

สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

CHARACTERISTICS OF JELLOSE FROM TAMARIND SEED
POWDER TO THE GELLING BEHAVIOUR



T132667



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 132667
วัน,เดือน,ปี..... 1 ต.ค. 2557

b. ๗๒๖๖๖๓๐
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AI-M-053-209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS OF JELLOSE FROM TAMARIND SEED

POWDER TO THE GELLING BEHAVIOUR



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

2014

KMITL-2014-AI-M-053-209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล
CHARACTERISTICS OF JELLOSE FROM TAMARIND SEED POWDER TO
THE GELLING BEHAVIOURS

ชื่อนักศึกษา นางสาวสินีนากู สุขะวัลลือ
รหัสประจำตัว 54680304
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตรการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พอใจ ถามากร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พอใจ ถามากร	
รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 22 พฤษภาคม 2557 เวลา 15.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติของเจล โกลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล
นักศึกษา นางสาวสินีนาง สุชะวลิต
รหัสประจำตัว 54680304
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ. 2557
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พอใจ ถามากร

บทคัดย่อ

ผงเมล็ดมะขามเตรียมจากเมล็ดมะขามที่ปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผงเมล็ดมะขามพบปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ร้อยละ 64.36, 16.07 และร้อยละ 8.69 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด พบว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดไขมัน และผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ 53 และ 51 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับ peak viscosity, breakdown, และ setback พบว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันมีค่าสูงกว่า ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดไขมัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของสารละลายเจล โกลสสกัดที่ 27.5 ± 2.5 และ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5 ที่สารละลายเจล โกลสเข้มข้นร้อยละ 2 มีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียนประเภทซูโดพลาสติก และพบว่า ดัชนีบ่งบอกการไหลเท่ากับ 0.99 และ 0.91 ตามลำดับ และดัชนีความคงตัวหรือความหนืดของเจล โกลสสกัดที่ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 มีค่าสูงสุด เมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจล โกลสถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจล โกลสมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจล โกลสทดแทนเพกตินทั้งหมดทำให้ความแข็งเจลสูงกว่าการใช้เพกตินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้เพกตินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า

คำสำคัญ: ผงเมล็ดมะขาม, เจล โกลส, สมบัติด้านความหนืด, สมบัติทางรีโอ โลยี, เพกติน

Thesis CHARACTERISTICS OF JELLOSE FROM TAMARIND SEED
POWDER TO THE GELLING BEHAVIOURS

Student Miss. Sineenat Sukhawanli

Student ID 54680304

Degree Master of Science

Program Food Science

Year 2014

Thesis Advisor Assist. Prof. Dr. Porjai Thamakorn

ABSTRACT

Tamarind seed powder (TSP) prepared from tamarind seed with grown in phetchabun province, Thailand. The proximate analysis of TSP found carbohydrate , protein, fat and as 64.36, 16.07 and 8.69 % db, respectively. The TSP and defatted TSP were analyzed for pasting properties, result showed pasting temperature to be 53°C and 51°C, respectively. For of viscosity parameter; peak viscosity, breakdown and setback, defatted TSP possessed higher value than non defatted TSP at significantly ($P < 0.05$). Rheological properties of jellose solution extracted at temperature 27.5 ± 2.5 °C and 87.5 ± 2.5 °C at pH = 3, 4 and 5 with 2% concentration exhibited non-newtonian pseudoplastic type with flow behaviour index $n = 0.99$ and $n = 0.91$ respectively. Higher consistency index (K) or viscosity was obtained from jellose extracted at 87.5 ± 2.5 °C at pH = 4. Increasing the Ratio jellose to 60% has result gel strength increased expect concentration at 3.5%. While increase the ratio jellose over 60% has result gel strength decreased at the concentrations 1.0, 1.5, 2.0 to 2.5 and the jellose replace pectin all make gel strength higher than the pectin alone. However, at concentrations 3.0 and 3.5 the pectin all has the result gel strength higher.

Keyword: Tamarind seed powder, Jellose, Pectin, Pasting properties, Rheological properties

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.พอใจ ถามาร ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ช่วยแนะแนวทางในการทำงานวิจัยวิทยานิพนธ์รวมถึง รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และดร.กิตติชัย บรรจง ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณทาง บริษัท ปิ่นเพชร จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อและสนับสนุนวัสดุคิบัติที่ใช้ในการทดลองตลอดระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดระยะเวลาของการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตลอดจนการช่วยเหลือและความปรารถนาดีจากพี่ๆน้องๆและเพื่อนๆในคณะที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญ รวมถึงญาติพี่น้องและเพื่อนๆที่มีให้กันตลอดมา

สินีนาน สุชะวัลติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะขาม.....	3
2.2 เมล็ดมะขาม.....	4
2.2.1 การลอกเปลือกเมล็ดมะขาม.....	4
2.2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม.....	6
2.2.3 คุณสมบัติของผงเมล็ดมะขาม.....	6
2.2.4 ประโยชน์ของผงมะขาม.....	7
2.3 ไซโลกลูแคน.....	7
2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไซโลกลูแคน.....	7
2.3.2 การสกัดไซโลกลูแคน.....	9
2.3.3 คุณสมบัติของไซโลกลูแคน.....	14
2.3.4 ประโยชน์ของไซโลกลูแคน.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 เพกติน.....	14
2.4.1 ประเภทของเพกติน.....	14
2.4.2 โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของเพกติน.....	15
2.4.3 สมบัติของเพกติน.....	17
2.4.4 การเกิดเจลของเพกติน.....	19
2.4.5 การนำเพกตินมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร.....	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	22
3.1 วัตถุประสงค์.....	22
3.2 เครื่องมือ.....	22
3.3 สารเคมี.....	23
3.4 สถานที่ในการดำเนินงาน.....	23
3.5 วิธีการดำเนินการ.....	24
3.5.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม.....	24
3.5.2 ศึกษาสภาวะการสกัดเจล โลส.....	25
3.5.3 ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล.....	27
3.5.4 ศึกษาผลของอัตราส่วนเจล โลสและเพกตินต่อพฤติกรรมการเกิดเจล.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	29
4.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม.....	29
4.2 ศึกษาคุณสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขาม.....	31
4.3 ศึกษาสภาวะการสกัดเจล โลส.....	35
4.4 ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลสต่อ พฤติกรรมการเกิดเจล.....	40
4.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก.....	53
ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ.....	54
ประวัติผู้เขียน.....	60



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขาม.....	6
2.2 สัดส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส จากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ.....	9
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามจากการทดลองและผงเมล็ดมะขามทาง การค้า.....	31
4.2 อุณหภูมิการเกิดเพสต์และสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดไขมัน และผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน.....	33
4.3 ดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมการไหลของของไหล (n) และ ดัชนีความคงตัว (K) ของเจลโลส สกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH 3, 4 และ 5.....	37
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผงเจลโลส.....	40
4.5 ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลส ต่อค่าความแข็งของเจล ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	42
4.6 แสดงค่าทางสถิติของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลส ที่มีผลต่อค่าความแข็งเจล.....	43
4.7 ค่าความแข็งเจลต่อสัดส่วนของเพกตินและเจล โลสที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ pH = 3.....	45
4.8 แสดงค่าทางสถิติสัดส่วนของเพกตินต่อเจล โลสและความเข้มข้นที่มีผล ต่อค่าความแข็งเจล.....	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะดอก (ก) ฝัก (ข) และเมล็ด (ค) ของมะขาม.....	4
2.2 โครงสร้างของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม.....	8
2.3 สูตรโครงสร้างโมโนเมอร์ของเพกติน.....	16
2.4 สูตรเคมีทั่วไปของเพกติน.....	16
2.5 โครงสร้างของ junction zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงที่ได้จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์ เมื่อเกิด hydrophobic interaction ระหว่างคู่ของหมู่เมทิลกับพันธะไฮโดรเจน.....	20
2.6 การจับแคลเซียมในสายโพลีเมอร์ของกาแลกทูโรนิก.....	21
3.1 ขั้นตอนการสกัดเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามสกัดไขมันที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส.....	26
4.1 ผงมะขามจากการคั่วที่ 15 นาที.....	29
4.2 กราฟการตรวจสอบความหนืดของผงมะขามที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) กับน้ำโดยใช้เครื่อง Brabender Viscoamylograph E.....	34
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความตึงเฉือน (shear stress) ของเจลโลสสกัดที่อุณหภูมิห้องและเจลโลสสกัดที่อุณหภูมิสูง ที่ pH 3, 4 และ 5.....	37
4.4 เส้นใยเจลโลสจากการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการทดลอง.....	38
4.5 เส้นใยเจลโลสที่ผ่านการทำให้แห้งที่ได้จากการทดลอง.....	39
4.6 ผงเจลโลสที่ผ่านการบดละเอียดที่ได้จากการทดลอง.....	39
4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่ปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6.....	41
4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่สัดส่วนเพกตินต่อเจลโลส 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100.....	44

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก1 เครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E.....	55
ก2 กราฟ Brabender Viscograph E	56
ก3 กราฟตัวอย่างการวัดค่าความแข็งเจล โดยเครื่อง Texture Analyzer หัววัด P/0.5R.....	57
ก4 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น LVDV – III.....	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเนื้อมะขาม เนื้อในเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์มใช้ผลิตผงเมล็ดมะขาม (tamarind seed powder) ผงเมล็ดมะขามมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 50 – 60 โพลีแซคคาไรด์หลักที่พบคือไซโลกลูแคน มีความสามารถในการเกิดเจลในสารละลายน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ (Marathe *et al.*, 2002) และโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ เช่น เจลแลน แชนแทนกัม คาร์ทีซิน เป็นต้น ไซโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขามจะฟอร์มตัวเป็นเจลเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40-70 (Nishinari *et al.*, 2009) อาจเรียกโพลีแซคคาไรด์ที่มีความสามารถในการเกิดเจลของผงเมล็ดมะขามว่า โพลีโอส (polyose) นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการฟอร์มตัวเป็นฟิล์มได้ดี มีความคงตัวสูง แม้จะอยู่ในช่วง pH ที่กว้าง (Marathe *et al.*, 2002)

ไซโลกลูแคนเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง คงตัวต่อความร้อนได้ดี ทนกรดและแรงเฉือน ในอุตสาหกรรมอาหารไซโลกลูแคนมีการใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นสารให้ความข้นหนืด ให้ความคงตัว ทดแทนไขมัน หรือเป็นแป้งตัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส เส้นก๋วยเตี๋ยว สตูว์ เป็นต้น (Pongsawatmanit *et al.*, 2006) อุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นยังได้อนุญาตให้นำผงเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมอื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เช่น กัวกัมและอัลจินต (Marathe *et al.*, 2002 และ Gidley *et al.*, 1991) ไซโลกลูแคนสามารถที่จะฟอร์มตัวเป็นเจลได้เมื่อมีน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ มีคุณสมบัติและลักษณะคล้ายกับเพกตินจากผลไม้ซึ่งจะฟอร์มตัวเป็นเยลลี่เมื่อมีกรดและน้ำตาล และยังสามารถรวมกับเพกตินเกิดเป็นเจลในผลิตภัณฑ์ เช่น แยม เยลลี่ มามาร์เลต เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่เท่าเทียมกับเพกตินที่น้ำตาลความเข้มข้น 60-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาปริกซ์ นอกเหนือจากการใช้ในแยม เยลลี่ จะใช้ในลูกกวาด น้ำสลัดและมายองเนส ของหวาน แอ์เย็น เช่น ไอศกรีม นมเย็น น้ำแข็งและเซอร์เบต (Marathe *et al.*, 2002)

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าเพกตินอยู่ในราคาที่สูง โดยราคาเพกตินขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบ และเกรดของเพกติน เพกตินเกรดอุตสาหกรรม ราคาประมาณ 3,800 บาท/กิโลกรัม และเกรดห้องปฏิบัติการและใช้ในทางยา ราคาตั้งแต่ 6,000-10,000 บาท/กิโลกรัม ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเพกตินที่มีมูลค่าสูงจากประเทศต่างๆ เช่น อังกฤษ อเมริกา เป็นต้น มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (ชวนิภูธร และคณะ, 2548) จึงได้มีความสนใจที่ศึกษาสมบัติของเจล โลสจากผงเมล็ดมะขาม และพฤติกรรมการเกิดเจล และปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดเจลของผงมะเมล็ดมะขามเพื่อใช้ทดแทนการใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์อาหาร

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดเจล โลสจากผงเมล็ดมะขามเพื่อนำไปศึกษาการเกิดเจลที่ระดับ pH และความเข้มข้นต่างๆ รวมถึงการผสมเจล โลสร่วมกับเพกตินที่อัตราส่วนต่างๆเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงเมล็ดมะขาม
- 1.3.2 ศึกษาการผลิตเจล โลสจากผงเมล็ดมะขามและพฤติกรรมการเกิดเจล
- 1.3.3 ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล
- 1.3.4 ศึกษาสัดส่วนเพกตินต่อเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะขาม

มะขาม (tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. มะขามเป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ผลัดใบเรือนยอดเป็นพุ่มกลมทึบ เปลือกสีน้ำตาลแตกเป็นร่องลึกตามยาวและขวางลำต้น ใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว ปลายคู่เรียงสลับ มีใบย่อย 8-10 คู่ ดอกมีขนาดเล็กสีเหลืองอมส้ม และมีจุดประสีแดง/ม่วงแดงอยู่กลางดอก (WIK, 2008) ออกเป็นช่อแบบช่อกระจายตามปลายกิ่งหรือลำต้น ฝักมีลักษณะโค้งสีน้ำตาล รูปทรงขอบขนาน ดังรูปที่ 2.1 เมื่อฝักแก่เมล็ดจะมีสีดำเป็นมันวาว ใน 1 ฝักจะมีประมาณ 1-10 เมล็ด ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของฝักแต่ละสายพันธุ์ (ชูศักดิ์, 2550) มะขามมีถิ่นกำเนิดเดิมคือเป็นพืชพื้นเมืองในแถบทุ่งหญ้าแห้งแล้งของทวีปแอฟริกา ต่อมากระจายไปในแถบละตินอเมริกา หมู่เกาะแถบแคริบเบียน และทวีปเอเชีย (Gibbon and Pain, 1985) ปัจจุบันมีการปลูกมะขามกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มประเทศในเขตร้อน สำหรับประเทศอินเดียมะขามนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจพื้นบ้านที่สำคัญ เช่นเดียวกับประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทยด้วย

สำหรับประเทศไทยมีการปลูกทั้งมะขามเปรี้ยวและมะขามหวานตามจังหวัดต่างๆ จังหวัดที่มีการปลูกมากได้แก่ เพชรบูรณ์ เลย ลำปาง เชียงใหม่ นครราชสีมา และอุบลราชธานี (ชูศักดิ์, 2550)



รูปที่ 2.1 ลักษณะดอก (ก) ผล (ข) และเมล็ด (ค) ของมะขาม

2.2 เมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขาม (tamarind seed) เมื่อแก่จัดจะแข็ง มีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบเป็นมัน เมล็ดจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมหัวป้าน ภายในมีเนื้อประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 63 โปรตีนร้อยละ 16 และไขมันร้อยละ 5.5 สามารถใช้ประกอบอาหารได้ (โสภณ, 2550) ภายในเมล็ดมะขามมีกรดอะมิโนจำเป็น คือ cysteine และ methionine ทั้งนี้โปรตีนภายในเนื้อในของเมล็ดมะขามยังอุดมไปด้วย lysine, glutamic acid, aspartic acid, glycine และ leucine (Bhattacharya *et al.*, 1994) นอกจากนี้ในส่วนของเนื้อในเมล็ดมะขามยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำวาระคาย อุตสาหกรรมพลาสติก และสกัดสารประเภทกัมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Phillips *et al.*, 1989) สำหรับเมล็ดมะขามยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ยาและเครื่องสำอาง ในส่วนของของเหลวที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม พบว่ามีโปรตีนที่ออกฤทธิ์เป็น antidiabetic และ antihyperlipidemic ซึ่งช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดและปริมาณของคอเลสเตอรอลพร้อมทั้งไตรกลีเซอไรด์ในหนูตัวผู้ที่ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากได้รับสาร streptozocin (STZ) ได้อีกด้วย

2.2.1 การลอกเปลือกเมล็ดมะขาม

จากรายงานของ Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 เป็นการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (non-heating) โดยทำการบดเมล็ดมะขามและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร แยกเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นนำไปแช่น้ำ 2-3 ชั่วโมง แล้วขัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก และนำเมล็ดไปทำแห้งด้วยตู้อบแบบถาด (tray dry)

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วิธีที่ 2 เป็นการลอกเปลือกโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด pin mill และวิธีที่ 3 เป็นการลอกเปลือกโดยการคั่วเมล็ดมะขามที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที นาที แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด pin mill จากวิธีการลอกเปลือกทั้ง 3 วิธี พบว่า ให้ผงมะขามที่มีร้อยละผลผลิตไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณร้อยละ 50 และมีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน และการลอกเปลือกวิธีที่ 1 ผงมะขามที่ได้ยังมีค่าความสว่างและความขาวมากกว่าผงมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกด้วยความร้อน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และจากการศึกษาด้านคุณสมบัติการไหลพบว่า ผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 มีคุณสมบัติการไหลแบบ pseudoplastic และไม่แสดงคุณสมบัติ yield stress ในขณะที่ผงมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ผ่านความร้อนจะมีค่า consistency coefficient (k) สูงกว่าผงมะขามที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า flow behavior index (n) มีค่าต่ำกว่า

พวงเพ็ชร (2522) ทดลองลอกเปลือกเมล็ดมะขาม โดยนำเมล็ดมะขามไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 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 หลังจากนั้นนำไปล้างน้ำแล้วนับจำนวนเมล็ดที่ลอกเปลือกได้ พบว่าเมล็ดมะขามที่แช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง มีร้อยละมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงสุด นอกจากนี้ยังทำการแช่เมล็ดมะขามที่อบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการแช่เมล็ดมะขามซึ่งไม่ผ่านการอบในสารละลายกรดกำมะถันชนิดเข้มข้น นาน 67 ชั่วโมง และการแช่เมล็ดมะขามในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 ร้อยละ นาน 15 นาที พบว่าเมล็ดมะขามที่ผ่านการอบร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วแช่ในสารละลายกรดกำมะถัน 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมง มีร้อยละมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงที่สุด

2.2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (tamarind kernel powder, TKP) ประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์มากกว่าร้อยละ 65 โปรตีนร้อยละโดยประมาณ 15 - 21 ไขมันร้อยละโดยประมาณ 3 - 8 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 กัมจากมะขามเป็นองค์ประกอบหลักของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งเรียกว่า “ไซโลกลูแคน” ตามชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบ (Freitas *et al.*, 2005 ; Ren *et al.*, 2005 ; Patel *et al.*, 2008 and Marcus *et al.*, 2008)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบ	ค่าร้อยละ
โพลีแซคคาไรด์	65.1 - 72.2
โปรตีน	15.0 - 20.9
ไขมัน	3.9 - 8.0
เส้นใย	2.5 - 8.2
ความชื้น	11.4 - 22.7
เถ้าทั้งหมด	2.4 - 4.2

ที่มา : Kumar and Bhattacharya (2008)

2.2.3 คุณสมบัติของผงเมล็ดมะขาม

ผงมะขามสามารถกระจายตัวและรวมตัวกับน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว โดยจะมีความหนืดสูงสุด เมื่อต้มกับน้ำร้อนเป็นเวลา 20 - 30 นาที โดยสารละลายผงเมล็ดมะขามมีสมบัติการไหลแบบนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก และยังเป็นสารขึ้นรูปที่สำคัญของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นสารให้ความข้นหนืดที่ติดมากแก่น้ำยางพารา และเป็นแหล่งของสารที่ทำให้เกิดเจลที่เรียกว่า “เจล โลส” นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้อีกด้วย ผงเมล็ดมะขามนั้นมีโพลีแซคคาไรด์อย่างน้อยร้อยละ 50 - 60 โดยมีความสามารถในการเกิดเจลในสารละลายน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ และสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี มีคุณสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินในผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ผลิตภัณฑ์ แยมผิวส้ม และแยมผลไม้ นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นยังได้อนุญาตให้นำผงเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมอื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เช่น กัวกัม และอัลจิเนต (Marathe *et al.*, 2002)

2.2.4 ประโยชน์ของผงมะขาม

ผงเมล็ดมะขามสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดไซโลกลูแคนหรือเจลาติน ใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตได้ โดยผงเมล็ดมะขามมีราคาถูกและสามารถนำไปทดแทนในอาหารสัตว์ได้และมีโปรตีนที่มีค่า biological value สูง (บัญชา, 2520) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกจากอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมยา เป็นต้น

2.3 ไซโลกลูแคน

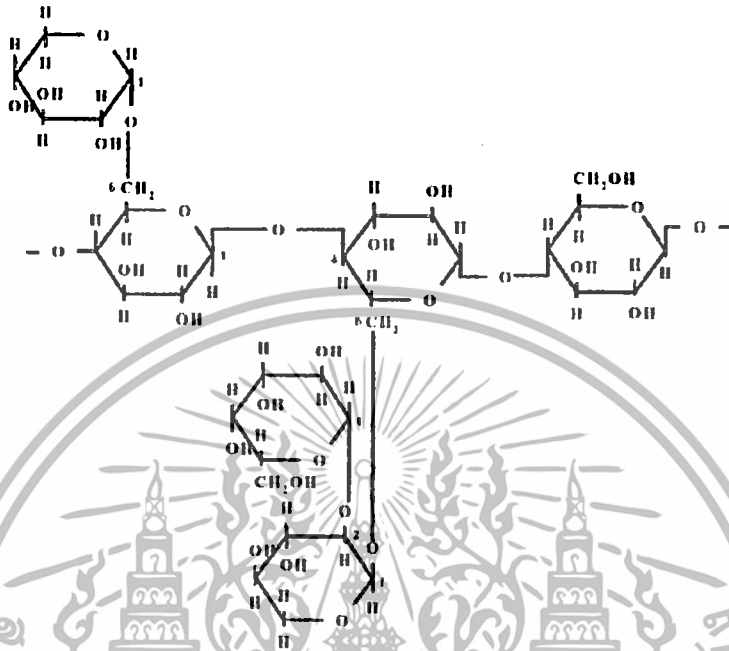
ไซโลกลูแคน (xyloglucan) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ หรือ กัม ที่ได้จากเมล็ดพืชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส เก็บสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) หรือใบเลี้ยง (cotyledons) ส่วนมากพบในพืชตระกูลฝัก เช่น มะขาม และมะค่าโมง (พิมพ์ดี และ อณีตติยา, 2551)

2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์กัมชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์สามชนิด คือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส โดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นสายโซ่หลักแล้วมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส (Yamanaka, 2000) ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามมีโครงสร้างหลักคือ (1-4)- β -D-glucan และมี (1-6)- α -D-xylose เป็นสายกิ่งซึ่งมี (1-2)- β -D-galactoxylose เข้าแทนที่บางส่วน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งหากตัดส่วนที่เป็นกาแลคโตสในไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามออกไปบ้าง (ประมาณร้อยละ 44) โดยเอนไซม์ β -1, 2-galactosidase ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อผสมกับน้ำแล้วให้ความร้อนเกิดเจลแบบ thermally reversible gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-2 น.น./น.น. (Miyazaki *et al.*, 1998)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไซ โกลูกูแคนจากเมล็ดมะขาม
ที่มา : Puja *et al.* (2008)

การใช้เอนไซม์ตัดกาแลคโตสที่มีอยู่ออกไปในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 50 จะแสดงความสามารถในการเป็นเจลของไซ โกลูกูแคนได้ ขณะที่ไซ โกลูกูแคนที่ไม่ผ่านการตัดแปรใดๆจะสามารถละลายในน้ำเย็นและเกิดเป็นเจลได้เมื่ออยู่ในแอลกอฮอล์หรือสารละลายน้ำตาลที่มีปริมาณมากๆ โดยมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้น (Shirakawa *et al.*, 1998 ; Yamanaka *et al.*, 2000 and Nishinari *et al.*, 2000)

ไซ โกลูกูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโลสต่อน้ำตาลกาแลคโตสที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ไซ โกลูกูแคนต่างชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย (Ren *et al.*, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับค่าสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโลสต่อน้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งค่าสัดส่วนที่แปรผันนั้นอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่เพาะปลูก เช่น ธาตุอาหารในดิน ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ เป็นต้น (Dea and Morrison, 1975) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส จากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

ชนิดพืช	กลูโคส	ไซโลส	กาแลคโตส
<i>Azelia africana</i> Se. ¹	2.95	2.22	1.00
<i>Detarium senegalense</i> Gmelin ²	2.89	2.17	1.00
<i>Hymenaea courbaril</i> ³	2.69	2.27	1.00
<i>Tamarind indica</i> L. ¹	3.09	2.33	1.00

ที่มา : ¹Ren et al., (2005), ²Wang et al., (1996), ³Freitas et al., (2005)

2.3.2 การสกัดไซโลกลูแคน

พวงพีช (2522) ได้ทดลองสกัดไซโลกลูแคนออกจากผงเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช ด้วยน้ำร้อน โดยควบคุมสารละลายนี้ให้มีอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเหลือ 55 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์ diastase ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยปริมาตรลงไป ในสารละลาย คงอุณหภูมินี้ไว้ นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการกรองแล้วตกตะกอนไซโลกลูแคน จากสารละลายดังกล่าวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อไซโลกลูแคน ต่อเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 2:3 โดยปริมาตร นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ ไปอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วบดเป็นผง

อรรถวิทย์ (2540) ได้ศึกษาการเตรียมโพลีแซคคาร์ไรด์จากเมล็ดมะขาม โดยนำผงเมล็ดมะขามมาสกัดไขมัน สีและกลิ่นด้วย บีโตรีเนียม ฮีเทอร์ และเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ตามลำดับ แล้วศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด ผลของการตกตะกอนแยกโพลีแซคคาร์ไรด์ วิธีการทำให้แห้งและอุณหภูมิที่ทำการสกัดแอลกอฮอล์ จากการศึกษาคุณสมบัติของโพลีแซคคาร์ไรด์และการไหล (rheology) ของสารสกัด พบว่า การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด สัดส่วนของผงเมล็ดมะขามต่อน้ำ 1:40, 1:60 และ 1:80 (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนได้ จากนั้นทำการแยกโพลีแซคคาร์ไรด์ โดยใช้วิธีต่างๆ คือ (1) ตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 อัตราส่วน 1: 1.5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) กรองเก็บตะกอนด้วยผ้าขาวไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส

(2) ตกตะกอนด้วย เกลือ-เอทิลแอลกอฮอล์ กรองเก็บตะกอนด้วยผ้านำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส (3) เหน้สกัดลงในถาดแล้วนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส และ (4) นำน้ำสกัดไปทำแห้ง จากการศึกษาพบว่า การสกัดตามวิธีที่ (2) ต้องใช้เอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณมาก ในการล้างเอาเกลือที่ใช้ ในการตกตะกอนออกและล้างออกยาก การอบแห้งโดยวิธีที่ (3) พบว่า โพลีแซคคาไรด์ที่ได้เกาะ แน่นติดกับภาชนะแยกออกได้ยาก การตกตะกอนด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ ให้โพลีแซคคาไรด์สีขาว เช่นเดียวกับการ spray dry จากการศึกษาผลของอุณหภูมิของสารสกัดพบว่า การแยกสกัดที่ 3 อุณหภูมิ คือที่ 5 , 25 - 30, 85 - 90 องศาเซลเซียส พบว่าส่วนที่แยกสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส และ 85 - 90 องศาเซลเซียส ได้โพลีแซคคาไรด์ที่มีลักษณะขาวและมีความหนืดดี ในการสกัดระดับ pilot scale ได้ทำการสกัดอย่างต่อเนื่อง 3 ขั้นตอน คือ (1) สกัดด้วยน้ำ 10 เท่าตัว ที่ 5 องศาเซลเซียส (2) สกัดด้วยน้ำ 40 เท่าตัว ที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส (3) สกัดด้วยน้ำ 40 เท่าตัว ที่ 85 - 90 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดที่ 5 องศาเซลเซียส ให้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ แม้ว่าจะเตรียม ในความเข้มข้นที่สูง สำหรับ โพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้ในขั้นตอนที่ (2) และ (3) ได้ปริมาณ โพลีแซคคาไรด์เท่ากับร้อยละ 8 และ 21 ตามลำดับ และยังให้สารสกัดที่มีความหนืดสูงกว่า โดยสารสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 2 หรือ สูงกว่า มีคุณสมบัติการไหลที่เป็นซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับสารสกัดที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส ที่ร้อยละ 1.5 หรือสูงกว่า แต่สารสกัดที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส ยังมีความหนืดน้อยกว่าโพลีแซคคาไรด์ที่กำหนดใน ท้องตลาดที่ความเข้มข้นเท่ากัน

วารี (2543) ศึกษาการผลิตโพลีแซคคาไรด์ จากเมล็ดมะขามโดยใช้สารละลาย เอทิลแอลกอฮอล์และกระบวนการกรองเพื่อกำจัด โปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ทำการแยก โมเลกุลของ โปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามในสารละลาย เอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้คลื่นเหนือเสียง ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแยก โปรตีนออกจากอนุภาค ของโพลีแซคคาไรด์ จากผงเมล็ดมะขามคือ ความเข้มข้นของผงเมล็ดมะขาม เท่ากับ 20 กรัมต่อ ลิตร เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงประมาณ 60 วินาที และความเข้มข้นของสารละลาย เอทิลแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละการกำจัด โปรตีนเท่ากับ 92.203 และ ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 68.512 เมื่อนำภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาค โปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มาใช้ในการกรอง โดยกวาดผิวหน้าของตัวกรองด้วยใบ กวาด พบว่าร้อยละการกำจัด โปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 81.216 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวันเวาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70.995 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณ โพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 93.61 ปริมาณของ โปรตีนและ ปริมาณของ ไขมันร้อยละ 4.884 และ 1.540 ตามลำดับ

Marathe และคณะ (2002) ได้ศึกษาพฤติกรรมในการเกิดเจลของผงเม็ลต์มะขาม โดยได้ทำการแยกโพลีไอโอสจากผงเม็ลต์มะขาม โดยใช้กรดในการย่อยและตกตะกอนผงเม็ลต์มะขามด้วย แอลกอฮอล์และทำแห้งได้เป็นผงโพลีไอโอส แล้วนำผงโพลีไอโอสที่ได้กับเพกตินมาละลายใน สารละลายน้ำตาล 50 องศาบริกซ์ ต้มนาน 20 - 30 นาที ให้ได้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 65 องศา บริกซ์ การใช้เพกตินอย่างเดียวยจะทำให้เจลมีความแข็งดี ในขณะที่เพกติน/โพลีไอโอส 80:20 และ 60:40 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.0 พบว่าเจลจะแข็งดี และในอัตราส่วนเพกติน/โพลีไอโอส 40:60, 20:80 และ 0:100 เจลจะเซตตัวดีที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 หากความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 2 เยลลี่ที่ได้จะแข็งและยากที่จะเคี้ยว ดังนั้น โพลีไอโอสร้อยละ 2 สามารถใช้ร่วมกับเพกตินร้อยละ 1 ในการผลิตเยลลี่ได้เหมาะสม

Ikeda และคณะ (2004) ได้ศึกษาการนำไซโลกลูแคนผสมกับเจลแลน ซึ่งพบว่าเจลแลน และไซโลกลูแคน ไม่ฟอร์มตัวเป็นเจลที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักตามลำดับ ในขณะที่ผสมเจลแลนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และ ไซโลกลูแคนร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักจะฟอร์มตัวที่ single-phase gel แสดงให้เห็นถึงการเสริมกันของเจลแลนและไซโลกลูแคน โดยพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไซโลกลูแคนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเจลแลนในการผสม และ โครงสร้างตาข่ายของเจลแลนเกิดขึ้นได้แม้ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าการใช้เจลแลนเพียงอย่างเดียว

Yuguchi และคณะ (2004) กล่าวว่าไซโลกลูแคนในสารละลายสามารถเกิดเจลได้ หลากหลายเมื่อสภาวะเปลี่ยนแปลง เช่น (1) การใช้เอนไซม์ β -galactosidase (2) การเติม แอลกอฮอล์ต่างๆ (3) การเติมโพลิฟีนอลต่างๆ (4) การเติมสารละลายไอโอดีน (เจลลี่) โดยศึกษา ลักษณะ โครงสร้างของไซโลกลูแคนเจลในตัวทำละลายผสมน้ำ/เอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าความ แข็งแรงของเจลขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์

Chaiakdanukull และ Sriroth (2005) ได้ทำการสกัดไซโลกลูแคน ที่ตัดแปลงจากวิธีของ York *et al.*, 1990 โดยนำผงเนื้อในเม็ลต์มะขามจาก (วิธีที่ 1) ที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความ เองสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อน (วิธีที่ 2) จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และ (วิธีที่ 3) การคั่วเมล็ดมะขามที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จำนวน 30 กรัม ไปสกัดเอาไขมันออกด้วยเฮกเซน จากนั้นนำไปอบเพื่อระเหยเฮกเซนออกแล้วจึงนำไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยทำการคนตลอดเวลาแล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อวินาที นาน 30 นาที ตกตะกอนสารละลายโพลีแซคคาไรด์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นจึงนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อวินาที นาน 30 นาที นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้ง โดยการ freeze dry แล้วนำไปหาค่าน้ำหนักโมเลกุล (Mw) พบว่าไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 1 มีค่า Mw 3.831×10^6 กรัม/โมล ส่วนค่า Mw ของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า 3.44×10^6 และ 3.304×10^6 กรัม/โมล ตามลำดับ

Temsiripong และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของไซโลกลูแคนต่อสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะด้านรีโอโลยีและความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาด้านรีโอโลยีทั้งแบบไดนามิก และแรงเฉือนที่คงที่ และด้านความร้อนของของผสม (dispersions) ระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไซโลกลูแคน ด้วยวิธี DSC เพื่อติดตามผลของไซโลกลูแคนต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช พบว่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังและไซโลกลูแคน (ที่ความเข้มข้นรวมร้อยละ 3.5) หลังการเจลลิตีในเซชันและวัดค่าทันทีพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไซโลกลูแคนเพิ่มขึ้น เจลขอลแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีการเติมไซโลกลูแคนมีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก ที่อัตราเฉือน (shear rate) ต่ำ และมีพฤติกรรมการไหลแบบโคลาเทนต์ เมื่ออัตราเฉือนสูงกว่า 1 s^{-1} ในขณะที่ของผสมแป้งมันสำปะหลัง/ไซโลกลูแคนแสดงลักษณะโคลาเทนต์ นอกจากนี้ mechanical spectra ของเพสต์ (paste) แป้งมันสำปะหลัง/ไซโลกลูแคนจากการทดสอบไดนามิกส์แสดงสมบัติที่เป็นของเหลวมากกว่าเพสต์ ของแป้งมันสำปะหลัง เพียงอย่างเดียว และไซโลกลูแคนยังให้ความคงตัวต่อแรงเฉือนที่ให้แก่เพสต์ของแป้งมันสำปะหลังและทำให้การเพิ่มขึ้นของค่าไดนามิกส์โมดูลัส (dynamic moduli) ในเพสต์ของแป้งมันสำปะหลังที่เก็บ 5 องศาเซลเซียสลดลงในทางตรงกันข้าม เมื่อศึกษาความร้อนด้วย DSC พบว่า ตัวอย่างที่มีไซโลกลูแคนผสมอยู่มีค่าอัตราส่วนรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นเร็วกว่าไซโลกลูแคนอยู่ในเพสต์ต่อเนื่องที่เป็นของเหลวในของผสม ซึ่งให้ความคงตัวต่อแรงทางกลดีขึ้นในระหว่างการเก็บ แต่จะเร่งการจัดเรียงตัวของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ชเนื่องจากไซโลกลูแคนจะจับน้ำได้ดีทำให้ปริมาณน้ำในระบบที่เป็งมันสำปะหลังจะนำไปใช้ได้น้อยลง

Pongsawatmanit และคณะ (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของไซโลกลูแคนบริสุทธิ์จากผงเมล็ดมะขามต่อคุณสมบัติการไหลและการทนความร้อนของแป้งมัน โดยนำแป้งมันผสมกับไซโลกลูแคนในอัตราส่วนแป้งมันต่อไซโลกลูแคน เท่ากับ 10/0, 9/1, 8/2, 7/3, และ 6/4 กับโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไซโลกลูแคนจะทำให้ค่าความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น

จากรายงานของ Nishinari และคณะ (2009) ได้บอกว่าการเกิดเจลสามารถเกิดได้โดยการเปลี่ยนตัวทำละลาย ซึ่งไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม อย่างเดียวไม่สามารถเกิดเจลได้แม้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและทำให้สารละลายหนืดโดยเติมโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ เช่น เจลแลน และเซนแทนกัม หรือการเปลี่ยนปริมาณตัวทำละลายโดยการเติมน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น สารละลายไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม ฟอรัมตัวเป็นเจลเมื่อน้ำตาลร้อยละ 40 -70 นอกจากนี้สารละลายไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม เกิดเจลได้โดยการเติมเอทิลแอลกอฮอล์ เจลนี้ จะมีความยืดหยุ่นสูง และปล่อยน้ำออกมาน้อย เจลที่เกิดจากแอลกอฮอล์จะแข็งและมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเจลที่มีน้ำตาล และยังพบว่าไซโลกลูแคนฟอรัมตัวเป็นเจล โดยการเอากาแลคโตสบางส่วนออกโดยใช้เอนไซม์ β -galactosidase

Simi และ Abraham (2010) ได้สกัดไซโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขาม ตามวิธีการของ Rao และ Srivastava (1973) โดยกำจัดโปรตีนออกจากผงเมล็ดมะขามโดยใช้เอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อ *B.licheniformis* และกำจัดไขมันออกโดย soxhlet extractor ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย และทำแห้งในตู้อบลมร้อน นำผงเมล็ดมะขามมาต้มกับน้ำผสมกรดซิตริก เก็บสารละลายไว้ข้ามคืนและระเหยของเหลวใส่ให้ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาตร สารละลายถูกทำให้เย็นลงและตกตะกอนเอาเส้นใย โดยการเติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (ปริมาตร/ปริมาตร) กรอง และทำให้แห้ง พบว่าไซโลกลูแคนผงที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.7, ไขมันร้อยละ 0.33, เถ้าร้อยละ 0.285 และมีโปรตีนเล็กน้อย

2.3.3 คุณสมบัติของไซโลกูลแคน

ไซโลกูลแคนสามารถทนต่อความร้อน ทนต่อกรดและการทำให้เสียรูปร่างจากแรงกลในระดับปานกลาง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบในอาหารได้ (Nishinari *et al.*, 2000) เมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายที่เหนียวหนืด เป็นเจลภายใต้ pH ที่เป็นกรดและเป็นกลางได้ดี ซึ่งสามารถใช้แทนแป้งและเพกตินได้ (นิภาวดี, 2545) และยังมีคุณสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินในผลไม้ที่ใช้ผลิตเฮลตี้ แยมผิวส้ม และแยมผลไม้ (Marathe *et al.*, 2002)

2.3.4 ประโยชน์ของไซโลกูลแคน

เนื่องจากไซโลกูลแคนแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง ทนต่อความร้อน ทนต่อกรด และแรงเฉือนได้ดี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำไซโลกูลแคนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมัน และในสตาร์ชตัดแปรในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่ สตูว์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ มากมาย ซึ่งเป็นการใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของผลิตภัณฑ์ (rheological and thermal properties) (Nishinari *et al.*, 2000) คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไซโลกูลแคน จะคล้ายคลึงกันกับโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลที่จะนำมาใช้ สำหรับประโยชน์ในส่วนของ การรักษาทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง นั้น จะนำโพลีแซคคาไรด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำมาใช้เพื่อปรับปรุงการแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อ (Strickland *et al.*, 1999)

2.4 เพกติน

เพกติน หมายถึง กรดเพกตินที่ละลายน้ำมีขนาดความยาวและน้ำหนัก โมเลกุลต่างกันตั้งแต่ 30,000 - 300,000 และใน โมเลกุลยังมีปริมาณเอสเทอร์ต่างกัน ซึ่งขึ้นกับแหล่งที่เกิด วิธีการสกัดและการเตรียม เพกตินเป็นคอลลอยด์ที่สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ คือสามารถตกตะกอนและละลายกลับใหม่ได้โดยไม่สูญเสียความสามารถในการเกิดเจล

2.4.1 ประเภทของเพกติน

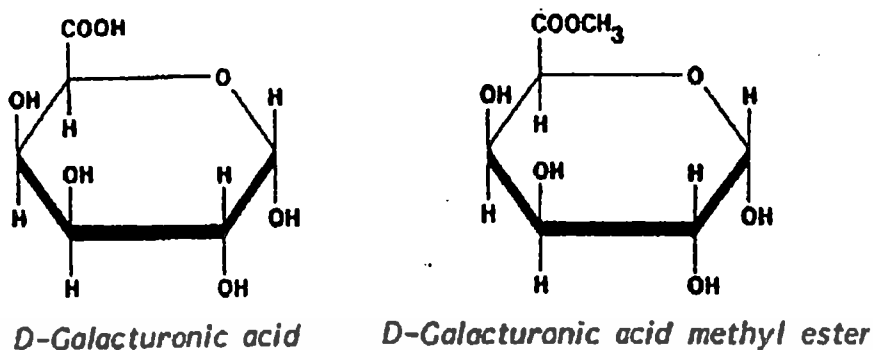
Rolin และ De Vries (1990) ได้กล่าวถึงการแบ่งประเภทของเพกตินไว้ว่า สามารถแบ่งเพกติน ตามปริมาณของการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (methoxyl ester) หรือ degree of esterification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(DE) ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน การแสดงปริมาณของเอสเทอร์นี้ ถูกกำหนดในรูปของปริมาณเมทอกซิล เรียกว่า degree of methoxylation (DM) โดยสามารถแบ่งเพกตินได้ 2 ประเภท คือ 1) เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (low methoxyl, LM) และ 2) เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (high methoxyl, HM) หรืออาจแบ่งชนิดของเพกตินตามการใช้งานออกเป็นผลิตภัณฑ์ที่เซ็ตตัวเร็ว (rapid set) ซึ่งจะมีค่า DM มากกว่าร้อยละ 60 เพกตินที่มีค่า DM ต่ำกว่านี้จะจับตัวเป็นเจลช้า เพกตินชนิดเซ็ตตัวช้าจะมีค่า DM ร้อยละ 50 - 60 และถ้ามีค่า DM ต่ำมากๆ เพกตินนั้นสามารถเกิดเจลกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ได้ที่อุณหภูมิห้อง เพกตินเหล่านี้สามารถทำให้เกิดเจลขึ้นได้โดยใช้น้ำตาลน้อยมากหรือไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลและสามารถเกิดเจลได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างกว้างตั้งแต่ 2.5 - 6.5 แต่จะเกิดได้ดีในช่วง 3.2 - 4.0 เพกตินที่มีค่า DM ต่ำลงจะใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยลงในการทำให้เกิดเจล เพกตินชนิดเซ็ตตัวเร็วจะใช้ในการผลิตแยมและมาร์มาเลดเพื่อให้เกิดเจล ก่อนที่ผลไม้จะแยกชิ้น ส่วนชนิดเซ็ตตัวช้าจะใช้ในการทำเยลลี่ เพื่อให้เทลงพิมพ์ได้ทันทีก่อนที่จะเกิดการแข็งตัว (กิตติพงษ์, 2555)

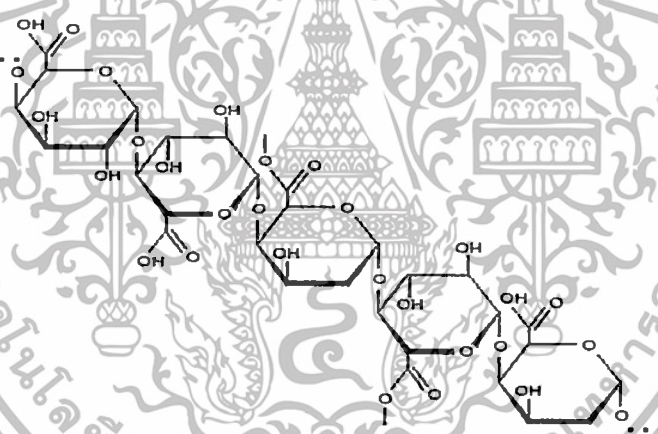
2.4.2 โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของเพกติน

วรรณ (2549) และ วุฒิชัย (2555) กล่าวว่า โมเลกุลเพกตินประกอบขึ้นจากกรดกาแลกทูโรนิค (galacturonic acid) เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ตรงและยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ แอลฟา - (1,4) โดยมีหมู่คาร์บอกซิลบางหมู่ทำพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (methyl group) อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ดังรูปที่ 2.3 และการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่ตรงของกาแล็กตูโรนิค (linear galacturonic) แต่ละสายจะเชื่อมต่อกันด้วยแรมโนส (rhamnose residues) ที่ติดอยู่กับอะราบิโนกาแล็กแทน (arabinogalactan) ซึ่งเป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตอะราบิแนน (arabinan) และกาแล็กแทน (galactan) ซึ่งจะพบส่วนที่เชื่อมต่อกันนี้ ซึ่งเรียกว่าแรมโนกาแล็กตูโรแนน (rhamnose-galacturonan) ในระหว่างกระบวนการสกัดเพกตินเสมอ



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมโนเมอร์ของเพกติน

ที่มา : วุฒิชัย (2551)



รูปที่ 2.4 สูตรเคมีทั่วไปของเพกติน

ที่มา : Simon (2003)

สารเพกติก เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตแบบคอลลอยด์เชิงซ้อน (complex colloidal carbohydrates) พบอยู่ในพืชที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid units) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีบางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรโตเพกติน (protopectin) เป็นสารเพกตินที่ไม่ละลายในน้ำที่พบอยู่ในพืชเมื่อนำมาไฮโดรไลสจะได้เพกตินและกรดเพกติก ซึ่งกรดเพกติก เป็นสารเพกตินที่มีสูตรโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) สามารถเกิดเจลได้เมื่อผสมอยู่กับของผสมที่มีสภาพเป็นกรดและน้ำตาลอยู่ด้วย เพกตินเป็นสารเพกติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดเพกติกซึ่งละลายน้ำได้และส่วนของกรดเพกติกที่มีหมู่คาร์บอกซิลเกิดพันธะเอสเตอร์กับเมทิล ซึ่งสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่อมีน้ำตาลและของผสมที่มีสภาพเป็นกรดเพกติกมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนของพอลิเมอร์ที่เป็นกรดกาแลกทูโรนิกเท่านั้น โดยไม่มีส่วนใดของหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกที่เกิดพันธะเอสเตอร์กับหมู่เมทิล (วุฒิชัย, 2555)

2.4.3 สมบัติของเพกติน

2.4.3.1 การละลายของเพกติน

ปริญษา และมงคล (2543) กล่าวว่า เพกตินสามารถละลายในน้ำเย็นและทำให้เกิดความขุ่นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมสังชนิดอื่นๆ แต่ผงเพกตินจับกันเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้ละลายได้ช้าและยาก จึงควรเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ความชื้นเข้าไป เพกตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพกตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่ละลายเพกตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพกตินกับน้ำตาล โดยอัตราส่วนของเพกติน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วนหรือกับสารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 65 หรือแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพกตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการละลายได้หมด (Rolin and De Vries, 1990) การตรวจดูว่ามีการละลายเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่สามารถทำได้โดยการดูฟิล์มของสารละลายบนไม้พายหรือใบมีดที่สะอาดจะต้องใสไม่มีส่วนคล้ายเม็ดทรายอยู่

2.4.3.2 ความหนืดของเพกติน ความหนืดของเพกตินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.4.3.2.1 ความเข้มข้นของเพกติน มีความเข้มข้นสูงของเพกตินจะเกิดเจลได้ง่ายกว่า แต่ทั้งนี้ต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาด้วย

2.4.3.2 ปริมาณแคลเซียม เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล เนื่องจากเพกตินหมู่เมทอกซิลต่ำมีความไวต่อแคลเซียมสูง

2.4.3.2.3 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง มีอิทธิพลต่อการแข็งตัว แต่ถ้ามีกรดมากเกินไปก็จะไปทำลายความอยู่ตัวของเจลได้ โดยค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดเจล คือ 3.2 เนื่องจากปริมาณกรดในผลไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน ผลไม้ที่มีกรดต่ำอาจจะต้องเติมกรดลงไปกรดที่นิยมใช้เติมผลิตภัณฑ์ คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไปจะลดความเป็นกรดลง โดยการเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซิเตรท

2.4.3.2.4 ชนิดของเพกติน Low methoxyl pectin และ High methoxyl pectin การนำเพกตินไปใช้จะต่างกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเพกตินที่ต้องการนำเพกตินไปใช้ประโยชน์ในด้านใด

2.4.3.2.5 ขนาดของมวลโมเลกุล โดยค่าของความหนืดจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความยาวของโมเลกุล

2.4.3.3 สมบัติการไหล (รีโอโลยี)

สารละลายเพกตินเจือจางจะให้การไหลของของเหลวแบบนิวโตเนียน (Newtonian) และความเข้มข้นของสารละลายเพกตินมากกว่าร้อยละ 1 จะมีคุณสมบัติการไหลเป็นแบบ Pseudoplastic solution (Sriamornsai, 2003) และ (Kawakatsu *et al.*, 2001)

2.4.3.4 ความเป็นกรด - ด่าง

ความหนืดของสารละลายเพกตินจะเพิ่มขึ้นถ้าความเป็นกรดต่างลดลงเป็น 2.5-5.5 สารละลายเพกตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ +1 จะลดความหนืดของสารละลายเพกตินเพราะลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

2.4.3.5 มวลโมเลกุลเพกติน

มวลโมเลกุลเพกตินที่มีมวลโมเลกุลสูงจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วยการหาค่า Intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพกตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพกตินชนิดต่างๆ หรือผสมเพกตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel *et al.*, 1982), (Christensen, 1954) และ (Berth *et al.*, 1982)

2.4.3.6 ปริมาณของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})

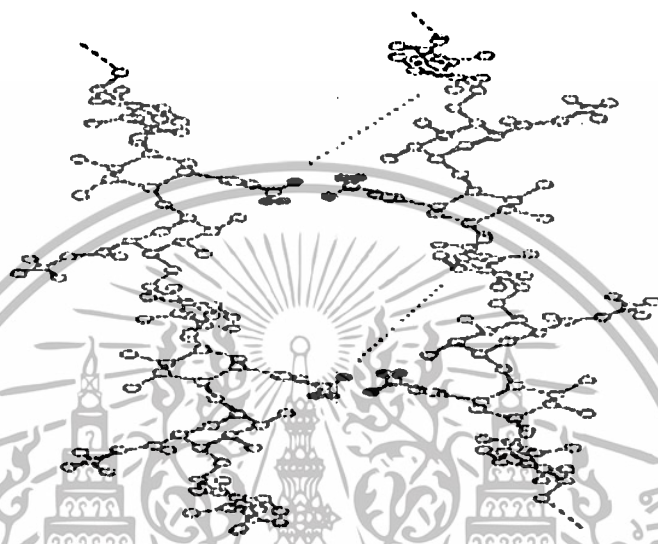
เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล ทำให้สามารถแบ่งเพกตินออกตามความไวต่อแคลเซียมไอออน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำและกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพกตินก็จะสูงขึ้นด้วย

2.4.4 การเกิดเจลของเพกติน

สมบัติในการเกิดเจลของเพกตินขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ความยาวของสายโพลีเมอร์ และระดับการเกิดเมทอกซิล (degree of methoxylation, DM) เกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินจะเป็นเกลียว (coil) มากกว่าสายตรง และมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าพวกโพลีเมอร์สายยาว เช่น เซลลูโลส สาเหตุเนื่องจากลักษณะและรูปร่างของสาย คือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทิล (-CH₃) และประจุที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิล (นิริยา รัตน์าปนนท์, 2539)

การเกิดเจลของเพกตินจะมีสารช่วยดูดน้ำออกจากโมเลกุล (dehydration agent) เช่น น้ำตาลจะช่วยลดการละลายของเพกตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม การเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงจะเกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของคาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของหมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพกตินโมเลกุลเข้ามาใกล้กัน และเกาะกันเป็นตาข่าย (junction zone) ดังรูปที่ 2.5 เพกตินที่สามารถเกิดเจลดีที่สุด คือ เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 หรือมีระดับการเกิดเมทอกซิล ประมาณร้อยละ 50 (นัยทัศน์, 2521)



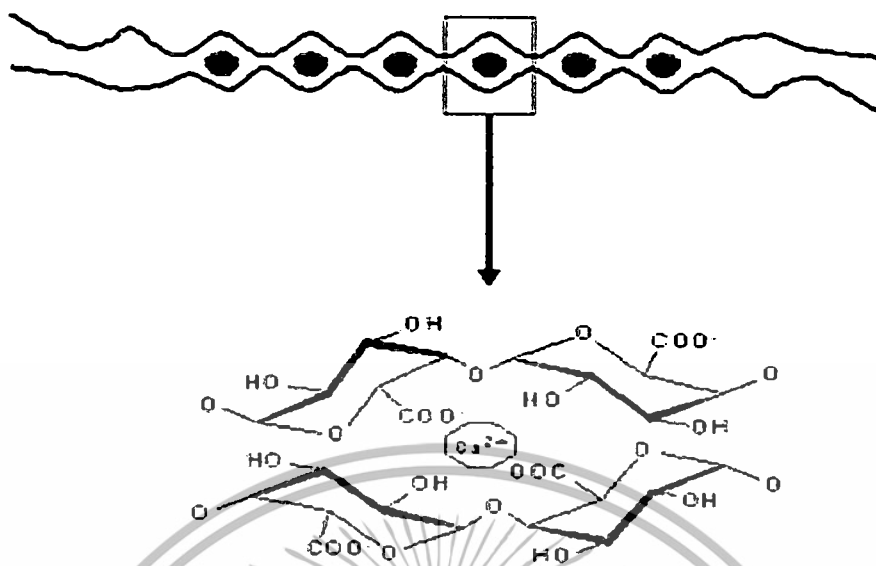
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ junction zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงที่ได้จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์ เมื่อเกิด hydrophobic interaction ระหว่างคู่ของหมู่เมทิล (จุดทึบ) กับพันธะไฮโดรเจน (เส้นประ)

ที่มา : Thakur *et al.* (1997)

การเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำ จะไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด แต่จะเกิดเจลร่วมกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) กลไกการเกิดเจลจะเกิดการ cross link ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่กับแคลเซียมไอออน อธิบาย โดยใช้ egg box model ดังรูปที่ 2.6 การเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำเกิดในช่วงความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากต้องทำลายหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COO}^-$) เพื่อมาเชื่อมต่อกับพันธะของเกลือแคลเซียม โดยขนาดของ junction zone จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมที่ถูกเติมลงไป ดังนั้นการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำจึงมีประโยชน์ ใช้สำหรับทำแยมหรือเยลลี่ที่ให้พลังงานหรือแคลอรีต่ำ และเตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ควบคุมอัตราการไฮโดรไลซ์หมู่เมทอกซิลออกจากโมเลกุลของเพกตินด้วยกรดต่างหรือเอนไซม์เพกตินเอสเทอร์

เลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การจับแคลเซียมในสายโพลิเมอร์ของกาแลกทูโรนิก

ที่มา : Axelos and Thibault (1991)

2.4.5 การนำเพคตินมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

เพคตินมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากความสามารถของสารละลายเพคตินที่ต่างจากสารอื่น คือ สามารถสร้างเจลได้ในภาวะที่เหมาะสม การใช้ประโยชน์ของเพคตินแบ่งออกตามชนิดของเพคติน ดังนี้

2.4.5.1 เพคตินชนิดเมทอกซิลสูง ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมเยลลี่และเยลลี่ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะสัมผัสที่ดีในเยลลี่ โดยเมื่อเคลือบย้ายแล้วจะไม่เปลี่ยนรูปร่างให้รสชาติดี การหดตัวของวุ้นต่ำ ความเข้มข้นของเพคตินที่ใช้ในการทำเยลลี่อยู่ในช่วงร้อยละ 1.0 - 4.0 (Cpkico, 2005)

2.4.5.2 เพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ เพคตินชนิดนี้ไม่ต้องการน้ำตาลหรือกรดในการเกิดเจล ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำตาลต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 เมล็ดมะขามพันธุ์ศรีชมพู่ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ปิ่นเพชร จำกัด จังหวัด เพชรบูรณ์ โดยนำเมล็ดมะขามมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดที่มีรูพรุนและดิบแบนออก จากนั้นนำเมล็ดไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง เพื่อเป็นการปรับ ความชื้นของเมล็ดมะขามให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 - 15 ก่อนนำไปทดลอง

3.1.2 เพกตินชนิดเมทอกซิลเพกตินสูง

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบ โมทีนไฟฟ้า มอเตอร์ 2 แรงม้า

3.2.2 เครื่องบดแบบหยาบ (Hammer mill) (Philip-Cucina, Indonesia)

3.2.3 เครื่องบดแบบเข็ม (Pin mill) (Retsh ZM 1000, Germany)

3.2.4 ตู้อบแบบถาด (Tray dryer) (Progress, Thailand)

3.2.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert UM 400, Germany)

3.2.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) (Beckman Coulter, USA)

3.2.7 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Pioneer, USA)

3.2.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Denver, Germany)

3.2.9 เครื่อง Brabender viscograph E

3.2.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) (Memmert-WNB 7-45, Germany)

3.2.11 เตาเผา (Muffle Furnance) (Nabertherm LT40, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.12 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) (Weilheim, Germany)
- 3.2.13 เครื่องกวนใบพัดติดมอเตอร์ควบคุมความเร็ว
- 3.2.14 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) DV- III
- 3.2.15 โถสำหรับดูดความชื้น (Dessicator)
- 3.2.16 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus
- 3.2.17 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3.2.18 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 3.2.19 เครื่องระเหยสุญญากาศ (Buchi, Switzerland)

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 เฮกเซน (Hexane)
- 3.3.2 กรดซิตริก (Citric acid)
- 3.3.3 แอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (Alcohol 95)
- 3.3.4 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)
- 3.3.5 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)
- 3.3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
- 3.3.7 กรดบอริก (Boric acid)
- 3.3.8 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate)
- 3.3.9 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
- 3.3.10 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)
- 3.3.11 อะซิโตน (Acetone)

3.4 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการดำเนินการ

3.5.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม

เตรียมผงเมล็ดมะขาม โดยตัดแปลงจากวิธีของ อรรถวิทย์ (2540) นำเมล็ดมะขามมาคั่วด้วยไฟอ่อนๆ นาน 15 นาที รอให้เย็นแล้วนำมากะเทาะเอาเปลือกออก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก แยกเอาเฉพาะเนื้อในของเมล็ดมาแช่น้ำในอัตราส่วนเมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 ลิตร นานประมาณ 6 ชั่วโมง ล้างให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดมะขามมาบดให้มีขนาดเล็กลง นำเข้าสู่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และนำเข้าเครื่องบดละเอียด โดยผ่านรูตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้ผงเมล็ดมะขาม เก็บในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้งาน

นำผงเมล็ดมะขามบางส่วนมากำจัดไขมันในอัตราส่วนผงเมล็ดมะขาม 1 กรัม ต่อสารละลายเฮกเซน 3 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแยกแยก 15 นาที แล้วแยกสารละลายกับผงเมล็ดมะขามระเหยเฮกเซนออกโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

3.5.1.1 ตรวจสอบองค์ประกอบและปริมาณเส้นใยอาหาร

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม โดยนำผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน วิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ เถ้า (AOAC, 1995) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดตามวิธี AOAC Method 985.29 (2005) โดยใช้ชุดทดสอบ Dietary Fiber Assay Kit (Megazyme, Ireland) และ คาร์โบไฮเดรตโดยคำนวณความแตกต่าง

3.5.1.2 คุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลายผงเมล็ดมะขาม (Pasting properties) โดยตัดแปลงจากวิธีของ Adebowale และ Lawal (2002)

ตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดของผงเมล็ดมะขามทั้งที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันและกำจัดไขมัน โดยเตรียมสารละลายน้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E กำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 30 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 15 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมินี้ นาน 15 นาที บันทึกค่า Pasting temperature, Peak viscosity, Breakdown (Peak viscosity - Start of cooling period), Consistency (End of cooling period - Start of cooling period) และ Setback (End of final holding period - Peak viscosity)

3.5.2 ศึกษาสภาวะการสกัดเจลโลส

นำผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออก มาสกัดเจล โลส โดยใช้ 2 สภาวะในการสกัด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

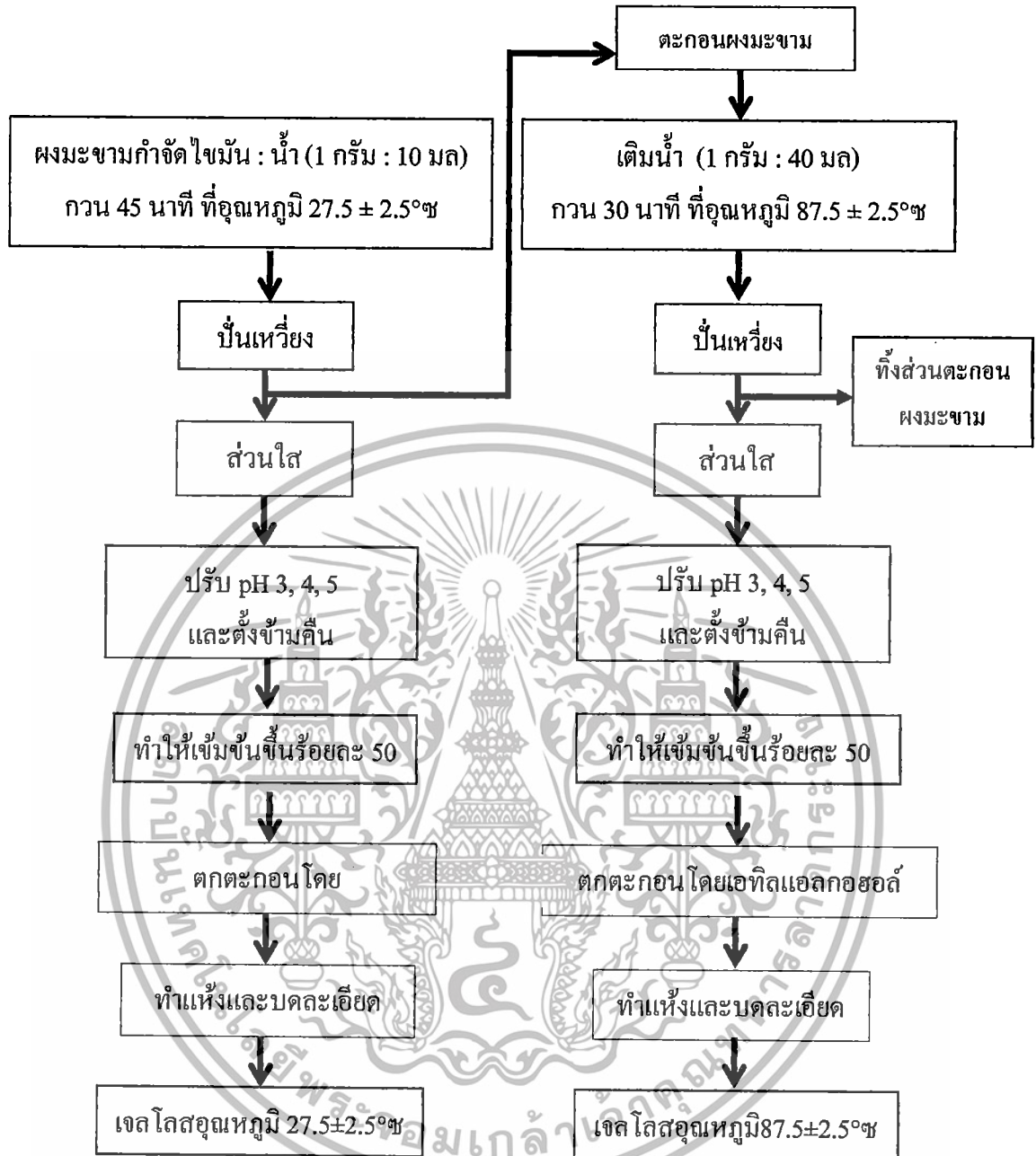
3.5.2.1 สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส

การสกัดใช้ในอัตราส่วนผงเมล็ดมะขาม 1 กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร กวนโดยใช้ magnetic bar นาน 45 นาที ที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 6,000 รอบ นาน 10 นาที (แยกส่วนของตะกอนผงเมล็ดมะขามออก) นำสารละลายส่วนใสมาปรับ pH = 4 ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วระเหยให้ปริมาตรเหลือครึ่งหนึ่ง ตกตะกอนเส้นใยเจลโลสโดยใช้ เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 1 ต่อ 1.5 ส่วน แล้วใช้ผ้าขาวบางกรองเส้นใยเจล โลส และทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส และนำเข้าเครื่องบดจะได้ผงเจล โลส ทำการทดลองปรับ pH ที่ 3, 4 และ 5 และดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

3.5.2.2 สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส

นำส่วนของตะกอนผงเมล็ดมะขามจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง ในข้อ 3.5.2.1 มาเติมน้ำ 40 เท่า กวนนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และสกัดเช่นเดียวกันกับข้อ 3.5.2.1

ขั้นตอนการสกัดเจล โลสจากผงเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงแสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดเจล โกลสจากผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส

3.5.2.3 ตรวจสอบสมบัติของสารสกัดเจลโลส

3.5.2.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเจลโลส

นำผงเจลโลสมาวิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า (AOAC, 1995)

3.5.4.3.2 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหล (Rheological properties) (โดยดัดแปลงจากวิธีของ Pongsawatmanit *et al.*, 2006)

ใช้เจลโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 วัดคุณสมบัติด้านการไหลของสารละลายที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส โดยใช้ชุด small sample บันทึกค่าความเค้นเฉือน (Shear stress (N/m^2)) และอัตราเฉือน (Shear rate (1/sec)) จาก power law model ตามสมการ $T = ky^n$ คำนวณหาค่า $n = \text{flow behavior}$ และ $k = \text{consistency index (Pa.s)}$ โดยวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นจาก $\log T = \log k + n \log y$ โดย $T = \text{shear rate}$ และ $y = \text{shear stress}$

3.5.3 ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

ละลายผงเจลโลสความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ในสารละลายน้ำตาลร้อยละ 50 นำไปต้ม 20 - 30 นาที ให้ความเข้มข้นเป็น 50 องศาบริกซ์ ปรับ pH ด้วยกรดซิตริกเป็น pH = 3, 4, 5 และ 6 เทปรีมาตร 30 มิลลิลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว 24 ชั่วโมง นำเจลที่ได้มาวัดความแข็งของเจลโดยเครื่อง Texture Analyzer (ดัดแปลงจาก Marathe *et al.*, 2002)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละสิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้วิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองคือ ความเข้มข้นของผงเจลโลสร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่ pH 3, 4, 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ศึกษาผลของสัดส่วนเจลโลสและเพกตินต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

ผสมผงเจลโลสและเพกตินในสัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 นำไปละลายในสารละลายน้ำตาลที่ pH ได้จากข้อ 3.5.3 ในระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ทำการทดลองเพื่อให้เกิดเจล เช่นเดียวกับข้อ 3.5.3 และนำเจลที่ได้มาวัดความแข็งเจลโดยเครื่อง Texture Analyzer (ดัดแปลงจาก Marathe *et al.*, 2002)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละสิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้วิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองคือ ผงเจลโลสกับเพกติน ในสัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 กับระดับความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม

จากการคั่วเมล็ดมะขามด้วยความร้อนนาน 15 นาที และทำการลอกเปลือกเมล็ดมะขามออก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกออกและแยกเปลือกออกจากเมล็ด และแช่น้ำให้เมล็ดเกิดการพองตัว เนื่องจากการดูดน้ำเข้าไปเพื่อให้สามารถบดลดขนาดได้ง่ายขึ้น และนำเข้าสู่อบอีกครั้งเพื่อได้ความชื้นออก และนำมาผ่านเครื่องบดแบบละเอียดจะทำให้ได้ผงเมล็ดมะขามที่มีลักษณะเป็นผงแบบละเอียด สีครีม ในรูปที่ 4.1

จากการทดลองปริมาณผงเมล็ดมะขามที่เตรียมได้เท่ากับร้อยละ 60.91 ± 3.39 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลอกเปลือกของ ดวงสมร (2556) โดยใช้วิธีการต้มเมล็ดมะขามในน้ำเดือด และทำแห้งเมล็ดมะขาม 2 วิธี คือการใช้ไมโครเวฟและใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งได้ปริมาณผงเมล็ดมะขามเท่ากับร้อยละ 48.93 และ 51.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ผงมะขามจากการคั่วที่ 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผงเมล็ดมะขามมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าผงเมล็ดมะขามมีความชื้นร้อยละ 8.17 ± 0.06 มีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (ร้อยละ 64.36 ± 0.18 , 16.07 ± 0.22 และร้อยละ 8.69 ± 0.04) ตามลำดับ โดยมีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ Pujja *et al.* (2008) ที่พบผงเมล็ดมะขามประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 17.1 - 20.1 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.1 - 72.2 และผงเมล็ดมะขามจากบริษัท Altrafine gums ประเทศอินเดีย ที่ตั้งลักษณะมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผงเมล็ดมะขาม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากรายงานของ Nishinari *et al.* (2000) พบว่าผงเมล็ดมะขามมีปริมาณเส้นใยอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 65.5 - 72.2 และจากการทดลองนี้ผงเมล็ดมะขามมีเส้นใยอาหารร้อยละ 70.10 ± 1.81 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามจากการทดลองและผงเมล็ดมะขามทางการค้า

องค์ประกอบ	ผงเมล็ดมะขามจากการทดลอง* (ร้อยละ)	ผงเมล็ดมะขามทางการค้า ¹ (ร้อยละ)
ความชื้น	8.17 ± 0.06	6 - 12
โปรตีน (%N \times 6.25)	16.07 ± 0.22	10 - 20
ไขมัน	8.69 ± 0.04	6 - 10
เส้นใย	1.18 ± 0.04	1 - 2
เถ้า	1.53 ± 0.02	1 - 3
คาร์โบไฮเดรต (คำนวณความแตกต่าง)	64.36 ± 0.18	55 - 65
เส้นใยอาหารทั้งหมด	70.10 ± 1.81	65.5 - 72.2 ²

หมายเหตุ : ¹ <http://www.altrafine.com/tamarind-kernel-powder/>

² Nishinari *et al.*, 2000

* ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 คุณสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขาม

การนำผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกเปรียบเทียบกับผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออกมาวิเคราะห์คุณสมบัติการเกิดเพสต์และสมบัติความหนืด (pasting properties) ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ วิสโคอะไม โลกกราฟ ของผงเมล็ดมะขามที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมในระหว่างการให้ความร้อนและการทำให้เย็น ติดตามผลระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) แสดงความหนืดที่จุดต่างๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกที่ศึกษาอยู่ในช่วง 51.10 ± 0.56 ถึง 53.00 ± 1.55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกเท่ากับ 724.00 ± 46.66 และ 959.50 ± 3.53 BU ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของหนึ่งฤทัย (2552) ที่ใช้ผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งโดยไม่โครเวฟ ความเข้มข้นร้อยละ 6 พบอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเท่ากับ 30.6 ± 1.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเตรียมผงเมล็ดมะขามในการทดลองนี้ และมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ $2,272.3 \pm 232.4$ BU เนื่องมาจากการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งเมล็ดมะขามอุณหภูมิในการทำแห้งสูงถึง 102.9 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนสูงอาจทำให้เม็ดแป้งภายในเมล็ดมะขามบางส่วนเกิดการพรีเจลาติไนซ์ขึ้นโดยไปทำลายโครงสร้างภายในบางส่วน

ค่าความหนืดการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) พบผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันมีค่าสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน (184.50 ± 21.92 BU) แสดงว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีความคงตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนน้อยกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก เนื่องจากค่าความหนืดการแตกสลายของเม็ดแป้ง ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงตัวต่อความร้อนสูง (Agunbiade and Long, 1999)

ความคงตัวของน้ำแป้งหลังจากทำให้เย็น (consistency) ของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกเท่ากับ 724.00 ± 15.55 และ 891.50 ± 9.19 BU ตามลำดับ และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง (setback) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความแตกต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความหนืดสุดท้ายที่ได้และค่าความหนืดสูงสุด พบว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีค่าความหนืดสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก (786.50 ± 16.26 และ 663.50 ± 7.77 BU) ตามลำดับ เนื่องมาจากการกำจัดไขมันออกจากเมล็ดแป้งเมื่อให้ความร้อนทำให้โมเลกุลอิสระของแป้งระจัดกระจายออกมาและเมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอะไมโลส ที่มีขนาดเหมาะสมจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดของแป้งสูงขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) โดยจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

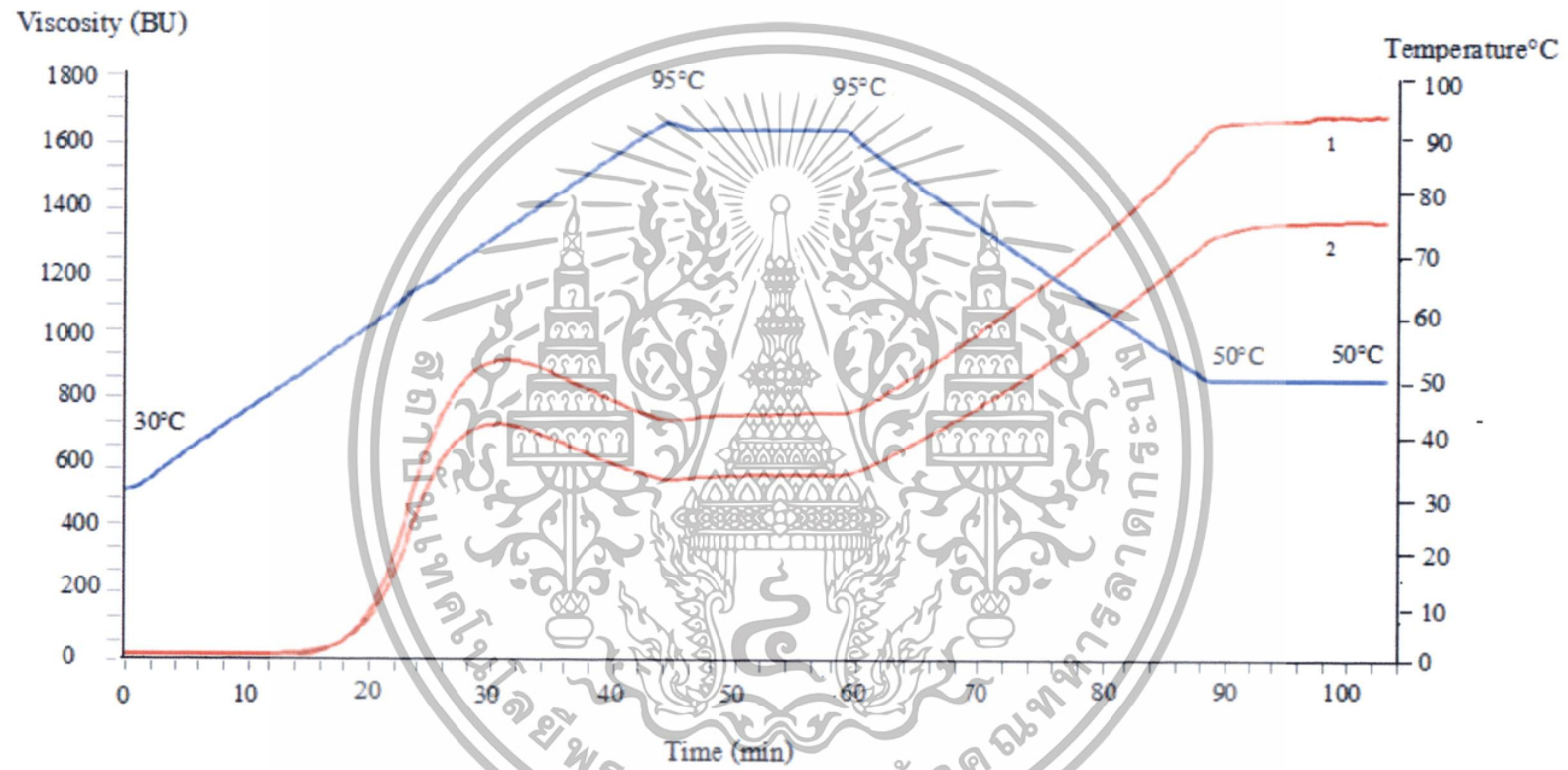
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการเกิดเพสต์และสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันและผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน

วิธีการ	Pasting	Viscosity (BU) ¹			
	temperature (°C) ^{ns}	Peak viscosity	Breakdown ^{ns}	Consistency	Setback
ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน	53.00 ± 1.55	724.00 ± 46.66 ^b	151.50 ± 19.09	742.00 ± 15.55 ^b	663.50 ± 7.77 ^b
ผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน	51.10 ± 0.56	959.50 ± 3.53 ^a	184.50 ± 21.92	891.50 ± 9.19 ^a	786.50 ± 16.26 ^a

หมายเหตุ : ¹ ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a, b} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่จุดต่างๆ ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{ns} ค่าที่แสดงในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P > 0.05$)



รูปที่ 4.2 กราฟการตรวจสอบความหนืดของผงมะขามที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) โดยใช้เครื่อง Brabender Viscograph E

หมายเหตุ : 1 = ผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน และ 2 = ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน

4.3 ศึกษาสภาวะการสกัดเจลโลส

จากการสกัดเจลโลส โดยใช้ 2 สภาวะในการสกัด คือที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH = 3, 4 และ 5 เมื่อนำเจลโลสที่ตกตะกอนได้ไปทำแห้งและบดละเอียดจะได้ผงเจลโลส นำสารละลายเจลโลสมาศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield viscometer DV III) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยนำค่าความเค้นเฉือน (Shear stress (N/m^2)) และอัตราเฉือน (Shear rate (1/sec)) ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์สมการถดถอยเชิงยกกำลังซึ่งอยู่ในรูปของ Power Law Model เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมการไหลของสารละลายเจล โลส ที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิและสภาวะต่างๆจากการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (shear stress) ของเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5 พบว่า สารละลายเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนืดที่สูงกว่าสารละลายเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าความหนืดคือค่าความชันของเส้นกราฟ โดยเส้นกราฟของสารละลายเจล โลสสกัดที่ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 มีค่าความชันสูงสุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิและสภาวะการสกัดอื่น

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมการไหลของของไหล ($n =$ flow behaviour index) และดัชนีความคงตัว ($k =$ consistency index) ซึ่งเป็นสมบัติของสารละลายที่สามารถไหลได้จาก Power Law Model สามารถที่จะอธิบายพฤติกรรมการไหลของสารละลายเจล โลสได้ โดยดัชนีความคงตัวของสารสกัดเจล โลสที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ค่า k อยู่ในช่วง 0.68 - 0.84 Pa.s และ 11.65 - 14.57 Pa.s ตามลำดับ แสดงว่าเจล โลสที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงกว่าที่สกัดอุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส

จากการทดลองของอรรถวิทย์ (2540) ได้สกัดเจลโลสที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส และ 85 - 90 องศาเซลเซียส วัดค่า Apparent viscosity ของสารละลายเจลโลสเข้มข้นร้อยละ 3 อยู่ในช่วง 0.7538 - 0.7662 Pa.s และ 1.5150 - 1.7570 Pa.s ตามลำดับ เนื่องจากเจลโลสเป็น โพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในเนื้อเมือกมะขาม และเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นการให้ความร้อนในการสกัดจะทำให้เจลโลสละลายออกมามากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น

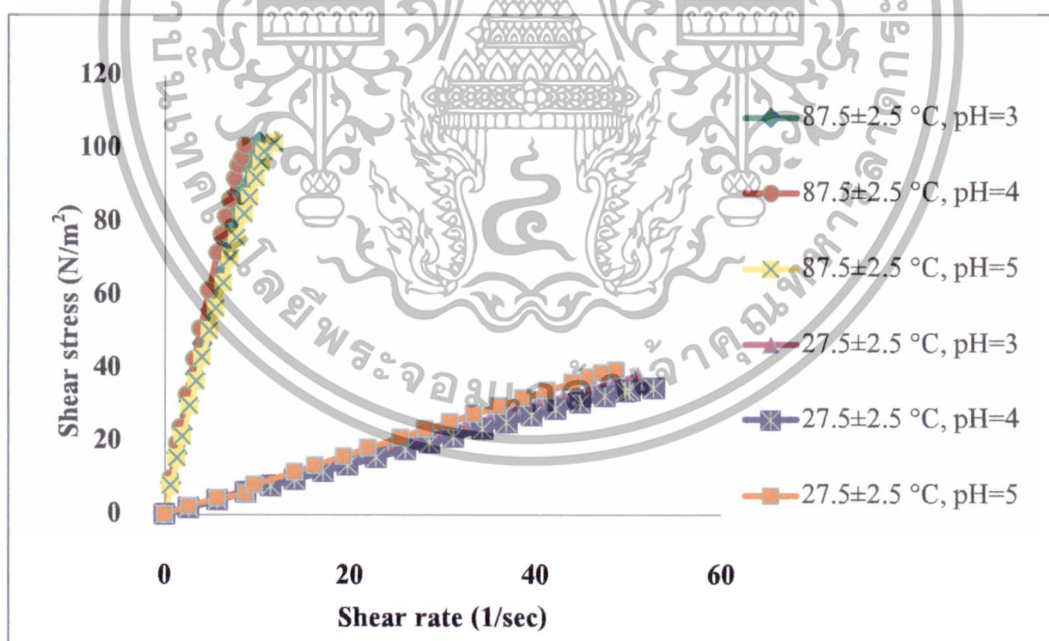
ค่า n (flow behavior index) ของสารละลายเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 และ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส มีค่า $n = 0.99$ และ 0.91 ตามลำดับ ในทุก pH ของการสกัด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่ง n จากทั้ง 2 สภาวะการสกัดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเจลโลสที่สกัดได้จากทั้ง 2 สภาวะมีแนวโน้มพฤติกรรมกรไหลแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก อย่างไรก็ตามเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส แสดงพฤติกรรมใกล้เคียงกับสารละลายนิวโตเนียนมากเนื่องจากค่า n เข้าใกล้ 1

จากงานวิจัยของวันแข็ง (2553) กล่าวว่าที่ความเข้มข้นของเจลโลสเจือจางมากๆ สารละลายจะแสดงพฤติกรรมกรไหลแบบนิวโตเนียน $n = 1$ แต่เมื่อความเข้มข้นของเจลโลส มากขึ้น สารละลายจะแสดงพฤติกรรมกรไหลแบบนอนนิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติก หรือ shear thinning ซึ่งขณะที่สารละลายมีการไหลความหนืดของสารละลายจะลดลงโดยพฤติกรรมแบบ shear thinning จะเด่นชัดมากขึ้นเมื่อสารละลายเจลโลสมีความเข้มข้นมากขึ้น และจากการทดลองของ Pongsawatmanit *et al.* (2006) ได้รายงานว่าสารละลายเจลโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 วัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า $n = 0.79$ และ $K = 2.58$ Pa.s ซึ่ง $n < 1$ จะแสดงสมบัติการไหลแบบนอนนิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติก เช่นกัน

ตารางที่ 4.3 คำนีบ่งบอกพฤติกรรมการไหลของของไหล (n) และ คำนีความคงตัว (k) ของเจล โลส สกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

อุณหภูมิการสกัด	pH	n	k (Pa.s)
27.5 ± 2.5 (องศาเซลเซียส)	3	0.99 ± 0.00^a	0.84 ± 0.04^a
	4	0.99 ± 0.01^a	0.68 ± 0.04^a
	5	0.99 ± 0.04^a	0.77 ± 0.05^a
87.5 ± 2.5 (องศาเซลเซียส)	3	0.91 ± 0.00^b	12.54 ± 0.36^b
	4	0.91 ± 0.00^b	14.57 ± 1.41^c
	5	0.91 ± 0.00^b	11.65 ± 1.37^b

หมายเหตุ : ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

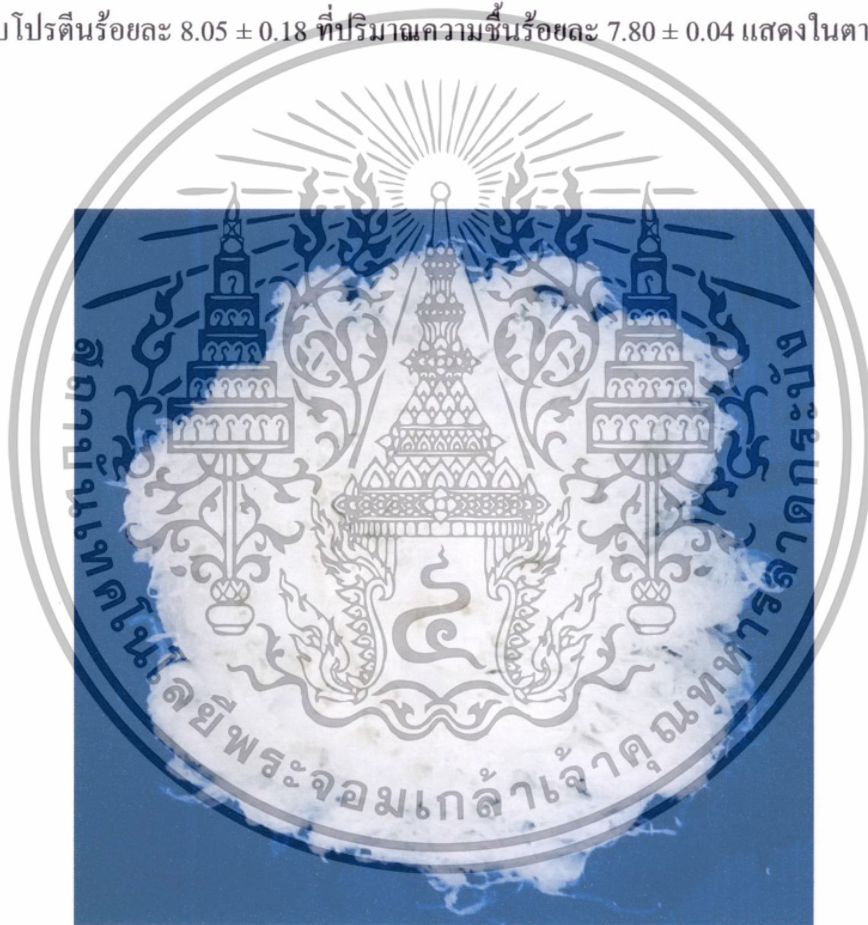


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความตึงเฉือน (shear stress) ของเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส และเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสภาวะในการสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ $\text{pH} = 4$ ได้สารละลายเจลโลสที่มีความหนืดสูงที่สุด จึงได้ทดลองศึกษาเจล โลสที่สกัด ณ สภาวะนี้ เจล โลสที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว มีความความเหนียว สามารถฉีกแยกออกจากกันได้ เมื่อทำแห้งจะมีลักษณะสีขาวขุ่น เชื่อมติดกันเป็นร่างแห และเมื่ออบเป็นผงละเอียดจะได้ผงเจล โลสที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยปริมาณผลผลิตเจล โลสคิดเป็นร้อยละ 48.37 ± 1.56

เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผงเจล โลสมีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.62 ± 1.63 มีโปรตีนร้อยละ 15.84 ± 0.51 มีไขมันและเถ้าปริมาณเล็กน้อย จากรายงานของ Marathe *et al.* (2002) พบโปรตีนร้อยละ 8.05 ± 0.18 ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.80 ± 0.04 แสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เส้นใยเจล โลสจากการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.5 เส้นใยเจลโอสที่ผ่านการทำให้แห้งที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.6 ผงเจลโอสที่ผ่านการบดละเอียดที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผงเจล โลส

องค์ประกอบ	เจล โลส ¹ (ร้อยละ)	เจล โลส ² (ร้อยละ)
ความชื้น	9.62 ± 1.63	7.80 ± 0.04
โปรตีน (% N × 6.25)	15.84 ± 0.51	8.05 ± 0.18
ไขมัน	0.17 ± 0.07	-
เถ้า	1.29 ± 0.17	2.25 ± 0.22

หมายเหตุ : ¹ ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

² Marathe *et al.*, 2002

4.4 ศึกษาผลของความเป็นกรด - ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรม

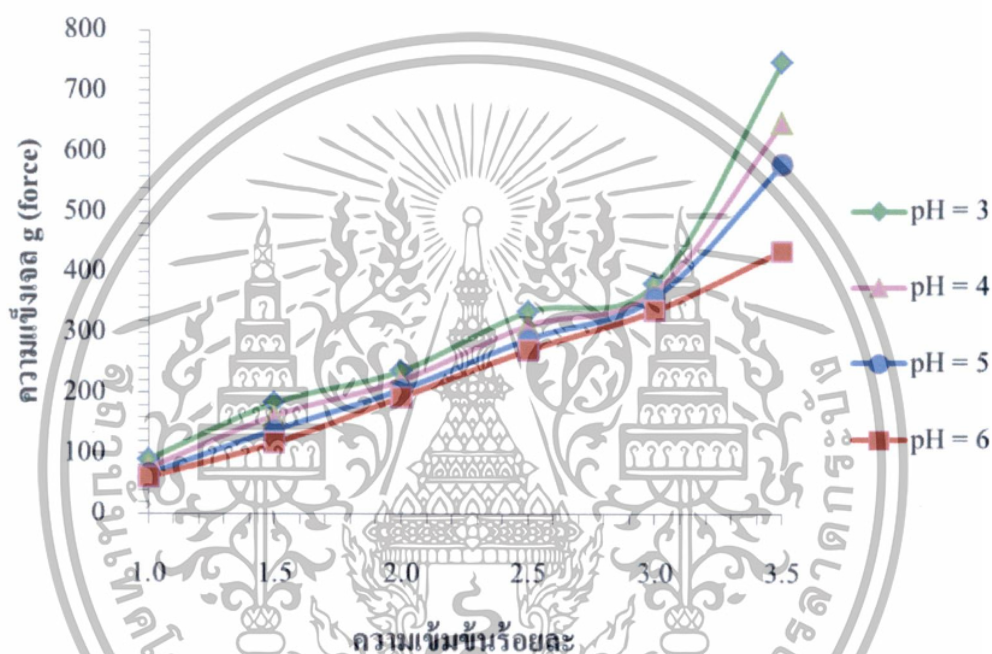
การเกิดเจล

จากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของสารละลายเจล โลสสามารถเลือกผงเจล โลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 เนื่องจากที่สภาวะนี้สารละลายเจล โลสที่ได้มีค่าดัชนีความคงตัวหรือความหนืดเท่ากับ 14.57 ± 1.41 Pa.s ซึ่งมีค่าสูงสุด จึงนำผงเจล โลสที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล โดยศึกษาาระดับของ pH และความเข้มข้นของเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล จากการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจล โลส จากร้อยละ 1 ไปจนถึง 3.5 ค่าความแข็งเจล มีค่าสูงขึ้นทุก pH ที่ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และเมื่อระดับของ pH สูงขึ้นที่ร้อยละความเข้มข้นของเจล โลสเท่ากันผลของค่าความแข็งเจลจะลดลงตามลำดับ

จากรายงานของ Marathe *et al.* (2002) กล่าวว่าสารละลายเจล โลส สามารถฟอร์มตัวเป็นเจลได้เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40 - 70 และจะมีความคงตัวสูงแม้จะอยู่ในช่วงความเป็นกรด - ด่าง ที่กว้างและยังคงตัวต่อความร้อนได้ดี จากค่าความแข็งเจลที่ระดับ pH และร้อยละความเข้มข้นของเจล โลสที่แตกต่างกัน พบว่าที่ pH = 3 จะให้ค่าความแข็งเจลสูงที่สุดเมื่อร้อยละเจล โลสที่ใช้ในการทดลองเท่ากันกับที่ระดับ pH อื่นๆ

จากตารางที่ 4.6 ที่แสดงค่าทางสถิติของปัจจัยความเป็นกรด - ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลส รวมถึงศึกษาอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยในการทดลอง พบว่า ที่ปัจจัย pH ทำให้ค่าความแข็งเจลที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นของเจล โลสเพิ่มสูงขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 พบว่าระดับความเข้มข้นของเจล โลติมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4.7 เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัย pH และความเข้มข้น พบว่า ที่ปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 จะทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อปัจจัย pH เพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงจะลดลง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่ปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โกลส ต่อค่าความแข็งของเจลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน*

pH	ค่าความแข็งเจล g (force) ที่ร้อยละความเข้มข้นแตกต่างกัน**					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
3	^A 89.70 ± 0.60 ^f	^A 183.25 ± 3.43 ^c	^A 236.17 ± 12.80 ^d	^A 334.22 ± 5.08 ^e	^A 380.40 ± 6.79 ^b	^A 746.28 ± 46.24 ^a
4	^B 75.86 ± 2.07 ^f	^B 162.44 ± 4.51 ^c	^B 220.64 ± 11.97 ^d	^B 311.69 ± 11.60 ^e	^B 367.94 ± 19.83 ^b	^B 646.73 ± 29.46 ^a
5	^C 66.14 ± 3.49 ^f	^C 138.85 ± 8.37 ^c	^C 205.18 ± 5.24 ^d	^C 289.02 ± 10.96 ^e	^C 358.35 ± 3.97 ^b	^C 578.41 ± 44.18 ^a
6	^D 61.48 ± 0.45 ^f	^D 117.39 ± 5.00 ^c	^D 193.15 ± 5.37 ^d	^D 270.63 ± 11.30 ^e	^D 336.19 ± 7.18 ^b	^D 435.76 ± 23.25 ^a

หมายเหตุ : ^{ABC...} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

^{abc...} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

* ในสารละลายน้ำตาล 50 องศาบริกซ์

** ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางสถิติของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลสที่มีผลต่อค่าความแข็งเจล

Source	df	F	Sig.
pH	3	95.777	.000
Concentration	5	1450.767	.000
pH * Concentration	15	21.275	.000

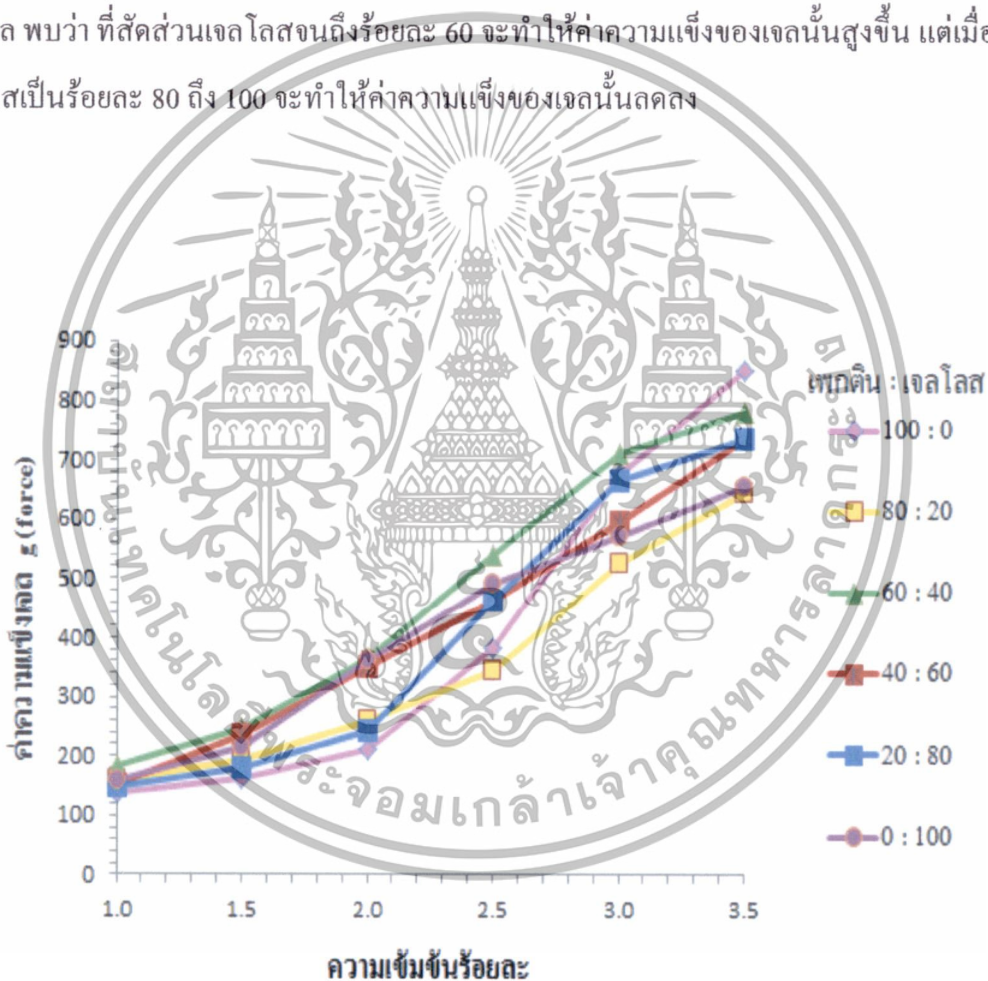
4.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

จากระดับความเป็นกรด - ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจล โลส พบว่าที่ pH = 3 จะให้ค่าความแข็งเจลสูงสุด และที่ pH นี้ยังมีการใช้กับอาหารที่เป็นกรดสูง เช่น แยม ซอส มายองเนส เป็นต้น ดังนั้นจึงเลือก pH = 3 เพื่อใช้ในการศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจล โลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล โดยการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 55 - 65 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.9 - 3.1 เจลที่ได้จะไม่มีการผันกลับเมื่อได้รับความร้อนหรือแรงเฉือน เจลมีลักษณะนิ่ม แต่ไม่ละลายเมื่อให้ความร้อนและ เจลอาจมีการไหลซึมออกมาของของเหลวที่เป็นส่วนประกอบของเจล ซึ่งการเกิดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเกิดซินเนอริซิส (Oakenfull, 1991) โดยกำหนดค่าความเป็นกรดที่ pH = 3 มาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล โดยศึกษาสัดส่วนของเพกตินต่อเจล โลส และร้อยละความเข้มข้นโดยวัดค่าความแข็งของเจล

จากการทดลองในตารางที่ 4.7 เมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจล โลสถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจล โลสมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจล โลสทดแทนเพกตินทั้งหมดทำให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่าการใช้เพกตินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้เพกตินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าหากผลิตภัณฑ์ต้องการเพิ่มความแข็งของเจลอาจสามารถใช้เจล โลสทดแทนเพกตินเพื่อทดแทนการใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจล และถ้าสามารถผลิตผงเจล โลสจาก

เมื่อดีดมะขามได้ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเนื้อเมื่อดีดมะขามด้วยต้นทุนที่ไม่แพง ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้

จากตารางที่ 4.8 ที่แสดงค่าทางสถิติของสัดส่วนของเพกตินต่อเจลาติน และความเข้มข้น รวมถึงศึกษาอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยในการทดลอง พบว่า สัดส่วนเพกตินต่อเจลาติน ทำให้ค่าความแข็งแรงเจลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของสัดส่วนเพกตินต่อเจลาตินและความเข้มข้น พบว่าค่าความแข็งแรงเจลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงเจล พบว่า ที่สัดส่วนเจลาตินถึงร้อยละ 60 จะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลนั้นสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเจลาตินเป็นร้อยละ 80 ถึง 100 จะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลนั้นลดลง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่สัดส่วนของเพกตินต่อเจลาติน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งเจลต่อสัดส่วนของเพคตินต่อเจล โกลสที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ pH = 3*

เพคติน/เจล โกลส	ค่าความแข็งเจล (กรัม) ที่ร้อยละความเข้มข้นแตกต่างกัน**					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
100:0	^B 138.63 ± 16.21	^B 162.85 ± 18.78	^C 210.44 ± 18.10	^D 380.93 ± 19.50	^B 673.64 ± 17.80	^A 848.78 ± 15.71
80:20	^B 147.29 ± 19.95	^C 178.05 ± 14.01	^B 241.06 ± 16.11	^C 460.80 ± 18.26	^B 664.40 ± 22.92	^c 735.13 ± 28.92
60:40	^B 151.07 ± 15.57	^{AB} 236.76 ± 18.14	^A 350.24 ± 18.31	^C 463.46 ± 24.41	^C 596.21 ± 27.07	^C 733.57 ± 28.81
40:60	^A 182.66 ± 18.49	^A 247.39 ± 25.30	^A 364.18 ± 22.99	^A 538.56 ± 24.41	^A 708.68 ± 20.22	^B 779.88 ± 17.49
20:80	^B 159.40 ± 15.38	^{BD} 194.04 ± 19.99	^B 261.27 ± 18.40	^C 345.03 ± 22.20	^B 526.34 ± 19.38	^D 643.46 ± 29.06
0:100	^B 158.92 ± 24.57	^{BC} 215.65 ± 16.55	^A 362.74 ± 16.42	^B 489.06 ± 10.79	^D 571.38 ± 15.54	^D 654.26 ± 23.86

หมายเหตุ : ^{ABC...} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสัดส่วนที่แตกต่างกัน ในแต่ละคอลัมน์โดยตัวอักษรที่กำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

* ในสารละลายน้ำตาล 50 องศาบริกซ์

** ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าทางสถิติสัดส่วนของเพกตินต่อเจล โลสและความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าความแข็ง
เจล

Source	df	F	Sig.
Concentration	5	4635.168	.000
Ratio	5	118.515	.000
Concentration * Ratio	25	39.247	.000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ผงเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากการคั่วด้วยความร้อน 15 นาที ลอกเปลือก แช่น้ำ บดลดขนาด แล้วนำไปทำแห้งจะได้ ลักษณะที่เป็นผงละเอียด มีสีครีม ให้ปริมาณผงเมล็ดมะขามเท่ากับ ร้อยละ 60.91 ± 3.39 มีความชื้นร้อยละ 8.17 ± 0.60 เมื่อนำผงเมล็ดมะขามที่ได้มากำจัดไขมันออก แล้วศึกษาความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคโสมิโกลกราฟ ความเข้มข้นร้อยละ 4 พบว่า ผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมัน แสดงความหนืดที่จุดต่างๆมีค่าสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน
2. สารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมกาวไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก และการสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส จะให้ค่าดัชนีความคงตัวหรือความหนืดสูงกว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 27.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส
3. การเพิ่มความเข้มข้นเจลาตินร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ทำให้ค่าความแข็งเจลเพิ่มสูงขึ้นในปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6 และเมื่อค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งเจลจะลดลง
4. ที่สัดส่วนพอกดินต่อเจลาติน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5, ทำให้ค่าความแข็งเจลเมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจลาตินถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจลาตินมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจลาตินทดแทนพอกดินทั้งหมดทำให้ความแข็งเจลสูงกว่าการใช้พอกดินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้พอกดินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 น.
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2555. ผักและผลไม้. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- ชวัญญู สิริจิตติกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์, จิราพร เชื้ออยู่ และ ปรีศนา สิริอาษา. 2548. การผลิต เพกตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือง. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูศักดิ์ สัจจงพงษ์. 2550. มะขาม พืชสร้างอนาคต. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน นิธิยารัตนาปณนธ์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิภาวดี แสงยนต์. 2545. การแยกโปรตีนจากผงมะขามโดยใช้โปรตีนเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นัยทัศน์ ภูศรีนัย. 2543. รายงานการวิจัยการทำแยมส้มประดแคลอรี่ต่ำ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 121. 2532. เรื่อง อาหารสำหรับผู้ต้องการควบคุม น้ำหนัก.
- บัญชา หิรัญพิสุทติกุล. 2550. การใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามในอุตสาหกรรมอาหาร. สัมมนา ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีญา โรจนการกุล และมงคล ตั้งศรีตระกูล. 2543. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพกตินจากกากฝรั่ง. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- พวงเพชร นิธยานนท์. 2522. การผลิตและการใช้ประโยชน์ของกัมจากเมล็ดมะขาม. วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณดา ตูลยชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน และ ดวงฤดี เชิดวงศ์เจริญสุข. 2554. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจาก เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 16, 47-55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วาริ จารุพัฒนายนต์. 2543. การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยการ กรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิชัย นาครักษา. 2555. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- โสภณ มงคลวานิช. 2550. การปลูกมะขามหวาน. ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. [Online]. Available.
- พิมพ์ดี และ อดิติยา. 2551. การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของกัมทำดับส่วนต่างๆ. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- หนึ่งฤทัย รงค์ทอง. 2551. อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- อรรถวิทย์ สมศิริ. 2540. การผลิตโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามในระดับอุตสาหกรรมนำร่อง. เกษตรศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Adebowale, K.O. and Lawal, O.S. 2004. Comparative study of the functional properties of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and macuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food Research international. 37, 355-365.
- Agunbiade, S.O., and O.G., Longe. 1999. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). Food Chemistry 65, 469-474.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis. 15th ed. The Association of Official Agricultural Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis (Method 2002.02, Method 996.11 and Method 985.29) The Association of Official Agricultural Chemists.
- Axelos, m.A.V. and Thibault, J.F. (1991). The chemistry of low-methoxyl pectin gelation, in; *The Chemistry and Technology of Pectin* (Walter, R.H. Ed), New York: Academic Press. 109-117.
- Berth, G., Anger, H. and Plashchina, I.G. 1982. Structural study of the solution of acidic polysaccharides. Study of some thermodynamic properties of the dilute pectin solution with different degrees of esterification. Carbohydrate polymer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R.K. and Bhattacharya, S. 1994. Characterization of some product from Tamarind (*Tamarind indica*) Kernel. *J. Food Sci Technol.* 31, 372-376.
- Chaisakdanakul, C. and Sriroth, K. 2005. Characterization of oligosaccharides from tamarind seed kernel powder. *Proceeding of the 2005 IFT Annual Meeting, New Orleans, USA.*
- Christensen, P.E. 1954. Methods of Grading pectin in relation to the molecular weight (intrinsic viscosity) of pectin. *Food Research.* 19,163.
- Cpkelco. 2005. Pectin. Retrieved May, 16, 2005, from <http://www.cpkelco.com/pectin/applications.html>.
- Dea, I. C. M., and Morrison. A. 1975. Chemistry and interactions of seed galactomannans. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry.* 31, 241-312.
- Freitas, R.A., Martin, S. Santos, G.L, Valenga, F., Buckeridge, M.S., Reicher, F. and Sierakowski, M.R. 2005. Physico-chemical properties of seed xyloglucans from Different sources. *Carbohydrate polymer.* 60, 507-514.
- Gibbon, D. and Pain, A. 1985. *Crop of drier regions of the tropics*, London and New York.
- 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. *Carbohydrate Research.* 214, 299-314.
- Ikeda, S., Nitta, Y., Kim, B.S., Tensiripong, T., Pongsawatmanit, R. and Nishinari, K. 2004. single-phase mixed gels of xyloglucan and gellan. *Food Hydrocolloids.* 18, 669-675.
- Kawakatsu, T., Tragardh, G. and Tragardh C. 2001. The formation of oil droplets in a pectin solution and the viscosity of the oil-in-pectin solution emulsion. *Journal of Food Engineering.* 50(4), 247-254.
- Kumar, C.S. and Bhattacharya. 2008. Tamarind sees : properties. *Processing and Utilization, Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 48(1), 1-20.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 2002. Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide. *Food Hydrocolloids.* 16, 423-426.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Marcus, S.M., Verherbruggen, Y., Herve, C., Ordaz-Ortiz, J.J., Farkas, V., Pedersen, H.P., Willats, W.G.T. and Knox, J.P. 2008. Pectic homogalacturonan masks abundant sets of xyloglucan epitopes in plant cell walls. *BMC Plant Biology*. 8(60).
- Michel, F., Doublier, J.L. and Thibault, J.F. 1982. Investigation of high methoxyl pectin by potentiometry and viscometry. *Food Nutrient Science*. 6, 367.
- Miyasaki, K., 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.
- Nishinari, K., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2000. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, UK. (247-267).
- Nishinari, K., Takemasa, M., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2009. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, UK. (535-566).
- Oakenfull, D.G. (1991). In R. H. Walter (Ed.), *In the chemistry and technology of pectins*. San Diego, CA: Academic Press Inc. (87-118).
- Patel, T.R., Morris, G.A., Ebringerova, A., Vodenicarova, M., Velebny, V., Ortega, A., Torre, J.G. de la. and Harding, S.E. 2008. Global conformation analysis of irradiated xyloglucan. *Carbohydrate polymer*. 74, 845-851.
- Phillips, G.O.D.J., and Wedlock, P.A. 1986. *Gums and stabilizers for the food industry* 3. London.
- Puja, G., Vineet, K., and Pradeep, S. 2008. Cyanoethylation of tamarind kernel powder. *Starch/Starke*. 164, 699-703.
- Pongsawatmanit, R., Temsiripong, T., Ikeda, S. and Nishinari, K. 2006. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. *Journal of Food Engineering*. 77, 41-50.
- Ren, Y., Picout, D.R, Ellis, P.R., Ross-Murphy, S.B. and Reid, J.S.G. 2005. A novel xyloglucan from seed of *Azefia Africana* Se. *Pers-Extraction, Characterization, and Conformational properties*. *Carbohydrate Research*. 340, 997-1005.
- Shirakawa, M., Yamatoya, K., and Nishinari, K. 1998. Tailoring of xyloglucan properties using an enzyme. *Food Hydrocolloids*. 12, 25-28.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Simon, Q. F. 2003. What's in the Stuff We Buy. September 13. Available : source <http://sci-toys.com/ingredients/ingredients.html>.
- Sriamornsai, P. 2003. Chemistry of pectin and Its Pharmaceutical Uses: A Review. *Journal of social science*. 3, 206-222.
- Strickland, F.M., Darvill, A., Eberhard, S., Pauly. M. and Pelley, R.P. 1999. *Photochem. Photobiol.* 69, 141.
- Temsiripong, T., Pongsawatmanit, R., Ikeda, S., and Nishinari, K. 2005. Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*. 19, 1054-1063.
- Thakur, B.R., Singh, R.K., and Handa, A. D. 1997. Chemistry and uses of pectin. *Critical Reviews in food science and Nutrition*. 37 (1), 47-73.
- Wang, Q., Ellis, P.R. Ross-Murphy, S.B. and Reid, J.S.G. 1996. A new polysaccharide from a traditional Nigerian plant food: *Deterium Senegulense* Gmelin. *Carbohydrate Research*. 284, 229-239.
- WIK. 2008. <http://Wikipedia.org>.
- Yamanaka, S., Yuguchi, Y., Urakawa, H., Kajiwara, K., Shirakawa, M. and Yamatoya, K. 2000. Gelation of tamarind seed polysaccharide xyloglucan in the presence of alcohol. *Food Hydrocolloid*. 14, 125-128.
- Yuguchi, Y., Kumagai, T., Wu, M., Hirotsu, T. and Hosokawa, J. 2004. Gelation of xyloglucan in water/alcohol systems. *Cellulose*. 11, 203-208.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

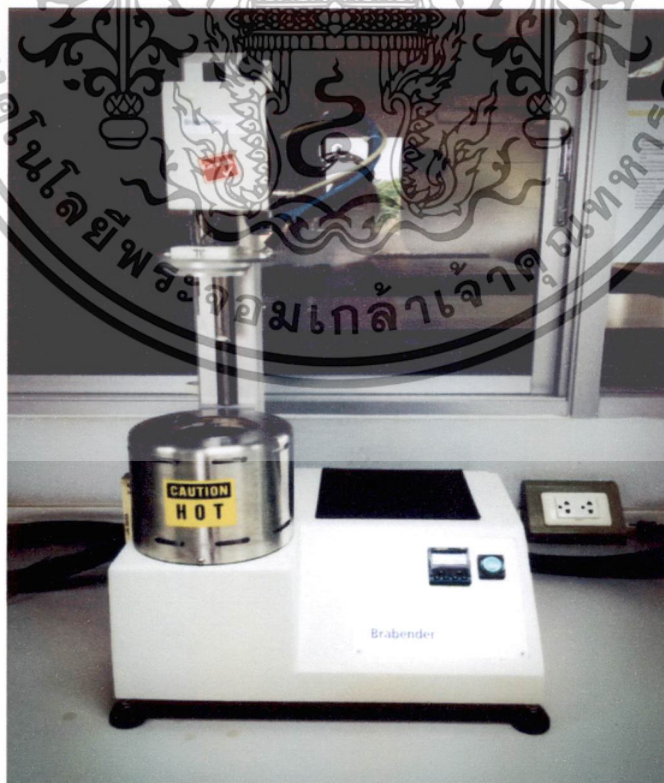
1. คุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนขณะที่มีการกวนและการคนจากเครื่อง บราเบนเดอร์วิสโคอะไมโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขามร้อยละ 4 ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

1.2 การวิเคราะห์

นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E แสดงดังรูปที่ ก1 ใช้ Measuring range 700 cmg โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 30 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 15 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 15 นาที บันทึกค่า Pasting temperature และ Peak viscosity (PV) นอกจากนี้ยังมีค่า Breakdown (PV-Start of cooling period), Consistency (End of cooling period - Start of cooling period) และ Setback (End of final holding period-PV) แสดงดังรูปที่ ก2



รูปที่ ก1 เครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E

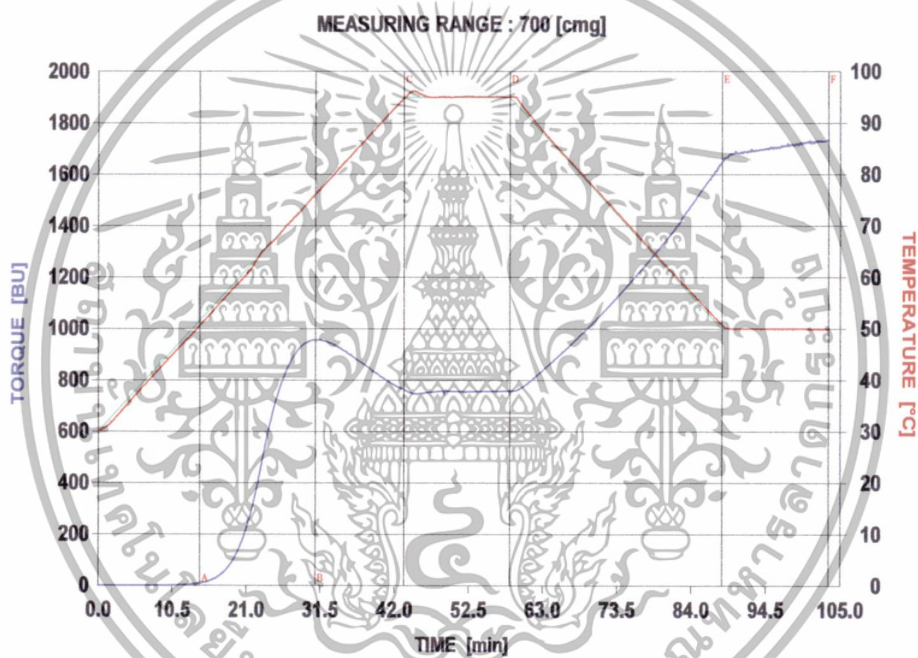
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRABENDER VISCOGRAPH E (USB)

Version 2.4.6

Parameter

Operator	:	Tamarind deffated 5	Date	:	10/26/2012
Sample	:	Tamarind deffated 5	Method	:	Tamarind deffated 5
Moisture	:	6.20 [%]	Correction	:	0 [%]
Sample weight	:	18 [g]	Corr. to 0%	:	19.1 [g]
Water	:	432 [ml]	Corr. to 0%	:	430.8 [ml]
Note	:			:	
Note	:			:	
Speed	:	75 [1/min]	Meas. range	:	700 [cmg]
Start temperature	:	30 [°C]	Heat./Cool. rate	:	1.5 [°C/min]
Max. temperature	:	95 [°C]	Upp. hold. time	:	15 [min]
End temperature	:	50 [°C]	Fin. hold. time	:	15 [min]



Evaluation

Point	Name	Time [HH:MM:SS]	Torque [BU]	Temperature [°C]
A	Beginning of gelatinization	00:14:25	10	50.7
B	Maximum viscosity	00:30:50	957	76.2
C	Start of holding period	00:43:20	763	94.8
D	Start of cooling period	00:58:20	757	95.1
E	End of cooling period	01:28:20	1648	50.8
F	End of final holding period	01:43:20	1732	50.0
B-D	Breakdown		200	
E-D	Setback		887	

File : Measurement

รูปที่ ก2 กราฟ Brabender ViscoGraph E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

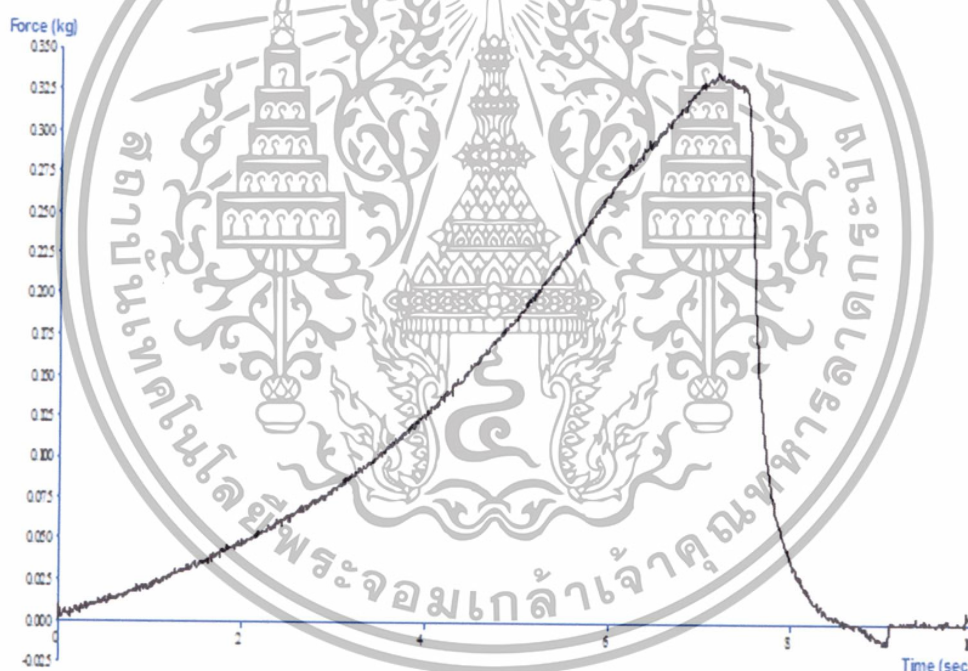
2. วิเคราะห์ความแข็งแรงของเจล (Gel Strength)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมเจล และเจลผสมเพกตินต่อเจล โลส เทลงไปปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในแก้ว แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดค่า ทำการวัด 3 ซ้ำ

2.2 วิธีกรวัดความแข็งแรงเจล

วัดความแข็งแรงของเจล โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer TA-XT plus ใช้หัววัด P / 0.5 R มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปลายตัด ที่ความเร็ว 2 มม/วินาที กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตร ทิ่มทะลุเนื้อเจล โดยเครื่องจะบันทึกกราฟเป็นระยะทางตั้งแต่เริ่มที่มจนเกิดค่าแรงสูงสุด แสดงดังรูปที่ ก3



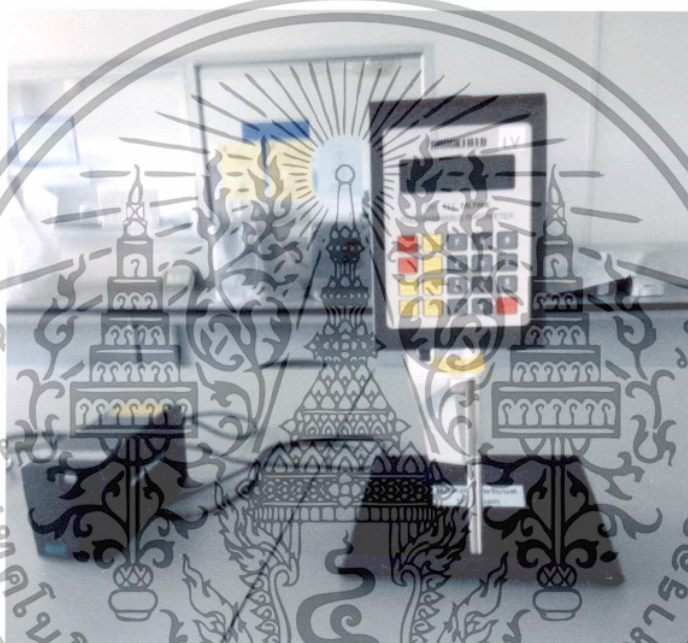
รูปที่ ก3 กราฟตัวอย่างการวัดค่าความแข็งแรงเจล โดยเครื่อง Texture Analyzer หัววัด P / 0.5 R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตรวจสอบสมบัติทางรีโอโลยี (Rheological properties)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมสารละลายเจลโลสร้อยละ 2 ในน้ำอุ่นโดยคนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดค่า ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิการวัดที่ 25 ± 3 องศาเซลเซียส ใช้ชุด small sample adapter และหัววัดเบอร์ 18 เลือกความเร็วรอบในการวัด โดยพิจารณาจากค่าทอร์ก (Torque) ที่มากกว่า 90 จากนั้นอ่านค่า shear rate และ shear stress แสดงดังรูปที่ ก4



รูปที่ ก4 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น LVDV-III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสินีนาน สุชะวลี
วัน เดือน ปีเกิด	15 เมษายน 2531
ที่อยู่	90/1 ม.5 ต.ท่าจีน อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ) สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี การศึกษา 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้