การเตรียมและการศึกษาสมบัติวิทยากระแสของแป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนต สำหรับใช้ในสารเคลือบฐานน้ำ

นางสาว ธิดารัตน์ มากมูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND RHEOLOGICAL STUDY OF OCTENYLSUCCINATE TAPIOCA STARCH FOR WATER-BASED COATING APPLICATIONS

Miss Thidarat Makmoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copy right of Chulalongkorn University

532000

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการศึกษาสมบัติวิทยากระแสของแป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนตสำหรับใช้ในสารเคลือบฐานน้ำ
โดย	นางสาว ธิดารัตน์ มากมูล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. อศิรา เฟื่องฟูชาติ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. อศิรา เฟื่องฟูชาติ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. นิสภา ศีตะปันย์)

ธิดารัตน์ มากมูล : การเตรียมและการศึกษาสมบัติวิทยากระแสของแป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนตสำหรับใช้ในสารเคลือบฐานน้ำ. (PREPARATION AND RHEOLOGICAL STUDY OF OCTENYLSUCCINATE TAPIOCA STARCH FOR WATER-BASED COATING APPLICATIONS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. อศิรา เฟื่องฟูชาติ, 164 หน้า.

งานวิจัยและการผลิตสารเคลือบในปัจจุบันนี้ได้ให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับการรักษาสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยการลดการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และพัฒนาสูตรสารเคลือบฐานน้ำ สำหรับสูตรสารเคลือบฐานน้ำนั้นมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำ เรซิน ผงลี สารเติมแต่ง และอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญนั่นคือสารดัดแปรสมบัติวิทยากระแส ซึ่งช่วยดัดแปรความหนืดของสารเคลือบฐานน้ำให้เหมาะสมในการฉาบทาและช่วยให้องค์ประกอบอื่นๆในสูตรสารเคลือบกระจายตัวอยู่อย่างเสถียร โดยก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเซลลูโลสและอนุพันธุ์มาใช้เป็นสารดัดแปรสมบัติวิทยากระแสเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาในการนำแป้งซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากในประเทศไทยมาประยุกต์ใช้ในด้านนี้ ดังนั้นในโครงงานวิจัยนี้จึงนำแป้งมันสำปะหลังมาทำการดัดแปรด้วยหมู่ออกทีนิล-ซักซิเนต เพื่อให้มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับพอลิเมอร์แอลโซซิเอทีฟสำหรับใช้เป็นสารดัดแปรสมบัติวิทยา-กระแสของสารเคลือบฐานน้ำ จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างทางเคมี ได้แก่ ระดับการดัดแปรด้วยหมู่แทนที่ สมบัติพื้นฐานทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และสมบัติวิทยากระแสของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ได้ ตลอดจนสมบัติวิทยากระแสของสารเคลือบฐานน้ำหลังจากผสมแป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนตลงในสูตร จากการศึกษาพบว่า แป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนตที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันในภาวะความเป็นด่างโดยใช้ออกทีนิลซักซินิกแอนไฮไดรด์ปริมาณร้อยละ 1-50 ของน้ำหนักแป้ง นั้นให้ค่าระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ออกทีนิลซักซินิลอยู่ในช่วง 0.001-0.042 โดยเมื่อนำมาต้มสุกแล้วมีสมบัติทิกโซทรอปีที่เพิ่มขึ้นและแรงเฉือนลดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเลือกแป้งดัดแปรต้มสุกที่เหมาะสมมาใช้เป็นสารดัดแปรสมบัติวิทยากระแสซึ่งมีค่าระดับการแทนที่เป็น 0.11 และ 0.016 พบว่า แป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซีเนตต้มสุกช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ระบบสารเคลือบผิวฐานน้ำทั้งในระบบสารเคลือบใสและระบบที่มีอนุภาคของผงสีไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดีที่อัตราส่วนระหว่างแป้งต้มสุกต่อเรซินเป็น 0.08 ต่อ 100 โดยน้ำหนักแห้ง และไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบเปลี่ยนไป

ภาควิชาวัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต ธิดารัตน์ มากมูล
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2553	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

##5172623323: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS: WATER-BASED COATING / RHEOLOGICAL MODIFIER / MODIFIED STARCH / ASSOCIATIVE POLYMER / TAPIOCA STARCH

THIDARAT MAKMOON : PREPARATION AND RHEOLOGICAL STUDY OF OCTENYLSUCCINATE TAPIOCA STARCH FOR WATER-BASED COATING APPLICATIONS. ADVISOR : ASST. PROF. NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D., CO-ADVISOR : ASIRA FUONGFUCHAT, Ph.D., 164 pp.

Coating research and industries are currently aiming to develop technology that alleviates the health and environmental problems from volatile organic components. The recent approaches are reduction of organic solvents in coating formula and development of water-based coatings. The water-based coating, which is of our interest, contains mainly are water, resin, pigment and additives. The other important composition is the rheological modifier which is used to adjust the viscosity of coating systems to help to reducing sagging and brush mark, and stabilizing the dispersion of other compositions in coating formula. Much attention has been paid to use modified polysaccharides as a rheological modifier in coating. The objective of this research is thus to modify tapioca starch, a natural polymer that is abundance in Thailand, to use as a rheological modifier in water-based coating formulation. The modification was carried out via esterification by octenyl succinic anhydride. Chemical characterization, physicochemical and rheological studies were subsequently performed on the obtained octenyl succinate tapioca starches (OSAST). The rheological property of OSAST-containing water-based coating formulation was studied. Moreover, the film forming and mechanical properties of modified films were determined. The results revealed that OSAST from esterification reaction with octenyl succinic anhydride (0-50% by weight of dry starch) provided the degree of substitution in the range of 0.001-0.042. Gelatinized OSAST showed thixotropic and shear thinning behavior. The OSAST with the degree of substitution of 0.011 and 0.016 was found to suitable to use as rheology modifier in clear coatings and paints. The optimum ratio of the gelatinized OSAST to resin is 0.08: 100 (solid content), which provided thickening ability and did not alter the physical properties of dry film.

Department :Materials Science
Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology
Academic Year : 2010

Student's Signature
Advisor's Signature
Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อทางวัสดุอุปกรณ์ ด้านเครื่องมือ สารเคมี สถานที่และห้องปฏิบัติการสำหรับการค้นคว้าและการทำวิจัยวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้รับคำแนะนำข้อคิด วิธีการ ทางด้านวิชาการจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดีเสมอมา ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. อศิรา เฟื่องฟูชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำ การแก้ไขปัญหา ให้ข้อคิดเห็นและการสนับสนุนงานวิจัยเป็นอย่างดี และกรุณาในการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรวมทั้ง ดร.นิสภา ศีตะปันย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำด้านวิชาการและกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ทุนการดำเนินงานสนับสนุนการผลิตบัณฑิตวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับปริญญาโท (ผนวท. 1) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษา ค่าใช้จ่าย ค่าวัสดุอุปกรณ์ และค่าสารเคมีตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และทุนโปรแกรมเทคโนโลยีพื้นฐาน (MTEC Platform: MT-B-52-POL-07-436-I (P-00-30283)) ในโครงการ "การพัฒนาของผสมจากพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้เป็นตัวปรับสมบัติรีโอโลยี" ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัย

ศูนย์ด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง (Center for Petroleum, Petrochemical and Advanced Materials) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการไปเสนอผลงานระดับนานาชาติที่ประเทศฝรั่งเศส

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่และพี่น้องเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณพี่น้องเพื่อนๆที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

2. วารสารปริทรรศน์..... 5

2.1 สารเคลือบผิว (surface coating)..... 5

2.2 สมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology)..... 8

2.3 สารดัดแปรสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology modifier)..... 20

2.4 แป้ง..... 24

2.5 วิธีการการดัดแปรแป้ง..... 38

2.6 แป้งดัดแปรที่มีใช้ทั่วไปในท้องตลาด..... 40

2.7 สารให้ความข้นหนืดจากแป้ง..... 42

2.8 แป้งมันสำปะหลัง..... 44

2.9 แป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 49

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 51

3. การทดลอง..... 53

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 55

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 55

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 56

3.4 ขอบเขตการทดลอง..... 56

3.5 ขั้นตอนการทดลอง..... 57

3.6 การดัดแปรแป้ง..... 58

3.7 การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของแป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 61

บทที่ หน้า

3.8 การศึกษาสมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร..... 65
3.9 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวฐานน้ำโดยใช้แป้งออกทีนิลซักซิเนตและการทดสอบสมบัติเชิงวิทยากระแสของสูตรสารเคลือบ..... 69
3.10 การศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างของสูตรต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสของสูตรสารเคลือบ..... 70
3.11 การศึกษาผลกระทบของผงสีไทเทเนียมต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสของสูตรสารเคลือบ..... 70
3.12 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบที่ใช้แป้งออกทีนิลซักซิเนตเมื่อแห้งตัว..... 71
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 74
4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง..... 74
4.2 การเตรียมแป้งออกทีนิลซักซิเนตจากแป้งมันสำปะหลัง..... 81
4.3 โครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 85
4.4 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 88
4.5 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังออกทีนิลซักซิเนตในกลีเซอรอลและในน้ำปราศจากไอออน..... 90
4.6 โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช..... 94
4.7 ปริมาณความชื้นของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 95
4.8 สมบัติทางความร้อนแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต..... 95
4.9 ลักษณะการแตกตัวของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งออกทีนิลซักซิเนตหลังเกิดเจลลาติไนเซชันสมบูรณ์โดยเทคนิค OM..... 96
4.10 ความใสของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนตที่เกิดเจลลาติไนเซชันสมบูรณ์..... 99
4.11 ศึกษาผลของความมีขั้วของสารละลายต่อค่าความหนืดเริ่มต้น (low- shear viscosity)ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนตที่เกิดเจลลาติไนเซชันสมบูรณ์..... 100
4.12 สมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งต้มสุกในน้ำ..... 102

บทที่ หน้า

4.13 สมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งเจลในสารอิมัลชันอะคริลิกสไตรีนิกพอลิเมอร์-ร่วมที่เติมแป้งเจลเป็นสารดัดแปรสมบัติเชิงวิทยากระแสที่อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02: 100100 104

4.14 สมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งเจลในสารอิมัลชันอะคริลิกสไตรีนิกพอลิเมอร์-ร่วมเมื่อเติมแป้งเจลเป็นสารดัดแปรสมบัติเชิงวิทยากระแสที่อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 114

4.15 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งเจลในสารอิมัลชันอะคริลิกสไตรีนิกพอลิเมอร์ร่วมที่อัตราส่วนของอะคริลิกต่อ OSAST โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 124

4.16 ผลของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติเชิงวิทยากระแสของแป้งเจลในสารอิมัลชันอะคริลิกสไตรีนิกพอลิเมอร์ร่วมที่อัตราส่วนของอะคริลิกต่อ OSAST โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 133

4.17 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบเมื่อแห้งตัว 140

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 142

สรุปผลการทดลอง 142

ข้อเสนอแนะ 145

รายการอ้างอิง 146

ภาคผนวก 154

ภาคผนวก ก 155

ภาคผนวก ข 157

ภาคผนวก ค 160

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 164

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบในสูตรสารคลือบผิวฐานน้ำและสารช่วยให้ข้น (thickener) หรือแอส-โซซิเอทีพพอลิเมอร์ 21

2.2 องค์ประกอบภายในแป้งมันสำปะหลังจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ 45

2.3 สมบัติของแป้งมันสำปะหลัง 45

3.1 การออกแบบการทดลองในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง 59

3.2 สมบัติของอะคริลิกสไตรีนพอลิเมอร์ร่วม 69

3.3 สูตรสารเคลือบฐานน้ำที่ใช้ในการศึกษา 69

4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง 76

4.2 สมบัติทางความร้อนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังที่เกิดการบวมตัวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 และทำให้แห้ง 80

4.3 แสดงปริมาณออกทีนิลซักซินิกแอนไฮไดรด์ ที่ใช้ในการทดลอง 83

4.4 ค่าการดูดกลืนรังสี IR ในช่วงเลขคลื่นที่บ่งชี้ถึงหมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (OSAST) 87

4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต (OSAST) ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ 96

4.6 การเติมน้ำและเอทานอลเพื่อเตรียมแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 101

4.7 ค่าความหนืดของสูตรสารเคลือบใส ที่อัตราเฉือน 0.1, 100 และ 0.1ปาสคาล โดยอัตราส่วนแป้งต่อ ASD เป็น 0.02: 100 โดยน้ำหนักแห้ง 114

4.8 ค่าความหนืดของสูตรสารเคลือบใส ที่อัตราเฉือน 0.1, 100 และ 0.1 ปาสคาล โดยอัตราส่วนแป้งต่อ ASD เป็น 0.08: 100 โดยน้ำหนักแห้ง 122

4.9 ค่าความหนืดของสูตรสารเคลือบใส ที่อัตราเฉือน 0.1, 100 และ 0.1ปาสคาล โดยอัตราส่วนแป้งต่อ ASD เป็น 0.08: 100 โดยน้ำหนักแห้ง (ความเป็นกรด-ด่างเป็น 8, 6 และ 12 ตามลำดับ) 131

4.10 ค่าความหนืดของสูตรสารเคลือบสี ที่อัตราเฉือน 0.1, 100 และ 0.1ปาสคาล โดยอัตราส่วนแป้งต่อ ASD เป็น 0.08: 100 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณผง TiO2 เป็นร้อยละ37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสูตรมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02 138

ตารางที่ หน้า

4.11 แสดงสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้ง OSAST ที่มีระดับการ แทนที่ต่างกันโดยมีอัตราส่วนของแป้งต่อ ASD เป็น 0.08 ต่อ 100 141

4.12 แสดงสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบสีเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ แป้ง OSAST ที่มีระดับการแทนที่ 0.011 และ 0.016 โดยมีอัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD เป็น 0.08 ต่อ 100 โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรที่ไม่ระเหย และสารเคลือบสีมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 142

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะพฤติกรรมการไหลของของไหลชนิดต่างๆ 9

รูปที่ 2.2 รูปแสดงการเลื่อนไหลของชั้นของเหลวเมื่อได้รับแรงเฉือน 10

รูปที่ 2.3 กราฟการไหลของของเหลวที่มีการไหลแบบนิวตัน (Newtonian) 11

รูปที่ 2.4 กราฟการไหลของของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติก (plastic flow) 12

รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างอนุภาคในของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติก A = เมื่อไม่มีการไหล และ B = เมื่อถูกแรงกระทำและเริ่มไหล 13

รูปที่ 2.6 กราฟการไหลแบบซูโดพลาสติก 14

รูปที่ 2.7 ลักษณะโมเลกุลของของเหลวที่มีการไหลแบบซูโดพลาสติกโดย A = เมื่อไม่มีแรงกระทำ B = เมื่อถูกแรงกระทำให้ไหล 14

รูปที่ 2.8 กราฟการไหลแบบไดลาแทนต์ (dilatant flow) 15

รูปที่ 2.9 รูปอธิบายพฤติกรรมการไหลแบบไดลาแทนต์ (dilatant) 16

รูปที่ 2.10 ทิกโซทรอปีของของเหลวที่มีการไหลแบบ ซูโดพลาสติกและพลาสติก 17

รูปที่ 2.11 การทดสอบสมบัติเชิงกลแบบพลศาสตร์ของวัสดุวิสโคอิลาสติกโดยให้แรงแล้ววัดการตอบสนองในรูปคลื่นแบบซายน์ (sine wave) 18

รูปที่ 2.12 กราฟตัวอย่างการทดสอบสมบัติเชิงกลแบบพลศาสตร์ของวัสดุวิสโคอิลาสติกในรูปสารละลายและเจล 19

รูปที่ 2.13 โครงร่างอัตราเฉือนของเอธิลไฮดรอกซีเอธิลเซลลูโลสชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงชนิดที่ดัดแปรด้วยหมู่ไม่ชอบน้ำและ ชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 21

รูปที่ 2.14 การทดสอบสมบัติของสารคลือบผิวฐานน้ำ โดย ก) การเกิดการไหลย้อย (sagging) ของสารเคลือบ และ ข) การเกิดการไหลได้ระนาบ (leveling) ที่ดีของสารเคลือบ 21

รูปที่ 2.15 โครงร่างอัตราเฉือนของพอลิเมอร์ชนิดเอธิลไฮดรอกซีเอธิลเซลลูโลสแอคริเลตและพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ถูกดัดแปรด้วยหมู่ไม่ชอบน้ำ 23

รูปที่ 2.16 โครงสร้างโมเลกุลของแป้ง 24

รูปที่ 2.17 โครงสร้างของอะมิโลส 25

รูปที่ 2.18 โครงสร้างอะมิโลเพกติน 25

รูปที่ 2.19 แบบจำลองของอะมิโลเพกติน 26

รูปที่ 2.20 ลักษณะเม็ดแป้ง 27

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างลักษณะเม็ดแป้งมันฝรั่งด้วย ก) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแสง และข) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแสงโพลาไรซ์ 28
รูปที่ 2.22 การพองตัวของเม็ดแป้ง 29
รูปที่ 2.23 การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง 31
รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน 31
รูปที่ 2.25 DSC thermogram ของแป้งชนิดต่างๆ 33
รูปที่ 2.26 การเกิดการคืนตัว (retrogradation) ของแป้ง 34
รูปที่ 2.27 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน 35
รูปที่ 2.28 โครงสร้างผลึกแบบ A และ B ของอะมิโลส 37
รูปที่ 2.29 โครงสร้างผลึกของแป้งจากส่วนต่างๆของพืช 4 แบบคือ A B C และ V โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffractometer) 37
รูปที่ 2.30 ตำแหน่งของคาร์บอนบนหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 40
รูปที่ 2.31 สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับโมโนกลีเซอไรด์หรือกรดไขมัน 43
รูปที่ 2.32 รูปแบบความหนืดของแป้งมันฝรั่งเมื่อเติมกรดไขมัน 44
รูปที่ 2.33 โครงร่างของการ debranched ของอะมิโลเพกตินที่แฟรกชันต่างๆของแป้งมัน-สำปะหลังโดยเทคนิคเจลเพอมิเอชัน 46
รูปที่ 2.34 ลักษณะเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรก่อนต้ม (30 องศา และหลังต้ม (70 องศาเซลเซียส) ในตัวกลางที่เป็นน้ำ, ในซูโครสร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 48
รูปที่ 2.35 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแป้งออกทีนิลซักซิเนต 50
รูปที่ 2.36 การเป็นพอลิเมอร์ แอสโซซิเอทีฟ และนอนแอสโซซิเอทีฟพอลิเมอร์ของ HEC 51
รูปที่ 3.1 แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง 55
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเครื่องมือและขั้นตอนที่ใช้ในการดัดแปรแป้ง 58
รูปที่ 3.3 ก) กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด และ ข) เครื่องเคลือบทอง 61
รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงและแสงโพลาไรซ์ 62
รูปที่ 3.5 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ 62
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่าร้อยละการดูดความชื้น 63
รูปที่ 3.7 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 63
รูปที่ 3.8 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ 64

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 3.9 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ 65
รูปที่ 3.10 เครื่องรีโอมิเตอร์ (rotational rheomiter) รุ่น Gemini 200HR nano 66
รูปที่ 3.11 กราฟตัวอย่างของการทดสอบ amplitude sweep test 67
รูปที่ 3.12 กราฟตัวอย่างของการทดสอบ frequency sweep test 68
รูปที่ 3.13 กราฟตัวอย่างของการทดสอบ steady shear rate sweep test 68
รูปที่ 3.14 coating rod เบอร์ 26 และกระดาษมาตรฐาน 71
รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความเงา (gloss meter) 71
รูปที่ 3.16 ภาพระดับการยึดติด 72
รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบเครื่องทดสอบการไหลได้ระนาบและการย้อย 73
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างวิธีการเตรียมการทดสอบการไหลได้ระนาบและการย้อย 73
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างแผ่นทดสอบการการไหลได้ระนาบและการย้อย 73
รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังโดยเทคนิค SEM โดยที่ 71
T: ปลายตัดคล้ายปากแตร และ P: พื้นผิวหน้าที่มีรูพรุน เมื่อ 74
ก) กำลังขยาย 1,500 เท่า และ ข) กำลังขยาย 3, 500 เท่า 74
รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังเมื่อแขวนลอยในกลีเซอรอล โดยเทคนิค OM 75
(กำลังขยาย 500 เท่า) โดยที่ H: ไฮลัม เมื่อสังเกตโดย ก) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแสง
และ ข) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแสงโพลาไรซ์แสง 75
รูปที่ 4.3 แพทเทิร์นของเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของแป้งมันสำปะหลัง 76
รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังแป้งมันสำปะหลังหลังที่แขวนลอยในสารละ-
ลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 3 และทำให้แห้ง 78
รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังโดยกล้องจุลทรรศน์ด้วยแสงและแสงโพลาไรซ์
(กำลังขยาย 500 เท่า) 76
รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลัง เมื่อแขวนลอยในสารละลายโซเดียม-
ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 3 และทำให้แห้ง 80
รูปที่ 4.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่า ระดับการแทนที่ ของ OSAST 82
รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นของแป้ง ต่อค่า Degree of substitution (DS) ของ OSAST . 84
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคนิค FTIR 87
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ OSAST ด้วยเทคนิค FTIR 87

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 4.11 ลักษณะของเม็ดแป้งออกทีนิลซักซิเนต เมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ด้วยแสงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 89

รูปที่ 4.12 ลักษณะของเม็ดแป้งออกทีนิล ซักซิเนตในกลีเซอรอล เมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แสงปกติ (ก, ค, จ, ช, ณ และ ฎ) และด้วยแสงโพลาไรซ์ (ข, ง, ฉ, ซ, ญ และ ฐ) 91

รูปที่ 4.13 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังเมื่อแขวนลอยในน้ำเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ โดยที่I คือ เม็ดแป้งที่ไม่เสียหาย และ D คือ เม็ดแป้งที่เสียรูป 93

รูปที่ 4.14 แพทเทิร์นของเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของแป้งมันสำปะหลังละแป้งออกทีนิลซักซิเนต 94

รูปที่ 4.15 ร้อยละการดูดซึมความชื้นของ แป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนตที่ระดับการแทนที่ต่างๆ 95

รูปที่ 4.16 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังในน้ำและเม็ดแป้งออกทีนิลซักซิเนตที่ระดับการแทนที่ 0.011-0.040 หลังจากต้มและเกิดเจลาติไนซ์สมบูรณ์แล้วเมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ด้วยแสงที่กำลังขยาย 50 เท่าโดยที่ GG คือ ถุงหุ้มภายนอกของเม็ดแป้ง (granule ghost)..... .. 98

รูปที่ 4.17 ความสามารถในการให้แสงส่องผ่านของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิ-เนตที่เกิดเจลแล้วในน้ำที่ระดับการแทนที่ต่างๆ..... 99

รูปที่ 4.18 แสดงผลของปริมาณสารละลายอินทรีย์ต่อค่าความหนืดเริ่มต้นของแป้งมันสำปะ-หลัง และแป้งออกทีนิลซักซิเนตที่ระดับการแทนที่ต่างๆ..... 101

รูปที่ 4.19 สมบัติทิกโซทรอปีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งออกทีนิลซักซิเนต ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวกลางที่เป็นน้ำ 103

รูปที่ 4.20 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความเค้นของสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD ต่อ โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02:100) . เมื่อ ก) ค่ามอดุลัสสะสม (G') และ ข) ค่ามอดุลัสสูญเสีย (G")..... 107

รูปที่ 4.21 ค่าความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของความเค้นของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02: 100)..... 108

รูปที่ 4.22 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุมของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมัน-สำปะหลังและ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02:100)..... 109

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 4.23 ค่าความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุมของสูตรสารเคลือบใส เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังและ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02: 100) 110

รูปที่ 4.24 พฤติกรรมการไหลของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASDโดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02:100) 112

รูปที่ 4.25 การคลายตัวกลับของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้งต่อ ASDโดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.02:100) 114

รูปที่ 4.26 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความเค้นของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังและ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08:100) เมื่อ ก) มอดุลัสสะสม และ ข) มอดุลัสสูญเสีย 116

รูปที่ 4.27 ค่าความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของความเค้นของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100)..... 117

รูปที่ 4.28 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุมของสูตรสารเคลือบใส เมื่อใช้แป้งมัน-สำปะหลังและ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASDโดย โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08:100)..... 118

รูปที่ 4.29 ค่าความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุมของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) 119

รูปที่ 4.30 พฤติกรรมการไหลของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของ OSAST ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100)..... 120

รูปที่ 4.31 พฤติกรรมการไหลของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ (อัตราส่วนของ OSASTต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) โดย..... 121

รูปที่ 4.32 การคลายตัวกลับของอิมัลชันอะคริลิกเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง และ OSAST ที่ระดับการแทนที่ต่างๆ(อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08:100)..... 123

รูปที่ 4.33 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความเค้นของสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ไม่เกิน 0.02 (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12 เมื่อ ก) ASD+ST ข) ASD+OSAST DS 0.011 และ ค) ASD+OSAST DS 0.016..... 126

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 4.34 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ไม่เกิน 0.02 (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12 เมื่อ ก) ASD+ST ข) ASD+OSAST DS 0.011 และ ค) ASD+ OSAST DS 0.016..... 127

รูปที่ 4.35 ค่ามอดุลัสที่เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุมของสารเคลือบใสเมื่อใช้ OSAST ที่ระดับการแทนที่ไม่เกิน 0.02 (อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12 เมื่อ ก) ASD+ST ข) ASD+OSAST DS 0.011 และ ค) ASD+OSAST DS 0.016..... 128

รูปที่ 4.36 ค่าความหนืดเชิงซ้อนของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้ อัตราส่วนของแป้งเจล ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12 เมื่อ ก) ASD+ST ข) ASD+OSAST DS 0.011 และ ค) ASD+OSAST DS 0.016..... 129

รูปที่ 4.37 พฤติกรรมการไหลของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้ อัตราส่วนของแป้งเจล ต่อ ASDโดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12 เมื่อ ก) ASD+ST ข) ASD+OSAST DS 0.011 และ ค) ASD+OSAST DS 0.016..... 130

รูปที่ 4.38 การคลายตัวกลับของสูตรสารเคลือบใสเมื่อใช้ อัตราส่วนของแป้งเจล ต่อ ASDโดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 6, 8 และ 12..... 132

รูปที่ 4.39 ค่ามอดุลัสและความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของค่าความเค้นเฉือน ของสูตรสารเคลือบ ที่อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสารเคลือบมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 134

รูปที่ 4.40 ค่ามอดุลัสและความหนืดเชิงซ้อนที่เป็นฟังก์ชันของค่าความถี่เชิงมุมของ สูตรสารเคลือบ ที่อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสารเคลือบมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 135

รูปที่ 4.41 พฤติกรรมการไหลของสูตรสารเคลือบที่อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสารเคลือบมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 137

ภาพประกอบที่ หน้า

รูปที่ 4.42 การคลายตัวกลับของสูตรสารเคลือบที่อัตราส่วนของแป้งต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 เมื่อ โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสารเคลือบมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 139

รูปที่ 4.43 ความเงาของสูตรสารเคลือบใสที่อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100..... 140

รูปที่ 4.44 ความเงาของสูตรสารเคลือบสีที่อัตราส่วนของแป้ง ต่อ ASD โดยน้ำหนักแห้งเป็น 0.08: 100 โดยปริมาณผง TiO_2 เป็นร้อยละ 37.5 โดยปริมาตรไม่ระเหยและสารเคลือบมีปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 54.02..... 142