

อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขาม  
และไซโลกลูแคน

EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON QUALITIES OF  
TAMARIND KERNEL POWDER AND XYLOGLUCAN

หญิงฤทัย รงค์ทอง  
NUNGRUETHAI RONGTHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-058-40

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขาม  
และไซโลกลูแคน

EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON QUALITIES OF  
TAMARIND KERNEL POWDER AND XYLOGLUCAN

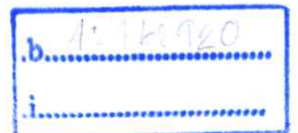


T105313

หนึ่งฤทัย รงค์ทอง

NEUNGRUETHAI RONGTHONG

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**105313**  
วัน,เดือน,ปี.....**18 พ.ย. 2552**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL - 2009 - AI - M - 053 - 40

**EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON QUALITIES OF  
TAMARIND KERNEL POWDER AND XYLOGLUCAN**

**NEUNGRUETHAI RONGTHONG**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
FACULTY OF AGRO - INDUSTRY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2009  
KMITL – 2009 – AI – M – 053 – 40**

**COPYRIGHT 2009**

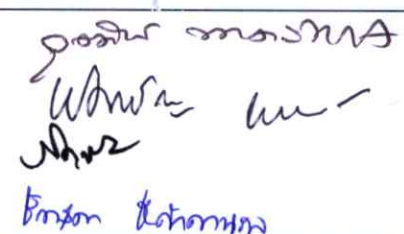
**FACULTY OF AGRO - INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อธิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคน  
EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON QUALITIES OF TAMARIND KERNEL POWDER AND XYLOGLUCAN

ชื่อนักศึกษา นางสาวหนึ่งฤทัย รงค์ทอง  
รหัสประจำตัว 48068505  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ดร.กิตติชัย บรรจง ดร.ชิตสุดา ชัยศักดิ์านุกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 พฤษภาคม 2552 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D213 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รศ.ดร.ระติพร นาเวณิก)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 25 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 52

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของ แป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคน
นักศึกษา	นางสาวหนึ่งฤทัย รงค์ทอง
รหัสประจำตัว	48068505
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

การต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดบางส่วนหลุดออก เมื่อทำแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟที่ความถี่ 2, 450 MHz กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีความกรอบมาก จนสามารถบิเปลือกหุ้มเมล็ดด้วยมือเปล่าให้แตกและหลุดออกจากเนื้อในเมล็ดมะขามได้ เมื่อนำแป้งเมล็ดมะขาม(80 เมช) 6 % มาศึกษาความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟที่ 700 cmg. ที่อุณหภูมิ 30.6 ± 1.4 °ซ มีความหนืดเริ่มต้น 13.7 ± 5.7 BU อุณหภูมิ 74.7 ± 0.7 °ซ มีความหนืดสูงสุด 2,272.3 ± 232.4 BU ในช่วงที่คงอุณหภูมิ 95 °ซ นาน 30 นาที มีความหนืด 1,840 ± 178.9 BU ขณะเริ่มลดอุณหภูมิ มีความหนืด 1,873 ± 154.8 BU เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 50 °ซ มีความหนืด 3,360.7 ± 187.8 BU ขณะคงอุณหภูมิ 50 °ซ นาน 30 นาที มีความหนืด 3,446.7 ± 141.1 BU ค่า Breakdown 404 ± 77.6 BU และค่า Setback 1,488.3 ± 36.7 BU ศึกษาสมบัติการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม 3 % (น.น./น.น.) ด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ วิสโคสมิเตอร์ ความเร็วรอบของหัววัด 0.5 - 2.5 rpm. อุณหภูมิ 25 °ซ ภายในเวลา 3 นาที ได้ค่า apparent viscosity 1,094.67 - 1,336 cps ค่า shear stress 0.89 - 3.61 N/m<sup>2</sup> และค่า shear rate 0.66 - 3.3 sec<sup>-1</sup> ขณะที่คำนวณค่า k ได้ 1.27 ± 0.12 และค่า n ได้ 0.88 ± 0.05 สมบัติการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโคพลาสติก มีความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 30 °ซ 308.2 ± 41.75 % และ 5.7 ± 0.56 % ตามลำดับสำหรับไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามผ่านการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ (70 %) ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ 4 นาที มีความชื้นสุดท้าย 7.3 ± 0.22 % เมื่อศึกษาสมบัติการไหลของสารละลายไซโลกลูแคน 3 % (น.น./น.น.) ที่ 25 °ซ ความเร็วรอบของหัววัด 10-60 rpm. ภายในเวลา 3 นาที มีค่า apparent viscosity 7,831.33 - 11,517.67 cps ค่า shear stress 25.43 - 103.5 N/m<sup>2</sup> และค่า shear rate 2.2 - 13.2 sec<sup>-1</sup> ค่าคำนวณค่า k ได้ 13.97 ± 0.74 และค่า n ได้ 0.79 ± 0.02 โดยมีสมบัติการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียนชนิดซูโคพลาสติกเช่นเดียวกัน

<b>Thesis</b>	EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON QUALITIES OF TAMARIND KERNEL POWDER AND XYLOGLUCAN
<b>Student</b>	Miss. Neungruethai Rongthong
<b>Student ID.</b>	48068505
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

### ABSTRACT

Tamarind (*Tamarindus indica*) seed was able to be dehulled by boiling at 80 °C 60 min followed by microwave drying frequency at 2,450 MHz with electric power 900 watts for 8 min. The milled kernel (80 mesh), tamarind kernel powder (TKP), was examined pasting behavior with Brabender visco - Amylograph at 700 cmg, 6 % (w/w) in distilled water. It was found that TKP paste has the begin of gelatinization viscosity  $13.7 \pm 5.7$  BU at  $30.6 \pm 1.4$  °C, maximum viscosity  $2,272.3 \pm 232.4$  BU at  $74.7 \pm 0.7$  °C, the start of holding period  $1,840 \pm 178.9$  BU, the start of cooling period  $1,873 \pm 154.8$  BU, the end of cooling period  $3,360.7 \pm 187.8$  BU, the end of final holding period viscosity  $3,446.7 \pm 141.1$  BU, breakdown  $404 \pm 77.6$  BU and setback  $1,488.3 \pm 36.7$  BU. Rheological properties of TKP paste showed non - newtonian and pseudoplastic fluid type. With Brookfield viscosimeter at 25 °C, speed 0.5 - 2.5 rpm in 3 min, TKP paste 3 % (w/w) had the ranges of apparent viscosity 1,094.67 - 1,336 cps, shear stress 0.89 - 3.61 N/m<sup>2</sup>, shear rate 0.66 - 3.3 sec<sup>-1</sup>, consistency index (k)  $1.27 \pm 0.12$  and the flow behaviour index (n)  $0.88 \pm 0.05$ . Water absorption index and water solubility index at 30 °C of TKP were  $308.2 \pm 41.75$  % and  $5.7 \pm 0.56$  % respectively. Regarding with xyloglucan, extracted from TKP with ethanol (70%) and dried by microwave at 2,450 MHz 900 watts for 4 min, had the moisture content  $7.3 \pm 0.22$  % and rheological properties of its paste also non - newtonian and pseudoplastic fluid type at 25 °C, speed 10-60 rpm in 3 min. It had the ranges of apparent viscosity 7,831.33 - 11,517.67 cps, shear stress 25.43 - 103.5 N/m<sup>2</sup>, shear rate 2.2 - 13.2 sec<sup>-1</sup>, k  $13.97 \pm 0.74$  and n  $0.79 \pm 0.02$ .

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. ชิตศุภา ชัยศักดิ์านุกูล ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งอาจารย์ทั้งสองท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ แนวทาง ข้อคิดเห็น ตลอดจนความช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ ตลอดจนความช่วยเหลือและความปรารถนาดีจากพี่ๆน้องๆและเพื่อนๆในคณะทุกคน

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด ขอขอบคุณกำลังใจจากญาติพี่น้องและเพื่อนรักทุกคนที่มีให้มา โดยตลอด

หนึ่งฤทัย รงค์ทอง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เมล็ดมะขาม.....	5
2.2 การลอกเปลือก.....	6
2.3 คุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม.....	8
2.4 ประโยชน์ของแป้งเมล็ดมะขาม.....	9
2.5 ไซโลกูลแคน.....	9
2.6 คุณสมบัติของไซโลกูลแคน.....	11
2.7 ประโยชน์ของไซโลกูลแคน.....	11
2.8 กระบวนการเตรียมไซโลกูลแคน.....	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	15
3.1 วัตถุประสงค์.....	15
3.2 เครื่องมือ.....	15
3.3 สารเคมี.....	15
3.4 สถานที่ในการดำเนินการ.....	15
3.5 วิธีการดำเนินการ.....	16

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	22
4.1 การลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม.....	22
4.2 การทำแห้งเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ.....	26
4.3 การผลิตแป้งเมล็ดมะขาม.....	31
4.4 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งเมล็ดมะขาม.....	33
4.5 การสกัดไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม.....	40
4.6 การทำแห้งไซโลกลูแคนด้วยไมโครเวฟ.....	41
4.7 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของไซโลกลูแคน จากแป้งเมล็ดมะขาม.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	55
ก. วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	56
ข. วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ.....	61
ค. ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ของแป้งเมล็ดมะขาม.....	65
ง. ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	77

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ประเทศที่เป็นตลาดการค้าสำคัญในการส่งออกมะขามและมูลค่าการส่งออก ปีพ.ศ. 2543 – 2545 (มค. - พ.ย.).....	2
2.1 เปรียบเทียบจำนวนร้อยละของเมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกโดยใช้สารละลายกรดกำมะถัน ที่มีความเข้มข้น 0.5 และ 1 โมลาร์.....	6
2.2 เปรียบเทียบจำนวนร้อยละของเมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกโดยใช้สารละลายกรดกำมะถัน ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์, สารละลายกรดกำมะถันเข้มข้นและสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10.....	7
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ที่ผ่านการต้มในน้ำและใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5 0.75 และ 1 % (นน./นน.) กับระยะเวลาใน การต้ม 30 45 55 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °ซ.....	24
4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามทางการค้าเปรียบเทียบกับ แป้งที่ได้จากการทดลอง.....	32
4.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph E) ของแป้งเมล็ดมะขาม.....	36
4.4 แสดงค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขาม เข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ.....	37
4.5 แสดงค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของไซโลกลูแคนที่ผ่าน การทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าและเวลาที่แตกต่างกัน.....	42
4.6 แสดงค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจาก แป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ.....	45

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของเมล็ดมะขาม.....	5
2.2 แสดงลักษณะของเมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกแล้ว.....	8
2.3 แสดงโครงสร้างของไซโตกลูแคน.....	9
2.4 แสดงโครงสร้างของไซโตกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม.....	10
2.5 แสดงโครงสร้างของไซโตกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามที่ถูกตัดพันธะด้วย Xyloglucan endo-transglycosylase (EC 2.4.1.207).....	11
3.1 แสดงวิธีการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดมะขามเพื่อนำเนื้อใน ไปบดเป็นแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder: TKP).....	17
3.2 แสดงวิธีการสกัดไซโตกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามและทำแห้งด้วยไมโครเวฟ.....	19
4.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเมล็ดมะขามที่ผ่านการต้มในน้ำและสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 0.75 และ 1 % (นน./นน.) (อัตราส่วน = 1 : 10) ที่อุณหภูมิ 80 °ซ ระยะเวลา 30 45 55 และ 60 นาทีโดยมีการคนทุก 10 นาที.....	23
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม(%) ที่ผ่านการต้มในน้ำและในสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5 0.75 และ 1 % (นน./นน.) ที่อุณหภูมิ 80 °ซ ระยะเวลาในการต้มนาน 30 45 55 และ 60 นาที.....	24
4.3 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่หายไป (%) ต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของเมล็ดมะขามที่ผ่านการต้มในน้ำนาน 60 นาทีและต้มในสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) นาน 45 นาที อุณหภูมิ 80 °ซ โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 และ 900 วัตต์.....	26
4.4 กราฟแสดงปริมาณความชื้นของเมล็ดมะขามในการทดลอง.....	28
4.5 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 10 นาที.....	30
4.6 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำ อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 10 นาที.....	30
4.7 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำ อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 8 นาที.....	30
4.8 ภาพแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง.....	33

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 ในน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph E.....	35
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ.....	38
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Apparent viscosity และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ.....	38
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ.....	39
4.13 ภาพไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง.....	40
4.14 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่หายไปต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 600 และ 900 วัตต์.....	41
4.15 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที.....	43
4.16 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 6 นาที.....	43
4.17 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 4 นาที.....	43
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ.....	45
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Apparent viscosity และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ.....	46
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ.....	46
ข1 แสดงจุดสำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ.....	63
ค1 เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph E).....	66
ค2 เครื่อง Brookfield viscometer model LVDV-III Ultra Rheometer.....	67
ค3 spindle No. 18 (ก) และ spindle No. 25 (ข).....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะขามเป็นพืชที่ขึ้นตามพื้นที่เขตร้อนเป็นพืชตระกูลถั่วอยู่ในวงศ์ *Tamarindus indica* Linn. *Caesalpinaceae, laguminoseae* ชื่อสามัญคือ Tamarind มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนของทวีปแอฟริกา และแพร่กระจายไปยังอินเดียและเอเชีย สำหรับในประเทศไทยมีปรากฏอยู่ทั่วไปในแถบภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะฝั่งแม่น้ำโขง เช่น จังหวัดแพร่ น่าน ลำปาง เพชรบูรณ์ หนองคาย เลย นครพนม อุบลราชธานี เป็นต้น จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง โดยในประเทศไทยและประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้นำเนื้อของมะขามาใช้ประโยชน์ ในการเพิ่มรสเปรี้ยวในอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายแบบ นอกจากนี้มะขามยังมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร โดยใช้เป็นยาระบายอ่อนๆ ป้องกันอาการท้องผูกและช่วยบรรเทาอาการ ระบายคอจากเสมหะ ด้วยเหตุนี้ความต้องการบริโภคมะขามทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณประโยชน์ของมะขามที่ให้คุณค่าทางอาหารที่ครบถ้วนคือ มีปริมาณความชื้น 75.6 % โปรตีน 2.3 % ไขมัน 0.2 % คาร์โบไฮเดรต 14.7 % เส้นใย 6.3 % และ เถ้า 0.9 %

มะขามเป็นสินค้าที่ไม่มีมาตรการควบคุมการส่งออก ภายใต้กฎระเบียบของกรมการค้า ต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เว้นแต่กรณีประเทศผู้ซื้อกำหนดว่า ต้องการเอกสารหรือหนังสือ รับรองใดๆ เช่นหนังสือรับรองแหล่งกำเนิด โดยสามารถขอได้จากกรมการค้าต่างประเทศ ก่อนการ ส่งออกเพียงนำสินค้าไปตรวจสอบเพื่อขอรับใบรับรองปลอดศัตรูและ โรคพืชแล้วจึงดำเนินการผ่าน พิธีการศุลกากรเพื่อการส่งออกต่อไป (สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป, 2550)

จากข้อมูลของสำนักบริการส่งออก มกราคม 2546 ได้ระบุว่าในปี 2545 (เดือนมกราคม- พฤษภาคม) ไทยส่งออกมะขาม 15,446.9 ตัน มูลค่า 5.47 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.20 จากช่วงเดียวกันของปี 2544 (ตารางที่ 1) โดยรูปแบบมะขามที่ส่งออก ได้แก่ มะขามหวาน ทั้งฝัก มะขามเปียกทั้งเมล็ดหรือแกะเมล็ดออกแล้วและมะขามแปรรูป เช่น มะขามแก้ว มะขามกวน ทอฟฟี่มะขามและน้ำมะขาม เป็นต้น ตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ปากีสถาน โดยตลาดส่งออกสำคัญอันดับหนึ่ง คือ สหรัฐอเมริกา นำเข้ามะขามจากต่างประเทศ ปีละประมาณ 1 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ จาก 8 ประเทศ ได้แก่ เม็กซิโก ซึ่งมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ สูงสุด 77% รองลงมาคือ อินเดีย มีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ 14% อาเจนตินามีส่วนแบ่งตลาดใน สหรัฐฯ 5% ซิลีมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ 5% นอกจากนี้นำเข้ามะขามจากสาธารณรัฐ โดมินิกัน

อิหร่าน ไทย และมาเลเซีย มะขามจากไทยนั้นมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ น้อยมาก โดยมีไม่ถึง 1% เนื่องจากปัญหาด้านคุณภาพ เช่น พบแมลงในฝักมะขามสดหรือมีมอดในเมล็ดมะขามเปียก เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 แสดงประเทศที่เป็นตลาดการค้าสำคัญในการส่งออกมะขามและมูลค่าการส่งออก  
ปีพ.ศ. 2543 – 2545 (มค. - พ.ย.)

ตลาด	2543		2544		2545 (มค.-พ.ย.)		
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้าน เหรียญ สหรัฐฯ)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้าน เหรียญ สหรัฐฯ)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้าน เหรียญ สหรัฐฯ)	สัดส่วน
สหรัฐ อเมริกา	805.2	1.02	521.8	0.71	717.0	1.09	19.96
% เพิ่ม/ลด	71.43	15.19	-35.32	-29.77	41.90	59.00	
สหรัฐ อาหรับ เอมิเรตส์	5,522.4	1.74	3,232.2	0.59	4,007.0	0.86	15.72
% เพิ่ม/ลด	211.15	127.58	-41.46	-66.05	28.69	521.40	
ปากีสถาน	5,968.1	1.59	4,149.0	0.74	4,241.3	0.65	11.90
% เพิ่ม/ลด	1,736.62	1,615.22	-30.47	-53.43	3.74	-11.12	
ซาอุดี อาระเบีย	845.6	0.47	482.8	0.23	643.0	0.31	5.64
% เพิ่ม/ลด	1,356.90	1,807.36	-42.60	-50.49	44.17	44.35	
สิงคโปร์	1,303.4	0.49	972.2	0.27	1,051.3	0.28	5.07
% เพิ่ม/ลด	42.09	-3.91	-25.40	-45.04	22.78	14.27	
อื่นๆ	10,048.7	4.47	5,785.3	2.52	4,787.3	2.28	41.71
% เพิ่ม/ลด	191.01	136.51	-42.43	-43.62	-15.19	-6.56	
รวม	24,493.4	9.78	15,143.3	5.06	15,446.9	5.47	100.00
% เพิ่ม/ลด	249.98	135.62	-38.12	-48.21	5.33	12.20	

ที่มา: (สำนักบริการส่งออก. มกราคม 2546)

ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออกคือ ปริมาณผลผลิตไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติ และผลผลิตมีคุณภาพต่ำไม่เป็นที่ยอมรับในตลาดต่างประเทศ เนื่องจากพบแมลงในฝักหรือมอดในเมล็ดมะขาม จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการแกะเปลือกและเมล็ดออก เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มะขาม เช่น มะขามแก้ว มะขามกวนและทอฟฟี่รสมะขาม

จากการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้เมล็ดมะขามกลายเป็นสิ่งเหลือทิ้งของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เนื้อมะขามแปรรูป ดังนั้นจึงมีการนำเมล็ดมะขามไปผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตัวให้ความข้นหนืดในหมึกพิมพ์ผ้าและใช้เป็นสารเชื่อมต่อในอุตสาหกรรมอื่นๆ ในประเทศไทย เนื้อในของเมล็ดมะขามใช้ในการผลิตกัม (gum) ซึ่งรู้จักกันดีในนาม เจลโลส (jellose) สำหรับในประเทศไทยญี่ปุ่น ได้นำเนื้อในของเมล็ดมะขามไปทำการผลิตกัมจากมะขาม (Tamarind gum) และอนุญาตให้เป็นวัตถุเจือปนที่ใช้เติมลงในอาหารหลายชนิด เพื่อปรับปรุงความหนืดและเป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับอาหารบางชนิดได้ (Gidley et al. 1991) นอกจากนี้ แป้งที่ได้จากเนื้อในของเมล็ดมะขามหรือแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder, TKP) นั้น ยังมีราคาถูกและสามารถนำไปใช้แทนเพคตินที่มีราคาแพงมากกว่า เพื่อใช้ในการผลิตเจลลี่ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย (Bhattacharya et al. 1994a)

กัมจากเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว คือ ไช โลกดูแคนซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง ทนต่อความร้อน กรดและแรงเฉือนได้ดี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำไช โลกดูแคนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมันและในลักษณะสารสกัดแปรในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่ สตูว์และผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมาย เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Rheological and thermal properties) (Nishinari et al. 2000)

สำหรับประโยชน์ในส่วนของการรักษาทางการแพทย์และเครื่องสำอางนั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงการแพร่ของตัวยาเข้าสู่เนื้อเยื่อ (Strickland et al. 1999) นำมาใช้เป็นแผ่นปะผิวหนัง (Strickland et al. 2001) และยังสามารถเป็นตัวนำพาตัวยา (Drug delivery) โดยใช้ได้กับตัวยาที่ใช้ทั้งทางช่องปากและถ้าใส่ใหญ่ได้อีกด้วย (Miyazaki et al. 1998)

ในส่วน of กระบวนการผลิตแป้งเมล็ดมะขามนั้น สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งปกติแล้วจะมีการใช้ความร้อนช่วยในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ด โดยการใช้ความร้อนนี้ อาจเป็นวิธีการคั่วหรือการอบโดยใช้ลมร้อน ซึ่งมีข้อเสียคือ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ เนื่องจากผิวหน้าอาหารจะแห้ง ทำให้มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เกิดความเสียหายต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องใช้เวลาในการทำแห้งนาน ผิวหน้าของอาหารจึงได้รับความร้อนมากเกินไป ผิวหน้าของอาหารจึงแห้งและแข็งตัว ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิธีการให้ความร้อนวิธีอื่น เช่น การใช้พลังงานไมโครเวฟ ที่สามารถทำให้อาหารร้อนขึ้นทั้งชิ้น พร้อมกับเกิดการระเหยความร้อนขึ้น จึงเป็นการช่วยแก้ปัญหาเรื่องที่ว่าอาหารมีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำได้ ทำให้สามารถป้องกัน

ความเสียหายของผิวหนังอาหารได้ ช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความชื้นในช่วงท้ายของการทำแห้ง และลดการเกิดเปลือกแข็ง

โดยความน่าสนใจของพลังงานไมโครเวฟคือ มีอัตราให้ความร้อนสูง และลักษณะผิวของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้มีการศึกษาการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟในอาหารหลายชนิด ซึ่งการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่อาหาร ทำให้ผู้บริโภคมีความสะดวกสบายมากขึ้น จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับการใช้งานร่วมกับเครื่องไมโครเวฟ

การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟที่สำคัญที่สุดคือ การละลายน้ำแข็ง การทำแห้งและการอบ โดยมีการทดลองทำแห้งถั่วลันเตาชนิดหนึ่ง ด้วยการใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ พบว่า เวลาในการทำแห้งสั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การทำแห้งแบบใช้ความร้อนอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม และผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งนี้ สามารถเก็บไว้ได้นานมากกว่า 6 เดือน (Silva and Marsaioli, 2003) ส่วนการนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ในการทำแห้งผลแมคคาเดเมีย สามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งได้อย่างน่าพอใจคือ ใช้เวลาทำแห้งเพียง 4.5 – 5.5 ชั่วโมง ขณะที่การใช้กระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อน ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานถึง 144 ชั่วโมง โดยที่ค่า peroxide และเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้จากผลแมคคาเดเมียที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้น ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานการยอมรับของ Brazilian legislation ตลอดจนได้รับการยอมรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกๆกรณีได้อย่างดี แม้จะผ่านการเก็บรักษานานกว่า 6 เดือนแล้วก็ตาม (Silva et al. 2005)

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิคไมโครเวฟมาช่วยในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดมะขามเพื่อนำไปผลิตเป็นแป้งและใช้ในการทำแห้งไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม

## 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.3.1. นำเทคนิคไมโครเวฟมาใช้ในการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม
- 1.3.2. สกัดไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามและทำแห้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ
- 1.3.3. ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคนที่ได้ภายหลังจากการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เมล็ดมะขาม (Tamarind seed)

เมล็ดมะขามเมื่อแก่จัดจะแข็ง มีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบเป็นมัน เมล็ดจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมหัวป้าน (obovoid) ภายในมีเนื้อประกอบด้วยแป้ง 63% โปรตีน 16% และไขมัน 5.5% สามารถใช้ประกอบอาหารได้ (โสภณ. 2550) ภายในเมล็ดมะขามนี้มีกรดอะมิโนจำเป็น คือ cystine และ methionine ทั้งนี้โปรตีนภายในเนื้อของเมล็ดมะขามยังอุดมไปด้วย lysine, glutamic acid, aspartic acid, glycine และ leucine (Bhattacharya et al. 1994b) นอกจากนี้เมล็ดมะขามยังมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ยาและเครื่องสำอาง ในส่วนของของเหลวที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม พบว่ามีโปรตีนที่ออกฤทธิ์เป็น antidiabetic และ antihyperlipidemic ซึ่งช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดและปริมาณของคลอเลสเตอรอลพร้อมทั้งไตรกลีเซอไรด์ในหนูตัวผู้ที่เป็นโรคเบาหวานเนื่องจากได้รับสาร streptozocin (STZ) ได้อีกด้วย

Miyazaki et al. (1998) ได้สกัดไซโลกูแคนจากเมล็ดมะขามและกำจัดคาแลคโตสออก 44 % ทำให้เกิดเจล แบบ thermally reversible gel ที่อุณหภูมิระหว่าง 22–27 °C ที่ช่วงความเข้มข้น 1–2 % (นน./นน.)



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของเมล็ดมะขาม

## 2.2 การลอกเปลือก (Peeling)

Chaisakdanukull and Sriroth (2005) ทำการเปรียบเทียบวิธีลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม 3 วิธี คือ

1. ลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (Non – heating) โดยบดเมล็ดมะขามด้วยเครื่องบดแบบ Hammer mill แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร เป่าลมเพื่อแยกเปลือกหุ้มเมล็ดขนาดเล็ก ออกจากนั้นนำเมล็ดที่ได้ไปแช่น้ำ นาน 2 - 3 ชั่วโมงแล้วซัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก นำเมล็ดมะขามดังกล่าวไปทำแห้งด้วยตู้อบแบบถาด (tray dry) อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 24 ชั่วโมง

2. ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 ° ซ นาน 15 นาที โดยนำเมล็ดมะขามไปอบด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 150 °ซ นาน 15 นาที จากนั้นจึงนำไปบดหยาบๆด้วยเครื่องบดแบบ pin mill

3. คั่วที่อุณหภูมิ 200 °ซ นาน 2 นาที โดยทำการคั่วเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิ 200 °ซ นาน 2 นาที จากนั้นจึงนำไปบดหยาบๆด้วยเครื่องบดแบบ pinmill เช่นกัน พบว่า แป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (วิธีที่ 1) มีสีขาวกว่าแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ นาน 15 นาที (วิธีที่ 2) และการคั่วที่อุณหภูมิ 200 °ซ นาน 2 นาที (วิธีที่ 3) และเมื่อนำสารละลายแป้ง 3% ไปศึกษาสมบัติการไหล พบว่าแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติการไหลเป็นแบบ pseudoplastic fluids

พวงเพ็ชร (2522) ทดลองลอกเปลือกเมล็ดมะขาม โดยนำเมล็ดมะขามไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 °ซ นาน 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำไปล้างน้ำแล้วนับจำนวนเมล็ดที่ลอกเปลือกได้ พบว่าเมล็ดมะขามที่แช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงที่สุด

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบจำนวนร้อยละของเมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกโดยใช้สารละลายกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น 0.5 และ 1 โมลาร์

ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน (โมลาร์)	เวลา (ชั่วโมง)	เมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกได้ (%)
0.5	3	42.5
1	1	42.5
1	2	45.0
1	3	52.5

ที่มา: พวงเพ็ชร (2522)

นอกจากนี้ ยังทำการแช่เมล็ดมะขามที่อบในตู้อบอุณหภูมิ 105 °ซ นาน 15 นาที ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการแช่เมล็ดมะขาม ซึ่งไม่ผ่านการอบในสารละลายกรดกำมะถันชนิดเข้มข้น นาน 67 ชั่วโมง และการแช่เมล็ดมะขามในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % นาน 15 นาที พบว่า เมล็ดมะขามที่ผ่านการอบร้อนที่ 105 °ซ นาน 15 นาทีแล้วแช่ในละลายกรดกำมะถัน 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมงมี % เมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงที่สุด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบ % ของเมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกโดยใช้สารละลายกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 %

ชนิดของสารละลาย	เวลา	เมล็ดมะขามที่ลอกเปลือกได้ (%)
สารละลายกรดกำมะถัน 1 โมลาร์	3 ชั่วโมง	77.05*
สารละลายกรดกำมะถัน 1 โมลาร์	67 ชั่วโมง	41.82
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 10 %	15 นาที	47.00

ที่มา : พวงเพ็ชร (2522)

หมายเหตุ : \* ใช้เมล็ดมะขามที่ผ่านการอบร้อนที่ 105 °ซ นาน 15 นาที

Ibañez and Ferrero (2003) ได้พยายามสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์จากเยื่อหุ้มเมล็ดหรือมิวซิเลจ (mucilage) ของเมล็ด algarrobas หรือ sweet mesquite ซึ่งเมล็ดมีเปลือกแข็ง สีนํ้าตาลเข้ม ผิวเรียบ เป็นเงามันวาวหุ้มอยู่ เช่นเดียวกับลักษณะของเมล็ดมะขามและพืชตระกูลฝักทั่วไป ส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์นี้ จะมีลักษณะเป็นเจล คล้ายสารสกัดไซโลกลูแคนและสามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความหนืดในอาหารได้เช่นกันอีกด้วย โดยทำการต้มเมล็ด algarrobas 2 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % นน./นน. 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 75 °ซ โดยมีการคนคงที่นาน 7 นาที แล้วทำการล้างล้างออกและแช่นํ้าทิ้งไว้ 24 - 48 ชั่วโมง ที่ 8 °ซ และอีกวิธีคือ ต้มเมล็ด algarrobas 2 กรัม ในนํ้าร้อน 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 - 90 °ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปแช่นํ้าทิ้งไว้อีก 48 ชั่วโมง ที่ 8 °ซ เมื่อแยกมิวซิเลจออกมาได้แล้ว จึงทำแห้งด้วยลมร้อนที่ 35 °ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งข้อดีของวิธีดังกล่าวคือ สามารถสกัดเอาสารที่ต้องการออกมาได้จริง อีกทั้งยังมีผลทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลงจนสามารถทำให้เปลือกแตกออกง่ายกว่าเมล็ดปกติที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆเลย แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ต้องใช้ระยะเวลาในการแช่เมล็ดเพื่อแยกเอามิวซิเลจออกมา และใช้เวลาการทำแห้งนานเกินไป โดยเฉพาะระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง

นั้นนานถึง 48 ชั่วโมง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงกระบวนการทำแห้ง โดยใช้กระบวนการหรือวิธีการทำแห้งแบบอื่นที่สามารถลดระยะเวลาการทำแห้งให้สั้นลง และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติที่สำคัญของสารที่สกัดได้



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของเม็ล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกแล้ว

ที่มา: [www.indiamart.com/abcexporter/food-products.html](http://www.indiamart.com/abcexporter/food-products.html)

### 2.3 คุณสมบัติของแป้งเม็ล็ดมะขาม

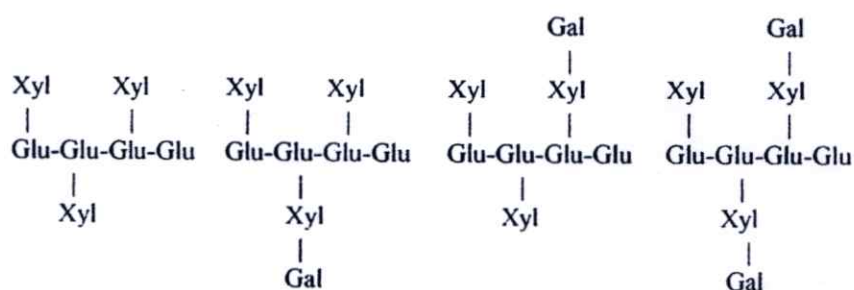
แป้งเม็ล็ดมะขามสามารถกระจายตัวและรวมตัวกับน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว โดยจะมีความหนืดสูงสุด เมื่อนำไปต้มกับน้ำร้อนเป็นเวลา 20 – 30 นาที ซึ่งสารละลายแป้งเม็ล็ดมะขามมีสมบัติการไหลเป็นแบบ non – Newtonian flow ชนิด pseudoplastic fluid โดยแป้งเม็ล็ดมะขามเป็นสารขึ้นรูปที่สำคัญของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นสารให้ความข้นหนืดที่ดีมากแก่น้ำยาฟารา และยังเป็นแหล่งของสารที่ทำให้เกิดเจลที่เรียกว่า “เจล โลส” นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้อีกด้วย แป้งเม็ล็ดมะขามนั้น มีปริมาณ โพลีแซคคาไรด์อย่างน้อย 50 – 60 % โดยมีความสามารถในการเกิดเจลในสารละลายน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ และสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี มีคุณสมบัติและลักษณะคล้ายกับเปกตินในผลไม้ ที่ใช้ในการผลิตเจลลี่ แยมผิวส้ม และแยมผลไม้ นอกจากนี้ อุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นยังได้อนุญาตให้นำแป้งเม็ล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว มาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมอื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เช่น กวักัมและอัลจินต (Marathe et al. 2002)

## 2.4 ประโยชน์ของแป้งเมล็ดมะขาม

เราสามารถนำแป้งเมล็ดมะขามไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไซโลกลูแคนหรือเจลโลส ใช้เป็นแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรตได้ โดยแป้งเมล็ดมะขามนี้มีราคาถูกกว่าข้าวโพดป่นมากถึงหนึ่งเท่าตัว ดังนั้นจึงนำไปใช้ทดแทนในอาหารสัตว์ได้ดี เพราะช่วยลดต้นทุนและยังมีโปรตีนที่มีค่า biological value สูง (บัญชีฯ. 2520) ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารผสมของกรดอะมิโนเพื่อนำมาใช้เป็นสารช่วยเพิ่มรสชาติ (Anonymous. 1968) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ นอกจากอุตสาหกรรมผลิตอาหารได้อีกด้วย เช่น การกำจัดน้ำเสีย โดยใช้แป้งเมล็ดมะขามเป็นสารช่วยในการตกตะกอน หรือใช้เป็นสารช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านกักน้ำ และการใช้เป็น sizing agent ในอุตสาหกรรมทอผ้า เป็นต้น

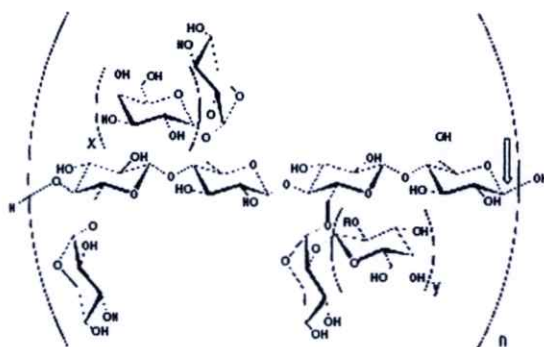
## 2.5 ไซโลกลูแคน (Xyloglucan)

ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) คือ พอลิแซคคาไรด์ที่เป็น โครงสร้างซึ่งเกิดขึ้นทั่วไปในผนังเซลล์ชั้นแรกของพืช (Hayashi. 1989 ; Nishinari et al. 2000) แหล่งสะสมหลักที่พบได้ของไซโลกลูแคนที่เหมาะสมการนำมาใช้กับอาหารและยา คือ เมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica*) ซึ่งขึ้นอยู่ทั่วไปในพื้นที่เขตร้อน ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามมีโครงสร้างหลักคือ (1 - 4) -  $\beta$  - D - glucan และมี (1 - 6) -  $\alpha$  - D - xylose เป็นสายกิ่งซึ่งมี (1 - 2) -  $\beta$  - D - galactoxylose เข้าแทนที่บางส่วน โดยประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ (oligomers) ของไซโลกลูแคน 3 หน่วย คือ เฮปตะแซคคาไรด์ (heptasaccharide) ออกตะแซคคาไรด์ (octasaccharide) และ โนนะแซคคาไรด์ (nonasaccharide) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงจำนวนโมโนเมอร์ในสายโซ่กิ่ง (side - chains) ของกาแลคโทส (galactose) ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



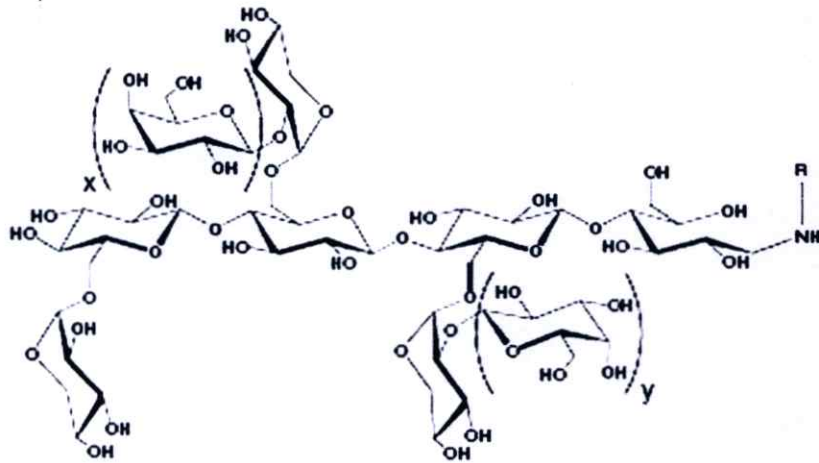
ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของไซโลกลูแคน

ที่มา: Kawasaki et al. 1999



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไซโลแลนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม  
ที่มา: Yaoi et al. 2004.

ซึ่งหากตัดส่วนที่เป็นกาแลคโทสในไซโลแลนจากเมล็ดมะขามออกไปบ้าง (ประมาณ 44 %) โดยเอนไซม์เบต้า 1, 2 กาแลคโทซิเดส ( $\beta$  - 1, 2 - galactosidase) (โครงสร้างที่ 2.5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อผสมกับน้ำแล้วให้ความร้อนเกิดเจลแบบ thermally reversible gel ที่อุณหภูมิระหว่าง 22 - 27 °ซ ที่ความเข้มข้น 1 - 2 % นน./นน. (Miyazaki et al. 1998) โดยระดับการตัดกาแลคโทสจะมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้เปลี่ยนสถานะจากสารละลายไปเป็นเจล (sol - gel transition temperature) (Yuguchi et al. 1997) การใช้เอนไซม์ตัดกาแลคโทสดั้งเดิมออกมากกว่า 50 % จะแสดงความสามารถในการเป็นเจลของไซโลแลนได้ ขณะที่ไซโลแลนที่ไม่ผ่านการตัดแปรใดๆ จะสามารถละลายในน้ำเย็นและเกิดเป็นเจลได้เมื่ออยู่ในแอลกอฮอล์หรือสารละลายที่มีปริมาณน้ำตาลปริมาณมากๆ โดยมากกว่า 40 % (นน./นน.) เท่านั้น (Shirakawa et al. 1998 ; Yamanaka et al. 1999 and Nishinara et al. 2000)



ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามที่ถูกตัดพันธะด้วย  
Xyloglucan endo-transglycosylase (EC 2.4.1.207)

ที่มา: Saura – Valls et al. 2006

## 2.6 คุณสมบัติของไซโลกลูแคน

คุณสมบัติของไซโลกลูแคนคือ สามารถทนต่อความร้อน ความเป็นกรดและการทำให้เสียรูปร่างจากแรงกลในระดับปานกลาง ซึ่งทำให้เกิดความหวังว่า จะสามารถนำพอลิแซคคาไรด์ชนิดนี้ไปใช้เป็นส่วนประกอบที่มีประโยชน์ของอาหารได้ (Functional food ingredient) (Nishinari et al. 2000) สำหรับหน้าที่ทางชีววิทยาที่สำคัญของไซโลกลูแคนคือ เป็นตัวเชื่อมผนังเซลล์ลูโลส ไมโครไฟบริล (cellulose microfibrils) และควบคุมความแข็งแรงของผนังเซลล์

## 2.7 ประโยชน์ของไซโลกลูแคน

เนื่องจากไซโลกลูแคนแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง ทนต่อความร้อน ทนต่อกรดและแรงเฉือนได้ดี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำไซโลกลูแคนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมัน และในลักษณะสตาร์ชตัดแปรในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่ สตูว์และผลิตภัณฑ์อื่นๆมากมาย ซึ่งเป็นการใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Rheological and thermal properties) (Nishinari et al. 2000) คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไซโลกลูแคน จะคล้ายคลึงกับพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลที่จะนำมาใช้ สำหรับประโยชน์ในส่วนของ การรักษาทางการแพทย์ และเครื่องสำอางนั้น จะนำพอลิแซคคาไรด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำมาใช้ เพื่อปรับปรุง

การแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อ (Strickland et al. 1999) และยังมีการนำเอาไซโลกลูแคนมาใช้เป็นแผ่นปะผิวหนัง (Strickland et al. 2001) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวนำพาตัวยา (Drug delivery) ที่ใช้ทางช่องปากและลำไส้ใหญ่ได้อีกด้วย (Miyazaki et al. 1998)

## 2.8 กระบวนการเตรียมไซโลกลูแคน (Purification of Tamarind Xyloglucan)

พวงเพชร (2522) ได้ทำการทดลอง สกัดไซโลกลูแคนออกจากแป้งเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช ด้วยน้ำร้อน โดยควบคุมสารละลายนี้ให้มีอุณหภูมิอยู่ที่ 80 °ซ นาน 50 นาที จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเหลือ 55 °ซ เติมเอนไซม์ diastase ที่มีความเข้มข้น 0.3 % โดยปริมาตรลงไป ในสารละลาย คงอุณหภูมินี้ไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการกรองแล้วตกตะกอนไซโลกลูแคนจากสารละลายดังกล่าว ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 % ในอัตราส่วน สารละลายต่อไซโลกลูแคน ต่อเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 2 : 3 โดยปริมาตร นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ ไปอบแห้งที่ 50 °ซ แล้วบดเป็นผง นอกจากนี้ยังได้รวบรวม และรายงาน กระบวนการเตรียมไซโลกลูแคนที่น่าสนใจไว้หลายวิธี เช่น วิธีของ Farber (1965) และ Deguchi and Shiba (1966) ที่ทดลองสกัดไซโลกลูแคน โดยนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแป้งเมล็ดมะขามด้วยน้ำร้อน มาตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลเฟต แอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต หรืออลูมิเนียมซัลเฟต นำตะกอนที่ได้มาล้างด้วยสารละลาย lower aliphatic alcohol เช่น สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 20 – 40 % โดยน้ำหนัก ซึ่งสารละลายนี้จะละลายเกลือซัลเฟตออกไป แต่จะไม่ละลายสารไซโลกลูแคน นอกจากนี้ยังมีผู้ทดลองสกัดไซโลกลูแคนหลายครั้ง โดยใช้หลักการเช่นเดียวกันคือ นำแป้งเมล็ดมะขามมาสกัดด้วยน้ำร้อนและตกตะกอนด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ ซึ่งไซโลกลูแคนที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibriform) แล้วจึงนำไปอบแห้ง และทำการบดต่อไป อีกทั้งยังได้รายงานถึงวิธีของ Johansson and Pichitakul (1967) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถสกัดได้อย่างสะดวกในห้องปฏิบัติการและยังให้ผลที่ดีอีกด้วย โดยวิธีการสกัดนี้ จะใช้แป้งเมล็ดมะขาม 20 กรัม ผสมกับโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ( $\text{Na}_6(\text{PO}_4)_6$ ) และน้ำ 450 มิลลิลิตร ปรับสภาพความเป็นกรด – ด่างให้อยู่ในช่วง 3.1 - 3.2 ด้วยสารละลายกรดเกลือเข้มข้น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 50 นาที โดยมีการคนตลอดเวลา จากนั้นปรับปริมาตรน้ำให้เป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วใส่ diatomaceous earth 50 กรัม เพื่อช่วยในการกรอง ทำการคนและกรองผ่าน buchner funnel แล้วใส่สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 95 % ลงไป 2 เท่าโดยปริมาตรของสารละลายที่สกัดจากแป้งเมล็ดมะขาม แล้วใส่กรดเกลือเข้มข้น 100 มิลลิลิตร จึงทำให้เย็น ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วกรองตะกอนไซโลกลูแคนออกมา นำไปอบ แล้วบดเป็นผง จะได้สารสกัดไซโลกลูแคนประมาณครึ่งหนึ่งของแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ ส่วนวิธีของ Rao (1959) เป็นการผลิตไซโลกลูแคนในปริมาณมากๆ โดยทำการผสมแป้งเมล็ดมะขามกับน้ำเย็น ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 แล้ว จึงเติมน้ำเดือด 30 เท่า ของน้ำหนักสารละลาย

แป้งที่เตรียมไว้ เติมกรดซัลฟิวริกเล็กน้อยในสารละลาย เพื่อระงับปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์คือ ไซโลกลูแคน ซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติการเป็นเจลเสียไป จากนั้นต้มเป็นเวลา 20 – 30 นาที แล้วฟอกสีด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วนำไปตกตะกอนโปรตีนและไฟเบอร์ออก โดยใช้เครื่องเหวี่ยง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปประเหยให้ปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่ง ใส่ diatomaceous earth ลงไป แล้วทำการกรอง ตกตะกอนด้วยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไซโลกลูแคนที่ได้ไปทำแห้ง โดยใช้เครื่อง drum dryer แล้วบดด้วยเครื่อง ball mill จะได้ไซโลกลูแคนประมาณครึ่งหนึ่งของแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ นอกจากนี้ยังได้ทดลองสกัดไซโลกลูแคน โดยใช้เอนไซม์สำหรับย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) ช่วยเช่น ใช้ pepsin ในการย่อยโปรตีนในแป้งเมล็ดมะขามก่อนที่จะนำไปสกัดไซโลกลูแคนออกมา ผลที่ได้คือเอนไซม์ดังกล่าวจะย่อยพวก nitrogenous fraction ไปถึงร้อยละ 30 – 35 ทำให้ได้แป้งเมล็ดมะขามที่มีโปรตีนน้อยกว่า 2 % เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไซโลกลูแคนต่อไป และวิธีของ Gordon (1968) ที่สกัดไซโลกลูแคนโดยใช้ sequential solvent extraction โดยสารตัวทำละลายเป็นพวก polar organic compound และน้ำ ซึ่งในการทดลองของเค้า ได้ใช้สารละลาย diethyl ether สกัดไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม โดยผลที่ได้คือ ไซโลกลูแคนที่สกัดได้สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำ ให้สารละลายที่เหนียวหนืดและสามารถเกิดเจลเมื่อมีน้ำตาลในความเข้มข้นสูง สภาพความเป็นกรด – ด่าง จะอยู่ในช่วง 2.8 – 9.8

อรรถวิทย์ (2540) ได้ศึกษาการเตรียมโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขาม โดยนำแป้งเมล็ดมะขามมาสกัดไขมัน สีและกลิ่นด้วย petroleum ether และ 95 % ethanol ตามลำดับ แล้วศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด ผลของการตกตะกอนแยกโพลีแซคคาไรด์ วิธีการทำให้แห้งและอุณหภูมิที่ทำการสกัดแยก จากการศึกษาคุณสมบัติของโพลีแซคคาไรด์และการไหล (Rheology) ของสารสกัด พบว่า การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด สัดส่วนของแป้งเมล็ดมะขาม (TKP) ต่อ น้ำ 1 : 40 1 : 60 และ 1 : 80 (น้ำหนัก / ปริมาตร) สามารถใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนได้ จากนั้นทำการแยกโพลีแซคคาไรด์ โดยตกตะกอน ด้วย 95% ethanol ในสัดส่วนแป้งเมล็ดมะขาม ต่อ ethanol 1 : 1 - 1.5 (น้ำหนัก / ปริมาตร) กรองเก็บตะกอนด้วยผ้า นำไปอบที่ 60 °ซ ตกตะกอนด้วย salt - ethanol กรองเก็บตะกอนด้วยผ้า นำไปอบที่ 60 °ซ และเทน้ำสกัดลงในภาชนะแล้ว นำไปอบที่ 60 °ซ และนำไปทำแห้งด้วยเครื่อง Spray dry จากการศึกษาพบว่า การสกัดโดยการตกตะกอนด้วย salt - ethanol ต้องใช้ ethanol ปริมาณมากในการล้างเอา salt ที่ใช้ในการตกตะกอนออกและล้างออกยาก การอบแห้งโดยนำไปอบที่ 60 °ซ พบว่าโพลีแซคคาไรด์ที่ได้เกาะแน่นติดกับภาชนะแยกออกได้ยาก การตกตะกอนด้วย ethanol ให้โพลีแซคคาไรด์สีขาว เช่นเดียวกับการทำแห้งด้วยเครื่อง Spray Dry จากการศึกษาอุณหภูมิของการสกัด 3 ระดับ คือที่ 5 °ซ, 25 - 30 °ซ และ 85 - 90 °ซ พบว่า ส่วนที่แยกสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 °ซ และ 85 - 90 °ซ ได้โพลีแซคคาไรด์ที่มีลักษณะขาวและมีความหนืดดี ในการสกัดระดับ Pilot Scale ได้ทำการสกัดอย่างต่อเนื่อง 3 ขั้นตอนคือ

สกัดแป้งเมล็ดมะขามต่อน้ำในสัดส่วน 1 : 10 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 5 °ซ นาน 5 นาที และสัดส่วน 1 : 40 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ที่ 25 - 30 °ซ จะได้โพลีแซคคาไรด์ 8 % ส่วนการสกัดในสัดส่วน 1 : 40 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ที่ 85 - 90 °ซ จะได้โพลีแซคคาไรด์ 21 % การสกัดด้วยน้ำ สัดส่วน 1 : 10 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ที่ 5 °ซ ให้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ แม้ว่าจะเตรียมในความเข้มข้นที่สูง สำหรับโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้ ในขั้นตอนที่สกัดด้วยสัดส่วน 1 : 40 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ที่ 25 - 30 °ซ และที่ 85 - 90 °ซ นั้น พบว่าที่ 85 - 90 °ซ จะให้สารสกัดที่มีความหนืดสูงกว่า สารสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 °ซ เพิ่มขึ้น 2 % หรือสูงกว่า โดยให้สารที่มีคุณสมบัติการไหล เป็นแบบซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับสารสกัดที่ 85 - 90 °ซ ที่ความเข้มข้น 1.5 % หรือสูงกว่า ก็ให้สารที่มีคุณสมบัติการไหล เป็นแบบซูโดพลาสติก แต่สารสกัดที่อุณหภูมิ 85 - 90 °ซ ยังมีความหนืดน้อยกว่าโพลีแซคคาไรด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเท่ากัน จากการศึกษาความคงตัวพบว่า ความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน (180 วัน) โดยไม่พบการตกตะกอนของโพลีแซคคาไรด์ในสารละลาย

Chaisakdanukull and Sriroth (2005) ทำการสกัดไซโลกลูแคน ที่ได้ดัดแปลงจากวิธีของ York et al. (1990) โดยนำแป้งเมล็ดมะขามจากเนื้อในเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (วิธีที่ 1) จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ นาน 15 นาที (วิธีที่ 2) และการคั่วที่อุณหภูมิ 200 °ซ นาน 2 นาที (วิธีที่ 3) 30 กรัม ไปสกัดเอาไขมันออกด้วยเฮกเซน จากนั้นนำไปอบเพื่อระเหยเฮกเซนออก แล้วจึงนำแป้งที่ได้ไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 30 นาที โดยทำการคนตลอดเวลา แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาทีนาน 30 นาที ตกตะกอนสารละลายโพลีแซคคาไรด์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70 ที่อุณหภูมิ 4 °ซ โดยทิ้งไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นจึงนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาทีนาน 30 นาที นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้งโดยการ Freeze dry แล้วนำไปหาค่า molecular weight (Mw) พบว่าไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 1 มีค่า Mw  $3.831 \times 10^6$  กรัม/โมล ส่วนค่า Mw ของไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า  $3.44 \times 10^6$  และ  $3.304 \times 10^6$  กรัม/โมล ตามลำดับ

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 วัตถุประสงค์

เมล็ดมะขาม ซึ่งได้จากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขาม และตลาดในอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยนำเมล็ดมะขามมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดที่มีรูพรุนและดิบแบน จากนั้น นำเมล็ดมะขามไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพื่อเป็นการปรับความชื้นของเมล็ดมะขามให้มีความชื้นประมาณ 10 - 15 % ก่อนนำไปทดลอง

### 3.2 เครื่องมือ

3.2.1 ไมโครเวฟ	TOSHIBA	ER-A7C	Thailand
3.2.2 ตู้อบลมร้อน	Memmert		German
3.2.3 Hammer mill	Kinematica	AG	Switzerland
3.2.4 เครื่องวัดสี	Minolta	CR 300	Japan
3.2.5 เครื่องวัดความหนืด	Brookfield	LVDV-III Ultra Rheometer	USA
3.2.6 ตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh			
3.2.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง	Beckman	Coulter X-12R	German
3.2.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	Memmert		German
3.2.9 เครื่องบดเมล็ดกาแฟ	Moulinex		Ireland
3.2.10 เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (4 ตำแหน่ง)	OHAUS		USA
3.2.11 เครื่อง Brabender	Viscoamylograph E		German

### 3.3 สารเคมี

3.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	LAB-Scan Asia	Thailand
3.3.2 เฮกเซน ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ )	LAB-Scan Asia	Thailand
3.3.3 แอลกอฮอล์เข้มข้น 99.99%	LAB-Scan Asia	Thailand

### 3.4 สถานที่ในการดำเนินการ

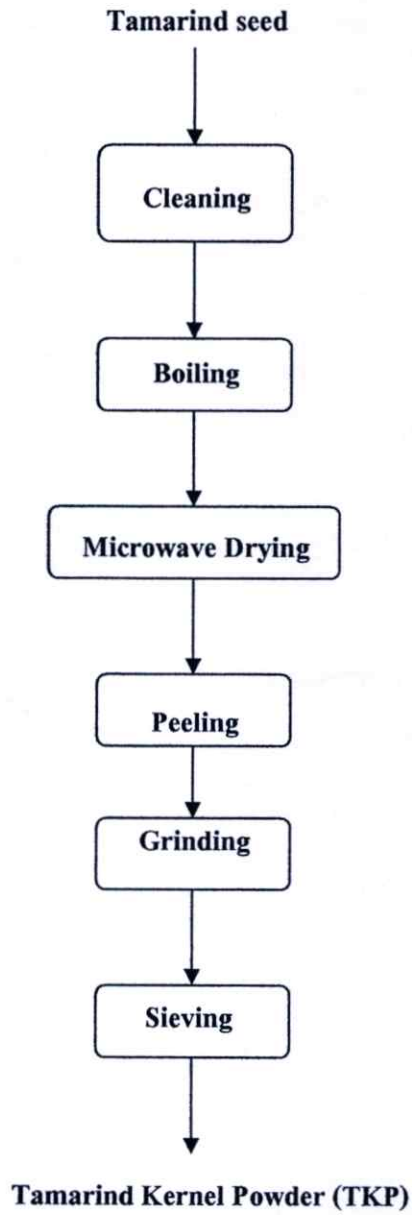
ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.5 วิธีการดำเนินการ

#### 3.5.1 การลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

ชั่งน้ำหนักเมล็ดมะขาม 10 กรัม นำไปต้มกับน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 °ซ และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 80 °ซ ตลอดระยะเวลาการต้ม โดยมีการกวนทุกๆ 10 นาที (คิดสัดส่วนของเมล็ดมะขาม ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 1:10) ระยะเวลาการต้มที่ใช้ คือ 30, 45, 55 และ 60 นาที ดังภาพที่ 3.1 หลังจากนั้นจึงนำเมล็ดมะขามดังกล่าวมาพักไว้ในตะแกรง เพื่อให้สะเด็ดน้ำนาน 10 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักที่ได้ไปหักลบกับน้ำหนักก่อนต้ม จะทำให้ทราบปริมาณน้ำที่สามารถแทรกผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ แล้วทำการแยกเปลือกหุ้มเมล็ดออกจากเนื้อในของเมล็ดมะขาม เพื่อนำไปหาความชื้น โดยทำตามวิธี AOAC 2000 ทำตามวิธีการดังกล่าวซ้ำ แต่เปลี่ยนจากการต้มในน้ำเป็นการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ระดับความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % นน./นน.

โดยมีการจัดการทดลองแบบ Factorial in CRD: (Completely Randomized Design) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's Multiple Rang Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยกำหนดให้ปัจจัยในการทดลองคือ ระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม ซึ่งมี 4 ระดับ คือ 30, 45, 55 และ 60 นาที และระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมี 4 ระดับ คือ 0 (ต้มในน้ำ), 0.5, 0.75 และ 1 % นน./นน.



ภาพที่ 3.1 แสดงวิธีการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดมะขามเพื่อนำเนื้อในไปบดเป็นแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder: TKP)

### 3.5.2 การทำแห้งเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ

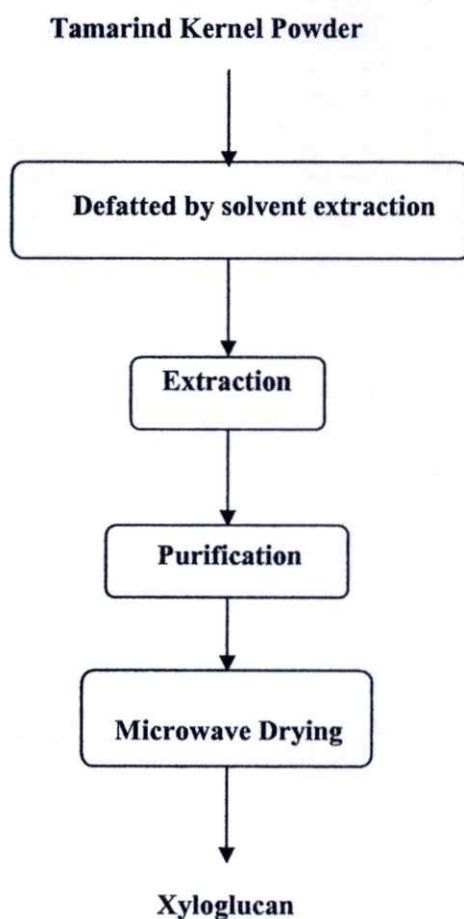
นำเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัวแล้ว 10 กรัม มาให้ความร้อนด้วยคู่อุปไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600, 900 วัตต์ วัตต์ของเมล็ดมะขามทุกๆ 1 นาทีโดยใช้ Infrared thermometer แล้วนำเมล็ดมะขามนั้นไปชั่งน้ำหนักหลังทำแห้ง ทำตามวิธีการดังกล่าวซ้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปหาความชื้น โดยทำตามวิธี AOAC. 2000

### 3.5.3 การผลิตแป้งเมล็ดมะขาม

นำเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งมาบดด้วยเครื่องบดแบบ Hammer mill ตามวิธี Chaisakdanukull and Sriroth (2005) โดยบดแบบหยาบๆก่อน แล้วจึงใช้เครื่องเป่าลมเป่าแยกเปลือกหุ้มเมล็ด ออกจากเนื้อในของเมล็ดมะขาม จากนั้นนำเนื้อในของเมล็ดมะขามไปบดด้วยเครื่องบดแบบ Hammer mill ให้ละเอียดอีกครั้ง แล้วทำการร่อนแป้งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช จะได้แป้งเมล็ดมะขาม

### 3.5.4 การสกัดไซโทกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม

นำแป้งเมล็ดมะขาม 30 กรัม มาสกัดไขมันออกด้วยเฮกเซน 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบให้แห้ง เติมน้ำกลั่น 3 ลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 30 นาทีนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm นาน 30 นาที เติมน้ำที่ใสออกมาตกตะกอนกับเอธานอลเข้มข้น (absolute ethanol) ตามวิธี Chaisakdanukull and Sriroth (2005) โดยให้ความเข้มข้นสุดท้ายของเอธานอลเป็น 70 % เก็บไว้ข้ามคืน ที่อุณหภูมิ 4 °ซ แล้วนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm นาน 30 นาที จะได้ไซโทกลูแคนที่มีลักษณะเป็นเจลคล้ายวุ้น (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 แสดงวิธีการสกัดไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามและทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

### 3.5.5 การทำแห้งไซโลกลูแคนด้วยไมโครเวฟ

นำไซโลกลูแคน 20 กรัม มาทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 500, 600 และ 900 วัตต์ วัดอุณหภูมิของไซโลกลูแคนทุกๆ 1 นาทีโดยใช้ Infrared thermometer แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังทำแห้ง ทำตามวิธีการดังกล่าวซ้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปหาความชื้นโดยทำตามวิธี AOAC 2000

### 3.5.6 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งเมล็ดมะขาม

#### 3.5.6.1 การวัดค่าสี (Colour measurement)

วัดค่าสีตามระบบ CIE ด้วยเครื่อง Minolta Model CR-300 Japan เพื่อให้ทราบค่า L\* (lightness), a\* (redness) และค่า b\* (yellowness)

#### 3.5.6.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Pasting behavior analysis)

นำแป้งเมล็ดมะขาม 30 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ไปผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ 500 กรัม แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E ใช้ Measuring range 700 cmg โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 25 °ซ แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละ 1.5 °ซ ไปจนอุณหภูมิสูงถึง 95 °ซ จึงคงที่นาน 30 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิลดลงทีละ 1.5 °ซ จนถึง 50 °ซ จึงคงที่นาน 30 นาที โดยหาค่า Beginning of gelatinization, Maximum viscosity, Start of holding period, Start of cooling period, End of cooling period, End of final holding period, Breakdown และ Setback

#### 3.5.6.3 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหล (Rheological properties)

ต้มสารละลายแป้งเมล็ดมะขาม 3 % (dry basis) ให้อุณหภูมิสูงถึง 70 °ซ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ) แล้วนำไปวัดค่า apparent viscosity, shear stress และ shear rate ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model LVDV-III Ultra Rheometer โดยใช้ small sample spindle No. 18 ภายใน 3 นาที

### 3.5.6.4 ตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย ( Water Absorbtion Index and Water Solubility Index)

ใช้วิธีการของ Narkruga (1996) ที่ดัดแปลงจาก Schoch (1968) โดยมีวิธีการดังนี้

1. ผสมตัวอย่างแป้งประมาณ 2.5 กรัม ( $W_0, g$ ) กับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
2. แช่ในเครื่อง water bath ที่มีอุณหภูมิ 30 °ซ นาน 30 นาที
3. นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1, g$ ) แล้วทำการ centrifuged ที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. เทน้ำออกจากส่วนผสมแล้วชั่งน้ำหนักของส่วนผสมที่เหลือ ( $W_2, g$ )
5. นำของผสมที่เหลือ (น้ำที่เทออกมาจากข้อ 4) 10 มิลลิลิตร ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °ซ 2 ชั่วโมง
6. นำผลที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการละลาย ซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{Water Solubility Index (\%)} = (\text{น้ำหนักของน้ำที่นำไปอบแห้ง} / \text{น้ำหนักแป้งเริ่มต้น}) \times 100$$

$$\text{Water Absorbtion Index (\%)} = [(W_1 - W_2) / W_0] \times 100$$

### 3.5.7 ตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของไซโลกลูแคน

#### 3.5.7.1 การวัดค่าสี (Colour measurement)

วัดค่าสีของไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 500, 600 และ 900 วัตต์ตามระบบ CIE ด้วยเครื่อง Minolta Model CR-300 Japan เพื่อให้ทราบค่า  $L^*$  (lightness),  $a^*$  (redness) และค่า  $b^*$  (yellowness) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Rang Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

#### 3.5.7.2 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหลของไซโลกลูแคน (Rheological properties)

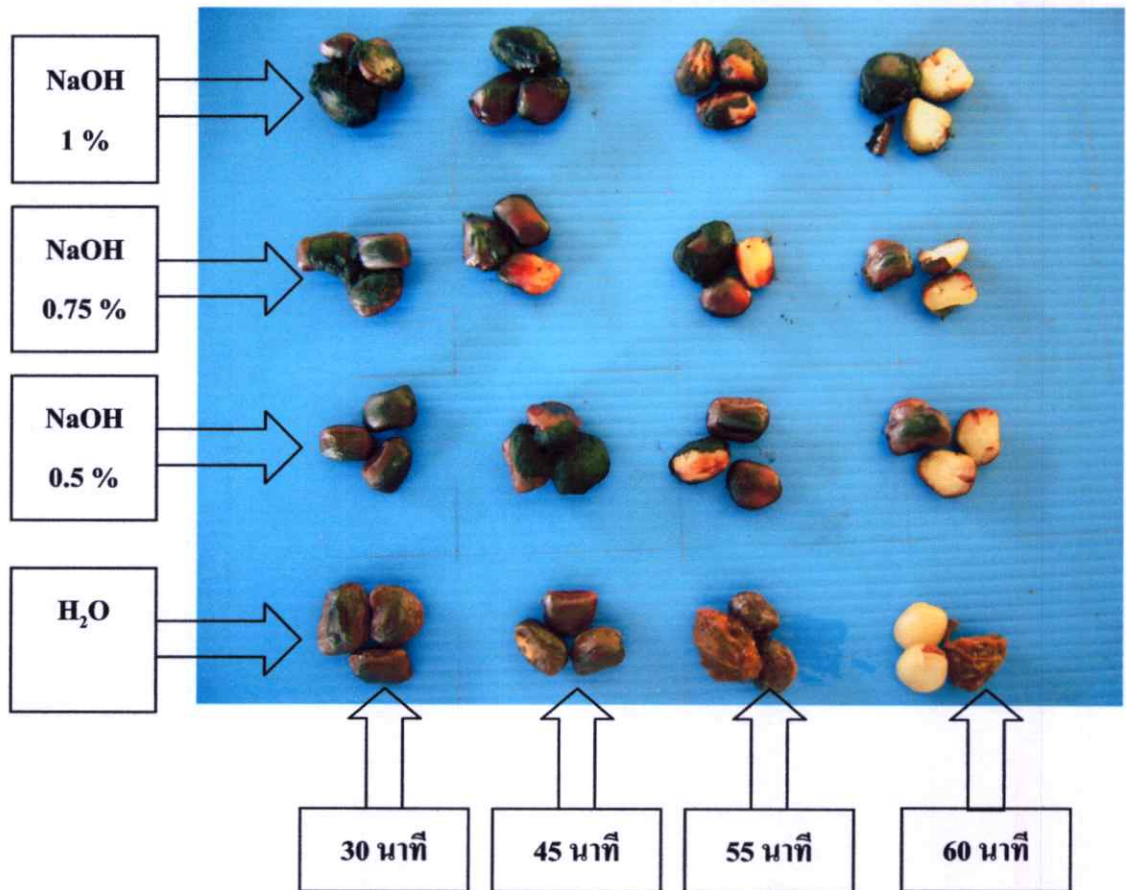
ต้มสารละลายไซโลกลูแคน 3% (dry basis) ให้อุณหภูมิสูงถึง 70 °ซ จากนั้น ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ) แล้วนำไปวัดค่า apparent viscosity, shear stress และ shear rate ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model LVDV-III Ultra Rheometer โดยใช้ small sample spindle No. 25 ภายใน 3 นาที

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

จากการทดลองลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม โดยทำการต้มเมล็ดมะขามในน้ำ และในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (นน./นน.) (สัดส่วนของเมล็ดมะขามต่อ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 1:10) ที่ระยะเวลา 30, 45, 55 และ 60 นาที ความคมอุณหภูมิไว้ ที่ 80 °ซ ตลอดระยะเวลาการต้มและมีการกวนทุกๆ 10 นาที พบว่า ลักษณะของเมล็ดมะขาม ภายหลังจากต้มในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่กำหนด มีความแตกต่างกันดังภาพที่ 4.1 โดยเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำนาน 30 และ 45 นาทีไม่พบ ความเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น สภาพของเปลือกหุ้มเมล็ดยังคงเหมือนเมล็ดที่ยังไม่ผ่านการต้ม ส่วนที่ระยะเวลา 55 นาที บริเวณเปลือกหุ้มเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีเมือกเหนียวหุ้มรอบๆ เมล็ดอยู่ ซึ่งเมือกดังกล่าวคือ มีวชิเลงที่ละลายออกมาจากผิวหนังของเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก (pericarp) และที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดส่วนใหญ่หลุดลอกออกมา ทำให้เห็น เนื้อในเมล็ด ซึ่งมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่วต้มสุก ส่วนเมล็ดที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5 % (นน./นน.) ระยะเวลาต้มนาน 30 นาที ไม่พบความเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ระยะเวลาดต้มนาน 45 นาที พบว่ามีมีวชิเลงที่ละลายออกมาจากผิวหนังของเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก แต่ไม่มี ลักษณะเป็นเมือกเหมือนที่พบในเมล็ดที่ต้มในน้ำ และยังพบว่า สีของมีวชิเลงดังกล่าวมีสี น้ำตาลแดงเหมือนสีของเปลือกเมล็ดมะขาม เนื่องมาจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ขณะต้มเมล็ดมะขาม โดยเปลี่ยนจาก สารละลายใสไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลแดง ส่วนที่ระยะเวลา 55 และ 60 นาที พบว่าระหว่างการต้มได้มีเปลือกหุ้มเมล็ดหลุดลอกออก ทำให้ บางส่วนของเนื้อในสัมผัสกับสารละลาย จึงเกิดสีน้ำตาลแดงบริเวณดังกล่าว และเมล็ดมะขามที่ต้ม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.75 และ 1 % (นน./นน.) พบว่า มีลักษณะคล้ายกัน โดยระยะเวลาต้มนาน 30 และ 45 นาที มีมีวชิเลงสีน้ำตาลแดง และที่ระยะเวลา 55 และ 60 นาที เปลือกหุ้มเมล็ดหลุดลอกออกบางส่วน ทำให้เนื้อในติดสีของสารละลาย อีกทั้งเมล็ดยังมีลักษณะลื่นเมื่อสัมผัส ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารละลายประเภทต่าง ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้ สอดคล้องกับการทดลองของฟวงเพ็ชร (2522) และ Ibañez and Ferrero (2003) ที่สรุปว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น มีความสามารถในการดึงเม็ดสีที่อยู่ภายใน เปลือกหุ้มเมล็ดออกมา ทำให้ลักษณะของมีวชิเลงและเนื้อในของเมล็ดที่ทำการลอกเปลือกมี สีอ่อนข้างเข้มน ซึ่งสีเข้มนดังกล่าวจะมีผลต่อคุณภาพของแป้งที่จะนำไปใช้ต่อไป



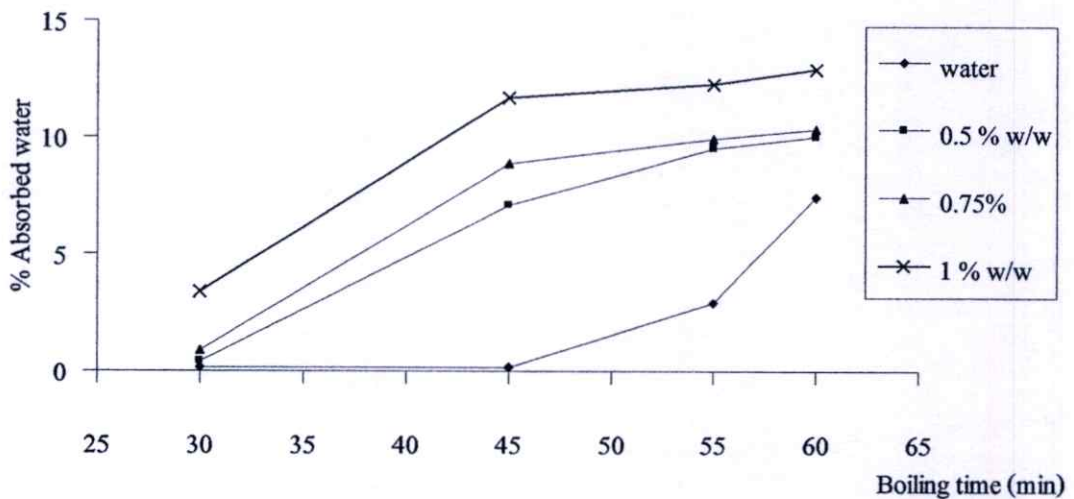
ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเมล็ดมะขามที่ผ่านการดัมในน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (นน./นน.) (อัตราส่วน = 1 : 10) ที่อุณหภูมิ 80 °ซ ระยะเวลา 30, 45, 55 และ 60 นาที โดยมีการคนทุก 10 นาที

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ที่ผ่านการต้มในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (นน./นน.) กับระยะเวลาในการต้ม 30, 45, 55 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °ซ

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ที่ผ่านการต้ม			
	ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์			
	น้ำ	0.5 % (นน./นน.)	0.75 % (นน./นน.)	1 % (นน./นน.)
30	0.18 <sup>d</sup> ± 0.0752	0.4 <sup>c</sup> ± 0.0071	0.87 <sup>b</sup> ± 0.0323	3.36 <sup>a</sup> ± 0.0013
45	0.2 <sup>d</sup> ± 0.0213	7.07 <sup>bc</sup> ± 0.0904	8.91 <sup>b</sup> ± 0.0300	11.73 <sup>a</sup> ± 0.0002
55	2.89 <sup>d</sup> ± 0.0003	9.51 <sup>c</sup> ± 0.0072	9.88 <sup>b</sup> ± 0.0281	12.23 <sup>a</sup> ± 0.0100
60	7.43 <sup>c</sup> ± 0.1627	9.99 <sup>b</sup> ± 0.0041	10.35 <sup>b</sup> ± 0.2263	12.88 <sup>a</sup> ± 0.4448

\*ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± Standard deviation

<sup>a-d</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )



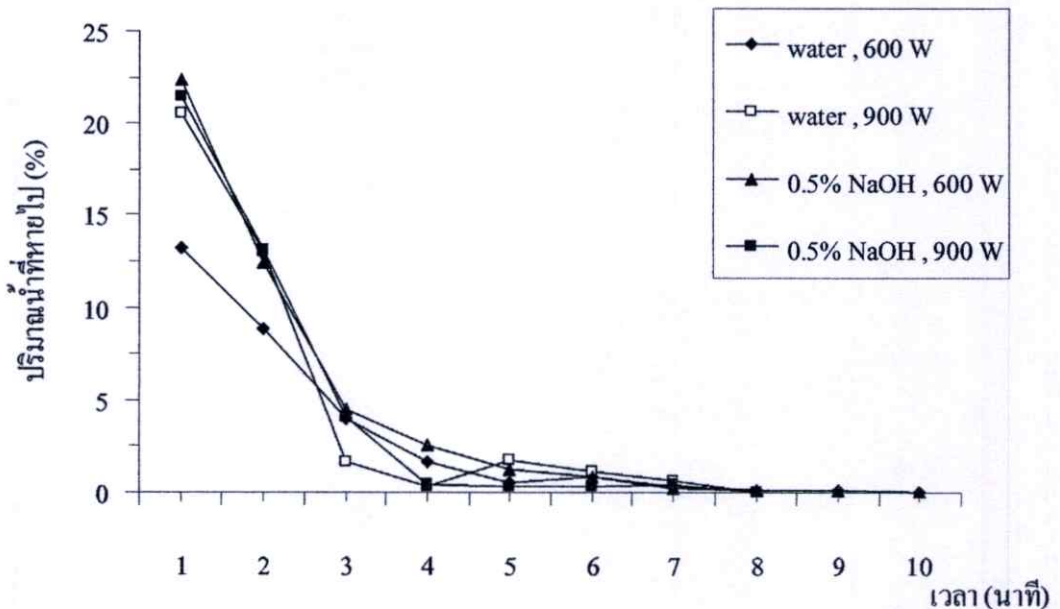
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ที่ผ่านการต้มในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (นน./นน.) ที่อุณหภูมิ 80 °ซ ระยะเวลาในการต้มนาน 30, 45, 55 และ 60 นาที

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ที่ผ่านการดมในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (น.น./น.น.) กับระยะเวลาในการดม 30, 45, 55 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °ซ พบว่า ที่ระยะเวลาในการดม 30 นาที เมล็ดมะขามที่ดมในน้ำมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ (%) เท่ากับ  $0.18 \pm 0.0752$  และเมื่อระยะเวลาการดมเพิ่มเป็น 45, 55 และ 60 นาที ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) เพิ่มขึ้นเป็น  $0.2 \pm 0.0213$ ,  $2.89 \pm 0.0003$  และ  $7.43 \pm 0.1627$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับค่าที่ได้จากการดมเมล็ดมะขามในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5, 0.75 และ 1 % (น.น./น.น.) ที่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้เพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เดียวกันเมื่อเพิ่มระยะเวลาการดมให้นานขึ้น จะทำให้เมล็ดมะขามสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาเดียวกัน แต่เพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้สูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) ก็สูงขึ้นเช่นกัน จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการดมและระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการพิจารณาการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม จึงใช้การพิจารณาลักษณะของเมล็ดมะขามหลังการดมและค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาที่ใช้ดมเมล็ดมะขาม โดยสภาวะที่เลือกคือการดมในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ ที่ระยะเวลาการดม 60 นาที และการดมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (น.น./น.น.) อุณหภูมิ 80 °ซ ที่ระยะเวลาการดม 45 นาที เนื่องจากลักษณะของเนื้อในเมล็ดที่ดมทั้งสองสภาวะยังมีสภาพอยู่ คือ ไม่มีการปนเปื้อนของสีจากเปลือกหุ้มเมล็ด เหมือนกับเมล็ดมะขามที่ผ่านการดมในระยะเวลาเท่ากันแต่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงกว่า ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมนั้นพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขาม (%) เนื่องจากปริมาณน้ำดังกล่าว จะเป็นตัวช่วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอ่อนตัวและทำให้ลอกออกได้ง่าย โดยการดมเมล็ดมะขามในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาทีนั้น มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ (%) สูงที่สุดคือ  $7.43 \pm 0.1627$  และการดมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (น.น./น.น.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาที มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ (%)  $7.07 \pm 0.0904$  จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขามที่ดมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในระยะเวลาการดม 30 และ 55 นาที มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ที่ระยะเวลาในการดม 45 นาที พบว่าปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของเมล็ดมะขามที่ดมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 และ 0.75 % (น.น./น.น.) มีความใกล้เคียงกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และที่ระยะเวลาในการดม 60 นาที พบว่าปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของ

เมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 และ 0.75 % (นน./นน.) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

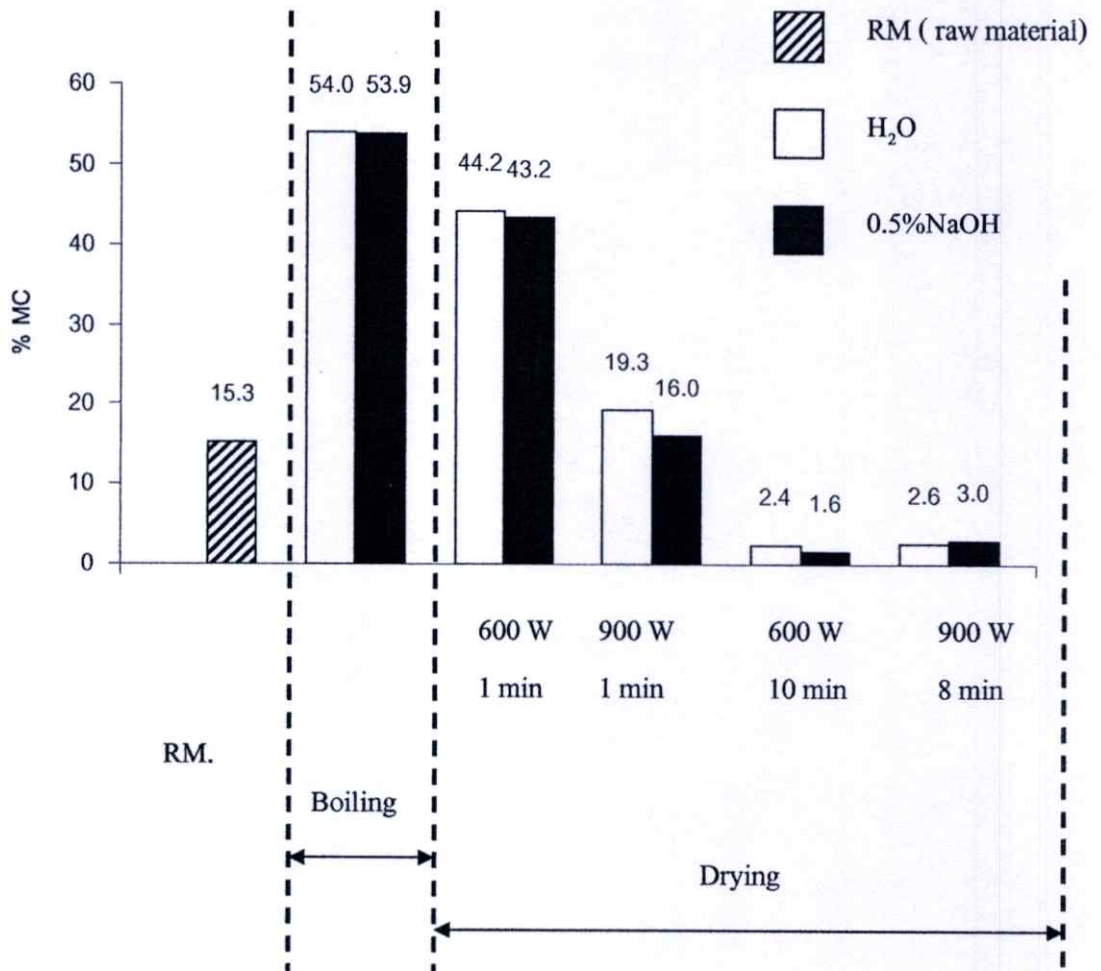
#### 4.2 การทำแห้งเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ

เมื่อสามารถเลือกระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาที่เหมาะสม ต่อการลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามได้แล้ว จึงนำเมล็ดมะขามที่ต้มแล้ว 10 กรัม มาทดลองทำแห้งด้วยตู้อบ ไมโครเวฟโดยใช้กำลังไฟฟ้า 600 และ 900 วัตต์ เพื่อหาระยะเวลาในการทำแห้งที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำที่หายไป (%) ต่อระยะเวลาในการทำแห้ง และปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแล้ว เป็นเกณฑ์



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่หายไป (%) ต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของเมล็ดมะขามที่ผ่านการต้มในน้ำนาน 60 นาทีและต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) นาน 45 นาที อุณหภูมิ 80 °ซ โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 และ 900 วัตต์

จากภาพที่ 4.3 เมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที น้ำหนัก 10 กรัม เมื่อทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 1 นาที จะมี ปริมาณน้ำที่หายไป  $20.49 \pm 0.18$  % โดยวัดอุณหภูมิหลังจากการทำแห้งได้  $97.3 \pm 13.39$  °ซ และเมื่อทำแห้งต่อไปจนถึงนาที่ที่ 8 เมล็ดมะขามมีน้ำหนักคงที่ ซึ่งวัดอุณหภูมิได้  $102.9 \pm 7.04$  °ซ ส่วนเมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาที เมื่อทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 1 นาที มีปริมาณน้ำที่หายไปของเมล็ดมะขาม  $21.49 \pm 0.52$  % วัดอุณหภูมิได้  $90.6 \pm 17.77$  °ซ และน้ำหนักคงที่เมื่อทำแห้งนาน 7 นาที อุณหภูมิ  $111.7 \pm 5.13$  °ซ ขณะที่เมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที แล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 1 นาที ปริมาณน้ำที่หายไปเท่ากับ  $13.26 \pm 0.74$  % อุณหภูมิ  $75.8 \pm 2.25$  °ซ และน้ำหนักคงที่เมื่อทำแห้งนาน 10 นาที อุณหภูมิ  $190.7 \pm 14.74$  °ซ ส่วนเมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาที ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 1 นาที ปริมาณน้ำที่หายไปเท่ากับ  $22.34 \pm 0.51$  % อุณหภูมิ  $66.7 \pm 1.17$  °ซ และน้ำหนักคงที่เมื่อทำแห้งนาน 10 นาที เช่นเดียวกับที่ต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที ด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ โดยมีอุณหภูมิหลังจากการทำแห้ง  $140 \pm 24.64$  °ซ



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงปริมาณความชื้นของเมล็ดมะขามในการทดลอง

เมื่อพิจารณากราฟแสดงปริมาณความชื้นของเมล็ดมะขามในแต่ละช่วงการทดลอง (ภาพที่ 4.4) พบว่า เมล็ดมะขามมีปริมาณความชื้นดั้งเดิม  $15.3 \pm 3.41$  % เมื่อนำเมล็ดมะขามไปต้มในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (น.น./น.น.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาที ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น  $53.9 \pm 1.79$  % จากนั้นเมื่อทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 1 นาที ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ  $16 \pm 0.67$  % และเมื่อทำแห้งจนน้ำหนักคงที่ที่เวลา 8 นาที ปริมาณความชื้นเหลือเพียง  $3 \pm 0.19$  % ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 1 นาที ความชื้นอยู่ที่  $43.2 \pm 1.04$  % และทำแห้งนาน 10 นาที ปริมาณความชื้นเหลือเพียง  $1.6 \pm 0.15$  % สำหรับเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นเป็น  $54 \pm 4.96$  % เมื่อนำไปทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 1 นาที ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ  $19.3 \pm 0.70$  % และเมื่อทำแห้งนาน 8 นาทีซึ่งทำให้น้ำหนักคงที่ ปริมาณความชื้นเหลือเพียง  $2.6 \pm 0.13$  % ขณะที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 1 นาที ปริมาณความชื้น

เหลือ  $44.2 \pm 1.92$  % และเมื่อทำแห้งนาน 10 นาทีซึ่งทำให้น้ำหนักคงที่ ปริมาณความชื้นเท่ากับ  $2.4 \pm 0.72$  % จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาที แล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 10 นาที เหลือความชื้นเพียง  $1.6 \pm 0.15$  % ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในการทดลอง แต่เมื่อพิจารณาจากสภาพของเมล็ดมะขาม (ภาพที่ 4.5) แล้วพบว่า ผิวนอกและเนื้อในเมล็ดมะขามไหม้เกรียมจนไม่สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งได้ ส่วนเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที แล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 10 นาที นั้น มีเนื้อเมล็ดสุกพองและบางเมล็ดก็ไหม้เช่นกัน (ภาพที่ 4.6) ดังนั้นการต้มเมล็ดมะขามในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที แล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นที่สุด และจากการพิจารณาสภาพของเมล็ดมะขาม (ภาพที่ 4.7) พบว่า เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามแห้งและกรอบมากพอ โดยสามารถบีบให้แตกได้ด้วยมือเปล่า ส่วนเนื้อในเมล็ดมะขามก็ยังคงสภาพดี และแห้งมากพอที่จะนำไปใช้ทำแป้งเมล็ดมะขามต่อไป



ภาพที่ 4.5 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 % (นน./นน.) อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 45 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 10 นาที



ภาพที่ 4.6 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำ อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 10 นาที



ภาพที่ 4.7 ภาพเมล็ดมะขามที่ต้มในน้ำ อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาทีแล้วทำแห้งด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 8 นาที

### 4.3 การผลิตแป้งเมล็ดมะขาม

#### ปริมาณผลผลิตของแป้งเมล็ดมะขาม

นำเมล็ดมะขาม 10 กิโลกรัม คั้นในน้ำอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที (อัตราส่วนเมล็ดมะขามต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 10) หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักได้ 24.28 กิโลกรัม โดยความชื้นของเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นจาก  $13.4 \pm 0.12$  % เป็น  $50.1 \pm 3.4$  % นำเมล็ดมะขามไปทำแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที น้ำหนักที่ได้คือ 10.95 กิโลกรัม ความชื้น  $2.6 \pm 0.13$  % นำเมล็ดมะขามที่ผ่านการอบแห้งไปกะเทาะเปลือกออก ได้เนื้อในเมล็ดมะขาม 6 กิโลกรัม จากนั้นนำไปบดเป็นแป้งด้วยเครื่องบดแบบ hammermill และแบบ pinmill ตามลำดับ แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh ได้แป้งเมล็ดมะขามน้ำหนัก 3.2 กิโลกรัม คิดเป็น 32 % โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ผลผลิต (\%)} = (\text{น้ำหนักแป้งเมล็ดมะขาม} / \text{น้ำหนักเมล็ดมะขามทั้งหมด}) \times 100 \quad (4.1)$$

จากนั้นนำแป้งเมล็ดมะขามมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ภาคผนวก ก) พบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีความชื้น  $6.88 \pm 0.71$  % ปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $70.42 \pm 0.79$  % ปริมาณโปรตีน  $15.05 \pm 1.23$  % ปริมาณไขมัน  $5.5 \pm 1.16$  % ปริมาณเถ้า  $2.15 \pm 0.09$  % และปริมาณเส้นใยหยาบ  $1.45 \pm 0.02$  % (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งเมื่อนำองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองนี้ เปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดมะขามของบริษัท Altrafine gums (ประเทศอินเดีย) พบว่ามีความสอดคล้องกัน ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง มีความใกล้เคียงกับคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ในการค้า

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามทางการค้าเปรียบเทียบกับแป้งที่ได้จากการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งเมล็ดมะขามทางการค้า <sup>1</sup> (%)	แป้งเมล็ดมะขามจากการทดลอง*
ความชื้น	(ไม่เกิน) 12	6.88 ± 0.71
ไขมัน	(ไม่เกิน) 6	5.5 ± 1.16
โปรตีน	(ไม่เกิน) 20	15.05 ± 1.23
คาร์โบไฮเดรต (ทั้งหมด)	ไม่น้อยกว่า 59	70.42 ± 0.79
เถ้า	(ไม่เกิน) 3	2.15 ± 0.09
เส้นใยหยาบ	(ไม่เกิน) 2	1.45 ± 0.02

<sup>1</sup> ที่มา : [www.altrafinegums.com/tamarind\\_kernel\\_powder\\_technical\\_specification.html](http://www.altrafinegums.com/tamarind_kernel_powder_technical_specification.html)

\* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

#### 4.4 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งเมล็ดมะขาม

##### 4.4.1 การวัดสี

แป้งเมล็ดมะขาม มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองนวลหรือครีม โดยวัดค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ได้  $85.36 \pm 0.55$  ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ได้  $2.07 \pm 0.05$  และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ได้  $14.73 \pm 0.19$



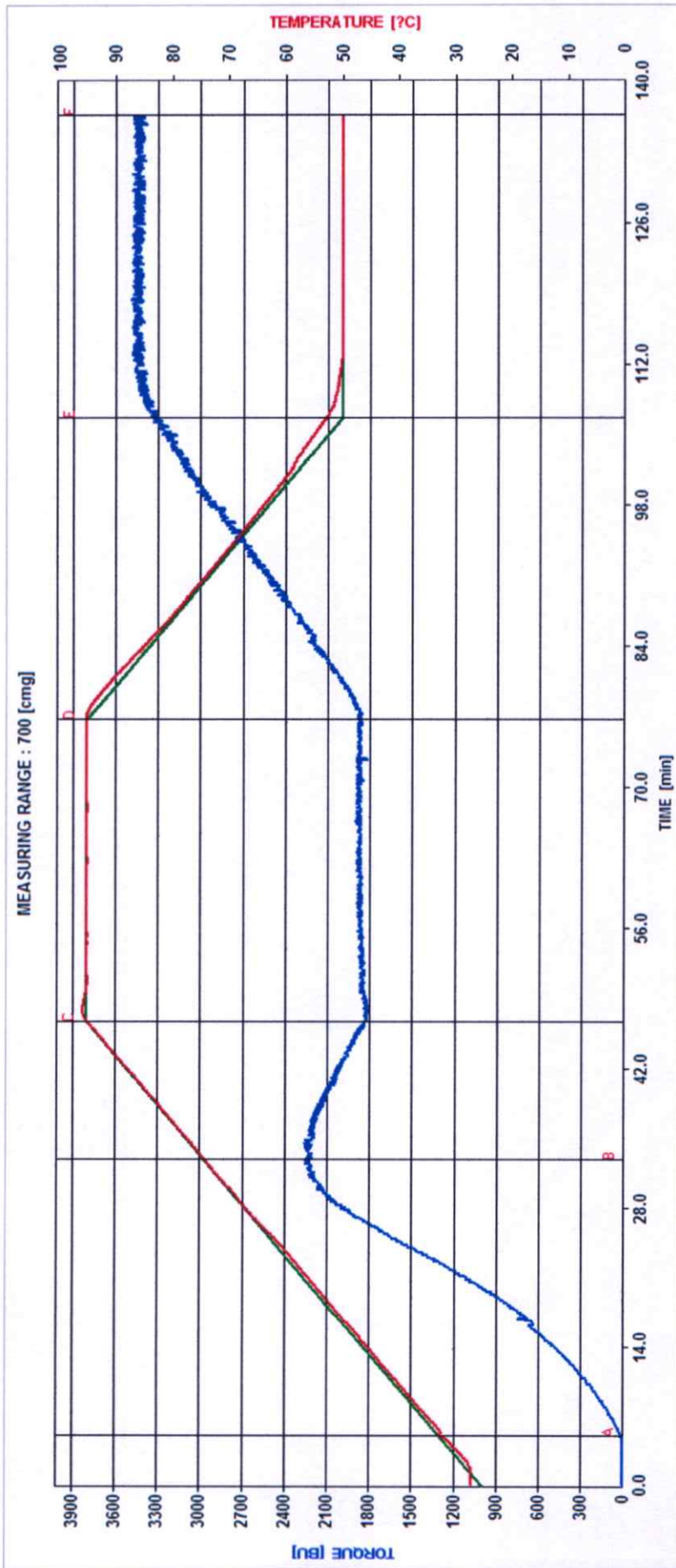
ภาพที่ 4.8 ภาพแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง

##### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสม (Paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Pasting behavior analysis)

การตรวจสอบคุณสมบัติความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่มีความเข้มข้น 6 % ในน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามระหว่างการให้ความร้อนและการทำให้เย็นติดตามผลและแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) แสดงผลดังภาพที่ 4.9 และความหนืดที่จุดต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 พบว่า แป้งเมล็ดมะขามมีอุณหภูมิในการเกิดเจล  $30.6 \pm 1.4$  °ซ มีความหนืดเริ่มต้นที่  $13.7 \pm 5.7$  BU และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ มีความหนืดสูงสุด  $2,272.3 \pm 232.4$  BU ที่อุณหภูมิ  $74.7 \pm 0.7$  °ซ หลังจากจุดที่มีความหนืดสูงสุด ความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากการกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง แรงยึดเหนี่ยวของพันธะภายในจะน้อยลง ทำให้ความหนืดต่ำลง และเมื่อคงอุณหภูมิตั้งไว้ที่ 95 °ซ นาน 30 นาที ความหนืดมีค่า  $1,840 \pm 178.9$  BU โดยในช่วงนี้ความหนืดมีความคงตัวดี แสดงว่ามีความสามารถทนต่อแรงกวนในอุณหภูมิสูงได้ จากนั้นเริ่มทำให้เย็น โดยลดอุณหภูมิตั้ง ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $1,873 \pm 154.8$  BU และเมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 50 °ซ ความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามสูงถึง

3,360.7 ± 187.8 BU จากนั้นคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 °ซ นาน 30 นาที ความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นเป็น 3,446.7 ± 141.1 BU เมื่อพิจารณาค่า Breakdown พบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีค่า 404 ± 77.6 BU โดยค่า Breakdown เกิดจากแรงเฉือนของการกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการแตกออกของเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัว และเมื่อพิจารณาค่า Setback ที่บอกถึงผลต่างของความหนืดที่จุดสิ้นสุดการให้ความเย็นกับจุดเริ่มต้นการให้ความเย็น พบว่า ค่า Setback ของแป้งเมล็ดมะขาม 1,488.3 ± 36.7 BU

ขณะที่ Prabhanjan and Zakiuddin Ali (1995) ใช้สารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 5 % (ไขมัน 0.85 %) มาทำการตรวจสอบกับเครื่อง Brabender viscograph รุ่น VSK โดยใช้ measuring range 350 cmg โดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 50 °ซ ไปจนถึง 95 °ซ นาทีละ 1.5 °ซ แล้วคงอุณหภูมิ 95 °ซ ไว้ 10 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิให้เหลือ 70 °ซ อย่างรวดเร็วแล้วจึงค่อยๆลดอุณหภูมิตั้งแต่ 1.5 °ซ จนถึง 40 °ซ พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีอุณหภูมิเกิดเจลอยู่ที่ 62.5 °ซ และมีความหนืดสูงสุด 270 BU โดยมีความหนืดขณะความร้อนคงที่เท่ากับ 225 BU และความหนืดขณะอุณหภูมิลดลงเหลือ 40 °ซ เท่ากับ 445 BU ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ พบว่าแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองมีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งเมล็ดมะขาม โดยมีอุณหภูมิในการทำแห้งสูงถึง 102.9 ± 7.04 °ซ ซึ่งความร้อนอาจทำให้เม็ดแป้งภายในเมล็ดมะขามบางส่วนเกิดการพรีเจลาไทไนซ์ขึ้น โดยไปทำลายโครงสร้างภายในบางส่วน นอกจากนี้ยังพบว่า แป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองสามารถคงความหนืดไว้ได้ขณะมีการกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง และมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อเกิดรีโทรเกรเดชัน



ภาพที่ 4.9 กราฟการตรวจสอบความหนืดของแป้งเม็ดมะขามที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 ในน้ำ โดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph E

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบนเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brabender Viscoamylograph E) ของแป้งเม็ดมะขาม

Gelatinization temperature (°C)	Peak temperature (°C)	Pasting characteristics (viscosity : BU) <sup>1</sup>							
		Begin of gelatinization (A)	Peak (B)	Start of Holding period (C)	Start of Cooling period (D)	End of Cooling period (E)	End of Final holding period (F)	Breakdown (B - D)	Setback (E - D)
30.6 ± 1.4	74.7 ± 0.7	13.7 ± 5.7	2,272.3 ± 232.4	1,840 ± 178.9	1,873 ± 154.8	3,360.7 ± 187.8	3,446.7 ± 141.1	404 ± 77.6	1,488.3 ± 36.7

หมายเหตุ

1 ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation

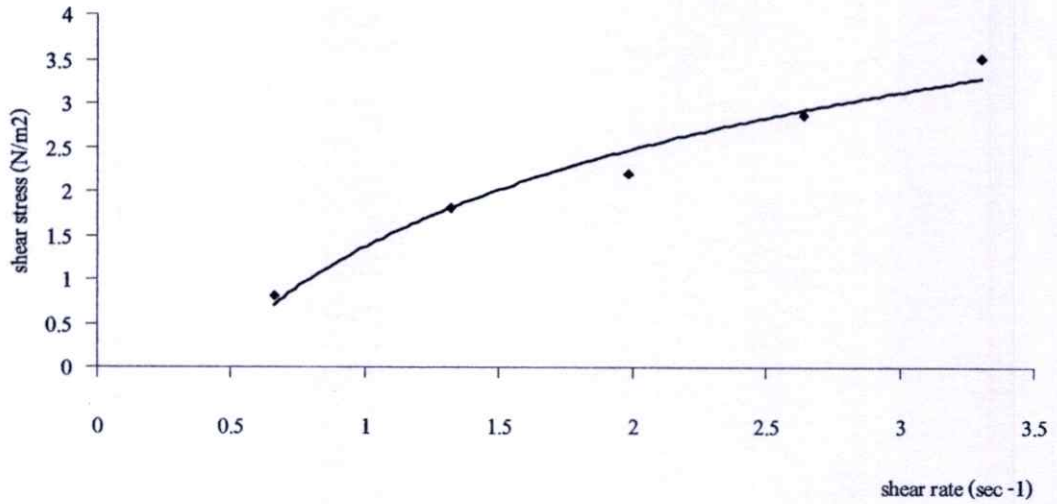
#### 4.4.3 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Rheological properties)

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % ที่อุณหภูมิ 25 °ซ จะมามีค่าแตกต่างกันตามความเร็วรอบของหัววัด โดยค่า Apparent viscosity สูงที่สุดเท่ากับ  $1,336.00 \pm 159.01$  cps เมื่อใช้ความเร็ว 0.5 rpm และค่า Apparent viscosity มีค่าต่ำที่สุดคือ  $1,094.67 \pm 27.47$  cps เมื่อความเร็วเท่ากับ 2.5 rpm ซึ่งเป็นความเร็วสูงที่สุด ที่หัววัดจะสามารถวัดค่าต่างๆ ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามได้ ส่วนค่า shear stress และ shear rate จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของหัววัด โดยค่าต่ำสุดของค่า shear stress เท่ากับ  $0.89 \pm 0.11$  N/m<sup>2</sup> เมื่อใช้ความเร็ว 0.5 rpm และค่าสูงสุดเท่ากับ  $3.61 \pm 0.09$  N/m<sup>2</sup> เมื่อใช้ความเร็ว 2.5 rpm ขณะที่ค่า shear rate ต่ำสุดคือ  $0.66 \text{ sec}^{-1}$  และค่าสูงสุดคือ  $3.30 \text{ sec}^{-1}$  เมื่อหัววัดมีความเร็ว 0.5 และ 2.5 rpm ตามลำดับ และจากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ไม่เป็นเส้นตรงโดยค่า shear stress เพิ่มขึ้นเมื่อค่า shear rate เพิ่มขึ้น ส่วนภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิ 25 °ซ สารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% มีค่า Apparent viscosity ลดลงเมื่อค่า shear rate เพิ่มขึ้น

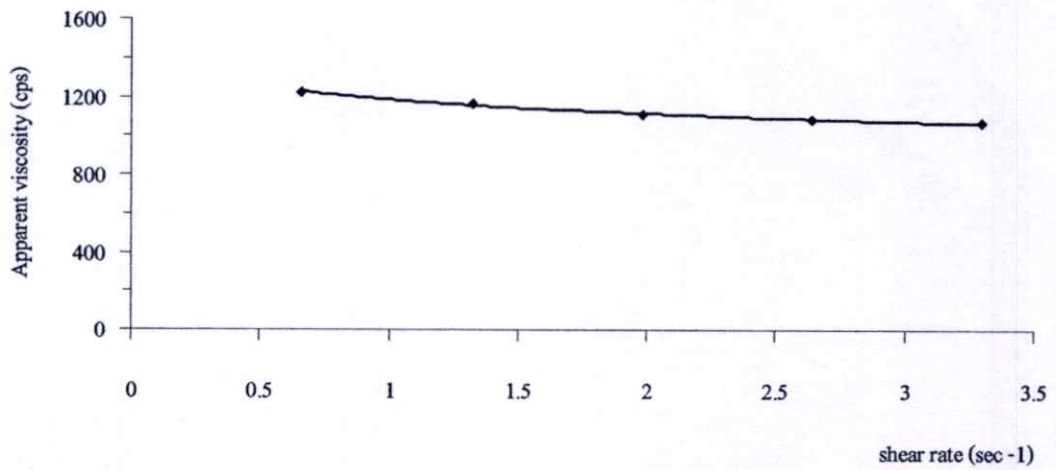
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ

speed (rpm)	Apparent viscosity (cps)	shear stress (N/m <sup>2</sup> )	shear rate (sec <sup>-1</sup> )	torque %
0.50	$1,336.00 \pm 159.01$	$0.89 \pm 0.11$	$0.66 \pm 0.00$	$21.90 \pm 2.61$
1.00	$1,253.00 \pm 99.51$	$1.66 \pm 0.14$	$1.32 \pm 0.00$	$41.53 \pm 3.61$
1.50	$1,116.67 \pm 11.02$	$2.21 \pm 0.02$	$1.98 \pm 0.00$	$56.07 \pm 0.38$
2.00	$1,120.00 \pm 31.80$	$2.95 \pm 0.09$	$2.64 \pm 0.00$	$74.67 \pm 2.00$
2.50	$1,094.67 \pm 27.47$	$3.61 \pm 0.09$	$3.30 \pm 0.00$	$91.23 \pm 2.21$

\*ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ  $\pm$  Standard deviation



ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ



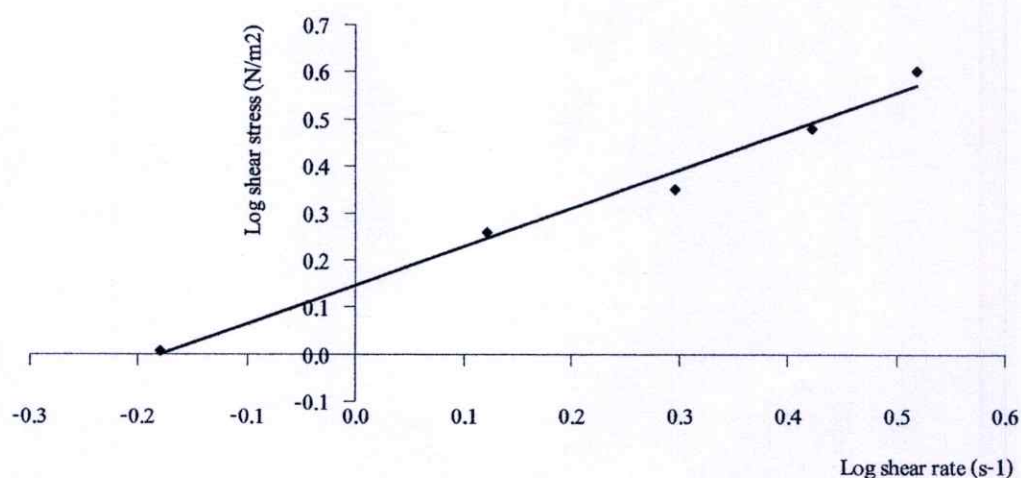
ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Apparent viscosity และ shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

จากภาพที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เมื่อคำนวณหาค่า Slope จากสมการ Power Law Model

$$\text{Log } \sigma = \text{Log } k + n \text{ Log } r \quad (4.2)$$

- เมื่อ
- Log  $\sigma$  คือ ค่าของแกน y
  - Log k คือ ค่าจุดตัดแกน y
  - Log r คือ ค่าของแกน x
  - k คือ ค่า consistency index (เป็นค่า shear stress ที่ shear rate  $1.0 \text{ s}^{-1}$ )
  - n คือ ค่าของ Slope (flow behavior index)
  - $n < 1$  คือ pseudoplastic (shear thinning)
  - $n > 1$  คือ dilatant (shear thickening)
  - $n = 1$  คือ Newtonian

พบว่าค่า Slope หรือค่า n ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ คือ  $0.88 \pm 0.05$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า มีสมบัติการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียน (Non - Newtonian) ชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) เช่นเดียวกับผลการทดลองของอรรณวิทย์ (2540) และ Chaisakdanukull and Sriroth (2005) ส่วนค่า k มีค่า  $1.27 \pm 0.12$



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

#### 4.4.4 ตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ ( Water Absorption Index, Water Solubility Index)

ผลการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งเมล็ดมะขาม โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการละลายเม็ดแป้งด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30 °ซ พบว่า แป้งเมล็ดมะขามมีความสามารถในการดูดซับน้ำ  $308.2 \pm 41.75$  % ส่วนผลการตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งเมล็ดมะขามซึ่งแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30 °ซ  $5.7 \pm 0.56$  %

#### 4.5 การสกัดไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม

##### ปริมาณผลผลิตของไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม

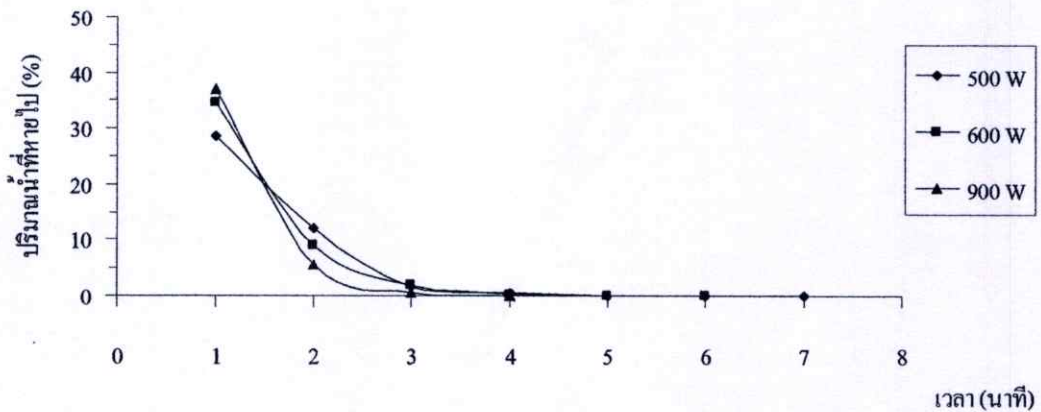
แป้งเมล็ดมะขาม 30 กรัม เมื่อนำมาสกัดจะได้ไซโลกลูแคนประมาณ  $150 \pm 1.1$  กรัม โดยมีความชื้น  $89.6 \pm 0.45$  % หรือคิดเป็นปริมาณผลผลิตได้ 34.6 % ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากแป้งเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นวุ้นสีขาวจับตัวเป็นก้อนสามารถใช้มือเปล่าฉีกให้แยกออกจากกันได้



ภาพที่ 4.13 ภาพไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง

#### 4.6 การทำแห้งไซโลกลูแคนด้วยไมโครเวฟ

จากภาพที่ 4.14 นำไซโลกลูแคน 20 กรัม มาทดลองทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500, 600 และ 900 W นาน 1 นาที พบว่า ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ มีปริมาณน้ำที่หายไป  $28.53 \pm 2.09$  % อุณหภูมิ  $67.4 \pm 3.3$  °ซ และเมื่อทำแห้งนาน 7 นาที น้ำหนักจิ้งคกที่ โดยเฉลี่ยน้ำหนักเพียง  $0.95 \pm 0.07$  กรัม มีอุณหภูมิหลังทำแห้ง  $88.5 \pm 8.6$  °ซ และมีความชื้น  $11.4 \pm 0.14$  % ส่วนไซโลกลูแคนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 W นาน 1 นาที มีปริมาณน้ำที่หายไป  $34.43 \pm 4$  % อุณหภูมิ  $64 \pm 5.9$  °ซ เมื่อทำแห้งนาน 6 นาที น้ำหนักจิ้งคกที่ โดยเฉลี่ย  $1.04 \pm 0.11$  กรัม อุณหภูมิ  $135.2 \pm 14$  °ซ และมีความชื้น  $7.5 \pm 0.08$  % ขณะที่ทำแห้งไซโลกลูแคนด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 1 นาที พบว่ามี ปริมาณน้ำที่หายไป  $37.13 \pm 1.8$  % อุณหภูมิ  $69.5 \pm 4.7$  °ซ และน้ำหนักจิ้งคกที่ เมื่อทำแห้งนาน 4 นาที โดยมีน้ำหนักเหลือ  $0.94 \pm 0.05$  กรัม อุณหภูมิ  $121.7 \pm 8.5$  °ซ มีความชื้น  $7.3 \pm 0.22$  % ดังนั้นการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 4 นาที เพื่อทำแห้งไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม จึงเป็นการทำแห้งที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 และ 600 วัตต์ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นที่สุด และสามารถลดปริมาณน้ำได้มากที่สุด ทำให้ความชื้นสุดท้ายของไซโลกลูแคนเหลือเพียง  $7.3 \pm 0.22$  % โดยคิดปริมาณผลผลิตหลังจากการทำแห้งแล้วได้ 4.7 %



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่หายไป (%) ต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 600 และ 900 วัตต์

## 4.7 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของไซโลกลูแคนจากแป้ง เมล็ดมะขาม

### 4.7.1 การวัดสี

จากตารางที่ 4.5 ไซโลกลูแคนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที มีค่าความสว่าง ( $L^*$ )  $75.36 \pm 1.21$  ค่าสีแดง ( $a^*$ )  $3.83 \pm 0.31$  ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )  $15.84 \pm 0.85$  ขณะที่ไซโลกลูแคนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 6 นาที มีค่าความสว่าง  $75.27 \pm 0.99$  ค่าสีแดง  $4.05 \pm 0.32$  ค่าสีเหลือง  $15.76 \pm 0.76$  ส่วนไซโลกลูแคนที่ทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 4 นาที มีค่าความสว่าง  $72.72 \pm 1.14$  ค่าสีแดง  $4.18 \pm 0.4$  และค่าสีเหลือง  $15.91 \pm 0.72$  จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 4 นาทีมีค่าความสว่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที และ 600 วัตต์นาน 6 นาที ขณะที่ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟกําลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที มีค่าสีแดงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟกําลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 6 นาทีและ 900 วัตต์นาน 4 นาที ส่วนไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที 600 วัตต์นาน 6 นาที และ 900 วัตต์นาน 4 นาที มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้าและเวลาที่แตกต่างกัน

ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำให้แห้งด้วย ไมโครเวฟ	ค่าสี		
	ความสว่าง ( $L^*$ )	ค่าสีแดง ( $a^*$ )	ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )
กําลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที	$75.36^a \pm 1.21$	$3.83^b \pm 0.31$	$15.84^{ns} \pm 0.85$
กําลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 6 นาที	$75.27^a \pm 0.99$	$4.05^a \pm 0.32$	$15.76^{ns} \pm 0.76$
กําลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 4 นาที	$72.72^b \pm 1.14$	$4.18^a \pm 0.4$	$15.91^{ns} \pm 0.72$

\*ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ  $\pm$  Standard deviation

<sup>a-d</sup> ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



ภาพที่ 4.15 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์นาน 7 นาที



ภาพที่ 4.16 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์นาน 6 นาที



ภาพที่ 4.17 ไซโลกลูแคนที่ผ่านการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์นาน 4 นาที

#### 4.7.2 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหลของไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม (Rheological properties)

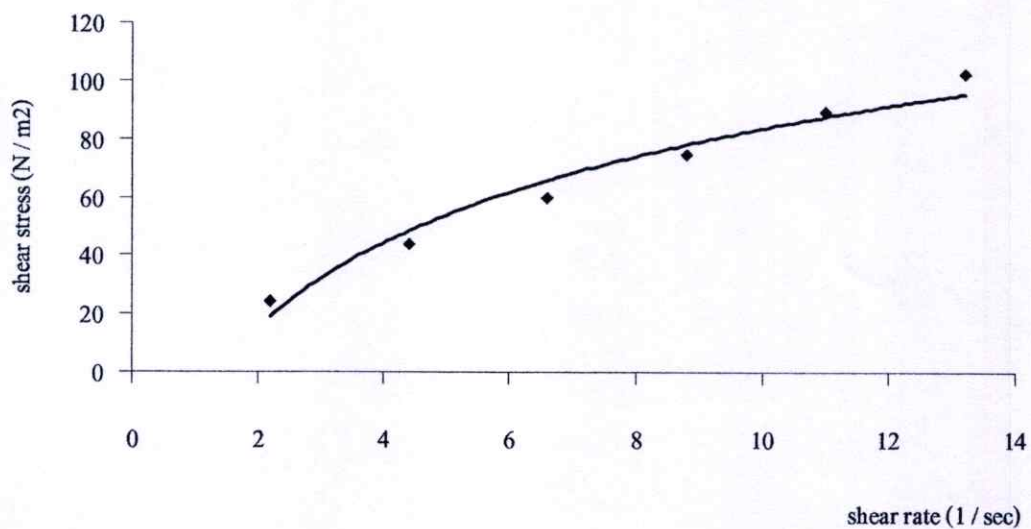
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % ที่อุณหภูมิ 25 °ซ จะมามีค่าแตกต่างกันตามความเร็วรอบของหัววัด โดยค่า Apparent viscosity สูงที่สุดเท่ากับ  $11,517.67 \pm 486.60$  cps เมื่อใช้ความเร็ว 10 rpm และค่า Apparent viscosity มีค่าต่ำที่สุดคือ  $7,831.33 \pm 135.90$  cps เมื่อความเร็วเท่ากับ 60 rpm ซึ่งเป็นความเร็วสูงที่สุด ที่หัววัดจะสามารถวัดค่าต่างๆของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามได้ ส่วนค่า shear stress และ shear rate จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของหัววัด โดยค่าต่ำสุดของค่า shear stress เท่ากับ  $25.43 \pm 1.07$  N/m<sup>2</sup> เมื่อใช้ความเร็ว 10 rpm และค่าสูงสุดเท่ากับ  $103.50 \pm 1.67$  N/m<sup>2</sup> เมื่อใช้ความเร็ว 60 rpm ขณะที่ค่า shear rate ต่ำสุดคือ  $2.20$  sec<sup>-1</sup> และค่าสูงสุดคือ  $13.20$  sec<sup>-1</sup> เมื่อหัววัดมีความเร็ว 10 และ 60 rpm ตามลำดับ จากภาพที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ไม่เป็นเส้นตรง โดยค่า shear stress เพิ่มขึ้นเมื่อค่า shear rate เพิ่มขึ้น และจากภาพที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิ 25 °ซ สารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % มีค่า Apparent viscosity ลดลง เมื่อค่า shear rate เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เมื่อคำนวณหา ค่า Slope จากสมการ Power Law Model ทำให้ทราบว่าค่า Slope หรือค่า n คือ  $0.79 \pm 0.02$  และค่า k คือ  $13.97 \pm 0.74$  ซึ่งค่า n ที่ได้ มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นสารละลายไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม จึงมีคุณสมบัติการไหล เป็นแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian) ชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) ซึ่งตรงกับการทดลองของ Itoh et al. (2008) ที่ศึกษาผลของการผสมกันระหว่างไซโลกลูแคนกับเปลือกดิน เพื่อนำไปใช้เป็นตัวพายาทงช่องปาก ซึ่งได้มีการศึกษาสมบัติการไหลของสารละลายไซโลกลูแคน 1, 1.5 และ 2 % (นน./นน.) ทั้งที่เติมและไม่เติมเปลือกดิน 0.75 % (นน./นน.) ที่อุณหภูมิ 5 °ซ โดยพบว่า สารละลายทั้งหมดมีสมบัติการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian) ชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic)

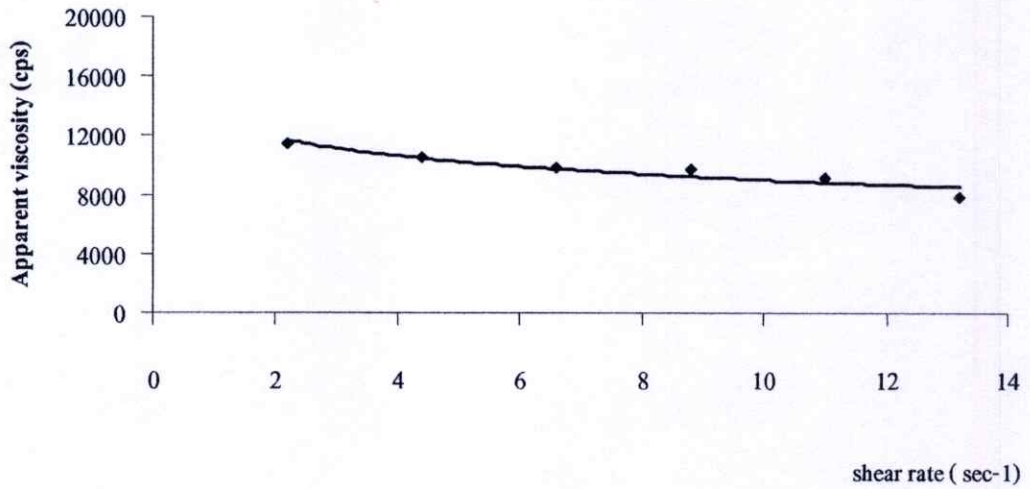
**ตารางที่ 4.6** แสดงค่า Apparent viscosity, shear stress และ shear rate ของสารละลายไซโลกลูแคน จากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ

speed (rpm)	Apparent viscosity (cps)	shear stress (N/m <sup>2</sup> )	shear rate (sec <sup>-1</sup> )	torque (%)
10	11,517.67 ± 486.60	25.43 ± 1.07	2.20 ± 0.00	24.13 ± 0.85
20	10,422.00 ± 4.8.24	46.10 ± 1.91	4.40 ± 0.00	43.17 ± 1.72
30	9,566.00 ± 374.21	63.00 ± 2.60	6.60 ± 0.00	59.90 ± 2.43
40	9,070.00 ± 624.00	79.97 ± 5.75	8.80 ± 0.00	74.93 ± 4.28
50	8,542.00 ± 494.02	94.13 ± 5.72	11.00 ± 0.00	88.80 ± 5.27
60	7,831.33 ± 135.90	103.50 ± 1.67	13.20 ± 0.00	97.50 ± 1.99

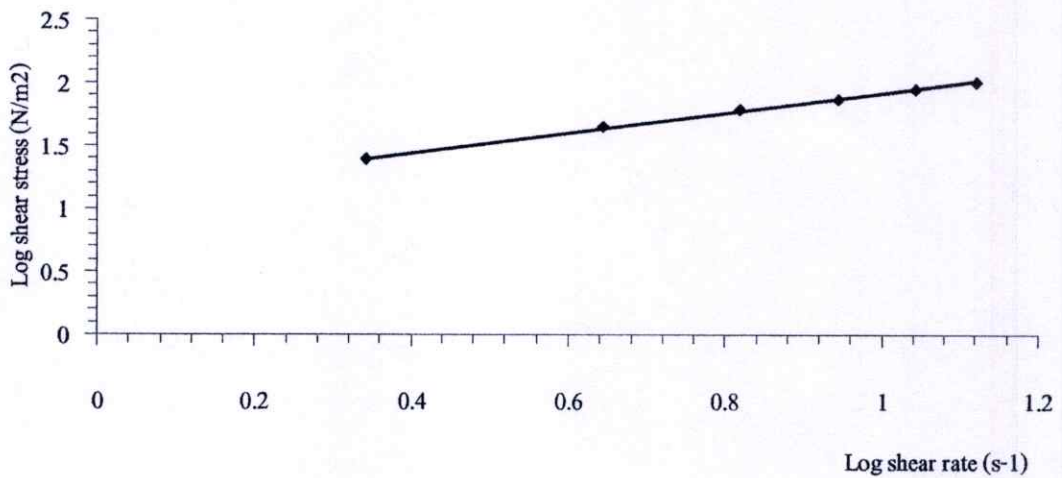
\*ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± Standard deviation



**ภาพที่ 4.18** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของสารละลาย ไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ



ภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Apparent viscosity และ shear rate ของสารละลายไซโตกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ณ อุณหภูมิ 25 °ซ



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log shear stress กับค่า Log shear rate ของสารละลายไซโตกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3% ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. การลอกเปลือกหุ้มเมล็ดและการทำแห้งเมล็ดมะขามที่เหมาะสมคือ การต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟ ความถี่ 2,450 MHz ที่กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที มีความชื้นสุดท้าย  $2.6 \pm 0.13$  % ซึ่งสามารถทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดบางส่วนหลุดออกได้เอง ขณะต้มและหลังต้มสามารถใช้มือเปล่าลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออกได้ และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ระยะเวลาดังกล่าวทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีความกรอบมาก สามารถบีบเปลือกหุ้มเมล็ดให้แตกและหลุดออกจากเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยมือเปล่าได้

2. แป้งเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองนวลหรือครีม มีค่าความสว่าง ( $L^*$ )  $85.36 \pm 0.55$  ค่าสีแดง ( $a^*$ )  $2.07 \pm 0.05$  และค่าสีเหลือง ( $b^*$ )  $14.73 \pm 0.19$  จากการศึกษาความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโครกราฟที่ 700 cmg. ความเข้มข้น 6 % พบว่า มีอุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ที่  $30.6 \pm 1.4$  °ซ มีความหนืดเริ่มต้น  $13.7 \pm 5.7$  BU ความหนืดสูงสุด  $2,272.3 \pm 232.4$  BU ที่อุณหภูมิ  $74.7 \pm 0.7$  °ซ มีความหนืดในช่วงคงอุณหภูมิ 95 °ซ นาน 30 นาที  $1,840 \pm 178.9$  BU ขณะอุณหภูมิเริ่มลดลงความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น  $1,873 \pm 154.8$  BU เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 50 °ซ มีความหนืด  $3,360.7 \pm 187.8$  BU และมีความหนืดขณะคงอุณหภูมิ 50 °ซ นาน 30 นาที  $3,446.7 \pm 141.1$  BU โดยมีค่า Breakdown  $404 \pm 77.6$  BU และมีค่า Setback  $1,488.3 \pm 36.7$  BU เมื่อศึกษาสมบัติการไหลของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 3 % (นน./นน.) ด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ วิสคอสมิเตอร์ ความเร็วรอบของหัววัด 0.5 - 2.5 rpm. อุณหภูมิ 25 °ซ ภายในเวลา 3 นาที ได้ค่า apparent viscosity 1,094.67 - 1,336 cps ค่า shear stress 0.89 - 3.61 N/m<sup>2</sup> และค่า shear rate 0.66 - 3.3 sec<sup>-1</sup> ขณะที่คำนวณค่า  $k$  ได้  $1.27 \pm 0.12$  และค่า  $n$  ได้  $0.88 \pm 0.05$  มีสมบัติการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 30 °ซ มีความสามารถในการดูดซับน้ำ  $308.2 \pm 41.75$  % และความสามารถในการละลายน้ำ  $5.7 \pm 0.56$  %

3. การทำแห้งไซโลกลูแคนจากแป้งเมล็ดมะขาม ด้วยตูบไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 และ 600 วัตต์ คือ 4 นาที โดยไซโลกลูแคนมีความชื้นสุดท้าย  $7.3 \pm 0.22$  % มีค่า  $L^*$   $72.72 \pm 1.14$  ค่า  $a^*$   $4.18 \pm 0.4$  ค่า  $b^*$   $15.91 \pm 0.72$  และเมื่อศึกษาสมบัติการไหล ของสารละลายไซโลกลูแคน 3 % (นน./นน.) ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ความเร็วรอบของหัววัด 10-60 rpm. ภายในเวลา 3 นาที พบว่า มีค่า apparent viscosity 7,831.33 - 11,517.67 cps ค่า shear stress 25.43 - 103.5 N/m<sup>2</sup> และ ค่า shear rate 2.2 - 13.2 sec<sup>-1</sup> มีสมบัติการไหล เป็นแบบนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก เช่นเดียวกัน โดยคำนวณค่า  $k$  ได้  $13.97 \pm 0.74$  และค่า  $n$  ได้  $0.79 \pm 0.02$

## ข้อเสนอแนะ

แป้งเมล็ดมะขามที่จำหน่ายในปัจจุบันมีราคา 1,300 – 1,400 เหรียญสหรัฐ ต่อ 20 ตัน (www.Alibaba.com) ส่วนไซ โลกดูแคนหรือที่เรียกว่า Tamarind gum มีราคาสูงถึงกรัมละ 54 เหรียญสหรัฐ (www. Dextra-labs.co.uk) ดังนั้น หากประเทศไทยสามารถพัฒนากระบวนการผลิตแป้งและไซ โลกดูแคนจากเมล็ดมะขามได้ในระดับอุตสาหกรรม ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดมะขาม ที่ปัจจุบันเป็นเพียงของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะขามได้

เมื่อพิจารณาคูสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดมะขามและไซ โลกดูแคนที่ได้จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเจลลิ่งไนด์ของแป้งเมล็ดมะขามค่อนข้างต่ำ และมีความหนืดค่อนข้างสูง เนื่องจาก ระหว่างการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดความร้อนสูง อาจทำให้เม็ดแป้งบางส่วนเกิดการพรีเจลลิ่งไนด์ ดังนั้นหากมีการนำแป้งไปใช้ ก็ควรใช้ในปริมาณน้อยหรือระดับความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแป้งเมล็ดมะขามนี้เหมาะกับการใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความข้นหนืดสูง โดยสามารถทำหน้าที่เป็น Thickening agent เช่น ในผลิตภัณฑ์พวก ซุป และซอสต่างๆ หรืออาจใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ เช่น เจลลี่ แยม ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่ หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น และอาจนำไซ โลกดูแคนความเข้มข้นต่ำๆ ไปใช้ทดแทนหรือใช้ควบคู่กับกัมชนิดอื่น เช่น เปกติน กวักกัม หรืออัลจินेट ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

## บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 303 น.
- บัญชา หิรัญพิสุทธกุล. 2520. “การใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามในอุตสาหกรรมอาหาร.” กรุงเทพฯ: สัมมนาปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนทร คงวราราม. 2550. มะขามหวาน. [Online]. Available: [http://www.nakornban.com/makamhwan/pan\\_makam.htm](http://www.nakornban.com/makamhwan/pan_makam.htm).
- โสภณ มงคลวัฒน์. 2550. การปลูกมะขามหวาน. ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. [Online]. Available: <http://www.it.mju.ac.th/dbresearch/organize/extention/book-fruit/fruit024.htm>.
- สำนักบริการส่งออก. มกราคม 2546. มะขามหวาน. [Online]. Available: [www.depthai.go.th/go/content/download/Attach/contentId=322&name=//.doc](http://www.depthai.go.th/go/content/download/Attach/contentId=322&name=//.doc) –
- สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป. 2550. **Department of Foreign Trade.** [Online]. Available: [www.dft.moc.go.th/webboard/wb\\_public/webboarduser/Reply.asp/TopicID=2056&FID=1-27k](http://www.dft.moc.go.th/webboard/wb_public/webboarduser/Reply.asp/TopicID=2056&FID=1-27k).
- พวงเพ็ชร นิธยานนท์. 2522. “การผลิตและการใช้ประโยชน์ของกัมจากเมล็ดมะขาม.” วิทยาศาสตร์มหัศจรรย์. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรุณวิทย์ สมศิริ. 2540. “การผลิตโพลีสแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามในระดับอุตสาหกรรมนำร่อง.” เภสัชศาสตร์มหัศจรรย์. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Anonymous. 1968. Flavour Enhancement. Japanese Patent 20, 123/68.
- Antonelli, A., Fabbri, C. and Boselli, E. 1998. “Modifications of Dried Basil (*Ocimum Basilicum*) Leaf Oil by Gamma and Microwave Irradiation.” **Food Chemistry.** 63: 485-489.
- AOAC. 2000. Official Method 925.10. Solids (Total) and Moisture in Flour. Cereal Foods.
- Berteli, M. N. and Marsaioli, A. Jr. 2005. “Evaluation of Short Cut Pasta Dehydration Assisted by Microwaves As Compared to the Conventional Drying Process.” **J. Food Eng.** 68: 175–183.

- Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R.K., Bhattacharya, S. 1991. "Rheological Behaviour of Tamarind (*Tamarindus indica*) Kernel Powder (TKP) Suspension." **J. Food Eng.** 13: 151-158.
- Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R. K. and Bhattacharya, S. 1994a. "Functional and Nutritional Properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) Kernel Protein." **Food Chem.** 49: 1-9.
- Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R. K. and Bhattacharya, S. 1994b. "Characterization of Some Products from Tamarind (*Tamarindus indica*) Kernel." **J. Food Sci Technol.** 31: 372-376.
- Chaisakdanakul, C. and Sriroth, K. 2005. "Characterization of Oligosaccharides from Tamarind Seed Kernel Power." **Proceeding of the 2005 IFT Annual Meeting**, New Orleans, USA.
- Deguchi, Y. and Shiba, T. 1966. Process for Obtaining Tamarind Seed Jellose. U.S. Patent 3,287,350.
- De Lima, D. U., Buckeridge, M. S. 2001. "Interaction between Cellulose and Storage Xyloglucans, the Influence of the Degree of Galactosylation." **Carbohydr Polym.** 46: 157-163.
- Farber, E. 1965. "Jellose from Tamarind Seed." **Dainippon Pharmaceutical Co., Ltd.** Brit. 1,007,303.
- Gidley, M. J., Lillford, P. J., Rowlands, D.W., Lang, P., Dentini, M., Crescenzi, V., Edwards, M., Fanutti, C. and Reid, JSG. 1991. "Structure and Solution Properties of Tamarind Seed Polysaccharide." **Carbohydr Res.** 214: 299-314.
- Gordon, A. L. 1968. Tamarind Seed Polysaccharides Recovery. U. S. Patent 3,399,189.
- Hayashi, A. 1989. **Supermolecular Structure of Cellulose Structural Memory Phenomena and Its Causes**, in J. F. Kenedy, Phillips G. O. and Williams P. A. (eds.), Cellulose, Ellis Horwood, UK. 35-44.
- Ibañez, M. C. and Ferrero, C. 2003. "Extraction and Characterization of the Hydrocolloid from *Prosopis Flexuosa* DC Seeds." **Food Research International** 36: 455-460.
- Itoh, K., Yahaba, M., Takahashi, A., Tsuruya, R., Miyazaki, S., Dairaku, M., Togashi, M., Mikami, R. and Attwood, D. 2008. "In Situ Gelling Xyloglucan/Pectin Formulations for Oral Sustained Drug Delivery." **Int. J. Pharm.** 356: 95-101.

- Johansson, L. and Pichitakul, N. 1967. Industrial Uses of Tamarind. Purification of Tamarind Kernel Powder and Preparation of Tamarind Seed Jellose. ASRCT.
- Kawasaki, N., Ohkura, R., Miyazaki, S., Uno, Y., Sugimoto, S. and Attwood, D. 1999. "Thermally Reversible Xyloglucan Gels As Vehicles for Oral Drug Delivery." **International Journal of Pharmaceutics**. 181: 227-234.
- Marathe, R. M., Annpure, U. S., Singhal, R. S. and Kulkarni, P. R. 2002. "Gelling Behaviour of Polyose from Tamarind Kernel Polysaccharide." **Food Hydrocolloids**. 16: 423-426.
- Miyazaki, S., Suisha, F., Kawasaki, N., Shirakawa, M., Yamatoya, K. and Attwood, D. 1998. "Thermally Reversible Xyloglucan Gels as Vehicles for Rectal Drug Delivery." **J. Control Release**. 56: 75-83.
- Narkrgsa, W. 1996. "Changes in Some Physicochemical Properties of Tapioca and Glutinous Rice Starches after Microwave Heating." **Kasetsart J.** 30(4): 532-538.
- Nishinari, K., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2000. Xyloglucan. In G.O. Phillips, &P. A. Williams (Eds.). **Handbook of hydrocolloids**, Cambridge: Woodhead Publishing Limited. 247-267
- Prabhanjan, H. and Zakiuddin Ali, S. 1995. "Studies on Rheological Properties of Tamarind Kernel Powder, Its Derivatives and Their Blends with Maize Starch." **Carbohydr Polym.** 28: 245-253.
- Rao, P. S. 1959. Tamarind. **Industrial Gum – Polysaccharides and Other Derivatives**. (Whistler R. L. and Miller J. N. eds.) New York. Academic press. 461-504.
- Rao, P. S. 1972. Tamarind. In, Whistler R.L. (Ed.), **Industrial Gums. Polysaccharides and Their Derivative**. 2 nd ed. academic Press. London. 370-411.
- Saura – Valls, M., Faure, R., Ragas, S., Piens, K., Brumer, H., Teeri, T. T., Cottaz, S., Driguez, H. and Planass, A. 2006. "Kinetic Analysis Using Low – Molecular Mass Xyloglucan Oligosaccharides Defines the Catalytic Mechanism of a Populus Xyloglucan Endotransglycosylase." **Biochem J.** 395: 99-106.
- Schoch, T.J. and Maywald, E.C. 1968. "Preparation and Properties of Various Legume Starches." **Cereal Chem.** 45(11): 564-573.
- Sharma, G. P. and Prasad, S. 2004. "Effective Moisture Diffusivity of Garlic Cloves Undergoing Microwave - Convective Drying." **J. of Food Engineering**. 65:609-617.

- Shirakawa, M., Yamatoya, K. and Nishinari, K. 1998. "Tailoring of Xyloglucan Properties Using an Enzyme." **Food Hydrocolloids**. 12: 25–28.
- Silva, F. A. and Marsaioli Jr., A. 2003. "Drying Brazil Nuts Using Hot Air Assisted by Microwaves, Compared to Conventionally Dried Samples." In: J. binner, (Ed.), **Proceedings of the 9<sup>th</sup> international conference on microwave and high frequency heating**, Loughborough, UK. 341–344.
- Silva, F. A., Marsaioli Jr. A., Maximo, G. J., Silva, M.A.A.P. and Gonçalves. 2006. "Microwave Assisted Drying of Macadamia Nuts." **J. Food Eng.** 7(3): 550–558.
- Sousa, W., Pitombo, R. N. M., da Silva, M. A. A. P. and Marsaioli A. Jr. 2001. "Sensory Evaluation of Dried Bananas Obtained from Air Dehydration Assisted by Microwaves." In M. Willert – Porada (Ed.), **Advances in microwave & radio frequency processing – report from the 8<sup>th</sup> international conference on microwave and high frequency heating**. Berlin: Springer – Verlag. : 289-302.
- Strickland, F.M., Darvill, A., Albersheim, P., Eberhard, S., Pauly, M. and Pelley, R.P. 1999. "Photochem." **Photobiol.** 69: 141.
- Strickland, F.M., Sun, Y., Darvill, A., Eberhard, S., Pauly, M. and Albersheim, P. 2001. "Preservation of the Delayed – Type Hypersensitivity Response to Alloantigen by Xyloglucans or Oligogalacturonide Does Not Correlate with the Capacity to Reject Ultraviolet – Induced Shin Tumors in Mice." **J. Invest. Dermatol.** 116 (1): 62–68.
- Whistler, R. L. 1993. Tamarind Gum. In: Whistler, R. L., Jame, N. Bemiller, J.N. (Eds.), **Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivative**. 3 rd ed. Academic Press, London. 247–256.
- www. Alibaba. com. 2009. [Online]. Available :  
[http://alibaba.com/product-tp/101155154/sell\\_Guar\\_Gum\\_Powder\\_Tamarind\\_Kernel.html](http://alibaba.com/product-tp/101155154/sell_Guar_Gum_Powder_Tamarind_Kernel.html).
- www. alrafine gums.com. 2008. [Online]. Available : [http://www.alrafinegums.com/tamarind\\_kernel\\_powder\\_technical\\_specification.html](http://www.alrafinegums.com/tamarind_kernel_powder_technical_specification.html)
- www. balasanka.com. 2005. [Online]. Available :  
<http://images.google.co.th/images/hl=th&q=Tamarind%20Kernel&oe=UTF8&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wi>
- www. dextra-labs.co.uk. 2009. [Online]. Available :  
<http://www.Dextra-labs.co.uk/catalogue/index.htm/name=PSN>

- www.indiamart.com/abcexporter/food-products.html. 2005. Google.com/ [Online]. Available :  
<http://images.google.co.th/images/hl=th&q=Tamarind%20Kernel&oe=UTF-8&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wi>
- Yamanaka, S., Mimira, M., Urakawa, H., Kajiwara, K., Shirakawa, M. and Yamatoya, K. 1999. "Conformation of Tamarind Seed Xyloglucan Oligomers." **Sen'I Gakkaishi**. 55 : 590–596.
- Yaoi, K., Kondo, H., Noro, N., Suzuki, M., Tsuda, S. and Mitsuishi, Y. 2004. "Tandem Repeat of a Seven – Bladed Beta – Propeller Domain in Oligoxyloglucan Reducing – End – Specific Cellobiohydrolase." **Structure**. 12: 1209–1217.
- York, W.S., Van Halbeek, H., Darvill, A. G. and Albersheim, P. 1990. "Structural Analysis of Xyloglucan Oligosaccharides by H - N. M. R. Spectroscopy and Fast – Atom – Bombardment Mass Spectrometry." **Carbohydrate Research**. 200: 9-31.
- Yuguchi, Y., Mimura, M., Urakawa, H., Kajiwara, K., Shirakawa, M., Yamatoya, K. and Kitamura, S. 1997. "Cross Linking Structure Formation of Some Polysaccharides in Aqueous Solution." In: Adishesha, H.T., Sudirjo, S.T., Panggabean, P.R., Arda, J. and Soetrono, C.W. (Eds.). **Proceedings of the International Workshop on Green Polymers – Re – evaluation of Natural Polymers**. Indonesian Polymer Association, Indonesia. 306–329.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S. and Wang, S. 2006. "Trends in Microwave Related Drying of Fruits and Vegetables." **Trends in Food Science & Technology**. 17(10): 524–534.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก

**วิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี**

## 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

### วิธีการวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can อบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝา และทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้น (Dessicator)
5. คำนวณหาปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนแบบ Gerhardt-Kjeldahl-System (AOAC, 2000)

### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32
5. คตะลิสต์ (Catalyst) เตรียมโดยผสม โบแตสเซียมซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 8 ส่วนและ คอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 1 ส่วน
6. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)
  - 6.1 เตรียม Bromocresol green เข้มข้นร้อยละ 0.1 ในแอลกอฮอล์เข้มข้น ร้อยละ 95 และเตรียม Methyl red เข้มข้นร้อยละ 0.1 ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95
  - 6.2 ผสม Bromocresol green 10 มิลลิลิตร กับ Methyl red 2 มิลลิลิตร

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน Digestion vessel
2. เติมคตะลิสต์ 7 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ลูกแก้ว (Glass beads) 3 เม็ด
3. นำ Digestion vessel ตั้งในชุดย่อยโปรตีนและทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้า

4. นำหลอดที่ย่อยเสร็จแล้วใส่ลงในเครื่องกลั่นโปรตีน (Gerhardt) เติมน้ำกลั่น โดยใช้เวลาประมาณ 4 วินาที แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32 โดยใช้เวลาประมาณ 7 วินาที และใช้เวลาในการให้สารทำปฏิกิริยากับตัวอย่างนาน 30 วินาที จากนั้นทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 300 วินาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตรที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2-3 หยดในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายสีฟ้าเปลี่ยนเป็นสีใส ไม่มีสี
6. คำนวณหาปริมาณ โปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{N.HCl \times ml.HCl \times 14 \times 6.25 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

#### สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเทอร์

#### วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมาไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ} \text{C}$  นาน 1-2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น
2. นำบีกเกอร์ไขมันมาอบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ} \text{C}$  นาน 1-2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ชั่งตัวอย่างจากข้อที่ 1 มาประมาณ 3-4 กรัม (โดยให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบล (Thimble)
4. นำทิมเบลที่มีตัวอย่างอยู่ใส่ในบีกเกอร์ไขมัน พร้อมกับทำการลือคด้วยที่ลือคทิมเบล แล้วเติมปีโตรเลียมอีเทอร์ ประมาณ 140 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ไขมัน จากนั้นนำบีกเกอร์ และชุดสกัดไขมันต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ ทำการสกัดโดยใช้อุณหภูมิในการสกัดที่  $150^{\circ} \text{C}$  และใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง
5. แยกบีกเกอร์ และคอนเดนเซอร์ออกจากชุดสกัด ใช้คีมคีบทิมเบลที่ใส่ตัวอย่างออกมา และนำบีกเกอร์ไขมันไประเหยปีโตรเลียมอีเทอร์ โดยอบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ} \text{C}$  เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาร้อยละของไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{[(\text{น้ำหนักบีกเกอร์} + \text{น้ำหนักไขมัน}) - \text{น้ำหนักบีกเกอร์}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

##### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25 % (w / v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25 % (w/v)

##### วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างแห้ง 2 กรัม (Ws) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25 % w/v 200 มิลลิลิตร
3. หยด Antifoam 1 หยดหรือใส่ glass beads 3 ชิ้น
4. วางบีกเกอร์บน Digestion apparatus แล้ววาง Condenser ทรงกลม เปิด Cooling water ให้ไหลผ่าน คัมให้เดือด 30 นาที
5. คนสารละลายในบีกเกอร์เพื่อไม่ให้มีของแข็งติดอยู่ข้างบีกเกอร์ นำมากรองด้วยชุดกรอง
6. ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำคัม 50 -75 มิลลิลิตร โดยให้ผ่าน Bushner funnel ล้างซ้ำอีกครั้งด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตรเพื่อล้างกรดให้หมด (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส) แล้วเทกากใส่บีกเกอร์เดิม
7. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25 % w/v 200 มิลลิลิตร คัมเดือด 30 นาที
8. คนสารละลายในบีกเกอร์เพื่อไม่ให้ของแข็งติดอยู่ข้างบีกเกอร์ นำมากรอง ล้างโดยใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25 % w/v คัม 25 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร
9. นำกระดาษกรอง (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนหลังจากผ่านการอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง Wb) และกากใส่ใน Crucible
10. นำกากและ Crucible อบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน Desicator แล้วชั่งน้ำหนัก (Wc)
11. นำไปเผา 30 นาทีใน Furnace หรือจนกระทั่งกากเป็นสีเทาที่อุณหภูมิ  $600 \pm 15$  °ซ
12. ทำให้เย็นใน Desicator แล้วชั่งน้ำหนัก (Wd)

$$\text{สูตรคำนวณ Crude fiber \%} = [ (Wc - Wb) - (Wd - Wa) \times 100 ] / Ws \text{ (dry basis)}$$

## 5. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Furnace (or Muffle)
2. Crucible
3. Desicator

### วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างแบ่งมา 3 – 5 กรัม ใส่ใน Crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ชั่งน้ำหนัก
2. เผาใน Furnace ที่ 550 ° ซ จนกว่าเถ้าเป็นสีน้ำตาลอ่อนหรือจนได้น้ำหนักแน่นอน  
สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า \%} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเถ้าหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

## 6. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต \%} = 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ เถ้า})$$

ภาคผนวก ข

**วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ**

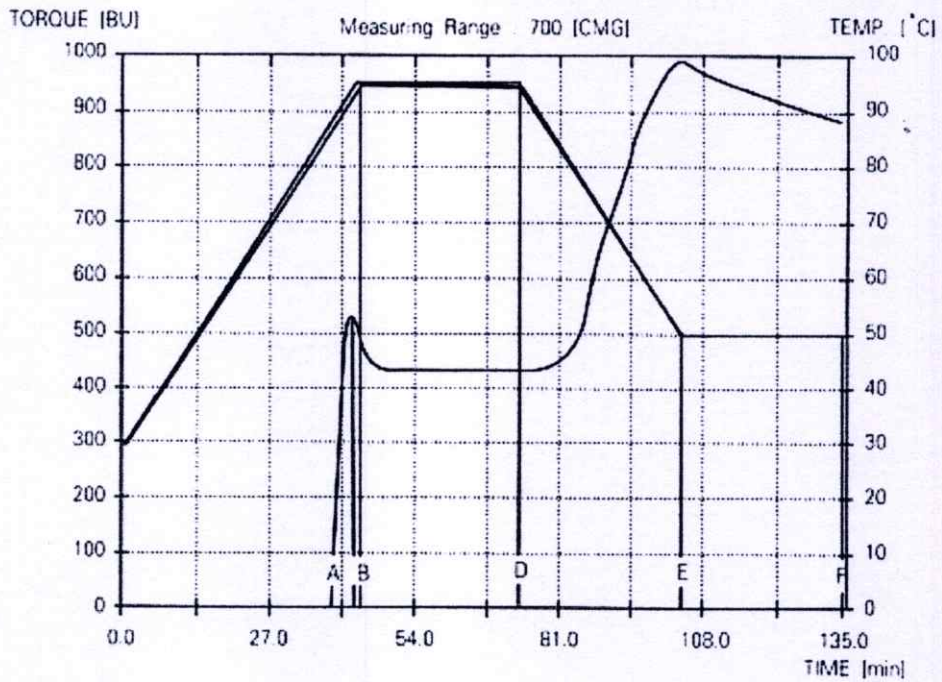
# 1. คุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนและการคนจากเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

## เครื่องมือ

1. เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ
2. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

## วิธีการวิเคราะห์

1. นำแป้งเมล็ดมะขาม 30 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ไปผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ 500 กรัมแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph E
2. กำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ  $25^{\circ}\text{C}$  แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นนาทีละ  $1.5^{\circ}\text{C}$  ไปจนอุณหภูมิสูงถึง  $90^{\circ}\text{C}$  จึงคงที่นาน 30 นาทีจากนั้นให้อุณหภูมิลดลงนาทีละ  $1.5^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $50^{\circ}\text{C}$  จึงคงที่นาน 30 นาที
3. เมื่อเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟวัดเสร็จ จะทราบค่าความหนืดต่างๆในหน่วยของ Brabender Unit (BU) และอุณหภูมิที่เกิดเจลจากกราฟที่ได้ (ภาพที่ ข1) ดังนี้



ภาพที่ ข1 แสดงจุดสำคัญในการวัดโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ  
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ ( 2546 )

จุด A แสดงความหนืดเริ่มเกิดเจลาทีโนส

จุด B แสดงความหนืดสูงสุด ซึ่งเป็นความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อน เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

จุด C แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95°C ซึ่งให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม

จุด D แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95°C ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของเม็ดแป้ง

จุด E แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันเนื่องจากการทำให้เย็น

จุด F แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้ม และทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว

## 2. ตรวจสอบสมบัติการไหล (Rheological properties)

### วิธีการวิเคราะห์

1. ต้มสารละลายแป้งเมล็ดมะขาม 3% (dry basis) ให้อุณหภูมิสูงถึง 70 °ซ
2. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ)
3. แล้วนำไปวัดค่า viscosity, shear stress และ shear rate ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model DV-III โดยใช้ small sample spindle No. 18 ภายใน 3 นาที

## 3. ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการละลาย (Water Absorption Index and Water Solubility Index, WAI and WSI) (Narkrugsa, 1996 ที่ดัดแปลงจาก Schoch, 1968)

### วิธีการวิเคราะห์

1. ผสมตัวอย่างแป้งประมาณ 2.5 กรัม ( $W_0, g$ ) กับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
2. เขย่าในเครื่อง water bath ที่มีอุณหภูมิ 30 °ซ นาน 30 นาที
3. นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1, g$ ) แล้วทำการ centrifuged ที่ความเร็วรอบ 8,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. เทน้ำออกจากส่วนผสมแล้วชั่งน้ำหนักของส่วนผสมที่เหลือ ( $W_2, g$ )

$$\text{สูตรคำนวณหาค่า Water Absorption Index} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_0} \times 100$$

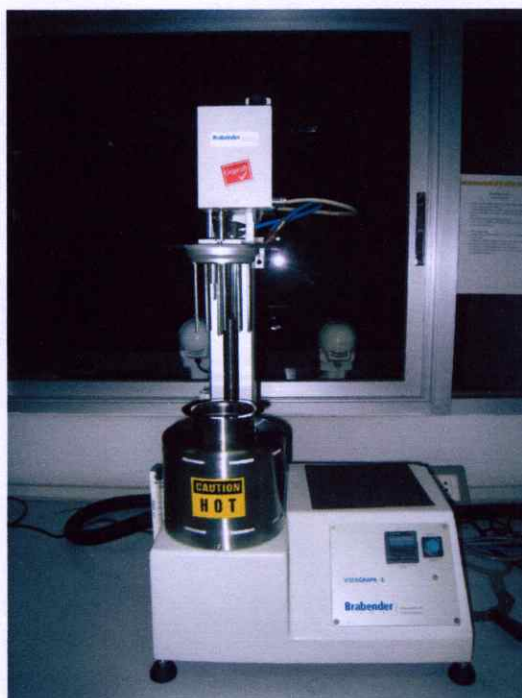
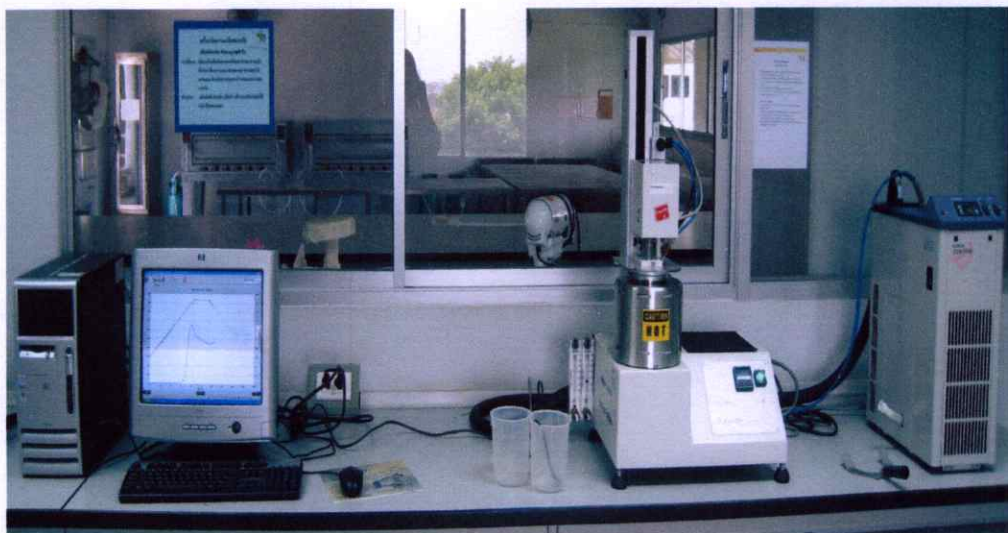
5. นำของผสมที่เหลือ (น้ำที่เทออกมาจากข้อ 4) 10 มิลลิลิตร ไปอบที่อุณหภูมิ 130 °ซ นาน 2 ชั่วโมง

6. นำผลที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการละลาย ซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ โดยมีสูตรดังนี้

$$\% \text{ Water Solubility Index} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่นำไปอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักแป้งเริ่มต้น}}$$

ภาคผนวก ค

**ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี  
กายภาพของแป้งเมล็ดมะขาม**



ภาพที่ ค1 เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะมิโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph E)



ภาคผนวก ง  
ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ

## ค่าการดูดซับน้ำ

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ค่าการดูดซับน้ำที่ 30 นาที	Between Groups	12.903	3	4.301	2475.422	0.000
	Within Groups	$6.95 \times 10^{-3}$	4	$1.738 \times 10^{-3}$		
	Total	12.910	7			
ค่าการดูดซับน้ำที่ 45 นาที	Between Groups	144.623	3	48.208	18998.074	0.000
	Within Groups	$1.015 \times 10^{-2}$	4	$2.537 \times 10^{-3}$		
	Total	144.633	7			
ค่าการดูดซับน้ำที่ 55 นาที	Between Groups	96.543	3	32.181	143027.333	0.000
	Within Groups	$9.00 \times 10^{-4}$	4	$2.250 \times 10^{-4}$		
	Total	96.544	7			
ค่าการดูดซับน้ำที่ 60 นาที	Between Groups	29.833	3	9.944	144.068	0.000
	Within Groups	0.276	4	$6.902 \times 10^{-2}$		
	Total	30.109	7			

Post Hoc Tests  
Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) CONC	(J) CONC	Mean			95% Confidence Interval	
			Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower	Upper
						Bound	Bound
ค่าการดูดซับ น้ำที่ 30 นาที	0.00	0.50	-0.22	$4.168 \times 10^{-2}$	0.06	-0.33	-0.10
		0.75	-0.69	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	-0.81	-0.57
		1.00	-3.18	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	-3.29	-3.06
	0.50	.00	0.22	$4.168 \times 10^{-2}$	0.06	0.10	0.33
		.75	-0.47	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	-0.59	-0.35
		1.00	-2.96	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	-3.07	-2.84
	0.75	.00	0.69	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	0.57	0.81
		.50	0.47	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	0.35	0.59
		1.00	-2.48	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	-2.60	-2.36
	1.00	.00	3.18	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	3.06	3.29
		.50	2.96	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	2.84	3.07
		.75	2.48	$4.168 \times 10^{-2}$	0.00	2.36	2.60
ค่าการดูดซับ น้ำที่ 45 นาที	0.00	.50	-6.87	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-7.00	-6.73
		.75	-8.71	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-8.84	-8.57
		1.00	-11.53	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-11.67	-11.39
	0.50	.00	6.87	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	6.73	7.00
		.75	-1.84	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-1.97	-1.70
		1.00	-4.66	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-4.80	-4.52
	0.75	.00	8.71	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	8.57	8.84
		.50	1.84	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	1.70	1.97
		1.00	-2.82	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	-2.96	-2.68
	1.00	0.00	11.53	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	11.39	11.67
		0.50	4.66	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	4.52	4.80
		0.75	2.82	$5.037 \times 10^{-2}$	0.00	2.68	2.96

ค่าการดูดซับ น้ำที่ 55 นาที	LSD	0.00	0.50	-6.61	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-6.65	-6.57
			0.75	-6.99	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-7.03	-6.94
			1.00	-9.34	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-9.38	-9.30
		0.50	0.00	6.61	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	6.57	6.65
			0.75	-0.375	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-0.41	-0.33
			1.00	-2.73	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-2.77	-2.68
		0.75	0.00	6.99	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	6.94	7.03
			0.50	.037	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	0.33	.4166
			1.00	-2.35	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	-2.39	-2.31
		1.00	0.00	9.34	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	9.30	9.38
			0.50	2.73	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	2.68	2.77
			0.75	2.35	$1.50 \times 10^{-2}$	0.00	2.31	2.39
ค่าการดูดซับ น้ำที่ 60 นาที	LSD	0.00	0.50	-2.56	0.26	0.01	-3.29	-1.83
			0.75	-2.92	0.26	0.00	-3.65	-2.19
			1.00	-5.45	0.26	0.00	-6.17	-4.72
		0.50	0.00	2.56	0.26	0.00	1.83	3.29
			0.75	-0.36	0.26	0.24	-1.08	0.36
			1.00	-2.88	0.26	0.00	-3.61	-2.15
		0.75	0.00	2.92	0.26	0.00	2.19	3.65
			0.50	0.36	0.26	0.24	-0.36	1.08
			1.00	-2.52	0.26	0.00	-3.25	-1.79
		1.00	0.00	5.45	0.26	0.00	4.72	6.17
			0.50	2.88	0.26	0.00	2.15	3.61
			0.75	2.52	0.26	0.00	1.79	3.25

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

## Homogeneous Subsets

## ค่าการดูดซับน้ำที่ 30 นาที

	CONC	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Duncan	0.00	2	0.1750			
	0.50	2		0.3950		
	0.75	2			0.8700	
	1.00	2				3.3550
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

## ค่าการดูดซับน้ำที่ 45 นาที

	CONC	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
	0.00	2	0.1950			
	0.50	2		7.0650		
Duncan	0.75	2			8.9050	
	1.00	2				11.7300
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

## ค่าการดูดซับน้ำที่ 55 นาที

	CONC	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
	0.00	2	2.8900			
	0.50	2		9.5050		
Duncan	0.75	2			9.8800	
	1.00	2				12.2350
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

## ค่าการดูดซับน้ำที่ 60 นาที

	CONC	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	0.00	2	7.4250		
	0.50	2		9.9900	
	0.75	2		10.3500	
	1.00	2			12.8750
	Sig.		1.000	.242	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

## ค่าสีของ xyloglucans

## Oneway

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	45.038	2	22.519	17.97	0.00
	Within Groups	33.829	27	1.253		
	Total	78.867	29			
a	Between Groups	0.636	2	0.318	2.65	0.09
	Within Groups	3.242	27	0.120		
	Total	3.878	29			
b	Between Groups	0.114	2	0.057	0.09	0.91
	Within Groups	16.386	27	0.607		
	Total	16.500	29			

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) name	(J)name	Mean Difference (I-J)	Sig.		Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
L	LSD	500w	600w	0.09	0.50	0.85	-0.93	1.11
		500w	900w	2.64(*)	0.50	0.00	1.61	3.67
		600w	500w	-0.09	0.50	0.85	-1.11	0.93
		600w	900w	2.55(*)	0.50	0.00	1.52	3.58
		900w	500w	-2.64(*)	0.50	0.00	-3.67	-1.61
		900w	600w	-2.55(*)	0.50	0.00	-3.58	-1.52
a	LSD	500w	600w	-0.22	0.15	0.16	-0.53	0.09
		500w	900w	-0.35(*)	0.15	0.03	-0.67	-0.03
		600w	500w	0.2	0.15	0.16	-0.09	0.53
		600w	900w	-0.13	0.15	0.40	-0.45	0.18
		900w	500w	0.35(*)	0.15	0.03	0.03	0.67
		900w	600w	0.13	0.15	0.40	-0.18	0.45
b	LSD	500w	600w	0.08	0.34	0.82	-0.63	0.79
		500w	900w	-0.07	0.34	0.84	-0.78	0.64
		600w	500w	-0.08	0.34	0.82	-0.79	0.63
		600w	900w	-0.15	0.34	0.66	-0.86	0.56
		900w	500w	0.07	0.34	0.84	-0.64	0.78
		900w	600w	0.15	0.34	0.66	-0.56	0.86

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**Homogeneous Subsets****L\* = ค่าความสว่าง**

name	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Duncan(a) 900w	10	72.7160	
600w	10		75.2690
500w	10		75.3590
Sig.		1.000	0.859

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

**a\* = ค่าสีแดง**

name	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Duncan(a) 500w	10	3.8290	
600w	10	4.0500	4.0500
900w	10		4.1820
Sig.		0.165	0.402

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

**b\* = ค่าสีเหลือง**

name	N	Subset for alpha = .05	
		1	
Duncan(a) 600w	10		15.7570
500w	10		15.8370
900w	10		15.9080
Sig.			.687

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวหนึ่งฤทัย รงค์ทอง
วัน เดือน ปีเกิด	29 พฤศจิกายน 2525
ที่อยู่	87 ซอยสุขวงส์ 4 ถนนอัมรินทร์วิถี ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท. บ.) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ปีการศึกษา 2546