

การพัฒนาเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ช
และผลของบอลล์มิลล์ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชัน



นางสาวกรวิกา จิมไฉม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0170-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I ๒๒๓634๕6

DEVELOPMENT OF AN OPTICAL TOOL FOR THE DETERMINATION OF STARCH
GELATINIZATION TEMPERATURES AND EFFECT OF BALL MILL ON
GELATINIZATION TEMPERATURES

Ms. Kornvika Chimchom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science


Chulalongkorn University

Academic Year 2001

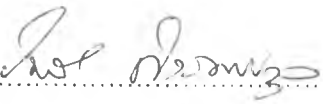
ISBN 974-17-0170-5

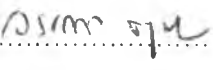
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน ของสตาร์ชและผลของบอลลัสต์ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชัน
โดย	นางสาวกรวิกา จิมโอม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์

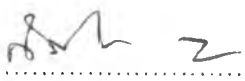
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... รองคณบดีฝ่ายบริหาร
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ การเที่ยง)
รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

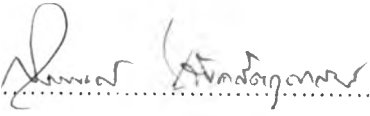
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธีญพิทยากุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวงศ์ตฤศฐาน)

กรวิกา ฉิมโฉม : การพัฒนาเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ชและผลของบอลล์มิลล์ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (DEVELOPMENT OF AN OPTICAL TOOL FOR THE DETERMINATION OF STARCH GELATINIZATION TEMPERATURES AND EFFECT OF BALL MILL ON GELATINIZATION TEMPERATURES) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรณา ตุลยธัญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ 110 หน้า. ISBN 974-17-0170-5

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ชและศึกษาผลของบอลล์มิลล์ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชัน โดยเครื่องที่สร้างขึ้นใช้หลักการของเครื่อง Kofler hot stage microscope ซึ่งใช้การนับจำนวนเม็ดสตาร์ชที่สูญเสียลักษณะ birefringence ขณะเกิดเจลาตินในเซชัน แต่ได้พัฒนาให้ขึ้นกับผู้ทดลองน้อยลงโดยติดตั้งตัวรับแสงสำหรับวัดความเข้มของแสงที่ส่องผ่านสารแขวนลอยสตาร์ช ตัวเครื่องประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงทำจาก light emitting diode (LED) แผ่นโพลาไรซ์ อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ทำจากตัวต้านทาน ตัวรับแสงที่ทำจาก light dependent resistor (LDR) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดอุณหภูมิและความเข้มแสง เมื่อนำเครื่องนี้มาวัดอุณหภูมิเริ่มเจลาตินในเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง ณ จุดที่ความเข้มแสงเหลือ 98% ได้ 58.6 ± 1.1 และ 60.8 ± 0.8 °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามยังต้องปรับปรุงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้วัดความเข้มแสงของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็ก เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง ได้ดียิ่งขึ้น

การศึกษามผลของระยะเวลาไม่ด้วยบอลล์มิลล์ 0-12 ชม. ต่อสมบัติต่าง ๆ ของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังพบว่าระยะเวลาไม่นานขึ้นทำให้พื้นผิวของเม็ดสตาร์ชขรุขระมากขึ้น สูญเสียลักษณะ birefringence เพิ่มขึ้น และระดับความเป็นผลึกลดลง สมบัติอื่น ๆ เช่น ร้อยละของเม็ดสตาร์ชที่เสียหาย การดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้อง กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 °C เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทำให้สมบัติทางความเหนียวที่วัดได้จากเครื่อง Brabender viscograph และ Rapid visco analyser (RVA) เปลี่ยนแปลงไป สมบัติทางความร้อนที่วัดได้จากเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) สันนิษฐานผลของระยะเวลาไม่ต่อลักษณะการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิเจลาตินในเซชันที่วัดจากเครื่องที่สร้างขึ้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิเริ่มเจลาตินในเซชันที่วัดจากทั้งสี่เครื่องพบว่าอุณหภูมิเริ่มเจลาตินในเซชันที่วัดจาก DSC มีค่าต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น รองลงมาคือค่าที่วัดจาก Brabender viscograph และค่าที่วัดจาก RVA มีค่าสูงที่สุด จากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (r) ระหว่างอุณหภูมิเจลาตินในเซชันที่วัดได้จากทั้งสี่เครื่องส่วนใหญ่ได้ค่า r ค่อนข้างสูงคือมากกว่า 0.8 ขึ้นไป

ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต.....	กรวิกา ฉิมโฉม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....	วรณา ตุลยธัญ
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....	กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์

##4172206023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : OPTICAL TOOL / BALL MILLING / GELATINIZATION TEMPERATURE / STARCH

KORNVIKA CHIMCHOM : DEVELOPMENT OF AN OPTICAL TOOL FOR THE DETERMINATION OF STARCH GELATINIZATION TEMPERATURES AND EFFECT OF BALL MILL ON GELATINIZATION TEMPERATURES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VANNA TULYATHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST. PROF. KIRANAN RATANATAMAPAN, 110 pp. ISBN 974-17-0170-5

The objectives of this thesis were to produce an optical tool for determination of starch gelatinization temperatures and study effect of ball milling on gelatinization temperatures. The optical tool was developed based on the concept from Kofler hot stage microscope that counting the number of starch granules lost their birefringence when gelatinized; but it was developed to be less depending on operators by using a photoelement for detecting intensity of light pass through starch suspension. This tool comprised of light source made from light emitting diode (LED), polaroid film sheet, heating element made from resistor, photoelement made from light dependent resistor (LDR) and electronic circuit for measuring temperature and light intensity. Initial gelatinization temperatures of potato and tapioca starches which were measured at 98% intensity of light by this tool were 58.6 ± 1.1 and 60.8 ± 0.8 °C, respectively. However, it still required some improvement in the electronic circuit for measuring the light intensity of small size starch granules such as tapioca starch.

Effect of ball milling time (0-12 hr.) on properties of potato and tapioca starches were studied. Increasing the milling time, surface of both starch granules were rougher, granules lost more birefringence and their degree of crystallinity decreased. Other properties such as %starch damage, water absorption at room temperature, swelling power and %solubility at temperature 55 °C increased significantly ($p \leq 0.05$). Pasting properties of the starches from Brabender viscosgraph and Rapid visco analyser (RVA) were changed. Differential scanning calorimetry (DSC) studies highlighted changes effect by milling time in the gelatinization behavior of both starches samples significantly ($p \leq 0.05$). Moreover, gelatinization temperatures of both starches measured by the optical tool decreased significantly ($p \leq 0.05$) as ball milling time increased.

Comparison of the initial gelatinization temperatures measured by the four instruments founded that temperatures measured by DSC was the lowest and closest to the optical tool, follow by Brabender viscosgraph, and RVA gave the highest initial temperatures of each starch. Linear correlation coefficients (r) of the gelatinization temperature data from these four equipments were higher than 0.8.

Department	Food Technology	Student's signature.....
Field of study	Food Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2001	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรณา ตุลยธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับงานวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ แห่งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการสร้างเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ช

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ชนะ ผิวล่อง แห่งภาควิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลืออย่างดีในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ตลอดจนร่วมกันสร้างและประกอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ชจนเสร็จสมบูรณ์ใช้งานได้ตามงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธีญพิทยากุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นววงศ์ตฤตศาสน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้รางไม้สำหรับทำ ball mill

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง Brabender viscograph

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง Rapid visco analyser

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ บุญช่วย โสวัตร และอาจารย์ บุชญา ชิดท้วม แห่งศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านสถานที่และอุปกรณ์ในการทำเครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องทุกคนในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนในด้านการเงิน และให้ความช่วยเหลือทุกอย่างแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำชี้แจง.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 องค์ประกอบของเมื่อดสตาร์ช.....	3
2.2 ลักษณะของเมื่อดสตาร์ช.....	4
2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ช.....	6
2.4 กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ช.....	7
2.5 การเจลาติไนเซชันของสตาร์ช.....	10
2.6 วิธีวัดอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน.....	11
2.7 Ball mill.....	19
2.8 การโม่สตาร์ชด้วย ball mill.....	20
3 วัดจุดดับและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	23
3.1 วัดจุดดับ.....	23
3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัดจุดดับ.....	23
3.3 การพัฒนาเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาติไนเซชันโดยมีพื้นฐานจาก เครื่อง Kofler hot stage microscope.....	23
3.4 ศึกษาผลของระยะเวลาในการโม่ด้วย ball mill ต่อสมบัติในด้านต่าง ๆ ของสตาร์ช มันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	28
3.5 เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเจลาติไนเซชันที่วัดด้วยเครื่อง ต่าง ๆ.....	29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	31

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	31
4.2 การพัฒนาเครื่องมือทางแสงสำหรับวัดอุณหภูมิเจลาติไนเซชันโดยมีพื้นฐานจาก เครื่อง Kofler hot stage microscope.....	32
4.3 ศึกษาผลของระยะเวลาในการโม่ด้วย ball mill ต่อสมบัติในด้านต่าง ๆ ของสตาร์ช มันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	36
4.4 เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเจลาติไนเซชันที่วัดด้วยเครื่อง ต่าง ๆ.....	68
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	83
ภาคผนวก ข.....	98
ภาคผนวก ค.....	105
ภาคผนวก ง.....	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชชนิดต่าง ๆ.....	4
2.2 การจัดจำแนกรูปแบบผลึกของสตาร์ชด้วยการทำ X-ray diffraction.....	7
2.3 ช่วงอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งที่วัดจากเครื่องของLeszczynski.....	14
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชตัวอย่าง.....	31
4.2 อุณหภูมิเจลาตินในเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่วัดด้วยเครื่อง Kofler hot stage microscope.....	32
4.3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงโพลาไรซ์ที่ส่องผ่านสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังเมื่อได้รับความร้อนที่วัดจากเครื่องที่สร้างขึ้น.....	34
4.4 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อค่า d-spacing, Intensity และ 2θ ที่ได้จากการทำ X-ray diffraction ของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	41
4.5 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่เสียหาย.....	45
4.6 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่อุณหภูมิห้อง.....	46
4.7 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	48
4.8 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	48
4.9 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	49
4.10 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55, 65, 75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	49
4.11 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชันและความหนืดของสตาร์ชมันฝรั่ง ความเข้มข้น 4% ที่วัดจากเครื่องBrabender viscograph.....	56
4.12 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชันและความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังความเข้มข้น 6% ที่วัดจากเครื่องBrabender viscograph.....	57
4.13 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลาตินในเซชันและความหนืดของสตาร์ชมันฝรั่ง ความเข้มข้น 4% ที่วัดจากเครื่องRVA.....	60

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันและความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังความเข้มข้น 6% ที่วัดจากเครื่อง RVA.....	61
4.15 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันและพลังงานที่ใช้สำหรับเจลลาคีโนเซชันสตาร์ชมันฝรั่งที่วัดจากเครื่อง DSC.....	64
4.16 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันและพลังงานที่ใช้สำหรับเจลลาคีโนเซชันสตาร์ชมันสำปะหลังที่วัดจากเครื่อง DSC.....	64
4.17 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิที่ค่า %ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสตาร์ชมันฝรั่งที่วัดจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	66
4.18 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิที่ค่า %ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่วัดจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	67
4.19 เปรียบเทียบสภาวะที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันด้วยเครื่อง Brabender viscograph และ RVA.....	69
4.20 อุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph, RVA, DSC และเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	71
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเจลลาคีโนเซชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่วัดได้จากเครื่อง Brabender viscograph, RVA, DSC และเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	74
ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งที่เสียหายที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	98
ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังที่เสียหายที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	98
ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	98
ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	98
ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการพองตัวของอุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	99

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	99
ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	99
ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	99
ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน (GTEMP), เวลาที่เริ่มเกิดเจลาติโนเซชัน (GTIME), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด(PEAK) วัดจากเครื่องBrabender viscograph ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	100
ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 95 °C 20 นาที, ที่ 50 °C, ที่ 50 °C 17 นาที, Breakdown และ Setback วัดจากเครื่องBrabender viscograph ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	100
ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน (GTEMP), เวลาที่เริ่มเกิดเจลาติโนเซชัน (GTIME), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด(PEAK) วัดจากเครื่องBrabender viscograph ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	100
ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 95 °C 20 นาที, ที่ 50 °C, ที่ 50 °C 17 นาที, Breakdown และ Setback วัดจากเครื่องBrabender viscograph ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	101
ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชัน (GTEMP), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่องRVA ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	101
ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 50 °C, ความหนืดสุดท้าย (50 °C 2.1 นาที), Breakdown และ Setback วัดจากเครื่องRVA ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	101

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนเซชัน (GTEMP), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่องRVA ของสตาร์ซมันส์ล่าปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	102
ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 50 °C, ความหนืดสุดท้าย (50 °C 2.1 นาที), Breakdown และ Setback วัดจากเครื่องRVA ของสตาร์ซมันส์ล่าปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	102
ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า To, Tp, Tc และ ΔH ที่วัดจากเครื่องDSC ของสตาร์ซมันส์ฝรั่งเศสที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	102
ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า To, Tp, Tc และ ΔH ที่วัดจากเครื่องDSC ของสตาร์ซมันส์ล่าปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	103
ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนเซชันของสตาร์ซมันส์ฝรั่งเศสที่วัดจาก %ความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	103
ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีไนเซชันของสตาร์ซมันส์ล่าปะหลังที่วัดจาก %ความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน.....	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอิมัลโพลีเพกติน.....	4
2.2 โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช.....	5
2.3 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงธรรมดาและแสงโพลาไรซ์.....	6
2.4 รูปแบบการพองตัวของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ.....	9
2.5 รูปแบบการละลายของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ.....	9
2.6 ขั้นตอนการเกิดเจลาติโนเซชันของสตาร์ช.....	10
2.7 Kofler hot stage microscope.....	12
2.8 Objective hot stage microscope.....	13
2.9 กราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ส่องผ่านเม็ดสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อน.....	13
2.10 จุดสำคัญในการวัดความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชด้วยเครื่อง Brabender viscograph.....	15
2.11 ลักษณะกราฟความหนืดและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดด้วยเครื่อง RVA.....	17
2.12 thermogram ของการเกิดเจลาติโนเซชันของสตาร์ชที่บันทึกได้จากเครื่อง DSC.....	19
2.13 กลไกการทำงานของ ball mill.....	20
3.1 ขั้นตอนการวัดอุณหภูมิเจลาติโนเซชันของสตาร์ชด้วยเครื่อง Kofler hot stage microscope.....	24
3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิเจลาติโนเซชันของสตาร์ชที่สร้างขึ้น.....	26
3.3 ขั้นตอนการวัดอุณหภูมิเจลาติโนเซชันของสตาร์ชด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	27
3.4 กระบวนการโม่สตาร์ชด้วย ball mill.....	28
4.1 กราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงโพลาไรซ์ที่ส่องผ่านสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังเมื่อได้รับความร้อนที่วัดจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	35
4.2 ผลของระยะเวลาในการโม่ต่อพื้นผิวและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1,000 เท่า.....	36
4.3 ผลของระยะเวลาในการโม่ต่อพื้นผิวและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 2,000 เท่า.....	37

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อรูปร่างและลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงธรรมดา (a) และแสงโพลาไรซ์ (b) โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า.....	38
4.5 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อรูปร่างและลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงธรรมดา (a) และแสงโพลาไรซ์ (b) โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า.....	39
4.6 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อ X-ray diffractogram ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	42
4.7 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อ X-ray diffractogram ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	43
4.8 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่เสียหาย.....	45
4.9 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังที่อุณหภูมิห้อง.....	47
4.10 รูปแบบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	50
4.11 รูปแบบร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	50
4.12 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	51
4.13 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	51
4.14 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	52
4.15 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55,65,75 และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	52
4.16 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อลักษณะกราฟความหนืดของสตาร์ชมันฝรั่งความเข้มข้น 4% ที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph.....	58
4.17 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อลักษณะกราฟความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลังความเข้มข้น 6% ที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph.....	58

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อลักษณะกราฟความหนืดของสตาร์ชมันฝรั่งความเข้มข้น 4% ที่วัดด้วยเครื่อง RVA.....	62
4.19 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อลักษณะกราฟความหนืดของสตาร์ชมันสำปะหลัง ความเข้มข้น 6% ที่วัดด้วยเครื่อง RVA.....	62
4.20 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อ DSC thermogram ของสตาร์ชมันฝรั่ง.....	65
4.21 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่อ DSC thermogram ของสตาร์ชมันสำปะหลัง.....	65
4.22 ผลของระยะเวลาในการไม่ต่ออุณหภูมิเจลาติไนเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งและ มันสำปะหลังเมื่อวัดด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น.....	68
ก.1 การดูคลื่นแสงของไอโอดีน อมัยโลส อมัยโลเพกติน และส่วนผสมของอมัยโลสกับ อมัยโลเพกตินที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ.....	88
ค.1 Kofler hot stage microscope.....	105
ค.2 อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แผ่นสไลด์ของสารแขวนลอยสตาร์ช.....	105
ค.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดอุณหภูมิและความเข้มแสง.....	106
ค.4 หม้ออบดและลูกบอลลีสำหรับทำ ball mill.....	106
ค.5 รางสำหรับโม่สตาร์ชด้วย ball mill.....	107
ง.1 Block diagram circuit สำหรับวัด %ความเข้มแสงและอุณหภูมิ.....	109

คำชี้แจง

อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนเซชันที่วัดจากเครื่อง	ความหมาย
Brabender viscograph	- อุณหภูมิที่เครื่องบันทึกค่าความหนืดได้ 10 Brabender Unit
Rapid visco analyser (RVA)	- อุณหภูมิที่เครื่องบันทึกค่าความหนืดได้ 2 Rapid visco unit เป็นเวลา 20 วินาที
Differential scanning calorimeter(DSC)	- อุณหภูมิที่เริ่มมีการดูดกลืนความร้อนจากการหลอมของผลึกสตาร์ช
เครื่องมือที่สร้างขึ้น	- อุณหภูมิที่ %ความเข้มแสงโพลาไรซ์ที่ส่องผ่านแผ่นสไลด์ของสารแขวนลอยสตาร์ชลดลงจาก 100 % เป็น 98 % (อ่านค่าอุณหภูมิที่ %ความเข้มแสงเท่ากับ 98 %)