด้วยเครื่องบีบแบบไฮโดรลิก จะได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ออกมา จากนั้นนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไปกรองด้วยผ้ากรองตาถี่หลายชั้น แล้วใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด ตั้งทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ให้ตกตะกอนและนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เฉพาะน้ำมันใสๆ มากรองอีกครั้งหนึ่ง จะได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบบีบเย็น (coldpressed) จากนั้นนำไปบรรจุลงในขวดที่มีฝาปิด (คมสัน หุตะแพทย์, 2547)

- การสกัดด้วยวิธีการหมัก เป็นวิธีการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ง่าย สะดวกและลงทุนต่ำการหมักเป็นวิธีการดั้งเดิมของชาวฟิลิปปินส์ อินเดีย และชาวเกาะแปซิฟิก ทำโดยการคั้นน้ำกะทิจากผลมะพร้าวแก่ที่เก็บมาจากต้นภายใน 24 ชั่วโมง วิธีการหมักมีข้อเสียเกี่ยวกับความชื้นในน้ำมันมะพร้าว ถ้านำน้ำมันมะพร้าวไปไล่ความชื้นออกโดยผ่านการให้ความร้อนก็สามารถไล่ความชื้นออกไปได้และได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีการสกัดด้วยวิธีการหมัก มีขั้นตอนดังนี้คือ นำเนื้อมะพร้าวหูดใส่ในกะละมัง เติมน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสลงไป โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวหูดต่อน้ำอุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 1 ส่วน จากนั้นคั้นน้ำกะทิในกะละมังแล้วใช้ผ้าขาวบาง หรือ ตะแกรงลวดกรองเอากากมะพร้าวทิ้งไป โดยกากมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น ทำปุ๋ย หรือใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น นำน้ำกะทิที่คั้นได้ไปหมักในสภาวะไร้อากาศ โดยใส่ในขวดโหลหรือภาชนะอื่นๆ ที่มีทรงสูง โดยให้ขอบบนของน้ำกะทิห่างจากปากขวดประมาณ 2 นิ้ว ปิดปากขวดโหลด้วยผ้าพลาสติก ใช้หนังยางรัดให้แน่น แล้วตั้งทิ้งไว้ 36-48 ชั่วโมง เอนไซม์ที่มีอยู่ในมะพร้าวตามธรรมชาติจะทำให้โปรตีนแยกตัวออกจากน้ำมันหลังจากตั้งทิ้งไว้ 36-48 ชั่วโมงโดยน้ำกะทิจะแยกออกเป็น 3 ส่วนคือน้ำมันมะพร้าวจะลอยตัวอยู่ด้านบน ซึ่งอาจพบกากกะทิปนอยู่ด้วย ส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำจะเป็นกากกะทิ และส่วนล่างซึ่งมีปริมาณมากที่สุดก็คือ น้ำ ขั้นตอนสุดท้ายนำน้ำมันมะพร้าวที่ลอยอยู่ด้านบนแยกออกจากน้ำ โดยใช้สายยางหรือกระบวยตักน้ำ แล้วตั้งทิ้งไว้ 2-3 วัน เพื่อให้ตกตะกอน ทำการกรองเอาแต่น้ำมันใสๆ มาบรรจุลงในภาชนะที่บแสงหรือขวดที่มีฝาปิด ซึ่งสามารถเก็บน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้นานเป็นปีโดยไม่เสื่อมคุณภาพ การสกัดน้ำมันมะพร้าววิธีนี้จะได้น้ำมันออกมาประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อมะพร้าวที่นำมาสกัด (คมสัน หุตะแพทย์, 2547)

## 2.2.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งแบบรับประทานได้ (edible use)

ได้แก่ น้ำมันทอดอาหาร ยาและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ และแบบรับประทานไม่ได้ (inedible use)

ได้แก่ วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ซักกรีดและสบู่อาบน้ำ พลังงาน และเครื่องสำอาง (Bawalan and Chapman, 2006) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1. แบบรับประทานได้ (edible use)

A. น้ำมันทอดอาหาร น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถนำมารับประทานได้ (edible use) โดยการนำมาใช้เป็นน้ำมันทอดอาหารและน้ำมันปรุงอาหาร ประโยชน์ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ด้านอื่นๆ 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)

B. ยาและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ มีคุณสมบัติของ antiinflammatory, anti - microbial และ antioxidant properties ที่ทำงานร่วมกันและป้องกัน โรคหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) โรคหัวใจ (cardiovascular disease) และช่วยป้องกันภาวะอ้วนลงพุง (obesity) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการติดเชื้อโรค (infectious disease) ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร โดยการเพิ่มการดูดซึมของวิตามิน แร่ธาตุและกรดอะมิโนต่างๆ และช่วยยับยั้งการเกิดมะเร็ง (cancer-forming)

### 2. แบบรับประทานไม่ได้ (inedible use)

A. วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ซักกรีดและสบู่อาบน้ำ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถนำมาใช้เป็นสารเคมีในการผลิตสารชำระล้างที่มีความสามารถในการย่อยสลาย (biodegradable detergent) แชมพู เจลอาบน้ำและเป็นสารทำความสะอาด (cleaning agent) ในผลิตเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์สำหรับชำระล้าง และเป็นสารช่วยให้เกิดฟอง (foaming booster) (Bawalan and Chapman, 2006)

B. พลังงาน มีการใช้น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจาก coco methyl ester สำหรับใช้ผลิตเชื้อเพลิงดีเซลทดแทน ปัจจุบันประเทศฟิลิปปินส์ใช้ coco methyl ester เป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพในเชื้อเพลิงดีเซล (fuel additive) โดยใช้ส่วนผสม 5 เปอร์เซ็นต์เพื่อลดการปล่อยควันและการเกิดของไนโตรเจนออกไซด์ ในประเทศไทยมีการนำน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับ 10-20 %

kerosene ในการกำจัดไขมันต่างๆ นำมาใช้เป็นสารตัวเติม (filler) และใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยเช่นเดียวกัน

C. เครื่องสำอาง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีคุณสมบัติอ่อนโยนต่อผิวหนัง (hypoallergenic properties) ปัจจุบันจึงนิยมใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในด้านหลักๆ ดังนี้คือ คอนดิชันเนอร์สำหรับเส้นผมและผิวหนัง เป็นส่วนผสมน้ำมันในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลผิว หรือเป็นน้ำมันพื้นฐาน (carrier oil) ในสวคนธบำบัด (aromatherapy) และน้ำมันนวด (massage oil)

## 2.3 การอบแห้ง

### 2.3.1 การอบแห้ง

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

ในกรณีของวัสดุทางการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่มีความชื้นค่อนข้างสูงทั้งขณะเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานาน เพราะผลิตผลอาจจะเกิดการเสียหายจากเชื้อราที่เกิดจากความชื้นของวัสดุ การอบแห้งจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลที่ได้เป็นระยะเวลานานขึ้น นอกจากนั้นสามารถนำกระบวนการอบแห้งไปประยุกต์ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญ ๆ ที่สามารถใช้ กระบวนการอบแห้งในการเก็บรักษาหรือแปรรูปได้แก่ ข้าวเปลือก ข้าวโพด รวมถึงเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ เป็นต้น

### 2.3.2 ความชื้นวัสดุ

ความชื้นในวัสดุ (moisture content) เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือมวลของวัสดุแห้ง 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 (d.b))

$M_w$  คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg (w.b))

$W$  คือ มวลของวัสดุที่เวลาใด ๆ (kg)

$d$  คือมวลแห้งของวัสดุ (kg)

### 2.3.3 การหาความชื้นของวัสดุทางเกษตร

ความชื้นในวัสดุสามารถหาได้โดยใช้ตู้อบ (oven) ซึ่งอาจเป็นตู้อบไล่ความชื้นปกติหรือเป็นตู้อบสุญญากาศก็ได้ ตัวอย่างการหาความชื้นในวัสดุโดยใช้ตู้อบมีดังนี้ (สมชาติ โสภณ ธรฤทธิ์, 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 ดังนั้นจึงควรอบต่อไปจนกระทั่งน้ำหนักวัสดุที่อบนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การหาความชื้นของอาหารบางชนิดสามารถหารายละเอียดอ้างอิงเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000)

นอกจากการหาความชื้นด้วยวิธีอบในตู้อบไล่ความชื้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่นที่สามารถหาความชื้นได้แต่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่า ได้แก่ มาตรวัดความชื้น (moisture content meter) เครื่องดังกล่าวใช้หลักการอบไล่ความชื้นของโดยการให้ความร้อนแก่วัสดุตัวอย่างที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก การให้ความร้อนอาจทำได้โดยการใช้ชุดลวดกำเนิดความร้อนหรือหลอดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด เครื่องวัดความชื้นนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟอินฟราเรดเพื่อให้ความร้อนและเครื่องชั่งอยู่ในเครื่องเดียวกัน ในขณะที่หลอดอินฟราเรดให้ความร้อนแก่อาหาร น้ำจะระเหยออกไป ในขณะที่เดียวกันเครื่องชั่งก็จะทำการอ่านบันทึกค่ามวลของอาหารที่เปลี่ยนไปเทียบกับมวลเริ่มต้น ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งมวลไม่มีการเปลี่ยนแปลง เครื่องจะทำการคำนวณค่าความชื้นสุดท้าย

## 2.4 เครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่น

สำหรับเครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่นๆ นั้นมีเทคนิคในการอบแห้งหลายแบบ ทั้งนี้ในการเลือกใช้ ควรดูให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการนำมาอบแห้ง

### 2.4.1 เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (fixed-tray dryer)

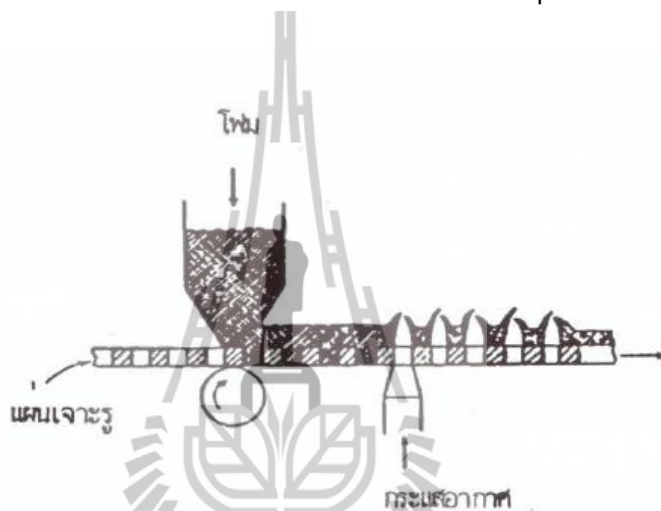
เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ที่เหมาะสมกับอาหารที่อยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันเป็นปริมาณมาก (bulk drying) เครื่องอบแห้งแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) และเครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet dryer) ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งเรียงอยู่บนถาดซึ่งวางซ้อนกัน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

### 2.4.2 เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (moving-bed dryer)

ตัวอย่างหนึ่งของเครื่องอบแห้งแบบนี้คือ การอบแห้งโดยใช้สายพาน ชั้นของวัสดุที่ต้องการอบแห้งอยู่บนสายพานซึ่งเคลื่อนที่และมีรูให้อากาศไหลผ่านได้ อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีทิศทางไปด้านบนหรือด้านล่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุอบแห้ง ในบางครั้งอาจมีการกลับทิศทางลมร้อนเป็นช่วงเวลาเพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง สภาพของอากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของสายพาน เช่นส่วนต้นของสายพานวัสดุอบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่ก็ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง ส่วนตอนปลายของสายพานก็ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าเพราะวัสดุอบแห้งมีความชื้นลดลงใกล้ถึงจุดที่ต้องการแล้ว การอบแห้งแบบสายพานนี้มีข้อเสียที่ว่าไม่สามารถอบแห้งวัสดุให้มีความชื้นต่ำกว่า 10% wb ได้โดยประหยัด โดยทั่วไปเมื่อวัสดุมีความชื้นเหลือ

ประมาณ 27% wb หรือต่ำกว่าก็จะถูกถ่ายไปยังเครื่องอบแห้งตัวที่สอง เช่น เครื่องอบแห้งแบบถังหรือถังเก็บเพื่อลดความชื้นต่อไป

เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถใช้กับวัสดุในรูปของเหลว ซึ่งได้มีการทำให้คงตัวในรูปของโฟม โดยการอัดอากาศหรือก๊าซอื่นและใส่สารเพิ่มเติมบางอย่าง โดยป้อนเข้าสายพานซึ่งมีรูแล้วผ่านลมร้อนไปตามรูเหล่านั้นดังรูปที่ 2.1 ชั้นของโฟมโดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 3 mm ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธีนี้จะมีโครงสร้างโปร่งพรุน สามารถนำกลับเพื่อไปผสมกับน้ำเพื่อให้กลับคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเหมาะกับพวกน้ำผลไม้แห้งเป็นต้น นอกจากผลึกภัณฑ์พวกโฟมแล้ว เครื่องอบแห้งแบบสายพานยังใช้ได้กับผลึกภัณฑ์อื่นๆ ด้วย



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน โดยมีผลึกภัณฑ์อยู่ในรูปของโฟม  
(สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2540)

#### 2.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

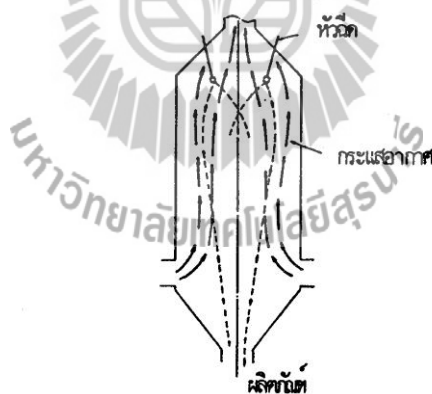
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเหมาะสำหรับวัสดุซึ่งอยู่ในรูปของเหลว เมื่ออบแห้งแล้วผลึกภัณฑ์จะอยู่ในรูปของแข็งเม็ดเล็กๆ เช่น นมผง ไข่ผง กาแฟ เป็นต้น เนื่องจากช่วงเวลาในการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสั้นมาก อาจจะประมาณ 3-10 วินาที ดังนั้นจึงเหมาะกับอาหารซึ่งมีคุณภาพสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นมากเป็นผลมาจากการทำให้อาหารเหลวเป็นละอองโดยใช้เครื่องทำละออง (atomizer) ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อนมาก เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบไหลสวนทางและแบบไหลตามดั่งที่แสดงในรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางคือการใช้ความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแต่ก็มีข้อเสียคือคุณภาพผลึกภัณฑ์หลังการอบแห้งอาจจะไม่ดีนัก เนื่องจากผลึกภัณฑ์ส่วนที่แห้งแล้วจะสัมผัสกับอากาศซึ่ง



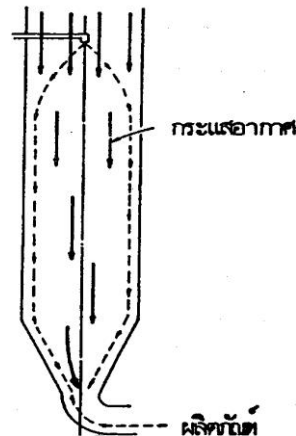
ร้อนจัด นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศต้องไม่สูงมากนัก เพื่อป้องกันการพัดพาเอาอาหารซึ่งแห้งแล้วออกจากเครื่องอบแห้ง

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบไหลตามกันมีข้อดีตรงที่ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งสูง แต่การใช้ประโยชน์ของลมร้อนอาจไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนัก ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตามความเร็วลมจะมีค่าระหว่าง 2.1-3 m/s

เครื่องทำละอองทำหน้าที่ผลิตหยดของเหลวเล็ก ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ แบบหัวฉีดความดัน (pressure nozzles) แบบของไหลสองชนิด (two-fluid atomizers) และแบบจานหมุน (rotary atomizers) เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดความดันทำงานโดยอาศัยความดันสูงอัดของเหลวให้ผ่านรูเล็กๆ ส่วนแบบของไหลสองชนิดทำงานโดยอาศัยกระแสอากาศความเร็วสูงวิ่งเข้ากระทบของเหลว ทำให้ของเหลวแตกกระจายออกเป็นหยดเล็กๆ ส่วนแบบจานหมุนทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงซึ่งเกิดจากจานหมุนความเร็วสูงทำให้ของเหลวเหวี่ยงกระจายออกไปเป็นหยดเล็กๆ จำนวนมาก แบบจานหมุนมีข้อดีคือสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่อาจอุดตันในกรณีของหัวฉีดความดัน หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องทำละอองคือเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์เหลว



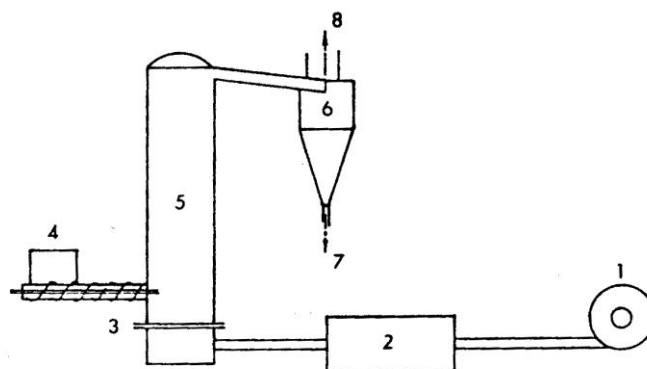
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบบไหลสวนทาง (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ, 2540)



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540)

#### 2.4.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด (fluidized bed dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ วัสดุอบแห้งอยู่ในลักษณะของแข็งชั้นเล็กๆ ลมร้อนถูกเป่าด้วยความเร็วสูงพอที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงของวัสดุ และทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้มีคุณลักษณะเหมือนของไหล ความเร็วลมที่นิยมใช้กันอยู่ในช่วง 100-200 m/min ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาดและรูปทรงของวัสดุ รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด ซึ่งพัฒนา (1) เป่าอากาศผ่านตัวทำอากาศร้อน (2) และไหลผ่านแผ่นตะแกรง (3) วัสดุไหลเข้าเครื่องโดยเกลิยวาล์ว (4) และปะทะกับกระแสอากาศทำให้แขวนลอยอยู่ในห้องอบแห้ง (5) วัสดุที่แห้งแล้วจะเบาขึ้น ทำให้ลอยได้สูงขึ้น และไหลไปที่เครื่องแยกคัดแบบไซโคลน (6) โดยอากาศขึ้นออกทางด้านบน (8) และวัสดุที่แห้งแล้วถูกรวบรวมที่ (7)



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบด (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540)

## 2.5 ทฤษฎีและหลักการสเปาเต็ดเบด

สเปาเต็ดเบด เป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดหรือชิ้นของแข็งดังกล่าว แรกเริ่มจะถูกวางไว้บนตะแกรงในภาชนะที่มักมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ปัจจุบันนี้คัดแปลงให้อยู่ในรูปร่างในแนวนอนก็มี ของไหลที่ใช้อาจมีก๊าซหรือของเหลว ปล่อยมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลก็จะผ่านชั้นเม็ดของแข็งแล้วไหลออกทางส่วนบนของภาชนะเมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเม็ดของแข็งจะขยับตัว และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกันของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือ มีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในภาชนะ

(สมศักดิ์ คารงค์เลิศ, 2528) กล่าวว่า เม็ดของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมักมีรูปร่างแปลกๆ ต่างกันออกไปจะนำมาผ่านกระบวนการของสเปาเต็ดเบด เพราะก๊าซมักจะผ่านขึ้นมาจากบนเบดเป็นช่อง หรือถ้าเกิดก็มักไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ตัวอย่างที่พบกันบ่อย คือ ข้าวที่มีรูปร่างรีและยาว หรือวัสดุที่ผิวขรุขระ หยาบ ถ้านำมาทำให้แห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดมักเกิดปัญหาเสมอ หรือการเคลือบเม็ดยาที่มีรูปร่างแปลกๆ เป็นต้น ดังนั้นสเปาเต็ดเบดจึงเป็นเทคนิควิธีหนึ่งที่จะใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างแปลกๆ แรกเริ่มนั้นสเปาเต็ดเบดพัฒนาจากวิธีที่จะทำให้มีการสัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งขนาดใหญ่กับก๊าซ โดยการผ่านก๊าซที่มีความเร็วสูงในลักษณะของลำเจ็ตขึ้นมาในแนวตั้ง มาชนกับเม็ดของแข็งทำให้เม็ดของแข็งขยับและลอยตัวไปตามกระแสของลำเจ็ตอย่างรวดเร็ว เมื่อขึ้นมาได้ระยะหนึ่งก็จะตกลงไปทางรอบข้างผนังของภาชนะ การทำงานโดยใช้เทคนิคของสเปาเต็ดเบดในปัจจุบันได้รับความสนใจมากคงสรุปรายละเอียดตัวอย่างงานบางส่วนไว้ในตารางที่ 2.1

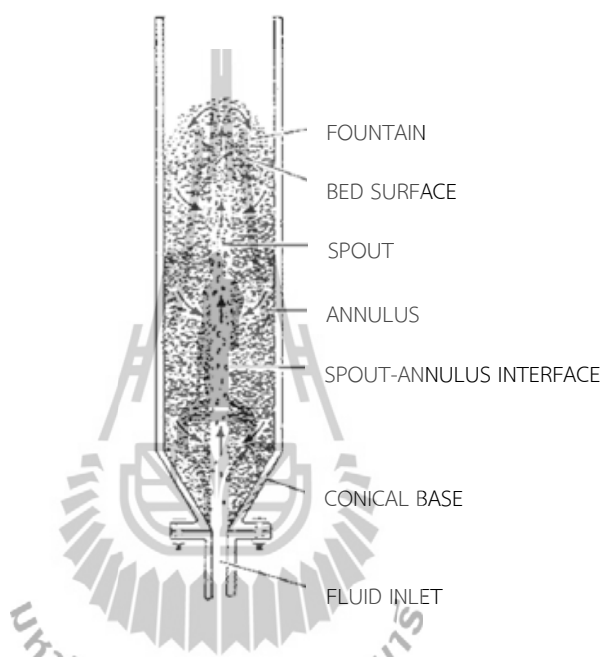
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการนำสเปาเต็ดเบดไปใช้งานด้านต่างๆ

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

ที่มา: (ธนิต สวัสดิ์เสวี, 2554)

### 2.5.1 ลักษณะของการเกิดสเปาต์เกิดเบด

สเปาต์เกิดเบดก่อตัวขึ้นจากกระแสลำเจ็ทของของไหลที่ผ่านเข้ามาภายในเบด โดยกระแสของไหลนี้มีความเร็วสูงและโมเมนตัมมากจะดันเม็ดของแข็งให้ลอยขึ้นเป็นแนวตามแกนของภาชนะ และเมื่อพื้นเบดแล้วเม็ดของแข็งก็จะตกลงกลับมาใหม่ดังรูปที่ 2.5 ของไหลที่ใช้นี้อาจเป็นของเหลวหรือก๊าซก็ได้

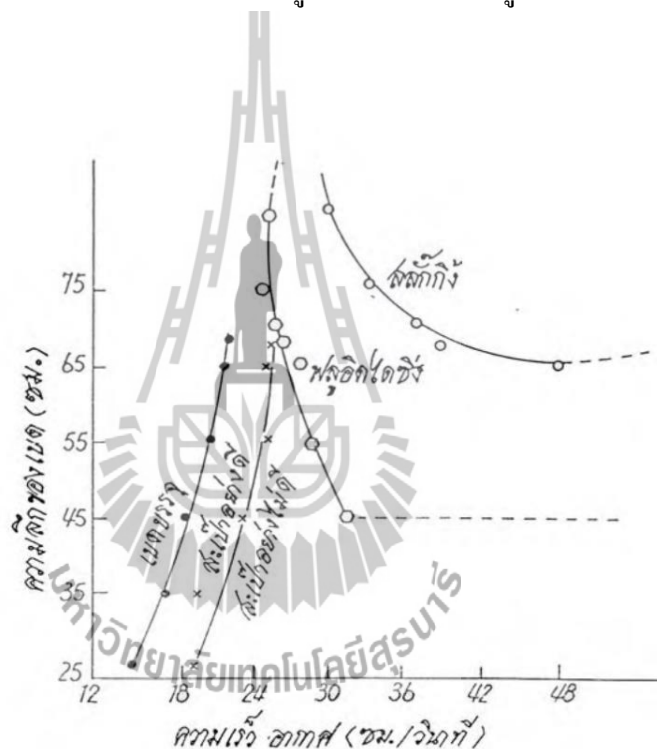


รูปที่ 2.5 การเกิดสเปาต์ภายในสเปาต์เกิดเบด

ที่มา: Mathur and Gishler (1955)

เบดในสเปาต์เกิดเบดแบ่งเป็นสองโซน คือ โซนที่เป็นเบดเบาบางที่เรียกว่าสเปา (spout) บริเวณนี้เม็ดของแข็งจะเคลื่อนที่ขึ้น กับอีกโซนหนึ่งที่เป็นเบดหนาแน่นบริเวณนี้อยู่รอบผนังของภาชนะซึ่งเรียกว่าแอนนูลัส (annulus) เม็ดของแข็งบริเวณนี้จะเคลื่อนที่ลงข้างล่าง ตรงบริเวณด้านล่างของเบดจะเป็นรูปกรวยเพื่อให้เม็ดของแข็งเคลื่อนที่เข้าหากระแสลำเจ็ทได้ง่าย ส่วนบริเวณที่เม็ดของแข็งมีลักษณะคล้ายน้ำพุและตกลงสู่บริเวณแอนนูลัสจะเรียกว่าฟาว์นเทน (fountain) ความเร็วของเม็ดของแข็งที่บริเวณสเปาจะมีความเร็วมากกว่าบริเวณรอบๆ เม็ดของแข็งที่ลอยขึ้นมาตามกระแสลำเจ็ทจะชนกับเม็ดของแข็งที่เคลื่อนที่ตกลงมาตรงบริเวณใกล้แกน ดังนั้นตรงบริเวณที่ใกล้ๆ กับลำเจ็ทจะมีปริมาณของแข็งน้อยกว่าบริเวณที่อยู่สูงขึ้นไป (สมศักดิ์ ดารงค์เลิศ, 2528) กล่าวว่า การที่เบดสามารถเกิดสเปาได้อย่างถาวรนั้นขึ้นกับสภาวะมากมายที่จะทำให้เกิดการ

เคลื่อนที่ของเม็ดเป็นแบบสุ่ม การเคลื่อนที่นี้สามารถเข้าไปสู่ภาวะฟลูอิดไดเซชันแบบเดือดพล่านหรือแบบสลักกิ่งได้เมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่สำคัญในเรื่องนี้ได้แก่ ขนาดของเม็ดของแข็ง ขนาดของท่อที่ให้ของไหลไหลเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ มุมกรวย อัตราการไหลของก๊าซและความสูงของเบด (Mathur and Gishler, 1955) ได้นำทรายขนาด 0.6 mm บรรจุในเบดขนาด 15 cm มาใช้ทดลองการเกิดสเปาจากการทดลองพบว่าไม่สามารถทำให้เกิดสเปาได้แม้จะทำการเพิ่มความเร็วของก๊าซให้สูงขึ้น เมื่อทำการลดขนาดของท่อทางเข้าของก๊าซเป็น 1.5cm แล้วเพิ่มความเร็วก๊าซพบว่าเบดเปลี่ยนจากเบดที่นิ่งเป็นฟลูอิดไดซ์เบดทันที และเมื่อลดขนาดท่อส่งก๊าซให้เล็กลงเหลือ 1.24 cm ก็จะเกิดสเปาที่สมบูรณ์ขึ้น โดยความสูงของเบดจะต้องต่ำกว่า 68 cm (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แผนภาพลักษณะต่างๆ ของเบด (ชนิด สวัสดิ์เสวี, 2554)

#### ข้อดีของการทำสเปาเต็ดเบด

- มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างของไหลและอนุภาคที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน
- การที่ก้นของหอตกลงของสเปาเต็ดเบดเป็นรูปกรวยนั้นจะช่วยลดการเกิดจุดอับหรือจุดที่อนุภาคเกิดการสะสม และไม่มีการไหลเวียน ซึ่งจะพบมากในกรณีของฟลูอิดไดซ์เบดที่มีก้นหอตกลงแบน

### ข้อเสียของการทำสเปาเต็ดเบด

- อนุภาคที่จะถูกเป่าขึ้นไปในแนวแกนนั้น สามารถมาได้จากทุกๆ ความสูงของเบด
- ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบในการเป่า และการสัมผัสกันระหว่างของไหลและอนุภาค
- ความสูงของอนุภาคที่ไหลลงมาในแนวรัศมีนั้นจะถูกจำกัดด้วยความเร็วของของไหล

การนำเทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดมาใช้กับผลผลิตเกษตรหลายชนิดดังนี้ (พรศักดิ์ ทองมา, 2542) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดขนาดอุตสาหกรรม โดยผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิในช่วง 130-190 °C โดยใช้ปริมาณวัสดุอบแห้ง 1,900 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 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในรูปพลังงานปฏิกิริยา 7.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

(กษมา เจนวิจิตรสกุล, 2543) ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การทดลองอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้น 38% d.b. อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอบแห้ง 130, 140, และ 150 °C ปริมาณข้าวโพด (hold-up) 20, 25, และ 30 kg พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนความชื้นคืออุณหภูมิอากาศอบแห้งและปริมาณข้าวโพดในห้องอบแห้ง (hold-up) สมการของ Lewis มีความเหมาะสมและสะดวกในการทำนายการอบแห้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง ในด้านการร้าว การแตก และสีของเมล็ด คือ ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพด ซึ่งไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 22 %d.b. เพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าวมากขึ้น จากผลการพัฒนาสมการทำนายสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับเมล็ดข้าวโพดในช่องสเปา ( $h_s$ ) และสัมประสิทธิ์ผลรวมทั้งห้องอบแห้ง ( $h_{eff}$ ) พบว่าเป็นฟังก์ชันกับความสูงเบด Reynolds number และ Prandtl number โดย  $h_s$  และ  $h_{eff}$  มีค่าอยู่ระหว่าง 83-173 W/m<sup>2</sup> °C และ 12-13 W/m<sup>2</sup> °C ตามลำดับ

(วาทัญญ และคณะ, 2542) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคสเปาเต็ดเบดพบว่าตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ ปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง ส่วนตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณข้าวต้นนั้น ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศ และยังพบอีกว่าความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดในส่วนของช่องสเปา

สำหรับการอบแห้งมะพร้าวหูด (ยิ่งยง และคณะ, 2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรู ลำเลียงอนุกรมสองชุดซึ่งไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในทุกเงื่อนไขการทดลองใช้อัตราการ ป้อนกากมะพร้าว 33.4 g/min และควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่ 12 rpm ในขณะที่อากาศ อบแห้งถูกจ่ายเข้าเครื่องอบแห้งผ่านท่อกระจายอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงมวล 0.1359 kg/s ส่วน อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ศึกษาได้ปรับเปลี่ยนในช่วง 60-140 °C เพิ่มขึ้น 20 °C ในแต่ละการทดลอง ผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งกากมะพร้าวของเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 140 °C มี ค่าสูงสุด โดยสามารถลดความชื้น จาก 95.28% d.b. เหลือ 0.71% d.b. เพราะการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ อบแห้งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไข อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80-140 °C มีค่าในช่วง 0.71-4.92 % d.b. สำหรับกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C นั้นมีความชื้นสุดท้าย 16.51% d.b. ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์กำหนดไว้ที่ 5% d.b.

(จินตนาพร บันพรม, 2555) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิตอบแห้งที่ 40, 60, และ 80 °C และชั้นความหนาที่ 2, 3, และ 4 mm ของกากมะพร้าวพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะ ลดลงเมื่ออุณหภูมิตอบแห้งสูงขึ้นและชั้นวัสดุบาง ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเมื่อนำกากมะพร้าวที่ อบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบลมร้อนและชั้นความหนาของวัสดุแตกต่างกัน กากมะพร้าวอบแห้งมี ปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(ฐานิตย์ และคณะ, 2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิตอบแห้งที่มีต่อการ อบแห้งมะพร้าวหูดด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิตอบแห้งส่งผลให้การ ลดลงของความชื้นของมะพร้าวเร็วขึ้น โดยหลังจากการอบแห้งมะพร้าวจนเหลือความชื้นประมาณ 1% d.b. เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของสีของมะพร้าวที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 และ 90 °C ยังคงอยู่ใน เกณฑ์ดี โดยจะมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อมะพร้าวก่อนทำการอบแต่กรณีอบแห้งที่ อุณหภูมิ 110 และ 120 °C เนื้อมะพร้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลา อบแห้งมากกว่า 1 min โดยสามารถสังเกตเห็นความเหลืองที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า

เทคนิคสเปาเต็ดเบดเป็นวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมกับอนุภาคและมีความไว ต่อความร้อนสูง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของอนุภาคจะถูกจำกัดโดยการผสมกันอย่างสม่ำเสมอของ อนุภาคและระยะเวลาช่วงสั้น ๆ ที่อยู่ในสเปา ทำให้สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิสูงและมีอัตราการ อบแห้งสูงด้วย (กษมา เจนวิจิตรสกุล, 2543) จึงเป็นทางเลือกนำมาใช้ออบแห้งมะพร้าวหูดเพื่อลด ความชื้น

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ชื่อ รุ่น ขนาด และมาตรฐาน รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การหาสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สัมพันธ์กับความชื้นของเนื้อมะพร้าวชูด โดยสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษา ประกอบด้วย ความหนาแน่น ความพรุน มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน มุมกอง และความร้อนจำเพาะ การปรับปรุงออกแบบเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด การทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คุณภาพด้านสีของมะพร้าวชูดหลังอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ดังนี้

#### 3.1 ตัวอย่างวัสดุอบแห้ง

ในการศึกษานี้มะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากตลาดแม่กิมเฮงในอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยวิธีสังเกตพิเศษเพื่อไม่ให้มีสีน้ำตาลของผนังหุ้มติดมา (รูปที่ 3.1) มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 52 %wb



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ใช้ในการอบแห้ง



### 3.2 การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวจะเข้ามามีบทบาทสำคัญโดยเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ระบบลำเลียง การอบแห้ง การบรรจุ และการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการคงคุณภาพและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเกษตรให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งตัวแปรหนึ่งในการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวคือสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและความร้อนของมะพร้าวชูดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด โดยสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษาคือ มุมกอง มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน ความหนาแน่น ความพรุน และความร้อนจำเพาะซึ่งที่สัมพันธ์กับความชื้น โดยมีเครื่องมือและวิธีการทดสอบดังนี้

#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ใช้สำหรับการอบหาความชื้นมะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 3.2)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลพิกัด 2,500 g ความละเอียด 0.01 g สำหรับชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุอบแห้ง (รูปที่ 3.3)
3. ชุดทดสอบหาความเสียดทาน (รูปที่ 3.4)
4. ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum (รูปที่ 3.5)
5. แคลอริมิเตอร์ (รูปที่ 3.6)
6. แผ่นสังกะสี สแตนเลส และกล่องสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบหาความเสียดทาน



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบหาความพรุนแบบ vacuum



รูปที่ 3.6 แคลอริมิเตอร์

### 3.2.2 วิธีการทดสอบ

#### 1. เตรียมมะพร้าวขูด

มะพร้าวขูดที่ใช้ในการทดลองได้ถูกนำไปหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน (AOAC, 1995) กล่าวคือก่อนอบแห้งจะชั่งน้ำหนักมะพร้าวขูดสดประมาณ 10-20 g และนำไปใส่กระป๋องหาความชื้น แล้วนำไปเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C อบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน ทราบความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างมะพร้าวขูดมีค่าเฉลี่ย 52 %wb. จากนั้นทำการปรับความชื้นของมะพร้าวขูดด้วยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ให้มีความชื้นของตัวอย่างเป็น 14, 28, 41 และ 51 %wb. โดยใช้ระยะเวลาต่างกันเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการและเตรียมพร้อมรอการทดลองเพื่อหาสมบัติทางกายภาพและความร้อนต่างๆ ต่อไป

#### 2. การหามุมกอง (angle of repose)

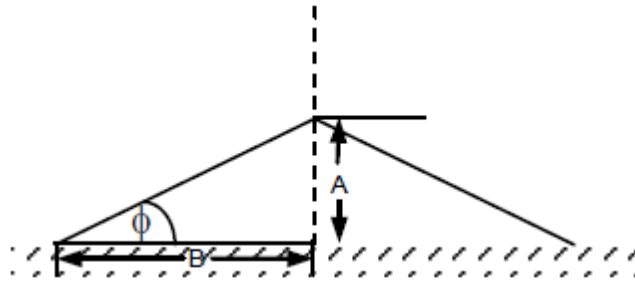
มุมกองของมะพร้าวขูดในการศึกษาครั้งนี้เป็นค่า static angle of repose ทำการทดลองโดยการปล่อยให้ตัวอย่างมะพร้าวขูดที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 ไหลผ่านกรวยลงสู่พื้นราบวัดความสูงและรัศมีของกองตามรูปที่ 3.7 จากนั้นทำการคำนวณค่ามุมกอง ด้วยสมการ (3.1)

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

โดยที่  $\varphi$  คือ มุมกองของมะพร้าวขูด (องศา)

A คือ ระยะความสูงของกอง (mm)

B คือ รัศมีของกอง (mm)



รูปที่ 3.7 การหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูด  
ทีมา (เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2552)

### 3. การหามุมเสียดทาน (angle of friction)

การหามุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวต่างๆ ทำการทดสอบโดยการติดตั้งแผ่น สังกะสี และสแตนเลส บนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนพื้นผิววัสดุดังกล่าว



รูปที่ 3.8 การหามุมเสียดทานของมะพร้าวชูด

### 4. การหามุมเสียดทานภายใน (internal angle of friction)

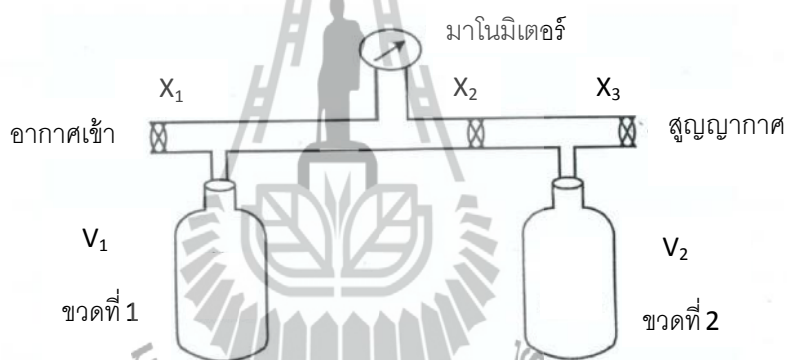
การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูดทดสอบโดยการติดตั้งกล่องสี่เหลี่ยมบนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนเนื้อของมะพร้าวชูดเอง



รูปที่ 3.9 การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวขูด

### 5. การหาค่าความหนาแน่นและความพรุน

ค่าความหนาแน่นของมะพร้าวขูด (bulk density) หาโดยตัวอย่างของมะพร้าวขูด ที่ปรับความชื้นแล้วจะถูกนำมาชั่งและวัดปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่นกอง



รูปที่ 3.10 การหาความพรุนของมะพร้าวขูด

ทีมา (บัณฑิต จริ โภภาส, 2545)

สำหรับการหาค่าความพรุน (porosity) ใช้วิธีการแทนที่ของอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยในเบื้องต้นเริ่มแรกปิดวาล์ว X1 เปิดวาล์ว X2, X3 และทำให้ระบบวัดเป็นสุญญากาศผ่านวาล์ว X3 เมื่อระบบเป็นสุญญากาศได้สถานะสม่ำเสมอ (steady-state) แล้วปิด X3 และ X2 นำอากาศเข้าระบบผ่านวาล์ว X1 และเมื่อระบบได้สถานะสม่ำเสมอที่ 1 ปิดวาล์ว X1 อ่านค่า P1 จากนั้นเปิดวาล์ว X2 ให้อากาศจากขวด V1 กระจายไปยังขวด V2 จนเกิดสถานะสม่ำเสมอที่ 2 อ่านค่า P2 ซึ่งหาค่าความพรุนของมะพร้าวขูดได้จากสมการ (3.2)

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

โดยที่  $C_p$  คือค่าความพรุน P1 คือความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะที่ 1

P2 คือความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะที่ 2

#### 6. การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat)

ค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชุก ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการผสมในแคลอรีมิเตอร์ (Bala, 1997) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1 ชั่งหามวลของแคลอรีมิเตอร์และเครื่องกวนซึ่งเป็นอะลูมิเนียม (มีค่าความร้อนจำเพาะ =  $0.22 \text{ cal/gm } ^\circ\text{C}$ )

2 เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มลงในแคลอรีมิเตอร์ประมาณ  $3/4$  ของปริมาตรของแคลอรีมิเตอร์ แล้วนำไปชั่งเพื่อหาค่ามวลของน้ำ

3 นำแคลอรีมิเตอร์ที่เติมน้ำกลั่นแล้วใส่ลงในภาชนะป้องกันความร้อน พร้อมทั้งเอาฝาปิดภาชนะครอบปิดให้สนิท แล้วนำเทอร์โมมิเตอร์เสียบเข้าไปในจุกยาง แล้วนำไปสวมตรงช่องสวมจุกยางที่ฝาปิด ปรับให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงไปใต้น้ำประมาณครึ่งหนึ่งของความลึกของน้ำทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที อ่านอุณหภูมิตั้งต้นของน้ำ แคลอรีมิเตอร์ และเครื่องกวนจากเทอร์โมมิเตอร์

4 นำมะพร้าวชุกแช่เย็นเพื่อปรับอุณหภูมิใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์แล้วกวนน้ำด้วยเครื่องกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ปริมาณความร้อนแผ่กระจายไปทั่วสารผสมอย่างสม่ำเสมอ คอยสังเกตอุณหภูมิผสมที่เทอร์โมมิเตอร์ เมื่อเห็นอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อยู่คงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้รีบอ่านค่าอุณหภูมินี้ไว้เป็นอุณหภูมิผสม (อุณหภูมิสมดุล) บันทึกข้อมูลที่ได้โดยความร้อนที่น้ำจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่เพิ่มขึ้นของมะพร้าวชุกและแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถหาค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชุกได้จาก

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

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

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

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

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

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

### 3.3 การพัฒนาเครื่องอบแห้งต้นแบบ

วิธีการดำเนินการวิจัยสร้างเครื่องต้นแบบประกอบด้วย วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบและเกณฑ์การออกแบบ ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องต้นแบบ

1. เหล็กฉาก ใช้สำหรับสร้างโครงสร้างโดยรวม
2. แผ่นสังกะสี ใช้สำหรับสร้างห้องอบแห้งและห้องเผาไหม้
3. ฉนวนกันความร้อน
4. Nut, Bolt, และอื่นๆ

#### 3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
2. เครื่องตัดเหล็ก
3. เครื่องเจาะชิ้นงาน
4. เครื่องเจียรระโน
5. ชุดเครื่องมือช่าง เครื่องมือวัด และอื่นๆ

#### 3.3.3 เกณฑ์การออกแบบเครื่องต้นแบบ

1. เครื่องอบแห้งทำงานในลักษณะเป็นกะ (Batch Type)
2. เครื่องอบแห้งสามารถบรรจุมะพร้าวชูดได้ 1.5 kg
3. ระบบการให้ความร้อนอากาศใช้ทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater)

#### 3.3.4 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดประกอบไปด้วยส่วนประกอบสองส่วนหลักคือ ส่วนของห้องอบแห้งและส่วนของระบบทำความร้อนที่สัมพันธ์กัน การออกแบบดำเนินการดังนี้

1. ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดลองการอบแห้ง

ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่า bulk density ของมะพร้าวชูด พบว่า ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 51 %wb มีค่า bulk density 313 kg/m<sup>3</sup> โดยกำหนดให้การอบแห้งเป็นสเปาเต็ดเบด โดยใช้ปริมาณเบดเริ่มต้น 1.5 kg สามารถหาปริมาตรที่มะพร้าวชูดสด 1.5 kg บรรจุได้

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

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

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

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

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

## 2. ขนาดห้องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้ออกแบบให้ห้องอบแห้งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกข้างล่างของห้องอบแห้งเป็นทรงกรวยเพื่อให้วัสดุเกิดการเคลื่อนไถลในขณะอบแห้งโดยทำการศึกษามุมของมะพร้าวชูดมาคำนวณเพื่อหามุมเอียงของกรวย โดยการกำหนดขนาดของห้องอบแห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 cm จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่ามุมของมะพร้าวชูดมีค่า 50 องศา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกมุมเอียงที่ 30 องศาเพื่อให้มะพร้าวชูดอบแห้งเกิดการเคลื่อนไถลได้ ความสูงของห้องอบแห้งกำหนดขนาด 80 cm เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับมะพร้าวชูดเกิดสเปกภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นในส่วนของห้องอบแห้งจึงมีขนาดเท่ากับ (ปริมาตรทรงกรวย + ปริมาตรทรงกระบอก) สามารถหาปริมาตรของห้องอบแห้งได้ดังนี้

$$V = (\pi r (l+r)) + (2\pi r h + 2\pi r^2)$$

$$V = (3.14 \times 0.1 \times (0.25 + 0.1)) + (2 \times 3.14 \times 0.1 \times 0.8) + (2 \times 3.14 \times (0.1)^2)$$

$$V = 0.675 \text{ m}^3$$

ดังนั้นห้องอบแห้งมีปริมาตร  $0.67 \text{ m}^3$

3. 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.



ดังนั้นต้องระเหยน้ำออกจากมะพร้าวหูด หาได้จากสมการ

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

เมื่อ  $m_w$  คือปริมาณน้ำระเหย ( $\text{kg}_{\text{water}}$ )

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

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

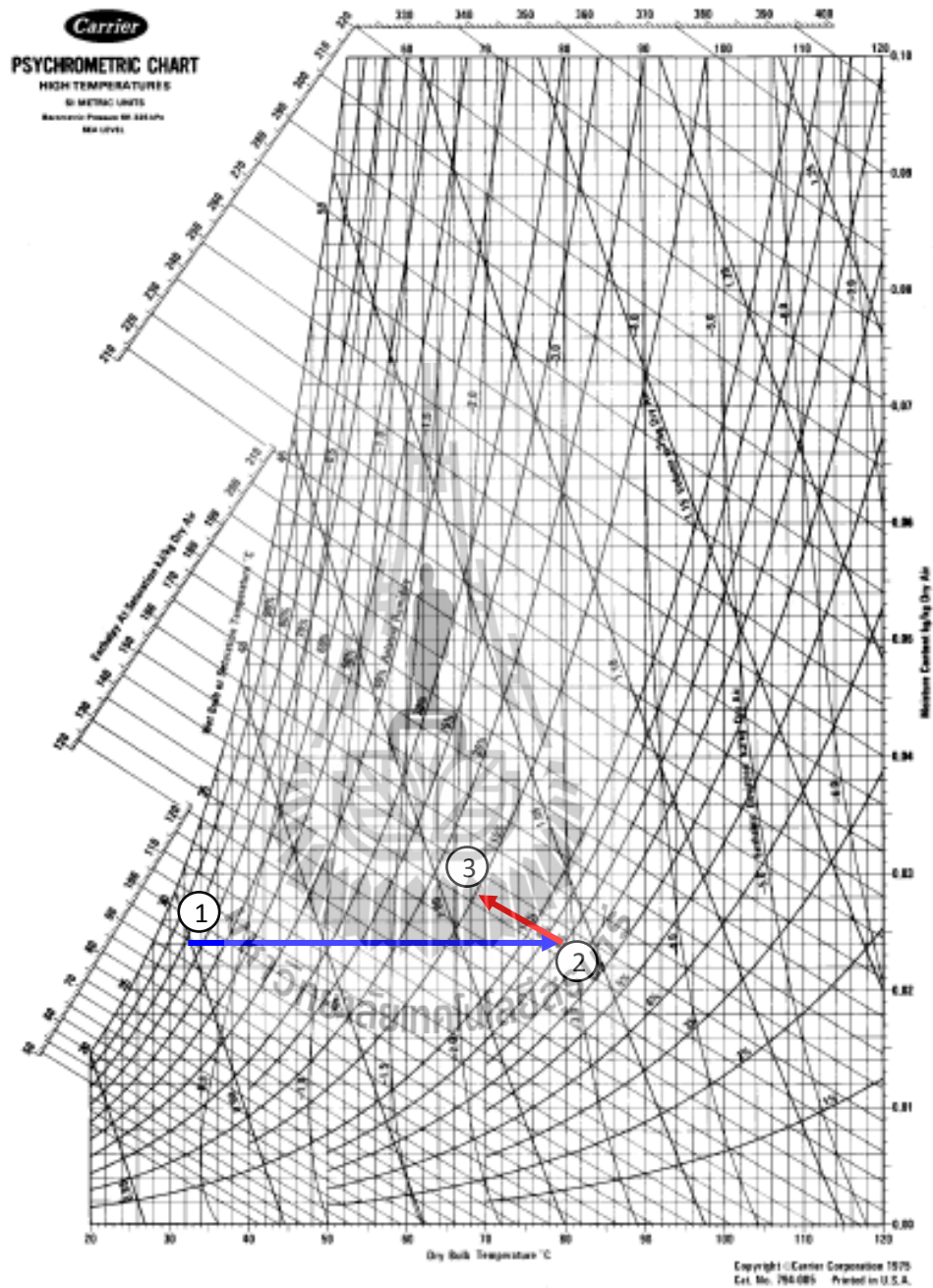
$M_{df}$  คือความชื้นสุดท้าย (decimal,  $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry solid}}$ )

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ จะได้

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

หากใช้เวลาในการระเหยน้ำอิสระ 1 ชั่วโมง จะได้อัตราการอบแห้งคือ 0.69 kg/h ซึ่งจากอัตราการระเหยน้ำนี้ นำไปหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยวิธีการทางไซโครเมตริก โดยมีกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. กระบวนการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ โดยกำหนดให้อากาศเข้าเริ่มต้นคือ 32 °C, 80 %rh (สภาวะอากาศเฉลี่ยของนครราชสีมา) เป็น 32 °C
2. ให้ความร้อนกับอากาศอบแห้ง โดยกำหนดอากาศอบแห้งก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C
3. กระบวนการอบแห้ง โดยกำหนดให้อากาศอบแห้งออกจากเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C



รูปที่ 3.11 กระบวนการบนไซโครเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากแผนภาพไซโครเมตริกซ์ รูปที่ 3.11 ที่สภาวะ  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $80\text{ \%rh}$  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  $1.0069\text{ kJ}/(\text{kg}_{\text{dry air}}\text{ }^{\circ}\text{C})$  และ ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ ( $C_v$ ) คือ  $1.5524\text{ kJ}/(\text{kg}_{\text{water}}\text{ }^{\circ}\text{C})$  คำนวณหาปริมาณความร้อน ได้จากสมการ

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

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

$$= 2.456\text{ kW}$$

เพื่อให้เหมาะสมกับชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater) ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ จึงเลือกชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (finned heater) ที่มีขนาด  $1.5\text{ kW}$  จำนวน 2 ตัว

#### 4. ขนาดพัดลมในระบบ

การคำนวณหาขนาดพัดลม สามารถหาได้จากการพิจารณาความดันสูญเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ ดังนี้

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

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

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

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

หาค่าการสูญเสียเนื่องจากท่อตรงก่อนทางเข้าห้องเผาไหม้ทางออกห้องเผาไหม้และก่อนเข้าห้องอบแห้ง

$$\text{ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)} = 0.07 \text{ m ยาว (L)} = 1.2 \text{ m}$$

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

$$V = 19 \text{ m/s (ชนิด สว่าตีดี้เสวี, 2554)}$$

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

$$R_e = 0.84 \times 19 \times \frac{0.007}{23.85 \times 10^{-6}}$$

$$R_e = 46842$$

จาก Moody Diagram ได้  $f = 0.037$

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

$$h_L = 0.037 \left( \frac{1.2}{0.07} \right) \left( \frac{19^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_L = 11.67 \text{ m}$$

หาค่าการสูญเสียเนื่องจากข้องอกก่อนทางเข้าห้องห้องอบแห้ง

ข้องอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 0.07 m

R = D จะได้ค่า K = 0.5 (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2542)

V = 19 m/s

$$\text{จะได้ } h_L = k \frac{(V^2)}{2g}$$

$$h_L = k \frac{(19^2)}{2 \times 9.81}$$

$$h_L = 9.1997 \text{ m}$$

ความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบ

$5234 + ((11.67 + 9.1997) \times 9.81 \times 0.84) = 5405 \text{ Pa}$  (สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์  
ที่ 80% rh)

อัตราการไหลของอากาศ  $\dot{m} = AV$

$$\dot{m} = \frac{\pi}{4} (0.07^2) (19)$$

$$\dot{m} = 0.073 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

กำลังที่ให้กับพัดลม

$$W_f = \frac{\dot{m} \Delta P}{\eta_f \eta_m}$$

$$W_f = \frac{0.073 \times 5405}{0.6 \times 0.8}$$

$$W_f = 822 \text{ W}$$

เนื่องจากมีชุดพัดลมพร้อมมอเตอร์อยู่แล้วซึ่งมีขนาด 1.5 kW จึงสามารถใช้งานนี้ได้

เมื่อ  $W_f$  คือกำลังที่ให้กับพัดลม

$\Delta P$  คือความดันตกในระบบ (Pa)

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

$\eta_f$  คือประสิทธิภาพของพัดลม

$\eta_m$  คือประสิทธิภาพมอเตอร์

### 3.4 การทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูด

การทดสอบการอบแห้ง เป็นแบบ 3 X 3 คือ อุณหภูมิ 3 ระดับ 60, 70, และ 80 °C ระดับ ปริมาณเบดเริ่มต้น 0.5, 1 และ 1.5 kg ทำการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่ พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 3.12 สภาวะละ 3 ชั่วโมง แต่ทุกครั้งเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 นาที มาหาความชื้นด้วยวิธีการ อบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 h ค่าความชื้นของมะพร้าวชูด สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2)



รูปที่ 3.12 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

### 3.5 ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

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

#### 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงเพื่อทำให้มะพร้าวขูดเกิดสเปาและพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดทำความร้อนอากาศอบแห้ง โดยความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นสามารถวัดได้โดยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) ดังรูปที่ 3.14 และพลังงานลมที่ให้ในช่องเป่าลม (air jet) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความดันในระบบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งดังสมการ (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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$t$  คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

สำหรับพลังงานที่ให้กับ heater และ พัดลมหลักในระบบสามารถอ่านได้จากมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งพลังงานที่ใช้ในส่วนนี้หาได้จาก

$$E_{\text{heater\&blower}} = 3.6 \times 10^6 \times P_e$$

เมื่อ  $E_{\text{heater\&blower}}$  คือพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับพัดลมและheater (J)

$P_e$  คือค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดไฟฟ้า (kWh)

โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 kg ออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.5)

$$SEC = \frac{E}{m_{\text{water}}} \times 10^{-6} \quad (3.5)$$

เมื่อ SEC คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง ( $\text{MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$ )

$E$  คือพลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (J)

$m_{\text{water}}$  คือปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

## 2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งสามารถบ่งบอกความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ โดยสามารถหาได้จากสมการ (3.6)

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t} \quad (3.6)$$



เมื่อ DR คืออัตราการอบแห้ง (kg/h)

t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

### 3 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

นำเนื้อมะพร้าวชูดและเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorflex ระบบ HunterLab ดังรูปที่ 3.13 และบันทึกข้อมูลค่า L a b ที่ใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชูดที่อบแห้ง มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำมาวัดค่าคุณภาพด้านสีโดยการเปรียบเทียบกับสีของมะพร้าวชูดสดโดยมีวิธีการดังนี้

1 นำตัวอย่างมะพร้าวชูดมาวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง HunterLab โดยนำมะพร้าวชูดใส่ลงในถ้วยรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์จนเต็มพื้นที่ทั้งหมด

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

3 ทำการวัดค่าสีทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ

4 คำนวณความแตกต่างค่าสีด้วยสมการ (3.7)

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $L_o, a_o, b_o$  เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวชูด

$L_p, a_p, b_p$  เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวอบแห้ง



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดสี HunterLab

### 3.6 การบีบน้ำมันมะพร้าว

การบีบน้ำมันมะพร้าวเป็นขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมและตรวจคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็คเบดที่พัฒนาขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.6.1 บีบน้ำมันมะพร้าว

นำเนื้อมะพร้าวชูดที่ได้จากการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น เป็นวัตถุดิบในการบีบน้ำมัน โดยการทดสอบบีบน้ำมันมะพร้าวเป็นแบบ 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)

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

### 3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว

การหาปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าวชุดหลังการอบแห้งและเนื้อมะพร้าวชุดหลังการบีบน้ำมันมะพร้าวโดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักมะพร้าวชุดตัวอย่าง 1-2 กรัม ใส่งลงในกระดาษกรองและนำกระดาษกรองใส่งไปในทิมเบล
2. ตวงปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ใส่งในถ้วยอลูมิเนียม 80 ml
3. เปิดเครื่อง soxtec ดังรูปที่ 3.14 ตั้งค่าการทำงานของเครื่อง ใช้อุณหภูมิในการสกัด 150 °C เวลาแช่ตัวอย่างสกัด 30 นาที เวลาตั้งไขมัน 1.30 ชั่วโมง เวลาระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) 5 นาที
4. นำเอาถ้วยอลูมิเนียมไปอบด้วยเครื่องอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำถ้วยอลูมิเนียมไปชั่งเพื่อหาปริมาณไขมันจذبบันทึกผล



รูปที่ 3.14 เครื่องสกัดไขมัน (soxtec)

### 3.6.3 หาปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas chromatography

นำน้ำมันมะพร้าวที่ได้ไปทำ reaction fatty acid และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography รูปที่ 3.15 น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตเพื่อใช้รับประทานหรือปรุงอาหารต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันมะพร้าวดังตารางที่ 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



รูปที่ 3.15 เครื่อง Gas chromatography

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดผลการศึกษาศมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สัมพันธ์กับความชื้นของเนื้อมะพร้าวชูด โดยผลการศึกษาศมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษาประกอบด้วย ความหนาแน่น ความพรุน มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน มุมกอง และความร้อนจำเพาะ การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งสเปาตัดเบคสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะพร้าวชูดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสเปาตัดเบค จากอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสีของมะพร้าวชูดหลังอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาศมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด

สมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษาคือ มุมกอง มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน ความหนาแน่น ความพรุน และความร้อนจำเพาะ

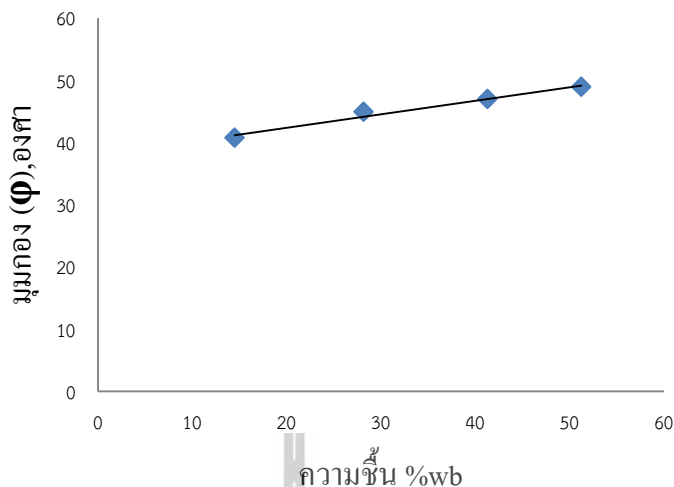
##### 4.1.1 การหามุมกอง (angle of repose)

จากการทดลองเพื่อหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูดพบว่าเมื่อความชื้นของมะพร้าวชูดเพิ่มมากขึ้นมุมกองของมะพร้าวชูดมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความชื้นเป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับ รัญพีชอื่น (Bala, 1997) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั้นแสดงว่าความชื้นมากขึ้นมะพร้าวชูดสามารถยึดเกาะกันเองได้มากขึ้นทำให้ต้องใช้พลังในการเคลื่อนย้ายมากขึ้น ค่ามุมกองของมะพร้าวชูด สามารถแสดงความสัมพันธ์กับความชื้นได้ด้วยสมการเส้นตรงดังนี้

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

โดยที่  $\phi$  คือมุมกอง (องศา)

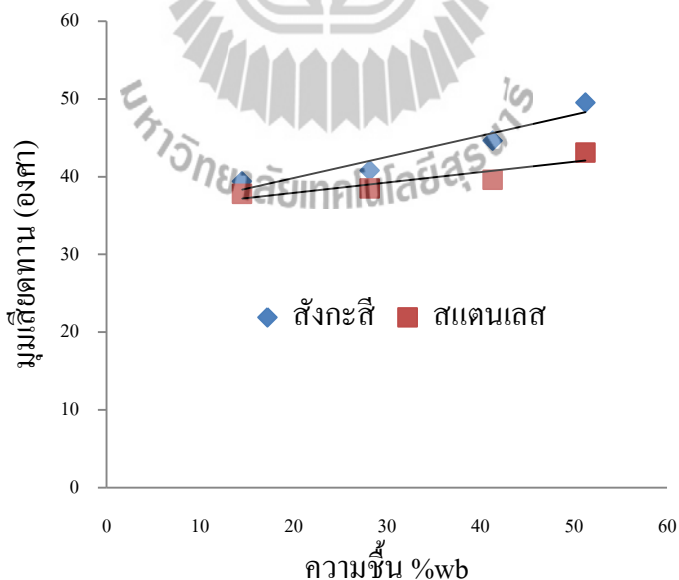
x คือความชื้นของมะพร้าวชูด (%wb)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับความชื้นของมะพร้าวชูด

**4.1.2 มุมเสียดทาน (angle of friction)**

สำหรับมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูด กับพื้นผิวต่างๆ ตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าค่าของความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นผิวนั้นส่งผลต่อค่ามุมเสียดทานดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะพบว่ามุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดและสังกะสีมีค่าสูงกว่าสแตนเลส

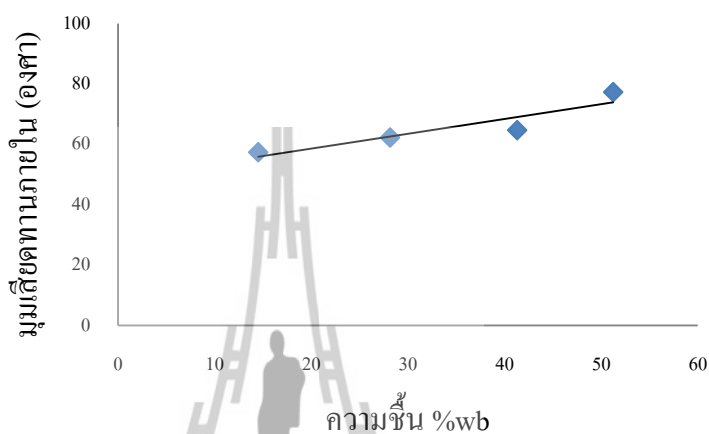


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทาน

#### 4.1.3 มุมเสียดทานภายใน

สำหรับมุมเสียดทานภายในของมะพร้าวพบว่าค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นมุมเสียดทานภายในของเนื้อชูดเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.3 นั้นแสดงว่าเมื่อความชื้นมากขึ้นมะพร้าวชูดมีแรงจับตัวกันเองมากยิ่งขึ้นทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนย้ายมากขึ้น

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

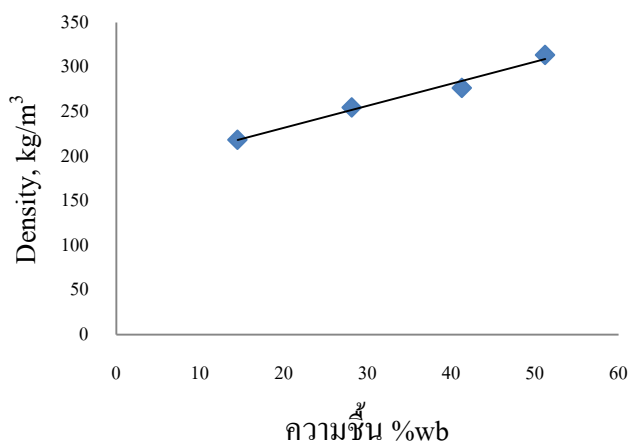


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมุมเสียดทานภายใน

#### 4.1.4 ความหนาแน่นและความพรุน

เมื่อระดับความชื้นของมะพร้าวชูดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มะพร้าวชูดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นกองมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความชื้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นสำหรับมะพร้าวชูดได้ดังนี้

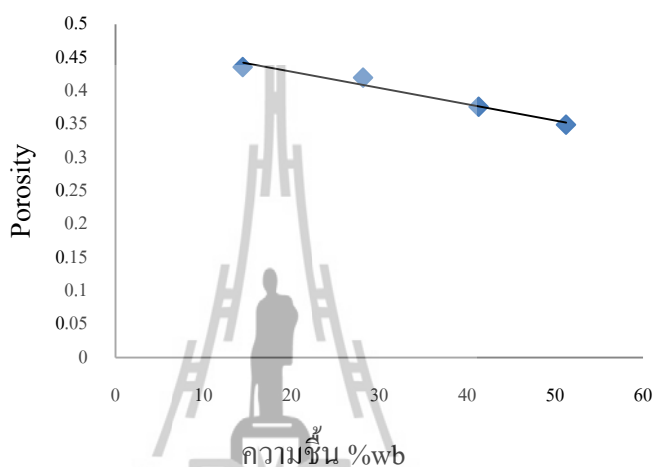
$$\rho_b = 2.4699x + 182.46 \quad , R^2 = 0.9807$$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นของมะพร้าวชูด

เมื่อทำการหาค่าความพรุนของมะพร้าวชุบพบว่าค่าความพรุนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 และได้สมการสัมพันธ์ดังนี้

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

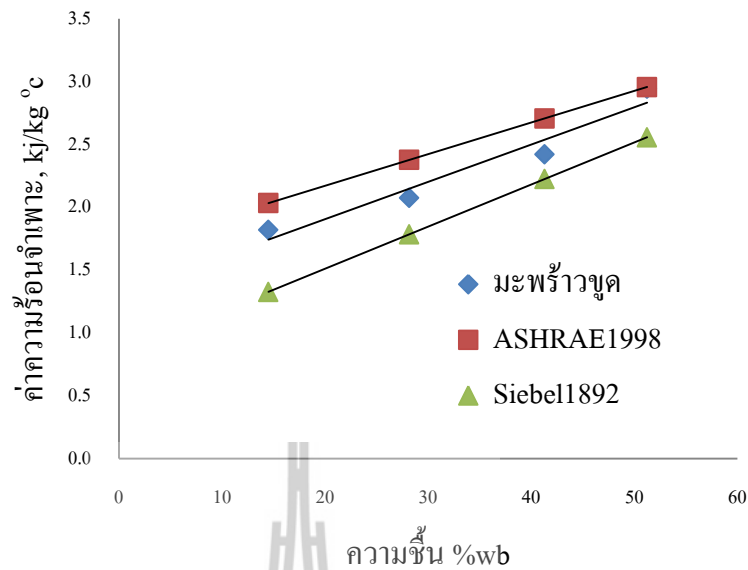


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความพรุน

#### 4.1.5 การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat)

สำหรับค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชุบพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นซึ่งสอดคล้องกับ (Bala, 1997) ซึ่งได้แนะนำว่าปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเกษตรและอาหารมากกว่าองค์ประกอบอื่นและขึ้นอยู่กับสถานะของวัสดุนั้นๆ ซึ่งในที่นี้มะพร้าวชุบที่นำมาทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะและลองใช้สมการที่แนะนำไว้ใน (Luther et al. 2004) พบว่าค่าความร้อนจำเพาะที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างสมการที่แนะนำไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.6

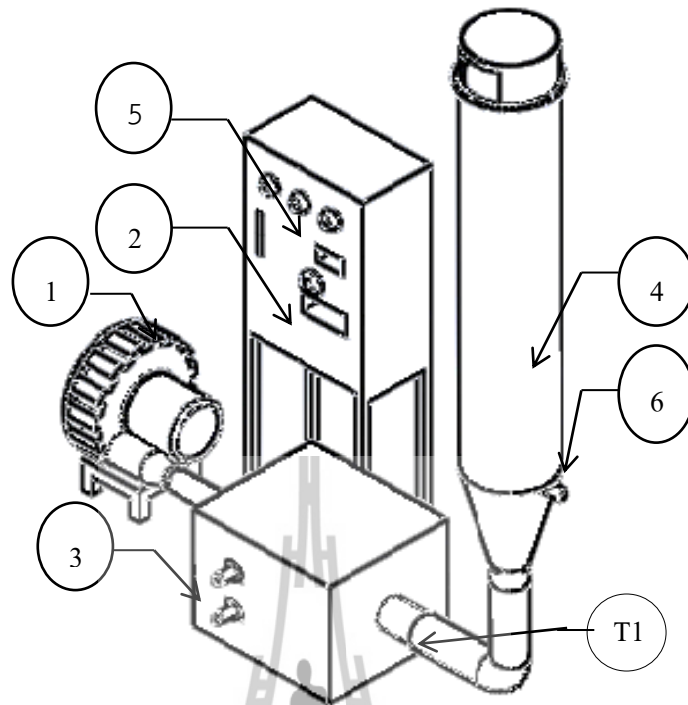




รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความร้อนจำเพาะของมะพร้าวขูด

#### 4.2 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

จากการศึกษาการอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดพบว่ามีรูปแบบการอบแห้งที่หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่ต้องการอบแห้ง เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดโดยทั่วไปส่วนห้องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกต่อกับทรงกรวยหรือเป็นแบบห้องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยมต่อกับฮอปเปอร์ด้านล่างซึ่งลักษณะการอบแห้งแบบทรงสี่เหลี่ยมมีข้อจำกัดอยู่ที่การเกิดจุดอับลมทำให้มะพร้าวขูดไม่ไหลวนเฉพะจุด 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 อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านช่องทางเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกห้องเผาไหม้ (T1) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ช่องเป่าลม (air jet) ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวขูดให้เกิดสเปาเต็ดเบด เนื่องจากมะพร้าวขูดมีความเสียดทานภายในสูงทำให้จับตัวติดกับผนังอบแห้งจึงต้องใช้ลมเป่าช่วยเพื่อให้เกิดสเปาได้ดีขึ้น โดยเครื่องอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แบบของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

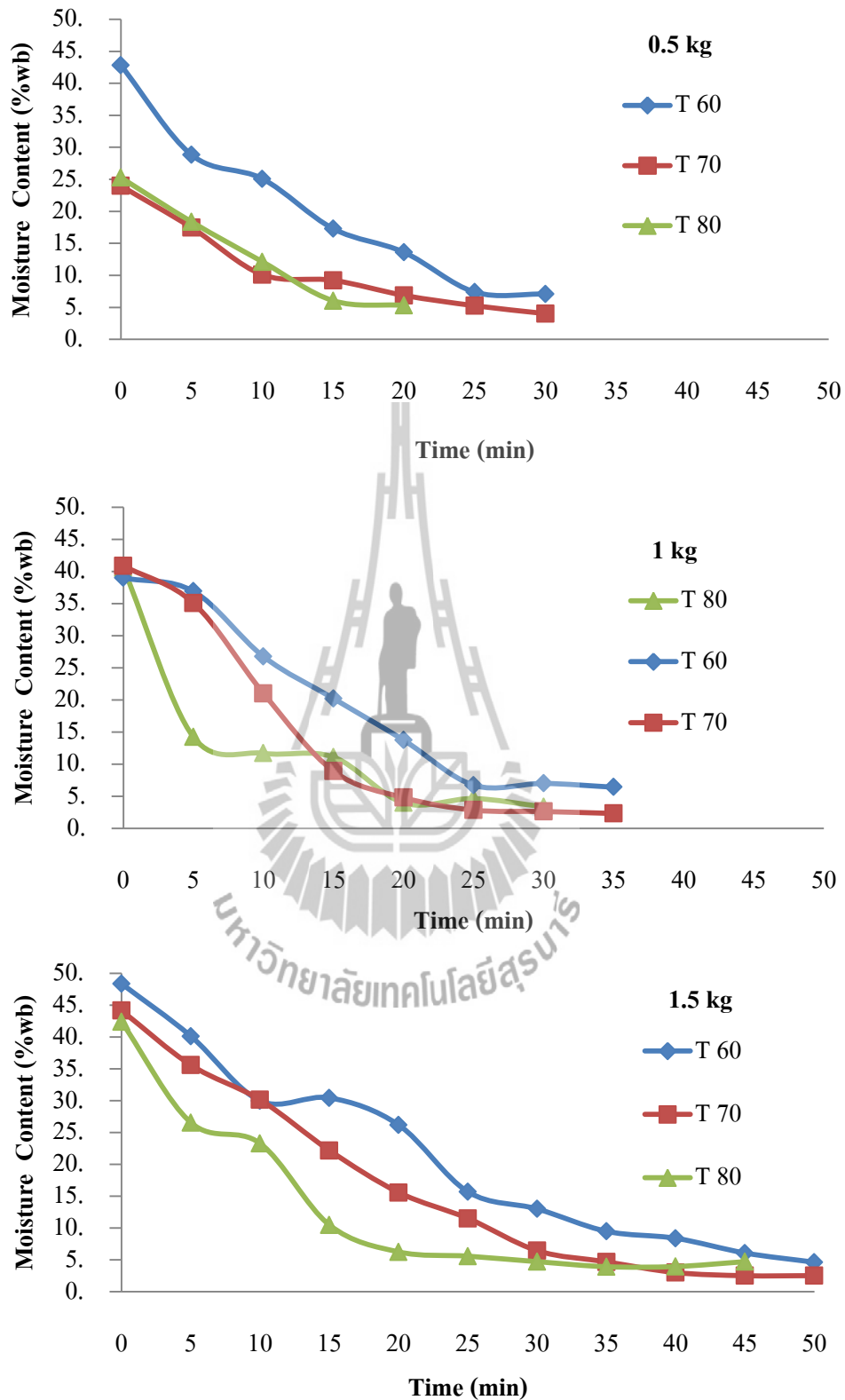


รูปที่ 4.8 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

### 4.3 ผลการทดสอบการอบแห้ง

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชุบด้วยเทคนิคสเปาเต็ลเบด พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชุบมีค่าลดลงเร็วขึ้น โดยลดลงแบบแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.9 และปริมาณเบดเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้แรงลมเป่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากมะพร้าวมีแรง cohesion ของตัวมันเองสูงดังรูปที่ 4.3 จึงต้องใช้แรงลมช่วยเพื่อช่วยเป่ามะพร้าวให้เข้าสู่ลำสเปาได้ดีขึ้น โดยที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 0.5, 1, และ 1.5 kg ใช้ความเร็วลมที่ 6, 10, และ 16 m/s ตามลำดับ



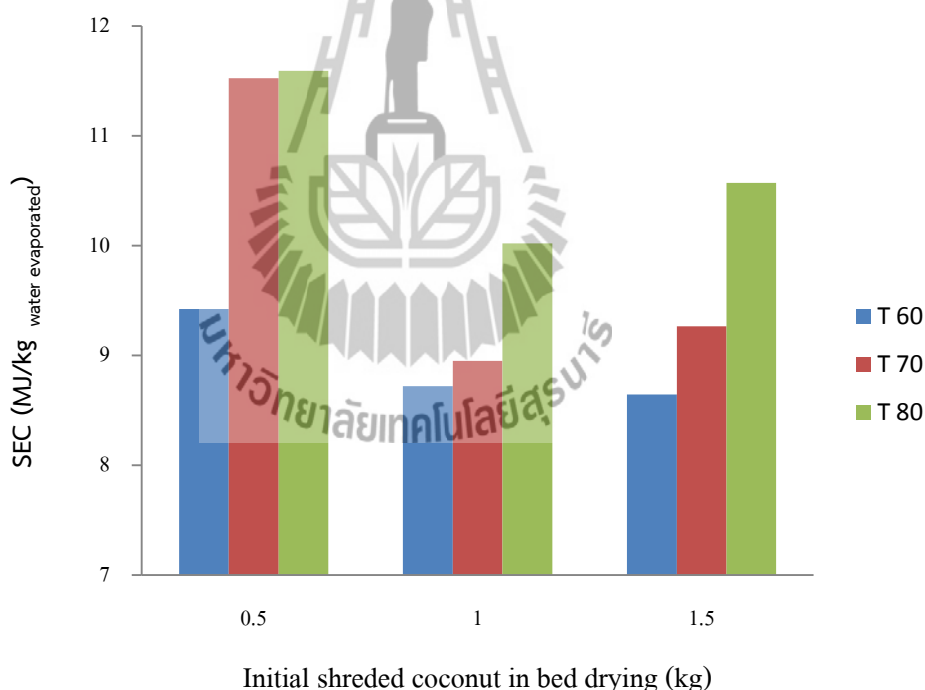


รูปที่ 4.9 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชุบเมื่ออบแห้งครั้งละ 0.5, 1, และ 1.5 kg ตามลำดับ

## 4.4 ผลการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

### 4.4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดัง รูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบพบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้กับอากาศมีค่ามากขึ้นและเมื่อปริมาณมะพร้าวในเบดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นความต้องการพลังงานลมในการก่อให้เกิดสเปามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมะพร้าวในเบดเริ่มต้นเมื่อคิดเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแล้วพบว่าที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg ใช้พลังงานน้อยที่สุดของทุกอุณหภูมิอบแห้ง เนื่องจากที่ 0.5 kg นั้นปริมาณน้ำที่มีในเนื้อมะพร้าวน้อย แต่อากาศอบแห้งสามารถพาความชื้นออกไปได้อีกจึงส่งผลให้ใช้พลังงานไปโดยสิ้นเปลือง ส่วนที่ 1.5 kg มีปริมาณเบดเริ่มต้นที่สูงทำให้ต้องเพิ่มพลังงานในส่วนของลมเป่าเพื่อให้เกิดสเปามากกว่าที่เบดเริ่มต้นอื่น

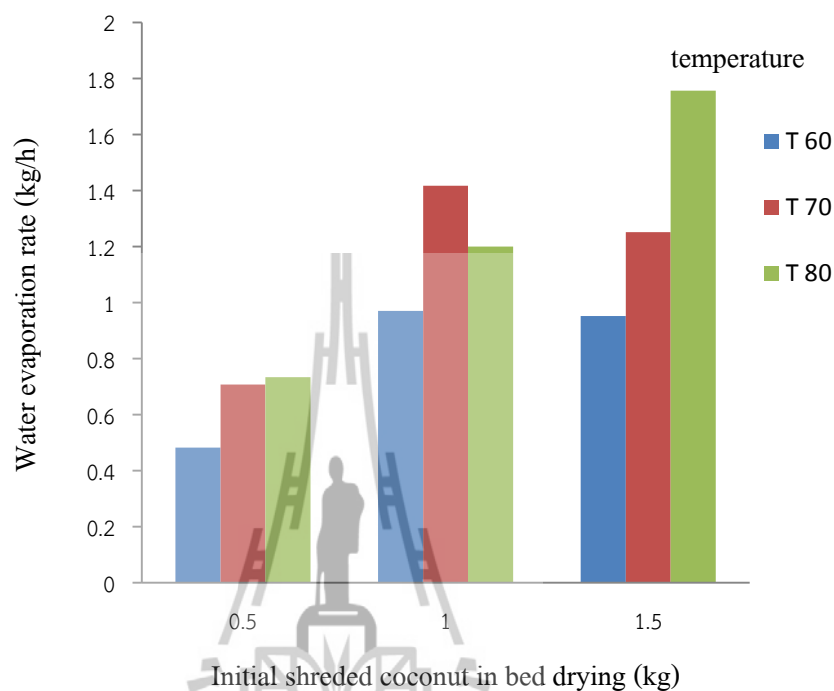


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง

### 4.4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการระเหยน้ำของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งที่ปริมาณการอบแห้ง 0.5, 1, และ 1.5 kg พบว่าที่ 0.5 และ 1.5 kg อัตราการระเหยน้ำสูงสุดเมื่ออุณหภูมิอบแห้งที่ 80 °C ส่วนปริมาณการอบแห้งที่ 1 kg อัตราการระเหยน้ำสูงเมื่อ

อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 °C สภาวะการอบแห้งที่มีอัตราการระเหยน้ำมากที่สุดของแต่ละอุณหภูมิทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าปริมาณการอบแห้งที่เหลือ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระเหยน้ำกับน้ำหนักของวัสดุ

ตารางที่ 4.1 การใช้พลังงานจำเพาะและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมะพร้าวคุดฝอย

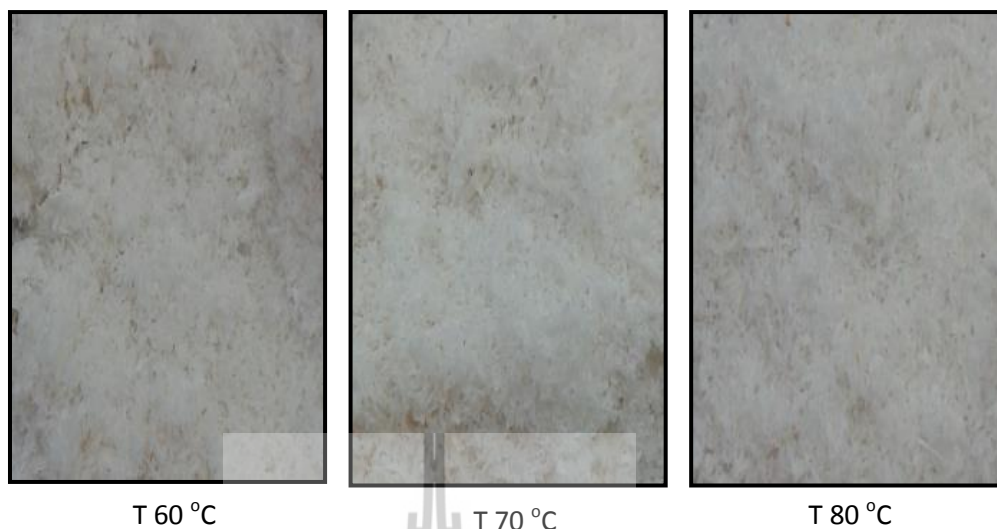
Drying conditions	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)
T 60 °C, W 0.5 kg	9.42±0.23 <sup>ab</sup>	0.48±0.01 <sup>a</sup>
T 60 °C, W 1 kg	8.72±0.15 <sup>a</sup>	0.97±0.02 <sup>c</sup>
T 60 °C, W 1.5 kg	8.64±0.33 <sup>a</sup>	0.95±0.03 <sup>c</sup>
T 70 °C, W 0.5 kg	11.52±0.98 <sup>c</sup>	0.70±0.01 <sup>b</sup>
T 70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

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 แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าอัตราการอบแห้งพบว่าที่ปริมาณมะพร้าวชูดในเบดเริ่มต้น 1 kg และอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 70 °C เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ และให้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าสองสภาวะการอบแห้งที่กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอบแห้งที่ดีกว่า ดังนั้นการอบแห้งที่สภาวะนี้จึงเป็นการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองนี้ จึงได้ใช้ปริมาณการอบแห้งครั้งละ 1 kg นี้ทดสอบหาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพของมะพร้าวชูดอบแห้ง ประสิทธิภาพการบีบน้ำมันและคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการอบแห้งเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าหากการอบแห้งเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ ถึงแม้อุณหภูมิการอบแห้งสูงเกินกว่า 60 °C อาจไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

#### 4.4.3 คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์

จากการนำมะพร้าวชูดอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่ปริมาณเบดเริ่มต้น 1 kg และ อุณหภูมิการอบแห้ง 60, 70, และ 80 °C มาทำการตรวจสอบคุณภาพด้านสีพบว่าสีของมะพร้าวชูดอบแห้งที่ได้จากการทดลองทุกระดับอุณหภูมิมีสีขาวไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งใช้ระยะเวลาสั้นโดยพบว่ามีค่าความสว่าง (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 มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีเทียบกับสีของมะพร้าวชูดก่อนทำการอบแห้งแล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติได้ผล ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C ไม่มีความแตกต่างของค่าสีทางสถิติ ดังนั้นอุณหภูมิในช่วง 60-80 °C ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสี ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งจากผลการทดสอบอบแห้งนี้ทำให้เห็นว่าการอบแห้งแบบสเปา เต็ดเบดเป็นวิธีการอบแห้งที่มีศักยภาพต่อการผลิตมะพร้าวชูดอบแห้งทั้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการ บีบน้ำมันมะพร้าวตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยแล้วยังสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์นำไปต่อยอด ในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอื่นเช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้เนื่องจากมะพร้าวชูดที่ได้มีความชื้นที่ต่ำและมีคุณภาพด้านสีที่ดี



รูปที่ 4.12 มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, และ 80 °C

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะพร้าวชูดแห้ง

Temperature	L	a	b	$\Delta E$
60 °C	76.64±1.18 <sup>a</sup>	-0.63±0.07 <sup>a</sup>	5.83±0.09 <sup>a</sup>	2.20±0.41 <sup>a</sup>
70 °C	78.86±0.53 <sup>b</sup>	-0.50±0.05 <sup>a</sup>	5.92±0.08 <sup>a</sup>	2.34±0.52 <sup>a</sup>
80 °C	75.90±1.11 <sup>a</sup>	-0.70±0.00 <sup>b</sup>	4.90±0.05 <sup>b</sup>	2.06±0.67 <sup>a</sup>

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 213.41 g ที่ อุณหภูมิ 80 °C ได้ 201.22 g และได้น้ำมันน้อยที่สุด 60 °C ได้ 131.28 g จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นสภาวะที่บีบน้ำมันมะพร้าวได้มากที่สุด (ตารางที่ 4.3)

##### 4.5.2 ปริมาณน้ำมันในเนื้อมะพร้าว

ผลการสกัดหาปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในมะพร้าวชูดมีค่าดังตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณน้ำมันมะพร้าวเริ่มต้นไม่แตกต่างกันและยังสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันที่บีบได้จากเครื่องบีบไฮดรอลิกโดยที่อุณหภูมิ 70 °C ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้กับข้อมูลของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2553) ที่ว่าเนื้อมะพร้าวอบแห้ง 1 kg เมื่อผ่านการบีบแล้วจะให้ผลผลิตน้ำมันมะพร้าวเฉลี่ย 0.17 kg ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบีบของเครื่องบีบน้ำมัน จาก

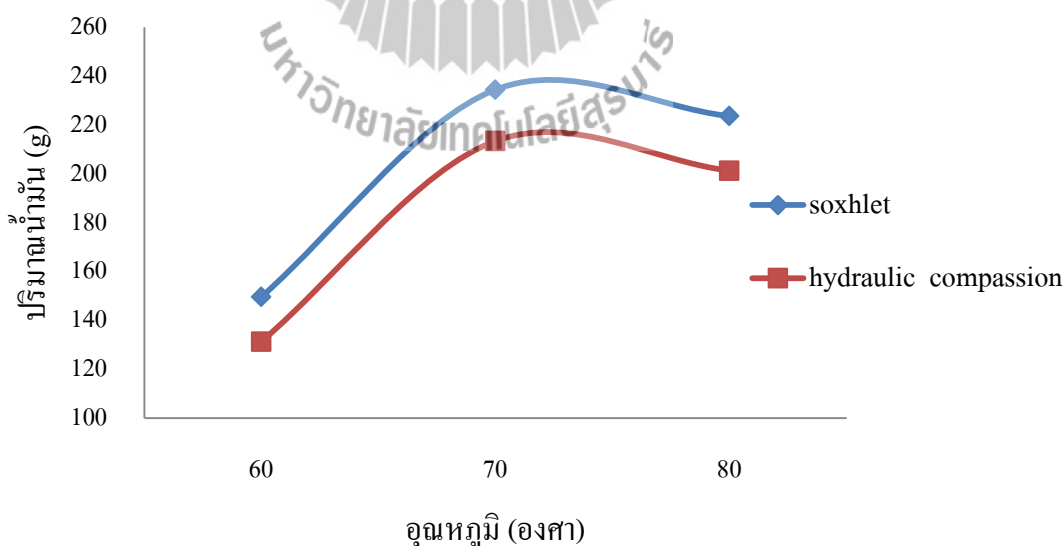


ผลการทดลองพบว่า มีน้ำมันมะพร้าวเริ่มต้นที่ 448 g จากเนื้อมะพร้าวอบแห้ง 1 kg เมื่อผ่านการบีบด้วยเครื่องไฮดรอลิกให้ผลผลิตน้ำมันมะพร้าว 0.21 kg ซึ่งสูงกว่าแต่ก็ยังมีประสิทธิภาพการบีบที่ต่ำคือ 47.55 % ทำให้มีน้ำมันตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งหากมีเครื่องบีบน้ำมันที่มีประสิทธิภาพการบีบที่ดีกว่าเครื่องบีบไฮดรอลิกก็จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นและกากที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของอาหารหรือเบเกอรี่ไขมันต่ำได้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวสดก่อนและหลังบีบน้ำมะพร้าว

Temperature °C	Oil in dried coconut (g)	Residual oil in pressed coconut (g)	Oil pressed from the calculations (g)	Oil pressed from the hydraulic machine (g)	Compression efficiency (%)
60	406.78 <sup>a</sup>	257.21	149.57	131.28	32.27
70	448.84 <sup>a</sup>	214.43	234.41	213.41	47.55
80	446.90 <sup>a</sup>	223.33	223.60	201.22	45.02

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



รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณน้ำมันที่หาจากเครื่องสกัดน้ำมันกับปริมาณน้ำมันที่เก็บได้จากเครื่องบีบไฮดรอลิก

รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณน้ำมันที่หาจากเครื่องสกัดน้ำมันเทียบกับปริมาณน้ำมันที่เก็บได้จากเครื่องบีบไฮดรอลิกมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณน้ำมันที่เก็บได้จริงจากการบีบด้วยเครื่องบีบน้ำมันไฮดรอลิกมีค่าน้อยกว่าซึ่งส่วนที่หายไปเป็นผลเนื่องจากน้ำมันมะพร้าวที่ได้ผ่านกระบวนการบีบ การกรอง จึงมีน้ำมันบางส่วนติดกับผ้าขาวบางที่กรองน้ำมันและตกค้างอยู่ในเครื่องบีบ จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่เก็บได้จริงน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณจากปริมาณน้ำมันที่มีอยู่เริ่มต้นกับปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ในกากหลังผ่านการบีบด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิกที่ได้จากการสกัด ด้วยเครื่อง soxtec

#### 4.5.3 ปริมาณกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว

จากการทดสอบหาร้อยละของกรดไขมันที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเครื่อง gas chromatography พบว่าค่าร้อยละของกรดไขมันอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวโดยประกอบด้วย 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 4.14) และมีกลิ่นหอมของน้ำมันตามธรรมชาติ



รูปที่ 4.14 น้ำมันมะพร้าว



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

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

จากการทดสอบเครื่องอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งมะพร้าวชุคพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป่ามะพร้าวชุคที่ 1 kg และใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความชื้นเฉลี่ย 8.90 %wb ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 8.95 MJ/(kg<sub>evaporated water</sub>) อัตราการอบแห้ง 1.41 kg<sub>evaporated water</sub> /h ผลการวัดสีของมะพร้าวชุคอบแห้งมีสีขาวยังไม่พบลักษณะของสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปน

น้ำมันที่ได้ออกมาจากการอบแห้งไปศึกษาผลกระทบท่อปริมาณน้ำมันพบว่า 70 °C ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือได้ 213.41 g ต่อมะพร้าวอบแห้ง 1 kg และตรวจสอบคุณภาพปริมาณของกรดไขมันพบว่าค่าร้อยละของกรดไขมันอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าว

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเดเบคสำหรับอบแห้งมะพร้าวชุคยังต้องปรับปรุงเพิ่มเติมคือแรงลมที่ทำให้เกิดสเปาเพื่อให้ได้ปริมาณการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นแต่ต้องคำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่เป่าให้กับพัดลม ห้องอบแห้งควรมี ครงพท์ ทิวบ์ เพื่อให้การเกิดสเปาที่เป็นระเบียบและถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

## รายการอ้างอิง

- 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](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 ปันพรม (2555). ผลกระทบของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพของกาก  
มะพร้าว. วิทยาศาสตร์เกษตร. กันยายน-ธันวาคม 2555 ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 228-231.
- ฐานิตย์ เมธิยานนท์, เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ, ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์  
(2549). การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชุดด้วย  
เทคนิคฟลูอิดซ์เบด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่  
20. จังหวัดนครราชสีมา.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2553). กลศาสตร์ของไหล. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล (2552). การอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. เอกสารประกอบการสอน  
สาขา วิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ธนานันท์ ตันฑกุล (2549). การศึกษากระบวนการแยกน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยการเหวี่ยงแยก.  
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 131 น.
- ธนิต สวัสดิ์เสวี (2554). การศึกษาการถ่ายเทมวลสารและการถ่ายเทความร้อนในสเปาเต็ดเบดโดย  
ใช้ดีไอเอ็ม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บัณฑิต จริโมภาส (2545). สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พรศักดิ์ ทองมา (2542). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดขนาดอุตสาหกรรม.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, ปรัชญา บุญประสิทธิ์, และ อาณัติ พิลา (2554). **อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ**  
**อบแห้งต่อการลดลงของความชื้นในกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูเกลี้ยง**  
**อนุกรมสองชุด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่**  
**25. จังหวัดกระบี่.**
- ลลิตา อัดนโถ (2548). **การผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.**  
**เมษายน-มิถุนายน 2548 ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 หน้า 67-72.**
- วาทัญญู รอดประพัฒน์, สุรเชษฐ์ บำรุงศิริ, และณรงค์ศักดิ์ สุวรรณวงศ์ (2542). **รายงานวิจัย**  
**การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาตัดเบด. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล**  
**สุวรรณภูมิ.**
- สมศักดิ์ ดารงค์เลิศ (2528). **ฟลูอิดไดซ์เซชัน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 225–233.**
- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยี**  
**พระจอมเกล้าธนบุรี.**
- 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](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

ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
ชูด 0.5 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	49.42		
5	42.78		
10	29.28		
15	29.62		
20	24.57	11.4	0.63
25	17.24		
30	8.85		
35	8.91		

ตารางผนวกที่ 2 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
ชูด 0.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	49.36		
5	41.45		
10	28.47		
15	20.51		
20	9.96	11.8	0.62
25	9.90		
30	5.92		
35	5.18		



ตารางผนวกที่ 3 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชูด 0.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.89		
5	42.88		
10	28.74		
15	25.14		
20	17.34	11.6	0.63
25	13.70		
30	7.41		
35	7.18		

ตารางผนวกที่ 4 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชูด 1 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	49.42		
5	40.72		
10	37.13		
15	29.22		
20	27.33	13.8	1.16
25	18.95		
30	8.02		
35	8.75		
40	9.60		

ตารางผนวกที่ 5 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชุด 1 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.89		
5	40.80		
10	33.00		
15	23.14		
20	14.49	13.5	1.18
25	7.53		
30	4.21		
35	4.08		
40	3.13		

ตารางผนวกที่ 6 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชุด 1 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.89		
5	39.04		
10	36.98		
15	27.88		
20	18.83	13.7	1.17
25	14.77		
30	7.99		
35	8.24		
40	6.56		

ตารางผนวกที่ 7 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบคที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชูด 1.5 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	49.23		
10	46.62		
15	36.07		
20	38.59		
25	27.80	15.9	1.70
30	16.08		
35	12.67		
40	10.54		
45	5.02		
50	6.44		

ตารางผนวกที่ 8 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบคที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชูด 1.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.83		
5	47.32		
10	32.92		
15	21.38		
20	23.58		
25	23.99	16.1	1.70
30	15.20		
35	13.35		
40	8.57		
45	11.09		
50	4.99		

ตารางผนวกที่ 9 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาตัดเบดที่อุณหภูมิ 60 °C ที่น้ำหนักมะพร้าว  
 ชูด 1.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.96		
5	48.57		
10	40.88		
15	32.45		
20	29.18		
25	26.78	15.8	1.72
30	15.77		
35	12.98		
40	9.33		
45	9.04		
50	6.78		

ตารางผนวกที่ 10 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาตัดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
 มะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	20.61		
10	12.12		
15	8.17	11.5	0.81
20	10.53		
25	7.44		
30	5.92		

ตารางผนวกที่ 11 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	26.59		
10	20.70		
15	11.59	11.4	0.71
20	8.09		
25	6.43		
30	4.42		

ตารางผนวกที่ 12 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนักมะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	24.77		
10	19.56		
15	10.57	11.9	0.73
20	9.09		
25	6.77		
30	5.45		

ตารางผนวกที่ 13 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.96		
5	44.23		
10	44.06		
15	23.66		
20	7.99	13.8	1.18
25	3.17		
30	2.68		
35	2.34		

ตารางผนวกที่ 14 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.23		
5	35.71		
10	22.70		
15	14.87		
20	5.12	13.9	1.15
25	3.70		
30	2.29		
35	2.91		

ตารางผนวกที่ 15 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวขนาด 1 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.89		
5	42.64		
10	38.48		
15	24.51		
20	13.61	13.6	1.17
25	7.56		
30	3.62		
35	2.69		

ตารางผนวกที่ 16 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวขนาด 1.5 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.92		
5	37.06		
10	38.90		
15	38.27		
20	22.44		
25	15.87	16	1.87
30	9.17		
35	7.65		
40	6.29		
45	3.68		
50	2.92		

ตารางผนวกที่ 17 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวสด 1.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.83		
5	48.72		
10	30.06		
15	21.20		
20	21.75		
25	15.09	15.9	1.80
30	14.67		
35	4.70		
40	2.96		
45	2.22		
50	1.81		

ตารางผนวกที่ 18 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 70 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวสด 1.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.18		
5	46.70		
10	37.85		
15	30.95		
20	22.38		
25	15.80	16.1	1.95
30	10.68		
35	6.97		
40	4.81		
45	3.09		
50	2.79		



ตารางผนวกที่ 19 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.22		
5	24.94		
10	13.09		
15	9.01	11.8	0.81
20	2.57		
25	2.23		

ตารางผนวกที่ 20 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	54.58		
5	24.29		
10	21.54		
15	13.64	11.7	0.76
20	7.08		
25	6.16		

ตารางผนวกที่ 21 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 0.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	54.04		
5	26.62		
10	20.45		
15	13.75	11.3	0.78
20	8.49		
25	7.58		

ตารางผนวกที่ 22 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	50.96		
5	40.61		
10	14.69		
15	10.00		
20	13.48	13.9	1.39
25	2.27		
30	2.25		
35	3.05		

ตารางผนวกที่ 23 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	30.34		
10	12.20		
15	12.54		
20	9.18	14	1.36
25	4.61		
30	4.71		
35	3.27		

ตารางผนวกที่ 24 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชูด 1 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.09		
5	40.65		
10	15.78		
15	12.58		
20	10.67	14	1.41
25	5.03		
30	4.62		
35	3.48		

ตารางผนวกที่ 25 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวสด 1.5 kg การทดลองที่ 1

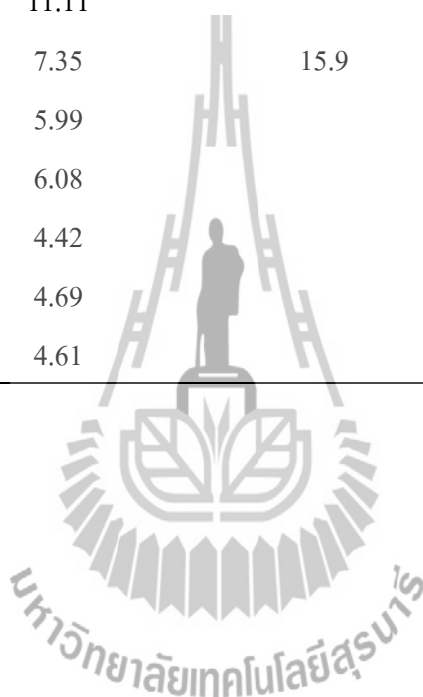
เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.89		
5	42.15		
10	26.47		
15	25.70		
20	11.30		
25	4.15	16.1	2.14
30	4.38		
35	1.91		
40	2.73		
45	2.03		
50	5.30		

ตารางผนวกที่ 26 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวสด 1.5 kg การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	52.12		
5	26.63		
10	20.49		
15	9.01		
20	7.23		
25	6.36	16.1	2.17
30	6.14		
35	4.61		
40	5.13		
45	4.24		
50	5.04		

ตารางผนวกที่ 27 ผลการระเหยน้ำด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็คเบดที่อุณหภูมิ 80 °C ที่น้ำหนัก  
มะพร้าวชุด 1.5 kg การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความชื้น (% wb)	ความเร็วลม (m/s)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
0	51.22		
5	42.48		
10	26.59		
15	23.66		
20	11.11		
25	7.35	15.9	2.12
30	5.99		
35	6.08		
40	4.42		
45	4.69		
50	4.61		



ตารางผนวกที่ 28 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 1

สภาวะ	น้ำหนัก		ปริมาณไขมัน	น้ำหนัก	
	ถ้วยออลูมิเนียม (g)		2 g	ตัวอย่าง (g)	1 kg
เริ่มต้น	41.5158	41.8954	0.3796	1.9709	192.6024
	45.294	45.5821	0.2881	1.9149	150.4517
	42.2144	42.4883	0.2739	1.9055	143.7418
T 60 °C	44.0826	44.9477	0.8651	1.9568	442.0993
	43.8248	44.6985	0.8737	1.9105	457.3148
	45.5859	46.4347	0.8488	1.9371	438.1808
ก่อนบีบ T 70 °C	39.4537	40.3756	0.9219	1.9144	481.5608
	44.1559	45.0747	0.9188	1.9229	477.8200
	44.0339	44.9508	0.9169	1.9235	476.6831
T 80 °C	41.595	42.5855	0.9905	1.9147	517.3134
	43.7101	44.6972	0.9871	1.9308	511.2389
	44.4381	45.4559	1.0178	1.9688	516.9646
T 60 °C	41.5039	41.9713	0.4674	1.9241	242.9188
	45.2810	45.8132	0.5322	1.9799	268.8015
	44.2070	44.7083	0.5013	1.9889	252.0489
หลังบีบ T 70 °C	44.0741	44.4602	0.3861	1.9969	193.3497
	43.8104	44.1705	0.3601	1.9127	188.2679
	45.5728	45.9832	0.4104	1.9324	212.3784
T 80 °C	39.4621	40.0057	0.5436	1.9615	277.1348
	44.1552	44.6838	0.5286	1.9077	277.0876
	41.6098	42.1536	0.5438	1.9573	277.8317

ตารางผนวกที่ 29 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 2

สภาวะ	น้ำหนัก		ปริมาณไขมัน	น้ำหนัก	
	ถ้วยอลูมิเนียม (g)		2 g	ตัวอย่าง (g)	1 kg
เริ่มต้น	41.514	41.7406	0.2266	1.9784	114.5370
	45.2973	45.5142	0.2169	1.9637	110.4548
	44.2233	44.4888	0.2655	1.9658	135.0595
T 60 °C	44.0858	44.8074	0.7216	1.9017	379.4500
	43.8265	44.5612	0.7347	1.9773	371.5673
	45.6021	46.3381	0.736	1.9639	374.7645
ก่อนบีบ T 70 °C	39.4564	40.4014	0.945	1.9745	478.6022
	44.1684	45.0673	0.8989	1.9819	453.5547
	41.6084	42.5072	0.8988	1.9946	450.6167
T 80 °C	44.4453	45.1546	0.7093	1.9807	358.1057
	43.7159	44.4275	0.7116	1.9491	365.0916
	44.0393	44.7281	0.6888	1.9453	354.0842
T 60 °C	41.5101	42.0204	0.5103	1.963	259.9592
	45.2968	45.8071	0.5103	1.9952	255.7638
	44.2132	44.7449	0.5317	1.9562	271.8025
หลังบีบ T 70 °C	44.0846	44.5178	0.4332	1.9004	227.9520
	43.8174	44.2554	0.438	1.9759	221.6711
	45.5857	46.034	0.4483	1.9667	227.9453
T 80 °C	39.4595	39.9182	0.4587	1.9341	237.1646
	44.1574	44.6454	0.488	1.9348	252.2225
	41.6065	42.0796	0.4731	1.9566	241.7970

ตารางผนวกที่ 30 ผลการหาปริมาณน้ำมันที่มีในมะพร้าวชูดอบแห้งก่อนและหลังบีบน้ำมันด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก การทดลองครั้งที่ 3

สภาวะ	น้ำหนัก		ปริมาณไขมัน	น้ำหนัก	
	ถ้วยอลูมิเนียม (g)		2 g	ตัวอย่าง (g)	1 kg
เริ่มต้น	41.5131	41.864	0.3509	1.9326	181.5689
	45.2943	45.6532	0.3589	1.9878	180.5514
	42.2134	42.5841	0.3707	1.9161	193.4659
T 60 °C	44.0827	44.8607	0.778	1.9981	389.3699
	43.8242	44.6126	0.7884	1.9484	404.6397
	45.5869	46.3681	0.7812	1.9354	403.6375
ก่อนบีบ T 70 °C	39.4544	40.2635	0.8091	1.9706	410.5856
	44.1562	44.9513	0.7951	1.9361	410.6709
	41.5922	42.3722	0.78	1.9524	399.5083
T 80 °C	44.0362	44.9379	0.9017	1.9528	461.7472
	43.71	44.6379	0.9279	1.9374	478.9408
	44.4329	45.3446	0.9117	1.9876	458.6939
T 60 °C	41.5084	41.9881	0.4797	1.9183	250.0652
	45.2924	45.7765	0.4841	1.9556	247.5455
	44.2099	44.7309	0.521	1.9583	266.0471
หลังบีบ T 70 °C	44.0816	44.4534	0.3718	1.9475	190.9114
	43.815	44.2836	0.4686	1.9259	243.3148
	45.5879	46.0197	0.4318	1.9269	224.0905
T 80 °C	39.4518	39.74	0.2882	1.9269	149.5667
	44.1528	44.4374	0.2846	1.941	146.6255
	41.5983	41.888	0.2897	1.9237	150.5952





ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

## 1 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของมะพร้าวชูด

### 1.1 ความชื้น

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาความชื้นของมะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ที่ 0.5 kg ที่เวลาการอบแห้ง 20 นาที ความชื้นมาตรฐานเปียก (ตารางผนวกที่ 1 )

$$M = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\%$$

$$M = \frac{11.15 - 8.41}{11.15} \times 100\%$$

$$M = 24.573 \%wb$$

### 1.2 ความหนาแน่น

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาความหนาแน่นของมะพร้าวชูดที่ความชื้นเริ่มต้นที่ 51 % wb

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass(kg)}}{\text{Volume(m}^3\text{)}}$$

$$\text{Density} = \frac{31.24 \text{ kg}}{0.1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Density} = 312.4 \text{ kg/m}^3$$

### 1.3 ความพรุน

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาความพรุนของมะพร้าวชูดที่ความชื้น 28 %wb

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

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(101.325 - 71.526)}{71.526}$$

$$\text{ความพรุน} = 0.4166$$

## 2 ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

### 2.1 ปริมาณน้ำระเหยในการอบแห้งมะพร้าวชูด

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณน้ำระเหยสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เบดเริ่มต้น 1 kg (ตารางผนวกที่ 13)

$$m_{\text{water}} = m - \left( \frac{m_d}{1 - M_w} \right)$$

$$m_{\text{water}} = 1 - \left( \frac{0.480}{1 - 0.051} \right)$$

$$m_{\text{water}} = 0.4941 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาณน้ำระเหย} = 0.4941 \text{ kg}$$

## 2.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เบดเริ่มต้น 1 kg (ตารางผนวกที่ 14)

$$SEC = \frac{3.6(E)}{m_{\text{water}}}$$

$$SEC = \frac{3.6(1.15)}{0.4941}$$

$$SEC = 8.37 \text{ MJ/kg}_{\text{water}}$$

## 2.3 อัตราการอบแห้ง

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เบดเริ่มต้น 1 kg

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t}$$

$$DR = \frac{0.4941}{20} \times 60$$

$$DR = 1.482 \text{ kg/h}$$

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = 1.482 \text{ kg/h}$$

## 2.4 ค่าคุณภาพสีของมะพร้าวขูด

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาคุณภาพสีของมะพร้าวขูดที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ที่เบดเริ่มต้น 1.5 kg

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

$$\Delta E = \sqrt{(77.72 - 75.90)^2 + (-0.57 - (-0.69))^2 + (3.99 - 4.89)^2}$$

$$\Delta E = 2.033$$

## 3 การคำนวณหาประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าว

ใช้ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพการบีบน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ที่เบดเริ่มต้น 1 kg (ตารางผนวกที่ 28-30)

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

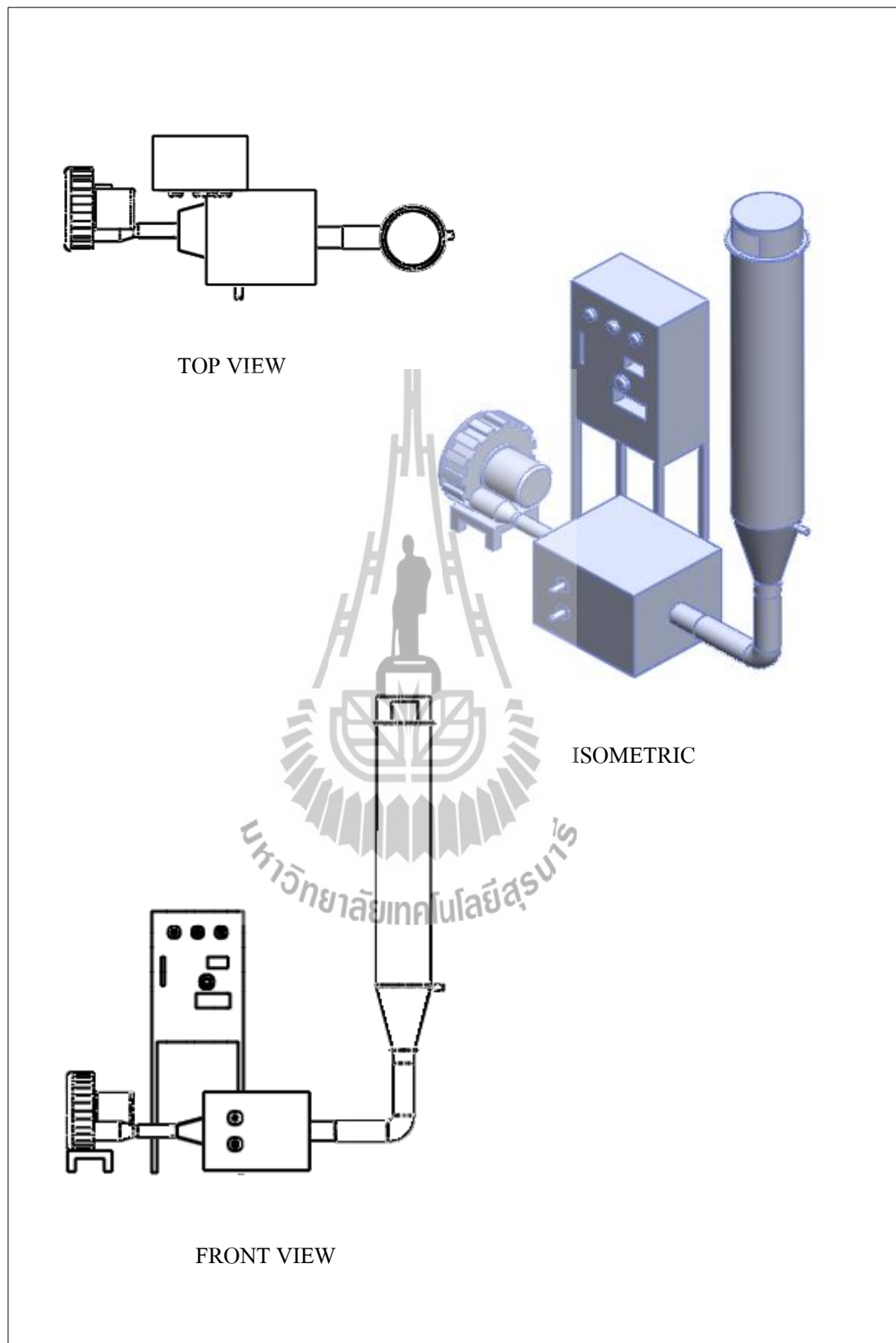
$$\text{compression efficiency (\%)} = \frac{234.41}{448.84} \times 100$$

$$\text{compression efficiency (\%)} = 52.22 \%$$

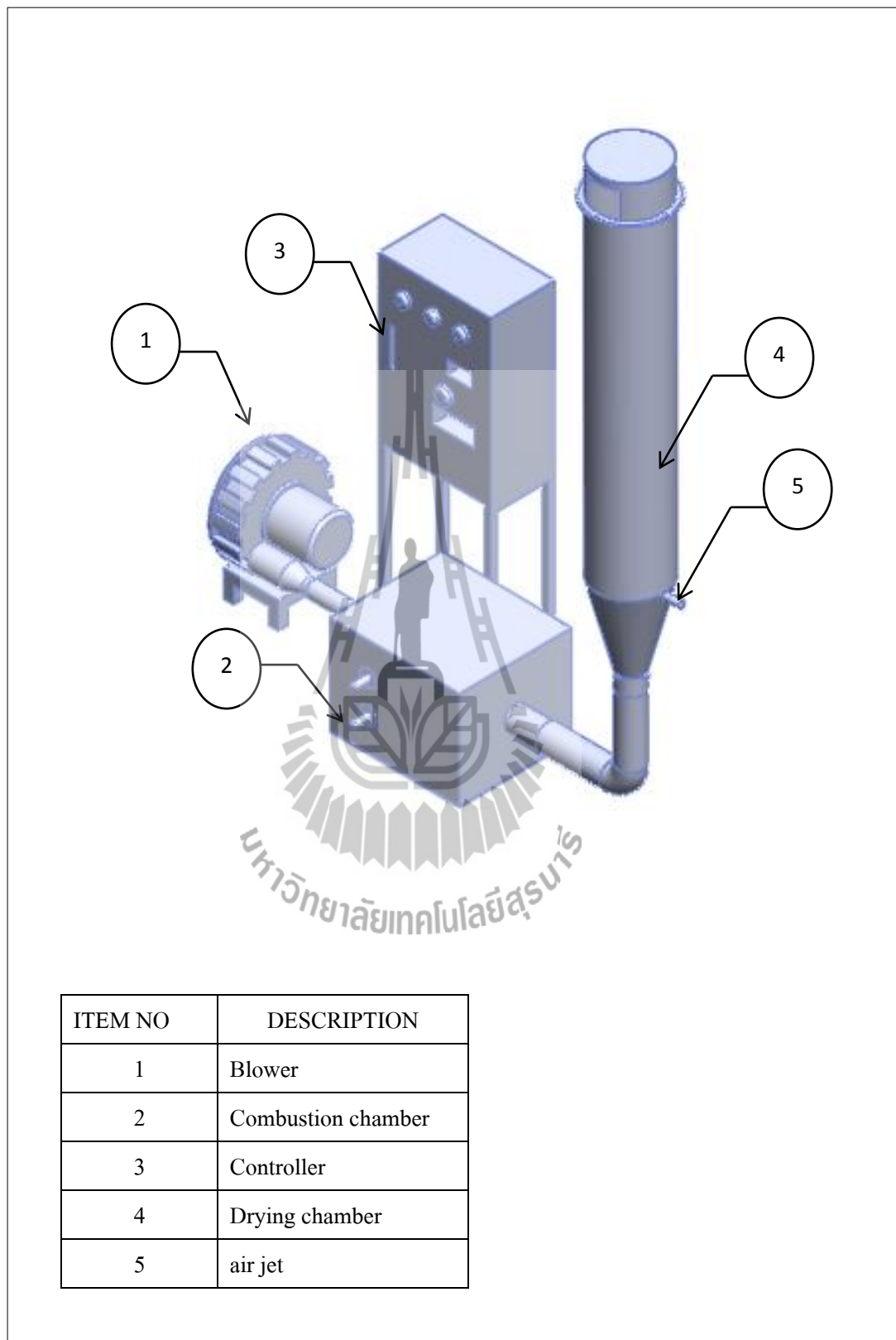


ภาคผนวก ค

แบบเครื่องอบแห้ง

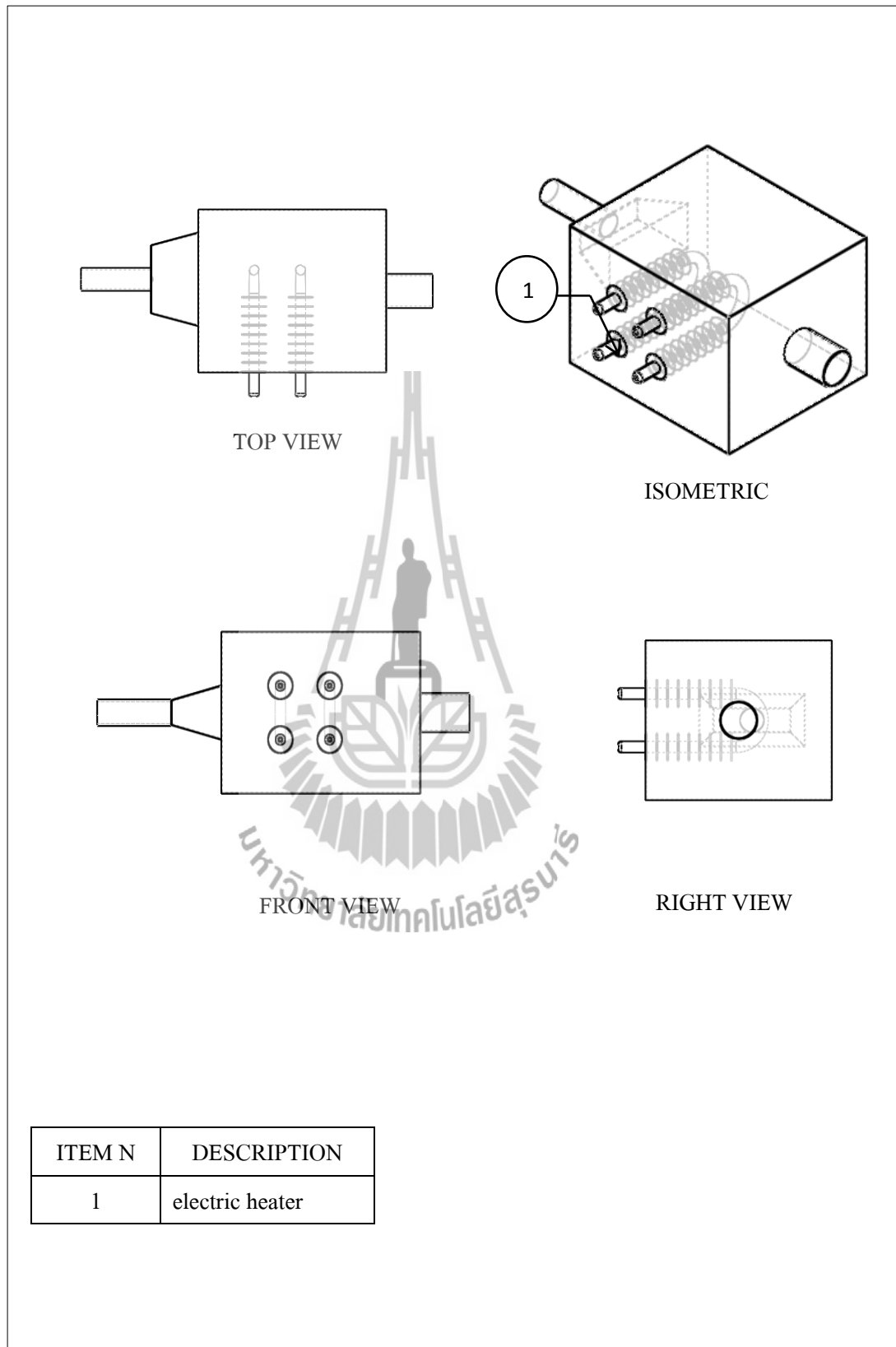


รูปที่ 1 แสดงแบบเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด



รูปที่ 2 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด





รูปที่ 3 แสดงแบบของห้องเผาไหม้



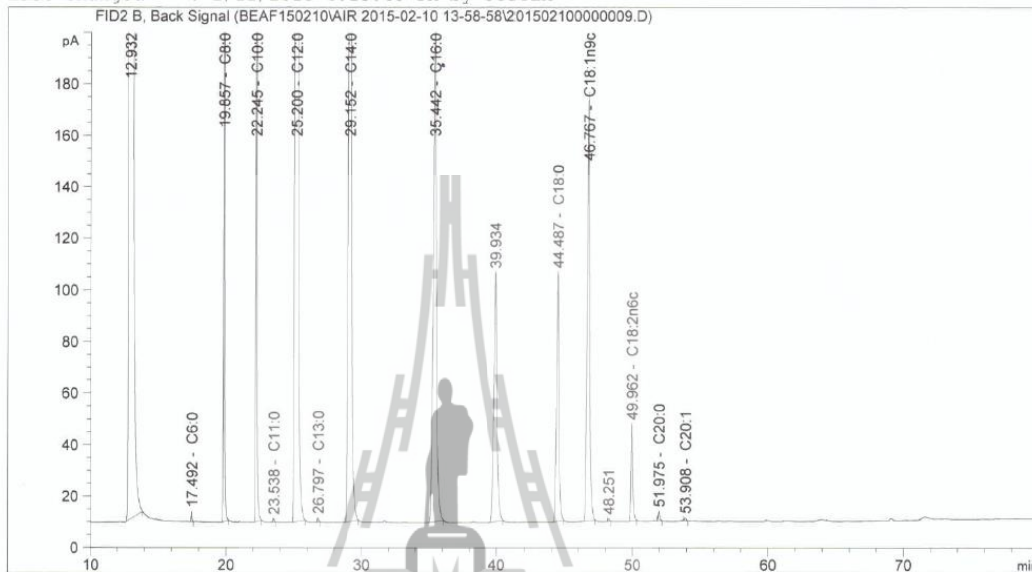
ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000009.D  
 Sample Name: sample1

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    9
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 8
Injection Date  : 2/11/2015 1:31:03 AM       Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:13:40 PM by SYSTEM
=====
  
```



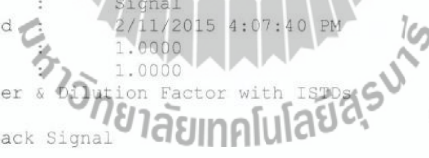
Normalized Percent Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.492	BB	18.55735	5.77714e-4	0.066981	-	C6:0
19.857	BB	1456.87524	5.14768e-4	4.685536	-	C8:0
22.245	BB	1802.86023	4.79750e-4	5.403839	-	C10:0
23.538	BB	7.26003	4.77674e-4	0.021667	-	C11:0
25.200	BB	1.72707e4	4.73191e-4	51.058945	-	C12:0
26.797	BB	11.67357	4.63222e-4	0.033785	-	C13:0
29.152	BB	7026.55273	4.52144e-4	19.849241	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.442	BB	3215.69580	4.40266e-4	8.845357	-	C16:0



Handwritten notes: 100% → 0.0001, 0.0001g → 0.0001g, = 1.675 × 10<sup>-5</sup> mg

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000009.D  
 Sample Name: sample1

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.487	BB	1177.97302	4.33072e-4	3.187283	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.767	BB	2035.12939	4.46384e-4	5.675789	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.962	BB	333.18112	4.96764e-4	1.034084	-	C18:2n6c
51.975	BB	32.22006	4.54882e-4	0.091569	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.908	BB	11.19233	6.56742e-4	0.045924	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals : 100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

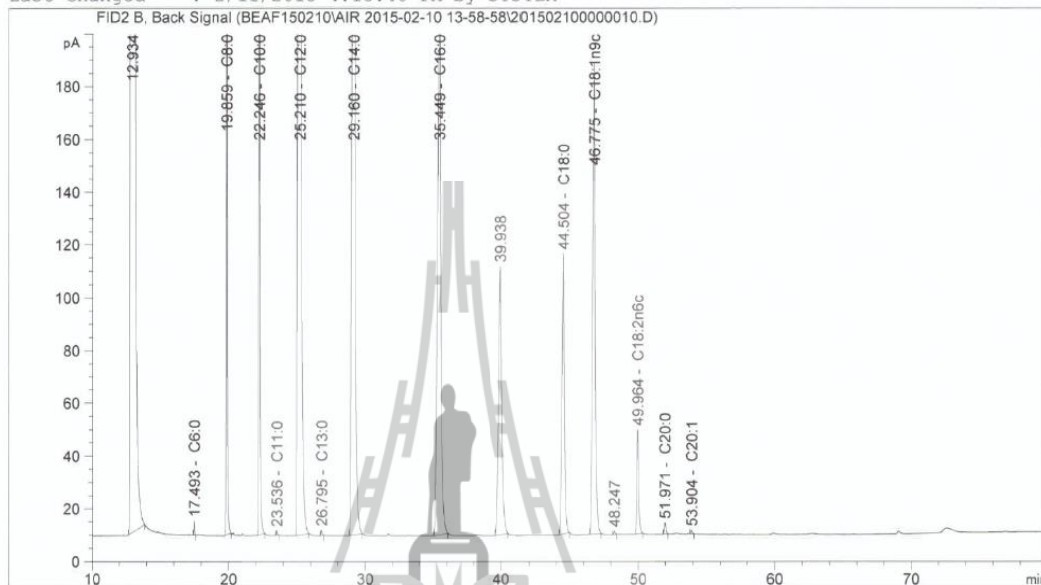
\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000010.D  
 Sample Name: sample2

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line : 10
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 9
Injection Date  : 2/11/2015 2:57:34 AM       Inj       : 1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed    : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed    : 2/11/2015 4:13:40 PM by SYSTEM
  
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By          : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier         : 1.0000
Dilution           : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266		-	-	-		C4:0
17.493	BB	23.52661	5.77714e-4	0.075329		C6:0
19.859	BB	1772.48706	5.14768e-4	5.056891		C8:0
22.246	BB	2141.13477	4.79750e-4	5.693088		C10:0
23.536	BB	8.54130	4.77674e-4	0.022612		C11:0
25.210	BB	1.95905e4	4.73191e-4	51.377150		C12:0
26.795	BB	13.11244	4.63222e-4	0.033664		C13:0
29.160	BB	7696.31641	4.52144e-4	19.286264		C14:0
31.301		-	-	-		C14:1
31.802		-	-	-		C15:0
34.656		-	-	-		C15:1
35.449	BB	3521.90332	4.40266e-4	8.593725		C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000010.D  
 Sample Name: sample2

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.504	BB	1336.26550	4.33072e-4	3.207315	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.775	BB	2247.15991	4.46384e-4	5.559450	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.964	BB	347.01154	4.96764e-4	0.955395	-	C18:2n6c
51.971	BB	37.23479	4.54882e-4	0.093872	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.904	BB	12.43024	6.56742e-4	0.045244	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals :

100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

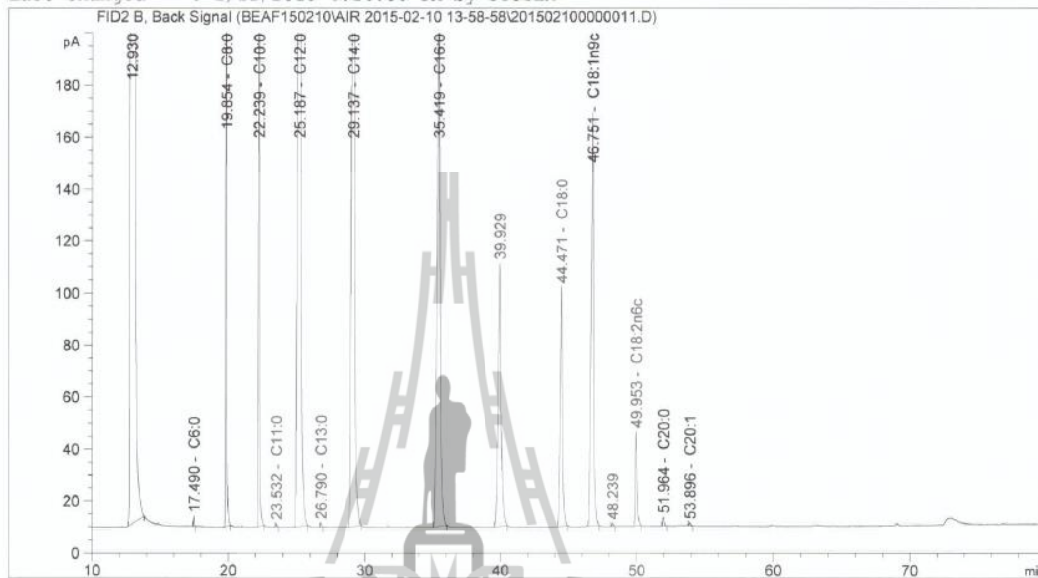
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000011.D  
 Sample Name: sample3

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :   11
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 10
Injection Date  : 2/11/2015 4:23:58 AM       Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl

Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
=====
  
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By           : Signal
Calib. Data Modified: 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier          : 1.0000
Dilution            : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTD
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.490	BB	17.92318	5.77714e-4	0.068381	-	C6:0
19.854	BB	1462.80884	5.14768e-4	4.972833	-	C8:0
22.239	BB	1729.25269	4.79750e-4	5.478708	-	C10:0
23.532	BB	7.00601	4.77674e-4	0.022101	-	C11:0
25.187	BB	1.62718e4	4.73191e-4	50.848349	-	C12:0
26.790	BB	10.90686	4.63222e-4	0.033365	-	C13:0
29.137	BB	6614.77930	4.52144e-4	19.751330	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.419	BB	3027.16309	4.40266e-4	8.801479	-	C16:0



Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000011.D  
 Sample Name: sample3

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.471	BB	1111.34741	4.33072e-4	3.178444	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.751	BB	1919.46753	4.46384e-4	5.658410	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.953	BB	319.40793	4.96764e-4	1.047853	-	C18:2n6c
51.964	BB	30.90368	4.54882e-4	0.092835	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.896	BB	10.58576	6.56742e-4	0.045911	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals : 100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

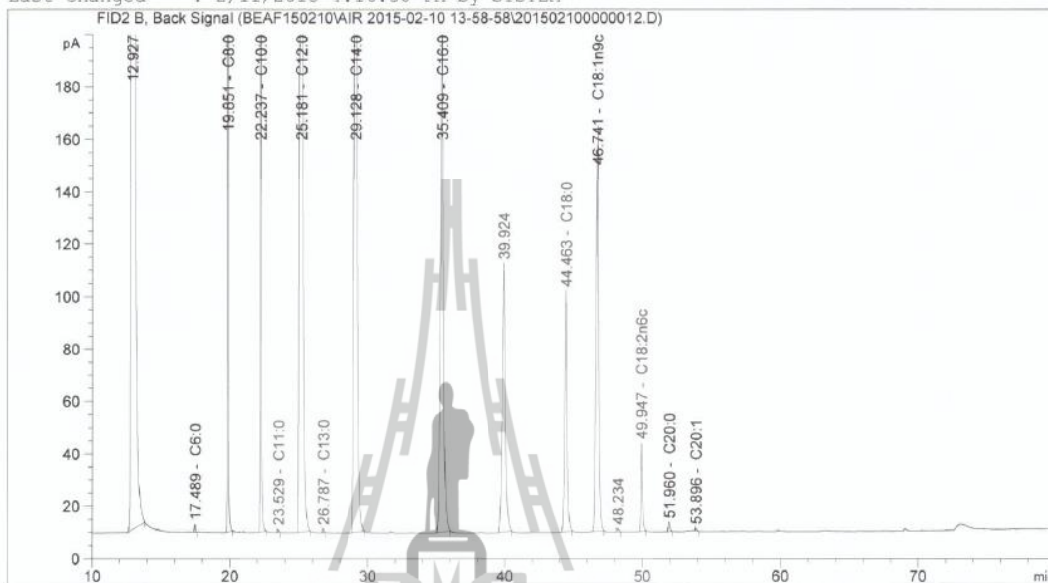
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000012.D  
 Sample Name: sample4

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line : 12
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 11
Injection Date  : 2/11/2015 5:50:23 AM      Inj       : 1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
    
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By           : Signal
Calib. Data Modified: 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier          : 1.0000
Dilution            : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISDA
    
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.489	BB	13.95537	5.77714e-4	0.055474	-	C6:0
19.851	BB	1310.59424	5.14768e-4	4.642076	-	C8:0
22.237	BB	1673.40479	4.79750e-4	5.523933	-	C10:0
23.529	BB	6.97251	4.77674e-4	0.022917	-	C11:0
25.181	BB	1.57309e4	4.73191e-4	51.217883	-	C12:0
26.787	BB	10.50406	4.63222e-4	0.033479	-	C13:0
29.128	BB	6302.85205	4.52144e-4	19.608563	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.409	BB	2898.59663	4.40266e-4	8.780830	-	C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000012.D  
 Sample Name: sample4

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.463	BB	1106.19238	4.33072e-4	3.296272	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.741	BB	1848.01184	4.46384e-4	5.676048	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.947	BB	295.23373	4.96764e-4	1.009133	-	C18:2n6c
51.960	BB	30.24524	4.54882e-4	0.094665	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.896	BB	8.57014	6.56742e-4	0.038727	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals :

100.000000

2 Warnings or Errors :

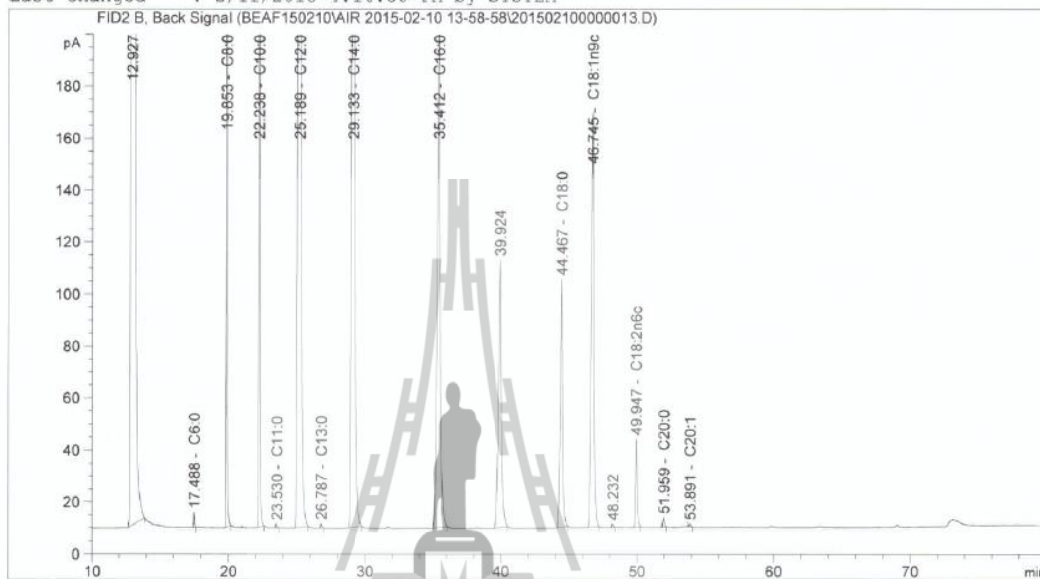
Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000013.D  
 Sample Name: sample5

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :   13
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 12
Injection Date  : 2/11/2015 7:16:47 AM       Inj       :    1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
=====
```



Normalized Percent Report

```
Sorted By          : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier         : 1.0000
Dilution           : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTD
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.488	BB	25.80653	5.77714e-4	0.095240	-	C6:0
19.853	BB	1559.43848	5.14768e-4	5.128100	-	C8:0
22.238	BB	1874.64941	4.79750e-4	5.745287	-	C10:0
23.530	BB	7.76484	4.77674e-4	0.023694	-	C11:0
25.189	BB	1.70044e4	4.73191e-4	51.401269	-	C12:0
26.787	BB	11.29261	4.63222e-4	0.033416	-	C13:0
29.133	BB	6658.96582	4.52144e-4	19.233562	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.412	BB	3034.63208	4.40266e-4	8.534888	-	C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000013.D  
 Sample Name: sample5

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.467	BB	1156.52039	4.33072e-4	3.199558	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.745	BB	1936.82983	4.46384e-4	5.523026	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.947	BB	298.39270	4.96764e-4	0.946924	-	C18:2n6c
51.959	BB	31.97357	4.54882e-4	0.092911	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.891	BB	10.04092	6.56742e-4	0.042125	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals : 100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

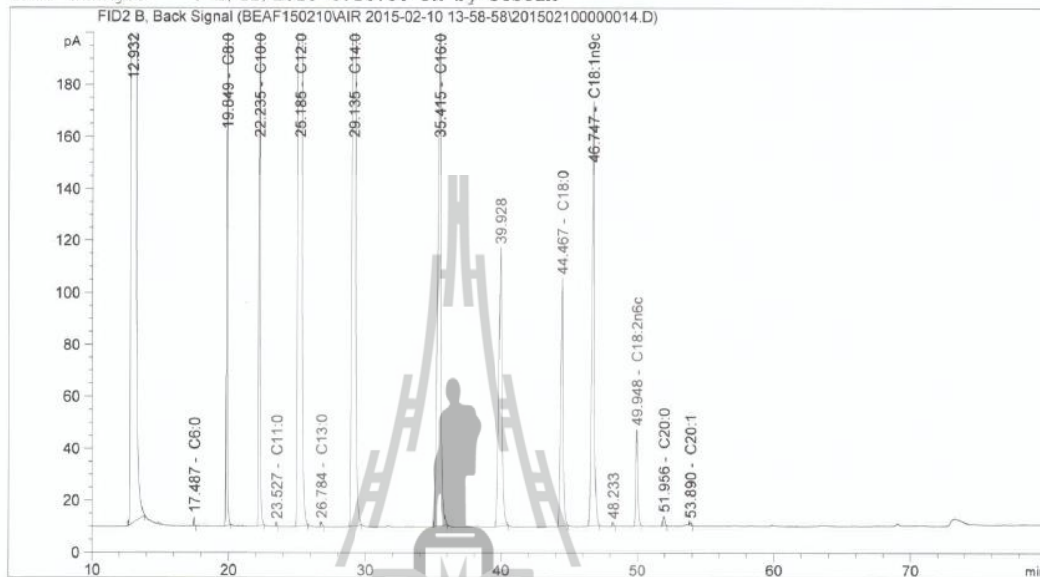
\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000014.D  
 Sample Name: sample6

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :   14
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 13
Injection Date  : 2/11/2015 8:43:08 AM       Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
    
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By          : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier         : 1.0000
Dilution           : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTD
    
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.487	BB	15.52958	5.77714e-4	0.057898	-	C6:0
19.849	BB	1275.13538	5.14768e-4	4.236013	-	C8:0
22.235	BB	1696.98743	4.79750e-4	5.253914	-	C10:0
23.527	BB	7.14622	4.77674e-4	0.022029	-	C11:0
25.185	BB	1.67484e4	4.73191e-4	51.144524	-	C12:0
26.784	BB	11.35350	4.63222e-4	0.033940	-	C13:0
29.135	BB	6893.12500	4.52144e-4	20.113228	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.415	BB	3155.48633	4.40266e-4	8.965423	-	C16:0



Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000014.D  
 Sample Name: sample6

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.467	BB	1158.58435	4.33072e-4	3.238001	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.747	BB	1998.34717	4.46384e-4	5.756642	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.948	BB	325.72961	4.96764e-4	1.044231	-	C18:2n6c
51.956	BB	31.85884	4.54882e-4	0.093523	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.890	BB	9.58785	6.56742e-4	0.040635	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals : 100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

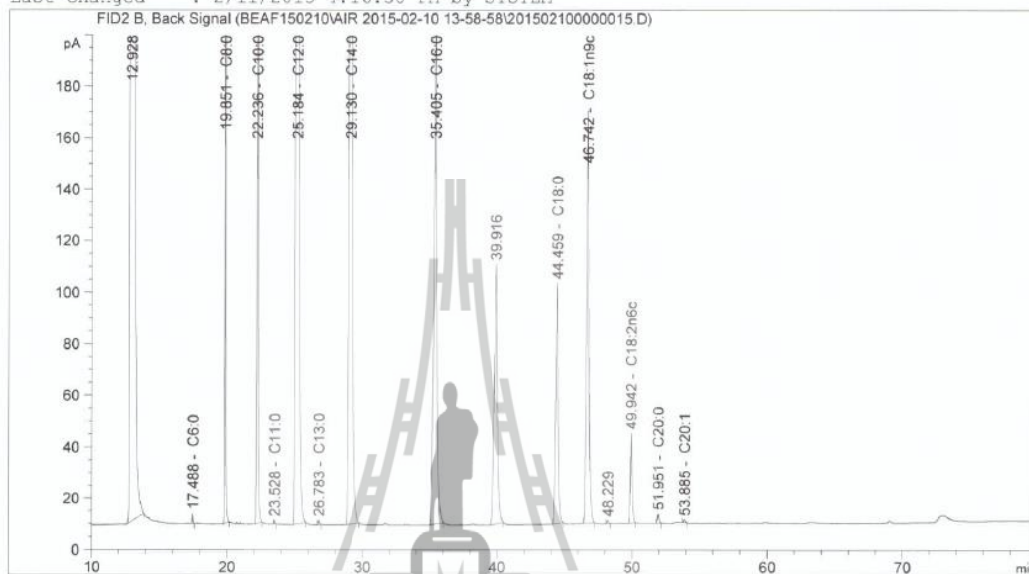
\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000015.D  
 Sample Name: sample7

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :   15
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 14
Injection Date  : 2/11/2015 10:09:30 AM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
=====
  
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By           : Signal
Calib. Data Modified: 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier          : 1.0000
Dilution            : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.488	BB	18.24909	5.77714e-4	0.068561	-	C6:0
19.851	BB	1470.33044	5.14768e-4	4.922085	-	C8:0
22.236	BB	1802.23779	4.79750e-4	5.622761	-	C10:0
23.528	BB	7.50243	4.77674e-4	0.023305	-	C11:0
25.184	BB	1.66409e4	4.73191e-4	51.207689	-	C12:0
26.783	BB	11.48407	4.63222e-4	0.034595	-	C13:0
29.130	BB	6632.44238	4.52144e-4	19.501691	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.405	BB	3016.88721	4.40266e-4	8.637672	-	C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000015.D  
 Sample Name: sample7

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.459	BB	1129.89319	4.33072e-4	3.182144	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.742	BB	1954.13965	4.46384e-4	5.672664	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.942	BB	306.61328	4.96764e-4	0.990521	-	C18:2n6c
51.951	BB	31.32908	4.54882e-4	0.092676	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.885	BB	10.21731	6.56742e-4	0.043637	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals :

100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

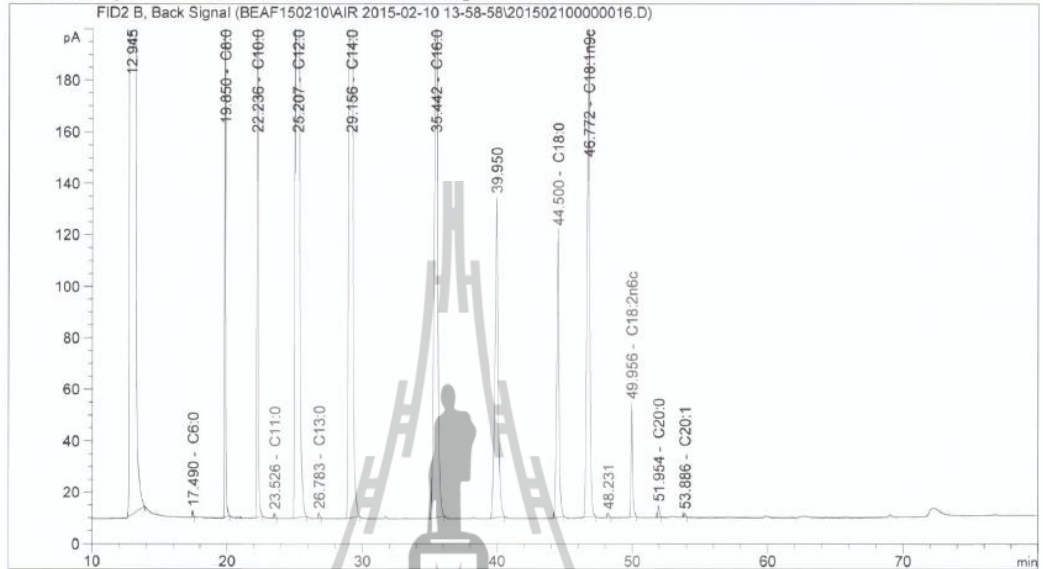


Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000016.D  
 Sample Name: sample8

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :   16
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 15
Injection Date  : 2/11/2015 11:35:55 AM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl

Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
  
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266		-	-	-		C4:0
17.490	BB	12.37473	5.77714e-4	0.036685		C6:0
19.850	BB	1671.34045	5.14768e-4	4.414859		C8:0
22.236	BB	2253.10327	4.79750e-4	5.546722		C10:0
23.526	BB	9.08627	4.77674e-4	0.022272		C11:0
25.207	BB	2.12153e4	4.73191e-4	51.513993		C12:0
26.783	BB	14.27045	4.63222e-4	0.033921		C13:0
29.156	BB	8486.81152	4.52144e-4	19.690700		C14:0
31.301		-	-	-		C14:1
31.802		-	-	-		C15:0
34.656		-	-	-		C15:1
35.442	BB	3870.35913	4.40266e-4	8.743931		C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000016.D  
 Sample Name: sample8

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.500	BB	1440.30566	4.33072e-4	3.200774	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.772	BB	2470.35425	4.46384e-4	5.658594	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.956	BB	391.14017	4.96764e-4	0.997063	-	C18:2n6c
51.954	BB	40.00663	4.54882e-4	0.093384	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.886	BB	13.97683	6.56742e-4	0.047102	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals :

100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

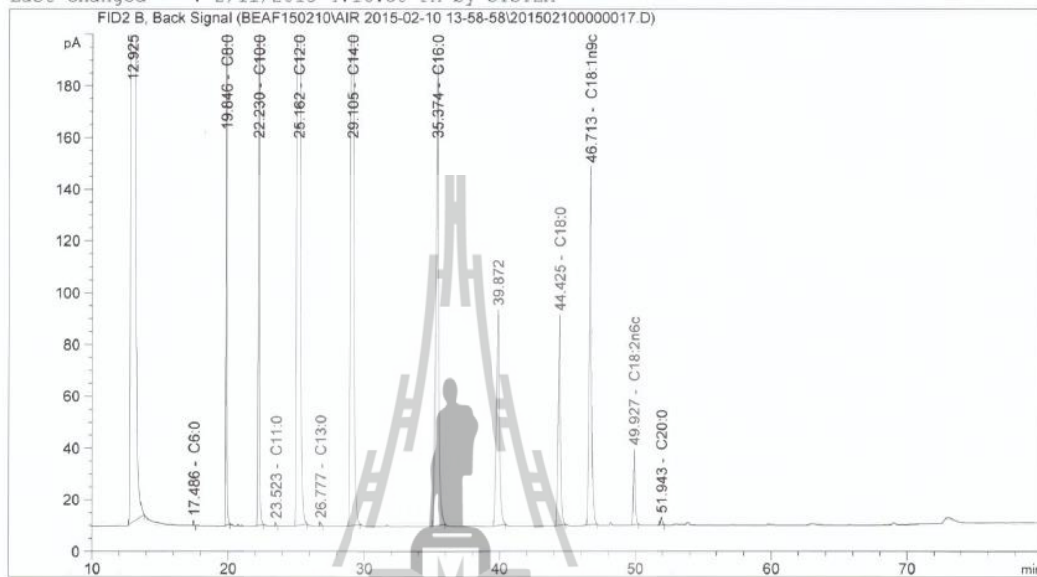
\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000017.D  
 Sample Name: sample9

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line : 17
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 16
Injection Date  : 2/11/2015 1:02:22 PM       Inj       : 1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\FAMETANYARAT08.M
Last changed   : 2/10/2015 1:58:58 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMECOCONUTOIL.M
Last changed   : 2/11/2015 4:16:50 PM by SYSTEM
    
```



Normalized Percent Report

```

Sorted By          : Signal
Calib. Data Modified : 2/11/2015 4:07:40 PM
Multiplier         : 1.0000
Dilution           : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
15.266	-	-	-	-	-	C4:0
17.486	BB	9.07587	5.77714e-4	0.040844	-	C6:0
19.846	BB	1155.95361	5.14768e-4	4.635327	-	C8:0
22.230	BB	1518.00305	4.79750e-4	5.673042	-	C10:0
23.523	BB	6.13987	4.77674e-4	0.022846	-	C11:0
25.162	BB	1.39005e4	4.73191e-4	51.238520	-	C12:0
26.777	BB	9.25886	4.63222e-4	0.033410	-	C13:0
29.105	BB	5584.94775	4.52144e-4	19.670879	-	C14:0
31.301	-	-	-	-	-	C14:1
31.802	-	-	-	-	-	C15:0
34.656	-	-	-	-	-	C15:1
35.374	BB	2555.71558	4.40266e-4	8.765082	-	C16:0

Data File C:\CHEM32\1\DATA\BEAF150210\AIR 2015-02-10 13-58-58\201502100000017.D  
 Sample Name: sample9

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
38.352	-	-	-	-	-	C16:1
42.962	-	-	-	-	-	C17:1
44.425	BB	953.28284	4.33072e-4	3.215956	-	C18:0
46.051	-	-	-	-	-	C18:1n9t
46.713	BB	1615.82605	4.46384e-4	5.618649	-	C18:1n9c
48.599	-	-	-	-	-	C18:2n6t
49.927	BB	256.13675	4.96764e-4	0.991175	-	C18:2n6c
51.943	BB	26.60381	4.54882e-4	0.094269	-	C20:0
52.430	-	-	-	-	-	C18:3n6
53.849	-	-	-	-	-	C20:1
54.059	-	-	-	-	-	C18:3n3
54.569	-	-	-	-	-	C9,T11
55.485	-	-	-	-	-	C9,C11
55.850	-	-	-	-	-	T10,C12
56.034	-	-	-	-	-	C21:0
56.879	-	-	-	-	-	T9,T11
57.408	-	-	-	-	-	C20:2
59.963	-	-	-	-	-	C20:3n6
60.295	-	-	-	-	-	C22:0
61.587	-	-	-	-	-	C22:1n9
62.104	-	-	-	-	-	C20:3n3+C20:4n6
64.695	-	-	-	-	-	C23:0
65.921	-	-	-	-	-	C22:2n2
67.102	-	-	-	-	-	C20:5n3
69.527	-	-	-	-	-	C24:0
71.060	-	-	-	-	-	C24:1
76.855	-	-	-	-	-	C22:6n3

Totals :

100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาคผนวก จ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

### รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, นาฏชนก ปรางปรุ, เบญจวรรณ วานมนตรี, และกระวี ตรีอำนาจ. (2557). ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7. หน้า 557-561. โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ. อยุรยา ระหว่างวันที่ 2-4 เมษายน 2557

เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, และกระวี ตรีอำนาจ. (2558). ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8. หน้า 505-508. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค ระหว่างวันที่ 17-19 มีนาคม 2558





การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7  
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวอร์ จออยุธยา.

TFPT-12

**ผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด**  
**Effect of Moisture Content on the Physical and Thermal Properties of Chopped Coconut**

เกียรติศักดิ์ ใจโต<sup>1\*</sup>, เทวรัตน์ ตรีอำรรค<sup>1</sup>, นาฏชนก ปรางปรู<sup>1</sup>, เบลุจวรรณ วานมนตรี<sup>1</sup>, กระวี ตรีอำรรค<sup>2</sup>  
Kiattisak Jaito<sup>1\*</sup>, Tawarat Treeamruk<sup>1</sup>, Nartchanok Prangpru<sup>1</sup>, Benjawan Vanmontree<sup>1</sup>, Krawee Treeamruk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup>Department of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

\*Corresponding author: Tel: +66-8-1277-6460, E-mail: Ball-417@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่สัมพันธ์กับความชื้นของเนื้อมะพร้าวชูดโดยสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ศึกษาประกอบด้วยความหนาแน่น ความพรุน มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน มุมกองและความร้อนจำเพาะซึ่งมะพร้าวชูดมีความชื้นที่ความชื้น 14, 28, 41 และ 51 เปอร์เซ็นต์มาตรวจฐานเบี่ยงสำหรับพื้นผิววัสดุที่นำมาใช้ในการหาค่ามุมเสียดทานประกอบด้วยสังกะสีและสแตนเลสผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าความหนาแน่น มุมเสียดทาน มุมเสียดทานภายใน มุมกอง และความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับค่าความชื้นส่วนค่าความพรุนของมะพร้าวชูดมีความสัมพันธ์ลดลงเป็นเส้นตรงกับค่าความชื้น

คำสำคัญ: สมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางความร้อน, มะพร้าวชูด

**Abstract**

The Objectives of this research was to investigate physical and thermal properties of chopped coconut that related with moisture content. The parameters such as density, porosity, angle of friction, angle of internal friction, angle of repose, and specific heat were investigated at moisture contents of 14, 28, 41 and 51 %wb. Plates of zinc and stainless steel were used to evaluate the angle of friction. Results of the study showed that bulk density, angle of friction, angle of internal friction, angle of repose and specific heat of chopped coconut increased with increased of moisture contents. While porosity of chopped coconut decreased with increased of moisture contents.

Keywords: Physical property, Thermal property, Chopped coconut

**1. บทนำ**

มะพร้าวเป็นพืชผลการเกษตรที่มีความสำคัญมากทางเศรษฐกิจของโลกปัจจุบันได้มีการกระจายของผลผลิตมะพร้าวขยายออกสู่ตลาดการค้าระดับโลกผลิตกันทั้งจาก

มะพร้าวมีรูปแบบต่างๆหลากหลายชนิดเช่นน้ำกะทิ น้ำมะพร้าวและเนื้อมะพร้าวอบแห้ง(อรรถวรรณและคณะ, 2554)มะพร้าวเป็นพืชในเขตร้อนมีความสำคัญต่อคนไทยมาช้านาน ดังจะเห็นได้จากการใช้ประโยชน์จากมะพร้าวทุกส่วนของมะพร้าวสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลายตั้งแต่ราก ลำต้น ใบ ก้านใบ ดอก ยอดอ่อน





การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7  
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิวัฒนา จออยุธยา.

จนกระทั่งผลของมะพร้าว โดยเฉพาะในส่วนผล นับว่าใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากโดยเฉพาะในด้านของอาหาร ผลของมะพร้าวใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ส่วนเปลือกใช้ตอนกิ่งไม้ เนื้อมะพร้าวใช้คั้นเป็นน้ำกะทิทำอาหารและขนม นอกจากนี้เนื้อมะพร้าวชูดฝอยยังนำมาเป็นส่วนประกอบในการทำขนมปังกรอบ โดยใช้เนื้อมะพร้าวชูดฝอยอบแห้ง เนื้อมะพร้าวยังนำไปทำเป็นน้ำมันมะพร้าวได้อีกด้วย ซึ่งการได้มาของเนื้อมะพร้าวที่มีคุณภาพ (กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, 2557)โดยกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ โดยเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ระบบลำเลียง การอบแห้ง การบรรจุ และการเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการคงคุณภาพและเพิ่มมูลค่าของมะพร้าวชูดให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งตัวแปรหนึ่งในการออกแบบเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวคือสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและความร้อนของมะพร้าวชูดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องจักรในกระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้น

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 มะพร้าวชูด

ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ใช้ในการทดลองได้นำไปหาความชื้นเริ่มต้นของมะพร้าวชูดตามมาตรฐาน AOAC (1995) กล่าวคือก่อนอบแห้งจะชั่งน้ำหนักมะพร้าวชูดสดประมาณ 10-20 กรัมและนำไปใส่กระป๋องหาความชื้นแล้วนำไปเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิและตั้งอบแห้งที่อุณหภูมิ 103°C ทำการอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมงด้วยตู้อบลมเมื่อทราบความชื้นเริ่มต้นตัวอย่างมะพร้าวชูดจะได้รับการปรับความชื้นให้มีค่าความชื้นของตัวอย่างเป็น 14, 28,41 และ 51 %wb. และเตรียมพร้อมรอการทดลองเพื่อหาสมบัติทางกายภาพและความร้อนต่างๆต่อไป

### 2.2 การหามุมกอง (angle of repose)

มุมกองของมะพร้าวชูดในบทความนี้เป็นค่า static angle of repose ทำการทดลองโดยการปล่อยให้ตัวอย่างมะพร้าวชูดที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 2.1 ไหลผ่านกรวยลงสู่พื้นราบวัดความสูงและรัศมีของกองตามรูปที่ 1 จากนั้นทำการคำนวณค่ามุมกองดังนี้

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{A}{B} \right) \dots (1)$$

โดยที่  $\phi$  คือมุมกองของมะพร้าวชูด(องศา), A คือระยะความสูงของกอง (mm.), B คือระยะรัศมีของกอง (mm.)



### 2.3 การหามุมเสียดทาน (angle of friction)



การหามุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวต่างๆทำทดสอบโดยการติดตั้งแผ่นสังกะสีและสแตนเลสบนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 2 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 2.1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนพื้นผิววัสดุดังกล่าว

### 2.4 การหามุมเสียดทานภายใน (internal angle of friction)



การหามุมเสียดทานภายในของมะพร้าวชูด ทดสอบโดยการติดตั้งกล่องสี่เหลี่ยมบนเครื่องมือวัดมุมเอียงดังแสดงในรูปที่ 3 โดยนำมะพร้าวชูดตัวอย่างที่ผ่านการปรับความชื้นตามข้อ 2.1 มาทำการหามุมที่มะพร้าวชูดเริ่มเกิดการลื่นไถลบนเนื้อของมะพร้าวชูดเอง

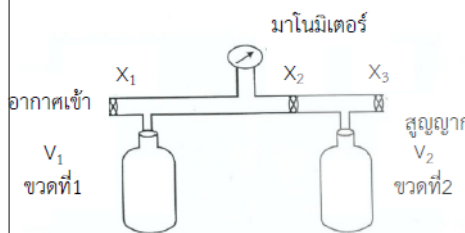




การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7  
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวอร์ จออยุธยา .

## 2.5 การหาค่าความหนาแน่นและความพรุน

ค่าความหนาแน่นของมะพร้าวชูด(bulk density) หาโดยตัวอย่างของมะพร้าวชูด ที่ปรับความชื้นแล้วจะถูกนำมาชั่งและวัดปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่นของ



รูปที่ 4 การหาค่าความพรุนของมะพร้าวชูด  
ที่มา บัณฑิต.2545.

สำหรับการหาค่าความพรุน (porosity) ใช้วิธีการแทนที่ของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในเบื้องต้นเริ่มแรกปิดวาล์ว  $X_1$  เปิดวาล์ว  $X_2$ ,  $X_3$  และทำให้ระบบวัดเป็นสูญอากาศผ่านวาล์ว  $X_3$  เมื่อระบบเป็นสูญอากาศได้สถานะสมำเสมอ (Steady-state) แล้วปิด  $X_3$  และ  $X_2$  นำอากาศเข้าระบบผ่านวาล์ว  $X_1$  และเมื่อระบบได้สถานะสมำเสมอที่ 1 ปิดวาล์ว  $X_1$  อ่านค่า  $P_1$  จากนั้นเปิดวาล์ว  $X_2$  ให้อากาศจากขวด  $V_1$  กระจายไปยังขวด  $V_2$  จนเกิดสถานะสมำเสมอที่ 2 อ่านค่า  $P_2$  ซึ่งหาค่าความพรุนของมะพร้าวชูดได้จาก(บัณฑิต,2545)

$$\frac{V_2}{V_1} = (P_1 - P_2) / P_2 \dots (2)$$

โดยที่  $\frac{V_1}{V_2}$  คือค่าความพรุน  $P_1$  คือความดันที่สภาวะที่ 1  
 $P_2$  คือความดันที่สภาวะที่ 2

## 2.6 การหาค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat)

ค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการผสมในแคลอรีมิเตอร์ (Bala, 1997) โดยในเบื้องต้นต้องทำการหาค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์โดยการผสมน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน จากนั้นนำมะพร้าวชูดที่ปรับความชื้นแล้วโดยความร้อนที่มะพร้าวชูดสูญเสียจะมีค่าเท่ากับความ

ร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำและแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถหาค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดได้จาก

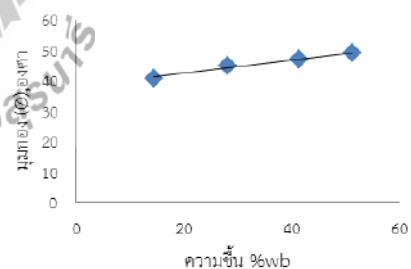
$$c_{ps} = \frac{(c_f + c_{pw} m_w)(T_e - T_i)}{m_s (T_s - T_e)} \dots (3)$$

โดยที่  $C_{ps}$  คือค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชูดตัวอย่าง (kJ/kg°C),  $C_f$  คือค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ (kJ/°C),  $T_e$  คืออุณหภูมิในภาวะสมดุลของระบบ (°C),  $T_i$  คืออุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอรีมิเตอร์ (°C),  $T_s$  คืออุณหภูมิของมะพร้าวชูด (°C)

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 3.1 มุมกองของมะพร้าวชูด

จากการทดลองเพื่อหาค่ามุมกองของมะพร้าวชูดพบว่าเมื่อความชื้นของมะพร้าวชูดเพิ่มมากขึ้นมุมกองของมะพร้าวชูดมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความชื้นเป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับอัญพิชอิน (Bala, 1997) ดังแสดงในรูปที่ 5 ค่ามุมกองของมะพร้าวชูดสามารถแสดงความสัมพันธ์กับความชื้นได้ด้วยสมการเส้นตรงดังนี้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับความชื้นของมะพร้าวชูด

$$\Phi = 0.2173x + 38.023, R^2 = 0.9779 \dots (4)$$

โดยที่  $\Phi$  คือมุมกอง (องศา),  $x$  คือความชื้นของมะพร้าวชูด (%wb)

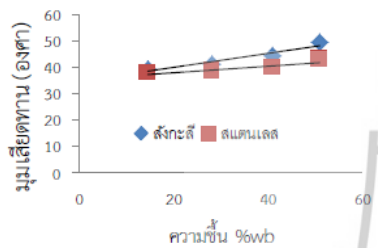
### 3.2 มุมเสียดทาน

สำหรับมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวต่างๆ ตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าค่าของความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นมุมเสียดทานระหว่างมะพร้าวชูดกับพื้นผิวแต่ละชนิด



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7  
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวอร จออยุธยา.

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยส่วนพื้นผิวนั้นส่งผลต่อค่ามูมเสียดทานดัง  
แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะพบว่ามูมเสียดทานระหว่างมะพร้าว  
ชุดและสังกะสีมีค่าสูงกว่าสแตนเลส

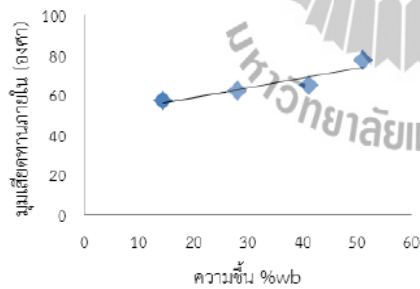


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมูมเสียดทาน

### 3.3 มูมเสียดทานภายใน

สำหรับมูมเสียดทานภายในของมะพร้าวพบว่าค่าความชื้น  
เพิ่มมากขึ้นมูมเสียดทานภายในของเนื้อชุดเพิ่มขึ้นดังแสดง  
ในรูปที่ 7

$$f = 0.4917x + 48.705, R^2 = 0.8484 \dots(5)$$

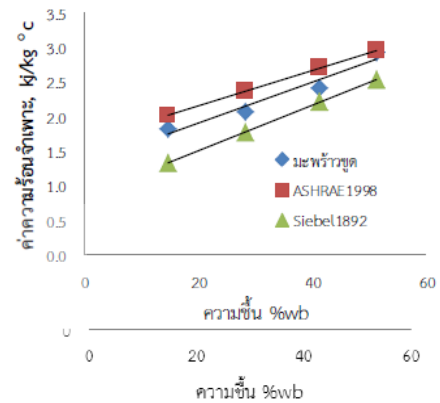


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับมูมเสียดทาน  
ภายใน

### 3.4 ความหนาแน่นและความพรุน

เมื่อระดับความชื้นของมะพร้าวชุดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มะพร้าว  
ชุดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นของมูมสัมพันธ์  
เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความชื้นดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเรา  
สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความ  
หนาแน่นสำหรับมะพร้าวชุดได้ดังนี้

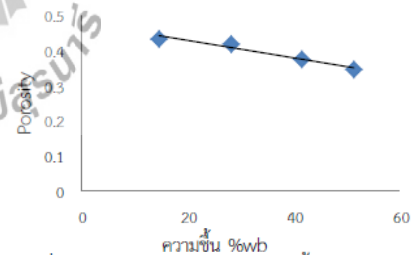
$$\rho_b = 2.4699x + 182.46, R^2 = 0.9807 \dots(6)$$



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความแน่นของ  
มะพร้าวชุด

เมื่อทำการหาค่าความพรุนของมะพร้าวชุดพบว่าค่า  
ความพรุนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นดังแสดงใน  
รูปที่ 9 และได้สมการสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon = -0.0024x + 0.4779, R^2 = 0.9622 \dots(6)$$



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความพรุน

### 3.5 ค่าความร้อนจำเพาะ

สำหรับค่าความร้อนจำเพาะของมะพร้าวชุดพบว่า  
ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความชื้นซึ่งสอดคล้องกับ  
(Bala, 1997) ซึ่งได้แนะนำว่าปริมาณความชื้นมี  
ความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ  
เกษตรและอาหารมากกว่าองค์ประกอบอื่นและขึ้นอยู่กับ  
สถานะของวัสดุนั้นๆซึ่งในที่นี้มะพร้าวชุดที่นำมาทดสอบ  
หาค่าความร้อนจำเพาะและลองใช้สมการที่แนะนำไว้ใน  
(Lutheret al. 2004) พบว่าค่าความร้อนจำเพาะที่ได้มีค่า  
อยู่ระหว่างสมการที่แนะนำไว้ดังแสดงในรูปที่ 8



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7  
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวียร์ จออยุธยา .

#### 4. สรุปผลการทดลอง

สมบัติทางกายภาพและความร้อนของมะพร้าวชุด มีความสัมพันธ์กับความชื้นโดยค่ามุมกอง มุมเสียดทานภายใน ความหนาแน่นกองของมะพร้าวชุด ค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตรงกับความชื้น ส่วนค่าความพรุนมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกับความชื้น ส่วนค่ามุมเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นเพียงเล็กน้อยโดยวัสดุที่มีมุมเสียดทานสูงสุดคือแผ่นสังกะสีโดยสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องเช่น ห้องอบแห้ง ถังบรรจุ ระบบลำเลียง เป็นต้น

#### 5. อ้างอิง

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2557 เนื้อมะพร้าวชุดอบแห้ง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2523\\_94\\_1\\_5.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2523_94_1_5.pdf), เข้าดูเมื่อ 8/02/2557.

เทวรัตน์ทิพย์วิมล, ปริศนาแสงรุ่ง, และปัตตะนีสุดตะนา. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105.วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 13, 93–98.

บัณฑิต จริโมภาส. 2545 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรชรณโคภรณ์ฐานนท์, จิราพรศรีภิญโญวนิชย์, ฤทธิชัยอัครราชันย์และอรรถพลนุ่มหอม. 2554.

อิทธิพลของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อคุณภาพกากมะพร้าวโดยวิธีการอบแห้งแบบลาด.

ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี2554. วันที่ 1 เมษายน 2554 ณ โรงแรมชมจันทร์พัทยารีสอร์ทจังหวัดชลบุรี.

Bala, B.K.1997. Drying and Storage of Cereal Grains.Science Publishers. USA. 302p.

Luther R. Wilhelm, Dwayne A. Suter, Gerald H. Brusewitz (2004). Food & Process Engineering Technology. American Society of Agricultural Engineers. USA. 315p.



## ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูด ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

\*เกียรติศักดิ์ ใจโต<sup>1</sup>, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ<sup>1</sup>, และ กระวี ตรีอำนาจ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา 30000

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

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิกากต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่พัฒนาขึ้น โดยมีปัจจัยที่ศึกษาประกอบไปด้วย อุณหภูมิกากอบแห้งที่ 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 มีอัตราการระเหยน้ำสูงที่สุด 1.81 kg/h และมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าสีเริ่มต้นของแต่ละอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

**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 ซึ่งใช้ระยะเวลาสั้น ได้ปริมาณของผลผลิตต่ำ คุณภาพน้ำมันที่ได้มีค่ากรดไขมันสูง และมีโอกาสปนเปื้อนสูง การผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีเหวี่ยงแยก (centrifuge process) ใช้ระยะเวลาสั้นและรักษาคุณภาพน้ำมันมะพร้าวได้ดี เหมาะ

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

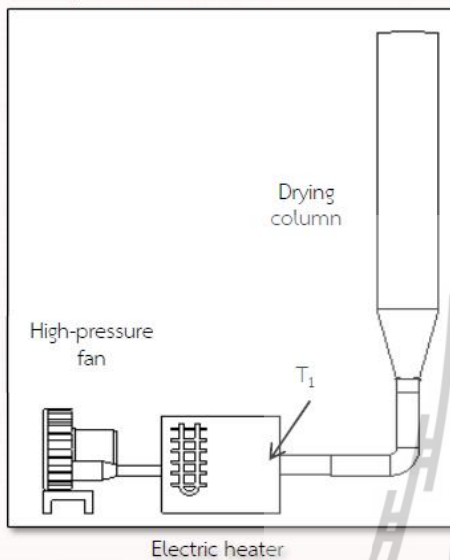
ในปัจจุบันความต้องการน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เพิ่มขึ้น ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีการหมักจึงไม่ทันต่อความต้องการของตลาดงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อจะหาข้อมูลพื้นฐานในด้านการเตรียมมะพร้าวชูดอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด (spouted bed) เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยวิธีการบีบเย็น





## 2. อุปกรณ์แล้ววิธีการ

### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูด

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตสำหรับอบแห้งมะพร้าวชูดแสดงดังรูปที่ 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) ห้องอบแห้งสเปาเต็ดเบต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 80 cm อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านทางช่องทางเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm 5) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ชุดควบคุมนี้ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง ( $T_1$ ) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 6) ชุดเป่าลม (air jet) ทำหน้าที่ช่วยเป่ามะพร้าวชูดให้เกิดสเปาเต็ดเบต

### 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 นาทีเพื่อนำไปหาความชื้นมะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะนำไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorimeter

### 2.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูด

#### ระหว่างการอบแห้ง

มะพร้าวชูดที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบตที่ได้จะถูกนำไปหาความชื้นด้วยวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ค่าความชื้นของมะพร้าวชูดสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

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

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

### 2.5 ประสิทธิภาพการอบแห้ง

ประสิทธิภาพการอบแห้งจะพิจารณาในรูปของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) และความสามารถในการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงเพื่อทำให้มะพร้าวชูดเกิดสเปาเต็ดเบตและพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดทำความร้อนอากาศอบแห้ง โดยความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นสามารถวัดได้โดยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (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 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง ( $MJ/kg_{water}$ )  $E$  คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh) และ  $m_{water}$  คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

อัตราการอบแห้งสามารถบ่งบอกความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยสามารถหาได้จากสมการ (3)



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

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

**2.6 การวิเคราะห์คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์**

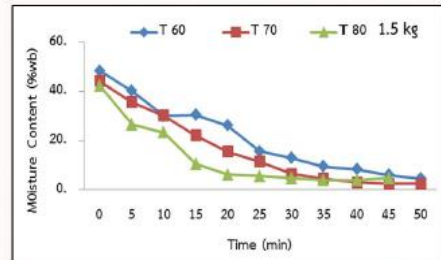
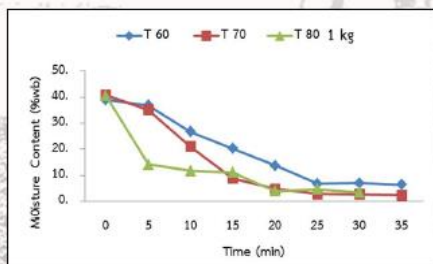
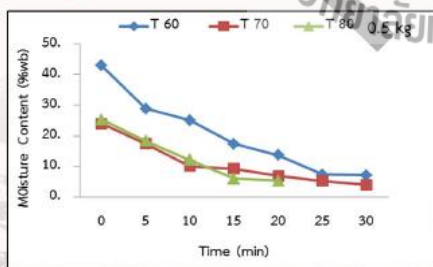
นำเนื้อมะพร้าวชูดและเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งไปทดสอบคุณภาพสีด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ HunterLab และบันทึกข้อมูลค่า L a b ที่ใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของมะพร้าวชูดที่อบแห้ง โดยค่า L หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) ในขณะที่ค่า b หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) [3] แล้วทำการหาความแตกต่างของสีเนื้อมะพร้าวชูดอบแห้งจากการทดลองเทียบกับเนื้อมะพร้าวชูด ( $\Delta E$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (4)

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

เมื่อกำหนดให้  $L_o, a_o, b_o$  เป็นค่าสีของมะพร้าวชูด และ  $L_p, a_p, b_p$  เป็นค่าสีของเนื้อมะพร้าวอบแห้ง

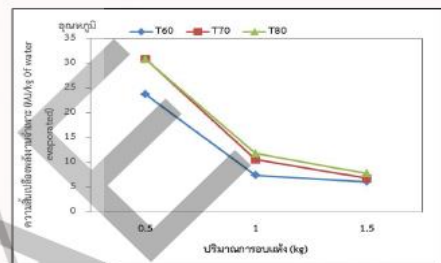
**3. ผลการทดลองและวิจารณ์**

จากการทดสอบการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบต พบว่าผลจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความชื้นในมะพร้าวชูดมีค่าลดลงเร็วขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2)



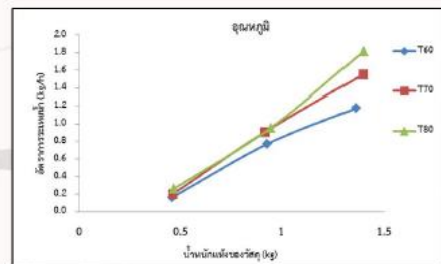
รูปที่ 2 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะพร้าวชูด

**3.1 ประสิทธิภาพการอบแห้ง**



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับปริมาณการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70, 80°C และปริมาณการอบแห้งที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการทำแห้งมากที่สุดเนื่องจากใช้พลังงานน้อยในการระเหยน้ำ (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%wb พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และปริมาณการอบแห้งที่ 1.5 kg เป็นสภาวะการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพการทำแห้งมากที่สุดเนื่องจากใช้พลังงานน้อยในการระเหยน้ำ (ความชื้น) 1 kg ออกจากมะพร้าวชูดและมีอัตราการระเหยน้ำสูง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C

ตารางที่ 1 ผลกระทบของอุณหภูมิมอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าสีของมะพร้าวชูด

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 หุดะแพทย์ (2547). การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 2547, ฉบับที่ 2, หน้า 1-5
- [3] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, เสริมพงษ์ อธิกรรัฐ, ประสาน สกิด เรืองศักดิ์ และ สมชาติ โสภณธนะ (2549). การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกอบแห้งที่มีผลต่อยุทธศาสตร์มะพร้าวชูดด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, จังหวัดนครราชสีมา
- [4] เทวรัตน์ ทิพย์วิล (2552). การอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. เอกสารประกอบการสอนสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.



## ประวัติผู้เขียน

นายเกียรติศักดิ์ ใจโต เกิดเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2531 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนส่องแสงพณิชยการ จังหวัดสงขลา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2554

ปี พ.ศ.2555 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7 2557 เรื่องผลกระทบของค่าความชื้นต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเนื้อมะพร้าวชูด

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8 2558 เรื่องผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งมะพร้าวชูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

