

การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

สำหรับการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย



นางสาวลิปดา อังกิตานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



PREPARATION OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA
MICROCAPSULES FOR ANTIBACTERIAL FINISHING ONTO COTTON FABRIC

Miss Lipda Angkitanont

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 2012

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-
ยูเรียสำหรับการตกแต่งด้านเบคทีเรียบนผ้าฝ้าย

โดย

นางสาวลิปดา อังกิตานนท์

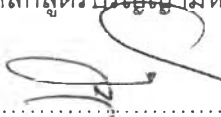
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

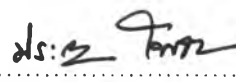
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

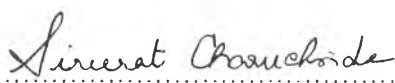
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา

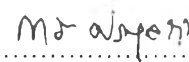
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

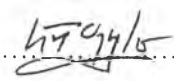

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทยา ยานูเมศ)

ลิปดา อังกิตานนท์ : การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียสำหรับการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย. (PREPARATION OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULES FOR ANTIBACTERIAL FINISHING ONTO COTTON FABRIC) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: ผศ. ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา, 134 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่สังเคราะห์ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันที่มีพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารหล่อหุ้ม โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ (12000-18000 รอบต่อนาที) และ ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (10, 20 และ 30 มิลลิลิตร) ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาค ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูล ความจุน้ำมันหอมระเหย และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดกลม มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร และมีค่าการกระจายขนาดที่แคบ(ค่าการกระจายขนาดน้อยกว่า 1.4)ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่มีความสามารถในการจุน้ำมันหอมระเหยได้ดีที่สุดได้มาจากการเตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ 20 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้นั้นถูกนำมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด และทำให้แห้งโดยการตากที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 รวมถึงการทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียต่อภาวะการใช้งานต่างๆ เช่น ต่อการซัก ต่อแสง ต่อการรีดร้อน ต่อการขัดถู ต่อเหงื่อ และต่อเหงื่อพร้อมแสง โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม (การลดลงของแบคทีเรียมากกว่าร้อยละ 99) ยกเว้นผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จซึ่งนำไปผ่านภาวะการทดสอบเหงื่อ ที่ไม่หลงเหลือความสามารถในการต้านแบคทีเรียอยู่เลย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ลายมือชื่อนิสิต ลิปดา อังกิตานนท์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยีสิ่งทอลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก *Sirint*
ปีการศึกษา 2555

5472084323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL / POLYURETHANE-UREA / MICROCAPSULE
/ COTTON FABRIC / ANTIBACTERIAL PROPERTY

LIPDA ANGKITANONT : PREPARATION OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULES FOR ANTIBACTERIAL FINISHING ONTO COTTON FABRIC. ADVISOR : ASST. PROF. SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D, 134 pp.

In this research polyurethane-urea (PUU) microcapsules containing guava leaf essential oil (EO) were prepared by an interfacial polymerization. The effects of various parameters such as stirring rate (12000-14000 rpm) and amounts of guava leaf EO (10, 20 and 30 mL) on particle size and particle size distribution, morphology and thermal stability were studied EO loading capacity and oil release of microcapsules were investigated. It was found that the microcapsules were spherical in structure with particle size less than 10 µm and a narrow microcapsules distribution (span value < 1.4). The highest EO loading capacity could be prepared by using stirring rate at 14000 rpm with 20 mL of guava leaf EO. The selected microcapsules were then treated onto cotton fabrics by using padding technique and dried under room temperature. The treated cotton fabrics were further subjected to antibacterial test against *Staphylococcus aureus* according to the AATCC test method 100 and durability test of antibacterial activity on washing, light, hot pressing, crocking, perspiration and light with perspiration. It was found that cotton fabrics treated with guava leaf EO/PUU microcapsules exhibited excellent antibacterial activity against *S. aureus* (% reduction > 99%) except the one exposed to perspiration.

Department : Materials Science.....

Student's Signature

ลพดา อังกิตานนท์

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology

Advisor's Signature

Sireerat

Academic Year : 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังได้รับความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังรายนามต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และแนะแนวทางในการดำเนินงาน รวมถึงการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการทำวิจัยได้อย่างถูกต้อง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ และ รองศาสตราจารย์ ดร.นันทยา ยานูเมศ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลามาให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. เจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย
4. Center for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials, Chulalongkorn University ที่ให้ทุนการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 ปี
5. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้การดำเนินงานของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยบางส่วน
6. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (AM1027A) และ จุฬา100ปี/CU-ADVANCE MATERIALS/CU56-AM06 ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รุ่นพี่ เพื่อน และน้องๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฝรั่ง (Guava).....	4
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของใบฝรั่ง.....	4
2.2 สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากพืช.....	10
2.2.1 สารสกัด (extract).....	10
2.2.1.1 ประเภทของสารที่สกัดได้.....	10
2.2.2 น้ำมันหอมระเหย (essential oil).....	12
2.2.2.1 ประเภทของสารที่สกัดได้.....	12
2.2.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหย.....	13
2.2.3 กรรมวิธีการแยกสารออกจากพืช.....	13
2.2.3.1 การกลั่น (distillation).....	13
2.2.3.2 การบีบหรือการอัด (expression).....	14
2.2.3.3 การดูดซับ (resorption).....	15
2.2.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction).....	15

บทที่	หน้า
2.4.4.3 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยอาศัยหลักการพองตัว (release of core by swelling).....	38
2.4.4.4 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent- activated release).....	39
2.4.4.5 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยวิธีการหลอมละลาย (release of core by melting).....	39
2.4.4.6 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยใช้ pH (pH sensitive relrase).....	39
2.5 พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea, PUU).....	42
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
3 วิธีการทดลอง.....	47
3.1 ขอบเขตการทดลอง.....	47
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	47
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	49
3.4 การดำเนินงานวิจัย.....	51
3.4.1 วิธีการทดลอง.....	52
3.4.1.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่ห่อหุ้มด้วยพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน.....	52
3.4.1.2 การหาปริมาณของแข็ง.....	54
3.4.1.3 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล.....	54
3.4.1.4 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	55
3.4.2 การวิเคราะห์ และการทดสอบสมบัติของไมโครแคปซูล.....	56
3.4.2.1 การทดสอบหาขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค PSD.....	56
3.4.2.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค FTIR.....	57

บทที่	หน้า
3.4.2.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโรแคปซูลที่เตรียมได้ด้วย เทคนิค จุลทรรศน์แบบแสง.....	58
3.4.2.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโรแคปซูลที่เตรียมได้ด้วย เทคนิค SEM.....	59
3.4.2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA.....	60
3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุอยู่ในไมโคร แคปซูล.....	61
3.5.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไม โครแคปซูล.....	62
3.4.3 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอม ระเหยใบฝรั่ง และไมโรแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง.....	63
3.4.3.1 ทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้ง หรือการทดสอบความแข็งแรงกระด้างของ ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และไมโคร แคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง.....	63
3.4.3.2 ทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย <i>Staphylococcus</i> ซึ่งมี ผลทำให้ผิวหนังอักเสบ.....	64
3.4.3.3 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อการซัก.....	66
3.4.3.4 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อเหงื่อ.....	67
3.4.3.5 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อการรีดร้อน..	68
3.4.3.6 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อแสง.....	69
3.4.3.7 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อการขัดถู.....	70
3.4.3.8 ทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายต่อเหงื่อ พร้อมแสง.....	71

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	72
4.1 การหาลักษณะสมบัติของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	72
4.1.1 พิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR.....	72
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดอนุภาค และการกระจายตัวของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	74
4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค OM.....	74
4.2.1.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม.....	74
4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา การกระจายตัว และขนาดของไมโครแคปซูล ด้วยเทคนิค SEM และ PSD.....	75
4.2.2.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม.....	75
4.2.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใส่ในระบบ.....	78
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	79
4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล ด้วยเทคนิค IMDB และ TGA.....	79
4.3.1.1 ผลของการให้ความร้อน และปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใส่ในระบบ...	79
4.3.1.2 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม.....	81
4.4 การศึกษาความสามารถในการเก็บรักษาเพื่อการใช้งาน ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	83
4.5 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค TGA.....	85
4.5.1 การศึกษาสมบัติภายใต้การให้ความร้อนแบบไอโซเทอร์มอล.....	85
4.5.2 การศึกษาสมบัติภายใต้การให้ความร้อนแบบไดนามิกส์.....	86
4.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง-พอลิยูรีเทน-ยูเรีย....	88
4.6.1 ผลจากความเข้มข้นที่ต่างๆกันของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	88

บทที่	หน้า
4.6.1.1 ความสามารถในการต้านแบคทีเรียและค่าสภาพแข็งดัดโค้ง.....	88
4.6.2 ผลจากการเพิ่มระยะเวลาในการปล่อยให้ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จสัมผัสเชื้อที่ อุณหภูมิต่ำ.....	93
4.6.3 ผลจากการทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังจาก นำไปใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ.....	95
4.6.3.1 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังทดสอบด้วยการ ซัก.....	95
4.6.3.2 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังผ่านการทดสอบด้วย ภาวะต่างๆ	99
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	102
5.1.1 ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	102
5.1.2 ประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยน้ำมันหอม ระเหยใบฝรั่ง และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยู เรีย.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	111
ภาคผนวก ก.....	112
ภาคผนวก ข.....	116
ภาคผนวก ค.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	134

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในฝรั่ง.....	5
2.2	ตัวอย่างของสารแทน.....	23
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอกับกลไกการปลดปล่อย สารแทน.....	24
2.4	ตัวอย่างของสารห่อหุ้ม.....	24
2.5	วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล.....	27
2.6	ลักษณะของสารแทนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูลชั้นด้วยวิธี ต่างๆ และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้.....	27
2.7	ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟซียอลพอลิเมอไรเซชัน.....	30
2.8	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้น้ำ เป็นตัวกลาง).....	32
2.9	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้ ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลาง).....	33
2.10	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้แก๊ส เป็นตัวกลาง).....	34
2.11	ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูล.....	40
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
3.2	สูตรส่วนประกอบทางเคมีของสารน้ำมันและสารละลายในน้ำ.....	53
3.3	สูตรของส่วนประกอบและสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย.....	55
4.1	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ- ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (เวลาในการกวน ผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 20 มิลลิลิตร).....	77

ตารางที่	หน้า	
4.2	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่างๆ (ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที).....	79
4.3	% solid content ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที) หลังการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส.....	81
4.4	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 14000 รอบต่อนาที เวลาในการปั่นผสม 5 นาที).....	81
4.5	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน โดยใช้ความเร็วที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที.....	82
4.6	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน โดยเตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที.....	85
4.7	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่ความเข้มข้นต่างๆบนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก).....	89
4.8	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก).....	90
4.9	ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายก่อนและหลังตกแต่งต้านจุลินทรีย์ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	91
4.10	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียเมื่อทิ้งให้สัมผัสเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาต่างๆตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก).....	94

ตารางที่	หน้า
4.11	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 หลังผ่านการ ซัก..... 96
4.12	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> ของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง บนผ้า ฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 หลังผ่านการซัก..... 98
4.13	ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ <i>S. aureus</i> ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก)หลัง ผ่านการทดสอบ ภายใต้ภาวะต่างๆ..... 100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะลำต้น ใบ และผลของฝรั่ง.....	4
2.2	วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืช.....	15
2.3	กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (a) การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย (b) การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย (c) การทำงานของสารที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์จากภายในโครงสร้างของเส้นใย.....	18
2.4	โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	22
2.5	ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูลเลชันโดยใช้เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation).....	28
2.6	การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization).....	29
2.7	ลักษณะของ Fluid-bed coater (a) top spray (b) bottom spray (c) tangential spray.....	35
2.8	หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการเคลือบ (Pan coating).....	35
2.9	การทำเอนแคปซูลเลชันโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying). ..	36
2.10	รูเปิดลักษณะต่างๆของการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีออร์ฟิช (Orifice).....	37
2.11	ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	43
2.12	โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	43
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	51
3.2	แผนภาพขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน.....	53
3.3	(a) เครื่อง PSD ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 และ(b) หน่วยกระจาย Hydro 2000SM.....	56
3.4	เครื่อง FT-IR ของ Thermo Fisher Scientific รุ่น Nicolet 6700.....	57

	ด
รูปที่	หน้า
3.5	เครื่อง OM ของ OLYMPUS รุ่น OM BH2-UMA..... 58
3.6	เครื่อง SEM ของ JEOL., Ltd รุ่น JSM 5800 LV..... 59
3.7	เครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e 60
3.8	เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้ง..... 64
3.9	เครื่อง Gyrowash ของ James H. Heal & Co.Ltd รุ่น Gyrowash 815/20..... 66
3.10	เครื่อง perspirometer ที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของสารต้านจุลินทรีย์บน ผ้าฝ้ายต่อเหงื่อ..... 67
3.11	เครื่อง scorch tester ของ SDL Atlas Inc. รุ่น M247A..... 68
3.12	เครื่อง Atlas Xenon Arc Weather-Ometer Model Ci 3000 ของ SDL Atlas Inc.รุ่น CI-3000..... 69
3.13	เครื่องทดสอบความคงทนต่อการขัดถู (AATCC Crockmeter)..... 70
4.1	FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยู เรีย,(ข) น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง, (ค) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนยูเรียที่ไม่มี น้ำมันหอมระเหย, (ง) Ethylenediamine และ (จ) Hexamethylene Diisocyanate..... 73
4.2	ภาพ OM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 12000 (ข) 14000 (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที..... 74
4.3	ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (ก) 12000 (ข) 14000 (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที ที่กำลังขยาย 3500 เท่า..... 76
4.4	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรี เทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ ตั้งแต่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที..... 77
4.5	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรี เทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ ที่ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร..... 78

รูปที่	หน้า	
4.6	% solid content ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 14000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที) หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส.....	80
4.7	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน โดยใช้ความเร็วที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที.....	82
4.8	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน โดยเตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน (n) 12000, (ข) 14000, (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที.....	83
4.9	กราฟร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส.....	86
4.10	กราฟร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของไมโครแคปซูล พอลิยูรีเทน-ยูเรีย, ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่อุณหภูมิ 50 – 500 องศาเซลเซียส.....	87
4.11	ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด ด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากความเร็วในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที โดยใช้ความเข้มข้นต่างๆที่ร้อยละ (n) 5 (ข) 10 (ค) 15 และ (ง) 20 เท่าที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก่อนซัก).....	92
4.12	ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด ด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากความเร็วในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที หลังผ่านการซัก (n) 10, (ข) 15 และ (ค) 20 รอบตามลำดับ.....	97
4.13	ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด หลังผ่านทดสอบภายใต้ภาวะต่างๆ (n) ความคงทนต่อเหงื่อและแสง, (ข) ความคงทนต่อแสง, (ค) ความคงทนต่อการซักดู่, (ง) ความคงทนต่อการรีดร้อน และ (จ) ความคงทนต่อเหงื่อ ตามลำดับ.....	101