ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย: การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติ

นางสาวบุศรัญญา มั่นช้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

MICROCAPSULES OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE AND GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA: PREPARATION AND CHARACTERIZATION

Miss Busaranya Manchoi

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย: การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติ
โดย	นางสาวบุศรัญญา มั่นช้อย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

…… อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทยา ยานุเมศ)

บุศรัญญา มั่นช้อย : ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย: การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติ. (MICROCAPSULES OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE AND GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA: PREPARATION AND CHARACTERIZATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา, 118 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันที่มีพอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ (6000-14000 รอบต่อนาที) เวลาในการกวนผสม (3-10 นาที) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (5, 10 และ 15 มล.) และปริมาณไอโซไซยาเนต (0.22, 0.26 และ 0.29 โมล) ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาค ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูล พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดกลมแบบมีสารแกนอนุภาคเดียวอยู่ภายในไมโครแคปซูล สำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลทั้ง 2 ชนิด พบว่า ที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที ไมโครแคปซูลที่ได้เป็นเม็ดกลมไม่เกาะกันเป็นก้อน ผิวไม่เรียบ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยไม่เกิน 45 ไมโครเมตร กระจายกันอยู่ทั่วไป เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งส่งผลให้ไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้มากขึ้น และอนุภาคของไมโครแคปซูลที่ได้ไม่เป็นเม็ดกลมแต่เกาะติดกันเป็นก้อน นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต ไมโครแคปซูลยังคงมีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดกลม ขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 20 ถึง 40 ไมโครเมตร ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนแบบไอโซเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีความคงทนต่อความร้อนและสามารถกักเก็บน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งให้อยู่ได้นานกว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้เตรียมให้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554

5272389623 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL / POLYURETHANE / POLYURETHANE-UREA / INTERFACIAL POLYMERIZATION / MICROCAPSULE

BUSARANYA MANCHOI : MICROCAPSULES OF GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE AND GUAVA LEAF ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA: PREPARATION AND CHARACTERIZATION. ADVISOR : ASST. PROF. SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D, 118 pp.

In this research, guava leaf essential oil microcapsules were prepared by interfacial polymerization using polyurethane and polyurethane-urea as shell of microcapsules. The effects of various parameters including mixing rate (6000-14000 rpm), mixing time (3-10 min) guava leaf essential oil contents (5, 10 and 15 ml.) and isocyanate contents (0.22, 0.26 and 0.29 mole) on particle size and particle size distribution, morphology and thermal stability of microcapsules were investigated. It was found that both of guava leaf essential oil/polyurethane microcapsule (guava leaf EO/PUMC) and guava leaf essential oil/polyurethane-urea microcapsule (guava leaf EO/PUUMC) were mono-nucleus spherical structure. The preparation of guava leaf EO/PUMC and guava leaf EO/PUUMC using rate of mixing at 8000 rpm for 5 min exhibited the spherical particles (mean particle size ~ 45 μm) with rough surface and without agglomeration. In addition, an increase of guava leaf EO contents resulted in the increase of mean particle size and oil loading capacity of microcapsules. Moreover, microcapsules obtained were non spherical particle with the agglomeration. An increase of isocyanate contents, the microcapsules obtained were spherical particle (mean particle size ~ 20-40 μm). The isothermal TGA results at 37°C and 120°C revealed that guava leaf EO/PUMC and guava leaf EO/PUUMC exhibited higher thermal stability and longer oil encapsulation in microcapsules than that of guava leaf essential oil.

Department : Materials Science Student's Signature .....
Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังได้รับความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังรายนามต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดี เมื่อเกิดปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ท่านจะคอยช่วยแนะแนวทางแก้ไขตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งอาจารย์ยังคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

2. รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ และ รองศาสตราจารย์. ดร.นันทยา ยานุเมศ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. เจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการเรียนการสอนและการทำวิจัย

4. Center for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials, Chulalongkorn University ที่ให้ทุนการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 ปี และทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน

5. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้การดำเนินงานของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยบางส่วน

6. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (AM1027A) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน

7. ฝ่ายบริหารจัดการคลัสเตอร์ และโปรแกรมวิจัย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัท ออกัสเคม จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยบางส่วนในโครงการการใช้สารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อพัฒนาสิ่งทอต้านจุลินทรีย์

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

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 สิ่งทอกับสารต้านจุลินทรีย์ (Textile and Antimicrobial Agent)..... 4

2.2 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (Antimicrobial Agents for Textiles)..... 4

2.2.1 การเลือกสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ..... 5

2.2.2 กลไกของการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ..... 5

2.2.3 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบัน..... 7

2.3 ฝรั่ง (Guava)..... 8

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์..... 8

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี..... 9

2.3.3 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดสอบทางคลินิก..... 14

2.3.3.1. ฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ และฤทธิ์ต้านการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ..... 14

2.3.3.2. สารสำคัญในการออกฤทธิ์แก้อาการท้องเสีย..... 14

2.3.3.3. ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้ท้องเสีย..... 15

2.3.3.4. ฤทธิ์ต้านการอักเสบ..... 15

2.3.3.5. การทดสอบทางคลินิก ใช้รักษาอาการท้องเสีย..... 15

2.3.3.6. หลักฐานความเป็นพิษและการทดสอบความเป็นพิษ..... 15

บทที่ หน้า

2.4 สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากพืช..... 16
2.4.1 สารสกัด (extracts)..... 16
2.4.2 น้ำมันหอมระเหย (essential oil)..... 17
2.4.3 วิธีการสกัดสารจากพืช..... 18
2.4.3.1 การสกัดด้วยการบีบ (expression)..... 18
2.4.3.2 การกลั่นน้ำมันหอมระเหย (distillation)..... 19
2.4.3.3 การสกัด (extraction)..... 19
2.5 ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation)..... 20
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล..... 21
2.5.1.1 สารแกน (Core หรือ Nucleus)..... 21
2.5.1.2 สารห่อหุ้ม (Shell หรือ Wall)..... 23
2.5.2 ข้อดีของการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน..... 24
2.5.3 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล (Microencapsulation Techniques)..... 25
2.5.3.1 โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation)..... 27
2.5.3.2 อินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)..... 28
2.5.3.3 อินซิตูพอลิเมอไรเซชัน (In-situ polymerization)..... 30
2.5.3.4 แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)..... 33
2.5.3.5 การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)..... 34
2.5.3.6 การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)..... 34
2.5.3.7 ออริฟิซ (Orifice process)..... 35
2.5.4 การประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 36
2.5.4.1 ไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ (Phase change material : PCM)..... 36
2.5.4.2 ไมโครแคปซูลของสารหอม..... 37
2.5.4.3 ไมโครแคปซูลของสารบำรุงผิว..... 38
2.5.4.4 ไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์และสารระงับกลิ่น..... 38
2.5.4.5 ไมโครแคปซูลของสารต้านแมลง..... 39
2.5.4.6 ไมโครแคปซูลของสารหน่วงไฟ..... 39

บทที่ หน้า

2.6 พอลิยูรีเทน (Polyurethane, PU)..... 39
2.6.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน..... 40
2.6.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล..... 41
2.6.3 สมบัติทางความร้อน..... 43
2.6.4 สมบัติทางเคมี..... 44
2.6.5 สมบัติทางชีวภาพ..... 45
2.7 พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea, PUU)..... 45
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 46
3. วิธีการทดลอง..... 50
3.1 ขอบเขตการทดลอง..... 50
3.2 วัสดุและสารเคมี..... 50
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 51
3.4 การดำเนินงานวิจัย..... 52
3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูล..... 53
3.4.1.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่มีพอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิ-เมอไรเซชัน..... 53
3.4.2 การวิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูล..... 55
3.4.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR..... 55
3.4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 56
3.4.2.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค LPSDA..... 57
3.4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล..... 57
3.4.2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA..... 58

บทที่ หน้า

3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA..... 59
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 60
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย..... 60
4.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค การกระจายขนาดอนุภาค ลักษณะทางสัณฐานวิทยา... 62
4.2.1 ผลของความเร็วรอบในการกวนผสม..... 62
4.2.2 ผลของเวลาในการกวนผสม..... 65
4.2.3 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง..... 67
4.2.4 ผลของปริมาณไอโซไซยาเนต..... 71
4.2.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของผนังภายในไมโครแคปซูล..... 74
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.. 75
4.3.1 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง..... 75
4.3.2 ผลของปริมาณไอโซไซยาเนต..... 76
4.4 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA... 77
4.4.1 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลแบบไดนามิกส์..... 77
4.4.2 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลแบบไอโซเทอร์มอล..... 80
4.5 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค TGA..... 81
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 83
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 83
5.1.1 ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน..... 83
5.1.2 ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย..... 84
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 85
รายการอ้างอิง..... 86
ภาคผนวก..... 91

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ก..... 92
ภาคผนวก ข..... 97
ภาคผนวก ค..... 113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในฝรั่ง.....	10
2.2	ตัวอย่างของสารแกน.....	22
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอกับกลไกการปลดปล่อยสารแกน.....	23
2.4	ตัวอย่างของสารห่อหุ้ม.....	23
2.5	วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล.....	26
2.6	ลักษณะของสารแกนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีต่างๆ และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้.....	26
2.7	ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน.....	29
2.8	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง).....	31
2.9	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลาง).....	32
2.10	สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้แก๊สเป็นตัวกลาง).....	33
2.11	สรรพคุณและตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนุ่งห่ม.....	37
2.12	ความว่องไวของไอโซไซยาเนตในการเกิดปฏิกิริยากับ methoxyethanol.....	41
2.13	ชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน.....	42
2.14	แรงระหว่างโมเลกุลระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทน.....	43
2.15	การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทน.....	44
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.2	สูตรส่วนประกอบทางเคมีของสารน้ำมันและสารละลายในน้ำ.....	54
4.1	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (เวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	64

ตารางที่		หน้า
4.2	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที).....	66
4.3	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	70
4.4	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซ-ไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร).....	73
4.5	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	76
4.6	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	77

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (a) การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย (b) การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย (c) การทำงานของสารที่เกิดจากการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์จากภายในโครงสร้างของเส้นใย.....	6
2.2	ลักษณะลำต้นของฝรั่ง.....	9
2.3	ลักษณะใบ ดอก และผลฝรั่ง.....	9
2.4	วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืช.....	18
2.5	โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	21
2.6	ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation).....	27
2.7	การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization).....	28
2.8	ลักษณะของ Fluid-bed coater (a) top spray (b) bottom spray (c) tangential spray.....	34
2.9	หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูเลชันด้วยเทคนิคการเคลือบ (Pan coating).....	34
2.10	การทำเอนแคปซูลเลชันโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying).	35
2.11	รูเปิดลักษณะต่างๆของการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีออริฟิซ (Orifice).....	36
2.12	ตัวอย่างการใช้งานของพอลิยูรีเทน.....	40
2.13	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	40
2.14	โครงสร้างของพอลิยูรีเทน.....	42
2.15	ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	45
2.16	โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	46
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	52
3.2	แผนภาพขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน	54

ภาพที่		หน้า
3.3	แผนภาพขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน	55
3.4	เครื่อง FT-IR ของ Thermo Fisher Scientific รุ่น Nicolet 6700.....	56
3.5	เครื่อง SEM ของ Philips รุ่น XL30CP.....	56
3.6	(a) เครื่อง LPSDA ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 และ (b) หน่วยกระจาย Hydro 2000SM.....	57
3.7	เครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e.....	58
4.1	FT-IR สเปกตรัมของ (a) น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (b) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน (c) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (d) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ (e) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรีย.....	61
4.2	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (เวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	63
4.3	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (a) 6000, (b) 8000, (c) 10000, (d) 12000 และ (e) 14000 รอบต่อนาที (เวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	64
4.4	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที).....	66
4.5	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (a) 3, (b) 5 และ (c) 10 นาที (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที).....	67
4.6	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที).....	69

ภาพที่		หน้า
4.7	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)……..	69
4.8	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (a) 5, (b) 10 และ (c) 15 มิลลิลิตร (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)……....	70
4.9	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (a) 5, (b) 10 และ (c) 15 มิลลิลิตร (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)……...……....	71
4.10	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)……	72
4.11	การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)……	73
4.12	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (a) 0.22, (b) 0.26 และ (c) 0.29 โมล (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)……....	74
4.13	สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (a) 0.22, (b) 0.26 และ (c) 0.29 โมล (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)……	74

ภาพที่		หน้า
4.14	ลักษณะผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 10,000 เท่า….	75
4.15	ลักษณะผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 10,000 เท่า……	75
4.16	TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ……..	79
4.17	TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย……	80
4.18	Isothermal TGA เทอร์โมแกรมของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่างๆ กัน……..	81
4.19	ปริมาณการปล่อยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลพอลิ-ยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่างๆ กัน……	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันผู้บริโภคได้หันมาให้ความสำคัญกับสุขอนามัยเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ไม่เพียงแต่เป็นเครื่องนุ่งห่มที่สวยงามเท่านั้นแต่ต้องเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษสามารถสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นแล้วสำนึกในความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคแสวงหาสิ่งทอที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติของสิ่งทอให้สามารถต้านจุลินทรีย์ได้ดี หรือให้สามารถลดการระคายเคืองของผิวหนัง เป็นต้น โดยทั่วไปสารที่นำมาใช้ในการตกแต่งสิ่งทอเพื่อเพิ่มสมบัติดังกล่าวมักเป็นสารสังเคราะห์ที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้สารที่ได้จากโลหะและสารสังเคราะห์ เช่น นาโนซิลเวอร์ นาโนซิงค์ออกไซด์ โลหะ ทองแดง ไตรคลอโรฟีนอล สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม เพื่อต้านจุลินทรีย์ แต่สารเคมีเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพิษต่อผู้บริโภคทั้งจากกระบวนการผลิตและการกำจัดหลังจากการใช้งานแล้ว โดยเฉพาะนาโนซิลเวอร์ที่กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อต้านจุลินทรีย์ และดับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ให้แก่ผลิตภัณฑ์สิ่งทอก็ได้เริ่มมีการตระหนักถึงความเสี่ยงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อการเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และถึงแม้ว่านาโนซิงค์ออกไซด์จะเป็นสารที่สามารถเติมในอาหารได้โดยมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากธาตุสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายแต่ในแง่มุมของการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่มีอนุภาคนาโนเป็นองค์ประกอบที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานแล้วนั้นยังมิได้มีการควบคุมว่าจะจัดการอย่างไรเพื่อมิให้อนุภาคนาโนแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น แบคทีเรียทั้งที่มีประโยชน์และมีโทษ [1,2] ดังนั้นหากสามารถนำสารธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมมาใช้แทนสารเคมีสังเคราะห์ดังกล่าวได้ก็นับเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นเรื่องน่ายินดีที่ประเทศไทยของเราอุดมไปด้วยพืชสมุนไพรหลายชนิด เช่น ขิง ข่า ขมิ้น ไพล กระชาย แร่วหอม มะขามป้อม มะกรูด ตะไคร้ และใบฝรั่ง ซึ่งมีสรรพคุณทางยาที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ต้านการอักเสบของผิวหนัง สมานแผล ลดการเป็นหนองและการติดเชื้อ ช่วยผ่อนคลาย และไล่แมลง [3-7] โดยเฉพาะ “ใบฝรั่ง” เป็นพืชที่หาได้ง่ายและปลูกกันมากในประเทศไทย นอกจากนี้สารสกัดจากใบฝรั่งยังมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะใช้สาร

ธรรมชาติที่สกัดได้จากใบฝรั่งในรูปของน้ำมันหอมระเหยมาใช้เป็นสารต้านจุลินทรีย์แทนการใช้สารสังเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้ง่าย ไม่คงทนต่อแสง เหงื่อ และความร้อน จึงอาจทำให้สามารถหลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอในระหว่างการใช้งานได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการต้านจุลินทรีย์ลดลง [8] ดังนั้น การกักเก็บสารที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ในน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งไว้ในแคปซูลไม่ให้ระเหยออกไปอย่างต่อเนื่อง ลดการทำปฏิกิริยาของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก และสามารถควบคุมการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้โดยใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันจึงเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอีกทั้งยังคงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งไว้ได้อย่างครบถ้วน

หากพิจารณาถึงอัตราการปล่อยสารแกนเป็นหลักก็ต้องพิจารณาถึงลักษณะของผนังแคปซูลว่ามีความเป็นรูพรุนมากน้อยเพียงใด ซึ่งผนังแคปซูลมี 3 ประเภท ได้แก่ permeable shells, impermeable shells และ semi-permeable shells ถ้าผนังแคปซูลเป็นประเภท permeable shells น้ำมันหอมระเหยจะถูกปล่อยออกมาโดยการแพร่ผ่านผนังแคปซูลได้อย่างรวดเร็วและในปริมาณมาก ทำให้น้ำมันหอมระเหยซึ่งมีสมบัติในการต้านจุลินทรีย์หมดลงอย่างรวดเร็ว มีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าผนังแคปซูลเป็นประเภท impermeable shells ทำให้สิ่งทอไม่สามารถต้านจุลินทรีย์ได้ตลอดเวลา แต่ถ้าผนังแคปซูลเป็นประเภท semi-permeable shells จะทำให้น้ำมันหอมระเหยที่อยู่ภายในค่อยๆ ถูกปล่อยออกมา ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ของสิ่งทอไม่ลดลงมาก และยังทำให้แคปซูลมีอายุการใช้งานนานขึ้น [9]

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นผนังแคปซูลเนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยม มีความสามารถในการยืดตัวสูง มีความทนทานต่อการขัดถู มีความยืดหยุ่นและความแข็งสูง และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ [10] และเมื่อนำยูรีเทนมาผสมกับยูเรียเพื่อเพิ่มสายโซ่ส่วนที่ยืดหยุ่น (soft segment) ทำให้มีสมบัติความชอบน้ำ (hydroplilic) มากขึ้นเกิดเป็นผนังแคปซูลชนิดพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่มีเสถียรภาพสูง มีสมบัติการปลดปล่อยที่ยั่งยืน อีกทั้งยังได้ผนังแคปซูลประเภท semi-permeable shells ทำให้ได้แคปซูลที่มีสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตาม พอลิยูรีเทน-ยูเรียยังเป็นระบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่เป็นฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น เมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เนื่องจากผนังดังกล่าวสามารถปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ [11,12] ซึ่งวิธีเตรียมไมโครแคปซูลที่เหมาะสมกับพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย คือ วิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับไดออลได้เป็นพอลิยูรีเทน และไดไอโซไซยาเนตกับ

ไดแอมีนได้เป็นพอลิยูเรีย ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้สารห่อหุ้มเกิดรูพรุน ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จึงมีสมบัติยอมให้สารแกนได้ซึมผ่านออกสู่ภายนอก [11]

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะเตรียมไมโครแคปซูลโดยมีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็นสารแกน พอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน จากนั้นนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะ วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไมโครแคปซูล วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล และทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ที่ภาวะและปริมาณต่างๆ ของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งและไดไอโซไซยาเนต
2. วิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

1.3 **ขอบเขตของการวิจัย**

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่มีพอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

1.4 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ได้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งโดยใช้สารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานด้านสิ่งทอต้านจุลินทรีย์ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 **สิ่งทอกับสารต้านจุลินทรีย์** (Textile and Antimicrobial Agent)

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เราใช้หรือสวมใส่ นับเป็นแหล่งอาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีอุณหภูมิ ความชื้น และแหล่งอาหารที่เหมาะสม ทำให้เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหากลิ่นอับชื้น เนื่องจากเกิดการหมักหมมของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเชื้อจุลินทรีย์รวมตัวกับความเปียกชื้นจากเหงื่อทำให้เกิดกลิ่นอับ และเสื้อผ้าที่ผ่านการสวมใส่แล้วย่อมเกิดคราบโปรตีนหรือไขมัน ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่พอเหมาะทำให้เกิดขบวนการย่อยสลายโปรตีนและไขมันดังกล่าวโดยเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เกิดกลิ่นอับชื้นได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่สะสมอยู่ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มก่อให้เกิดจุดด่างดำบนเส้นใย และเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคผิวหนังต่างๆ นำมาซึ่งเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้สวมใส่ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีสารต้านจุลินทรีย์เพื่อประสิทธิภาพในการฆ่าหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ [13,14]

2.2 **สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ** (Antimicrobial Agents for Textiles)

สารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารที่ฆ่าหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เจริญเติบโตหรือแพร่พันธุ์ออกไป ในปัจจุบันสารต้านจุลินทรีย์มีการพัฒนาขึ้นมากมายเพื่อนำมาควบคุมจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา และยีสต์ ไม่ให้เจริญเติบโต เพื่อประโยชน์ในการใช้งานต่างๆ ในวงการแพทย์ อุตสาหกรรม หรือในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม สิ่งทอที่ใช้ตกแต่งที่อยู่อาศัย ซึ่งสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอควรมีสมบัติที่ประกอบไปด้วย [13,15]

1) มีความคงทนต่อการซักและการใช้งานหลายๆ ครั้ง และทนต่อการซักแห้ง
2) สามารถยับยั้งและฆ่าจุลินทรีย์ที่ไม่พึงปรารถนาได้
3) สามารถใช้ร่วมกับสารตกแต่งสิ่งทอชนิดอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี
4) มีสมบัติในการถ่ายเทความชื้นได้เป็นอย่างดี
5) มีความปลอดภัยในการใช้งาน และต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย
6) ใช้งานได้ง่ายและสะดวก
7) ไม่ควรมีผลกระทบในทางลบต่อสมบัติของสิ่งทอ

2.2.1 **การเลือกสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ** [15]

สารต้านจุลินทรีย์มีมากมายหลายชนิดเพราะฉะนั้นการเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ควรจะเข้าใจถึงความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์เพื่อที่จะเลือกและนำสารต้านจุลินทรีย์มาใช้งานได้อย่างเหมาะสมตรงกับความต้องการ ทั้งนี้เพราะการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดประกอบไปด้วย

1. ธรรมชาติทางเคมีของสารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารต้านจุลินทรีย์นั้นสามารถสร้างพันธะกับสิ่งทอได้หรือไม่

2. รูปแบบการทำงาน หมายถึง สารต้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้โดยวิธีใด

3. ความคงทนต่อการซัก ควรจะมีความคงทนต่อการซักล้างได้หลายๆ ครั้ง เพื่อรักษาสมบัติต้านจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้ยาวนาน

4. ประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ ควรมีประสิทธิภาพในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลากหลายชนิด ทั้งที่เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (gram positive) เช่น *S. aureus* หรือแกรมลบ (gram negative) เช่น *K. pneumoniae* เชื้อราหรือยีสต์ รวมทั้งความว่องไวของสารต้านจุลินทรีย์ในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ว่ามีมากน้อยอย่างไร

5. ความปลอดภัย สารต้านจุลินทรีย์ต้องไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสารพิษ เช่น สารหนู สารฟอร์มาลดีไฮด์ หรือโลหะหนัก และต้องไม่ก่อให้เกิดการแพ้หรือการระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้บริโภค

6. ราคาของสารต้านจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่

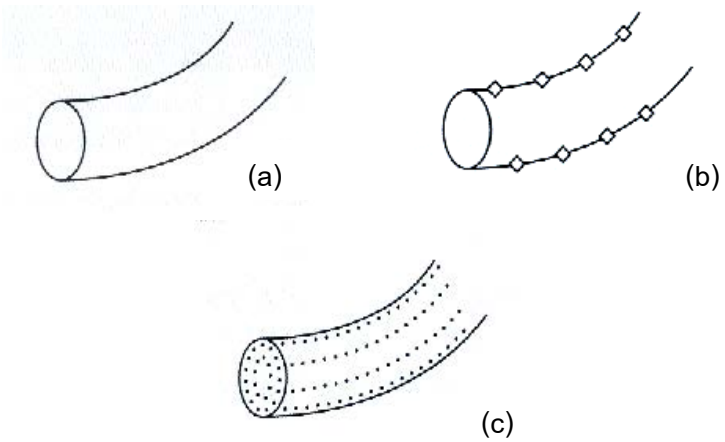
2.2.2 **กลไกของการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ** [15]

การเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ได้อย่างเหมาะสมนั้น ควรเข้าใจถึงกลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ ซึ่งกลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ แสดงดังรูปที่ 2.1 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์บนพื้นผิวของเส้นใย (surface application) จะเป็นการเคลือบสารต้านจุลินทรีย์ลงบนผิวเส้นใยชนิดต่างๆ ซึ่งการเคลือบอาจจะใช้หรือไม่ใช้พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่ยึดสารต้านจุลินทรีย์ให้ติดกับเส้นใย ซึ่งความคงทนต่อการซักของสารต้านจุลินทรีย์แบบกลไกการทำงานชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการใกล้ชิดระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใย ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ในการยึดติดสารกับพื้นผิวเส้นใย และพันธะไอออนิกที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใยบางชนิด

2) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการสร้างพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างเส้นใย (chemical bonding) ตามทฤษฎีเชื่อว่าการเกิดพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใยจะมีผลทำให้ความคงทนต่อการซักของสารต้านจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้ต้องการหมู่ที่มีปฏิกิริยาตอบโต้หรือสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใย เพื่อให้เกิดเป็นพันธะทางเคมีขึ้น ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพบนเส้นใยฝ้าย ขนสัตว์ และพอลิเอไมด์

3) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ออกมาจากภายในโครงสร้างของเส้นใย (internal antimicrobial release) เป็นกลไกที่เลือกใช้สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ การตกแต่งสารต้านจุลินทรีย์เข้าไปภายในเส้นใยสามารถทำได้โดยการใส่สารเข้าไปในขั้นตอนการปั่นเส้นใย หรือใช้สารต้านจุลินทรีย์เหมือนกับการใช้งานของสีดิสเพิร์ส ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวนี้ไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติ จึงทำให้มีการดัดแปรแนวความคิดนี้เพื่อนำไปใช้กับเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ โดยการทำไมโครแคปซูล (encapsulation technology) ซึ่งจะสร้างแคปซูลที่ใช้เป็นแหล่งเก็บสารต้านจุลินทรีย์ แล้วดัดแปรผนังแคปซูลให้มีหมู่ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยฝ้ายได้ ทำให้เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ขึ้นระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับผนังแคปซูล ซึ่งแคปซูลที่จะใช้ในกระบวนการนี้ควรมีขนาดเล็กพอสมควรเพื่อจะได้ไม่มีผลกระทบต่อผิวสัมผัส นอกจากนี้ความแข็งแรงของแคปซูลต้องมีเพียงพอในระดับหนึ่ง เพื่อที่แคปซูลจะสามารถทนต่อแรงกระทำอื่นที่เกิดจากกระบวนการตกแต่งสำเร็จบนผ้า



รูปที่ 2.1 กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (a) การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย (b) การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย (c) การทำงานของสารที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์จากภายในโครงสร้างของเส้นใย [15]

2.2.3 **สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบัน** [14,16]

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สิ่งทอมีคุณสมบัติในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial) โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค สารต้านจุลินทรีย์มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมกับวัสดุสิ่งทอแตกต่างกัน ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่

1) **โลหะและเกลือของโลหะ** (metals and metal salts) โลหะหนักส่วนมากจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ถึงแม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ ทองแดง (copper) สังกะสี (zinc) โคบอลต์ (cobalt) และเงิน (silver) ซึ่งนิยมใช้กับสิ่งทออย่างแพร่หลายในปัจจุบันในรูปของอนุภาคนาโนเงิน (silver nano) โดยผสมอนุภาคเงินกับพอลิเมอร์ก่อนการฉีดเป็นเส้นใยสังเคราะห์ ในระหว่างการใช้งานอนุภาคเงินจะแพร่ออกมาที่ผิวของเส้นใยทำปฏิกิริยากับความชื้นเกิดเป็นไอออนเงินซึ่งสามารถฆ่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สำหรับเส้นใยธรรมชาติจะตกแต่งสำเร็จด้วยอนุภาคโลหะ ซึ่งต้องคำนึงถึงความสามารถในการดูดซับบนเส้นใย ความคงทนต่อการใช้งาน ข้อจำกัดทางเทคนิค และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) **สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม** (quaternary ammonium compound) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีประจุบวกซึ่งมีสมบัติในการฆ่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยสามารถยึดติดกับสิ่งทอด้วยพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม และประจุลบที่ผิวของเส้นใย

3) **พอลิเฮกซะเมทิลีน ไบกวาไนด์** (Polyhexamethylene biguanide: PHMB) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์อย่างกว้างขวาง และมีความเป็นพิษต่ำ นิยมใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหาร สระว่ายน้ำ น้ำยาบ้วนปาก และผ้าปิดแผล การตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยสังเคราะห์จะต้องใช้สารเชื่อมขวางและตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนการตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยธรรมชาติสามารถทำได้โดยการแช่โดยตรงที่อุณหภูมิห้องและ pH เป็นกลาง หรือใช้กระบวนการจุ่มอัด ซึ่งสาร PHMB เป็นสารที่มีประจุบวกสามารถยึดติดกับเส้นใยฝ้ายได้ด้วยพันธะไอออนิก และพันธะไฮโดรเจน

4) **ไคโตซาน** (chitosan) เป็นสารธรรมชาติกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรต ที่ผลิตมาจากวัตถุดิบประเภท เปลือกกุ้ง เปลือกปู แกนปลาหมึก ฯลฯ โดยวัตถุดิบดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่เหลือจากการใช้แล้วของอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย สารไคโตซานที่ได้สามารถนำมาทำการตกแต่งสำเร็จในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อให้คุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์และไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองกับผู้ใช้เนื่องจากเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ

นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีสมบัติเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ แต่การตกแต่งต้านจุลินทรีย์ด้วยสารไคโตซานบนสิ่งทออาจไม่คงทนต่อการใช้งาน

5) **ไตรโคลซาน** (triclosan) มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลากหลาย จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหลายชนิด เช่น สบู่ ครีมอาบน้ำ ผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นกาย ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และน้ำยาล้างจาน สารไตรโคลซานสามารถผสมในเส้นใยสังเคราะห์หรือตกแต่งบนเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสามารถเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานได้โดยการเติมลงใน β-cyclodextrins หรือการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน แต่เนื่องจากสารไตรโคลซานมักเกิดการแตกตัวเป็นสารไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นพิษเมื่อได้รับแสง บางประเทศในทวีปยุโรปจึงไม่อนุญาตให้นำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสารไตรโคลซาน

โดยทั่วไปสารที่นำมาใช้ในการตกแต่งสิ่งทอเพื่อเพิ่มสมบัติต้านจุลินทรีย์มักเป็นสารสังเคราะห์ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพิษต่อผู้บริโภคทั้งจากกระบวนการผลิต และการกำจัดหลังจากการใช้งานแล้ว ดังนั้นหากสามารถนำสารธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมมาใช้แทนสารเคมีสังเคราะห์ดังกล่าวได้ก็นับเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นเรื่องน่ายินดีที่ประเทศไทยของเราอุดมไปด้วยพืชสมุนไพรหลายชนิด เช่น ขิง ข่า ขมิ้น ไพล กระชาย เร่วหอม มะขามป้อม มะกรูด ตะไคร้ และใบฝรั่ง โดยเฉพาะ “ใบฝรั่ง” เป็นพืชที่หาได้ง่ายและปลูกกันมากในประเทศไทย นอกจากนี้สารสกัดจากใบฝรั่งยังมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ได้ดี [17,18]

2.3 ฝรั่ง (Guava)

ฝรั่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Psidium guajava* Linn. เป็นพืชในวงศ์ Myrtaceae ฝรั่งมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละท้องถิ่นของประเทศไทย ได้แก่ จุ่มโป่ (สุราษฎร์ธานี) ชมพู่ (ปัตตานี) มะก้วย (เชียงใหม่, ภาคเหนือ) มะก้วยกา (ภาคเหนือ) มะกา (ภาคกลาง, แม่ฮ่องสอน) มะจีน (ตาก) มะมั่น (ภาคเหนือ) ยะมูบุเตบันยา (มลายู, นราธิวาส) ยะริง (ละว้า, เชียงใหม่) ยามุ ย่าหมู (ภาคใต้) และสีดา (นครพนม, นราธิวาส) [19]

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูงประมาณ 3-10 เมตร เปลือกของลำต้นมีลักษณะเกลี้ยงและเรียบ กิ่งอ่อนจะเป็นสี่เหลี่ยม ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงตรงข้ามกัน ใบหนาและหยาบ รูปใบรี ปลายใบมน ใต้ท้องใบมีลักษณะเป็นริ้วเห็นเส้นใบชัดเจน และมีขนบางๆ ใบจะ

มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร กว้างประมาณ 6 เซนติเมตร ออกดอกเป็นช่อที่ซอกใบ ซึ่งหนึ่งช่อจะมีดอกย่อย 3-5 ดอก เป็นดอกเล็กๆ มีสีขาวอมเขียว ร่วงง่าย มีเกสรตัวผู้จำนวนมาก ผลมีลักษณะเป็นทรงกลม รูปไข่ หรือรูปรี ผิวเกลี้ยง ผิวมีสีเขียวใบไม้ เนื้อข้างในมีสีขาว เมื่อผลสุกจะมีสีเหลือง และมีเมล็ดแข็งอยู่ภายใน ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 [19,20,21]

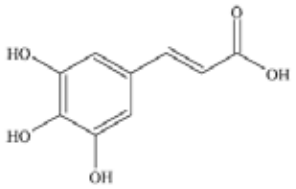
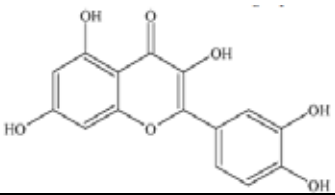
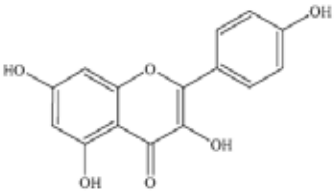
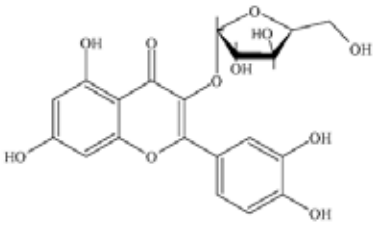
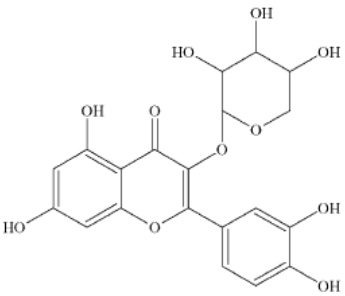
รูปที่ 2.2 ลักษณะลำต้นของฝรั่ง [22]

รูปที่ 2.3 ลักษณะใบ ดอก และผลฝรั่ง [22]

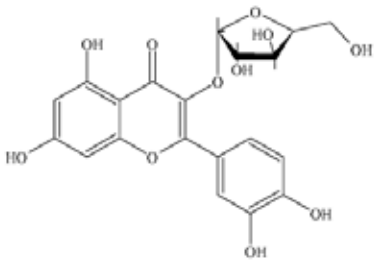
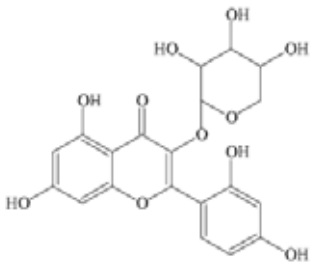
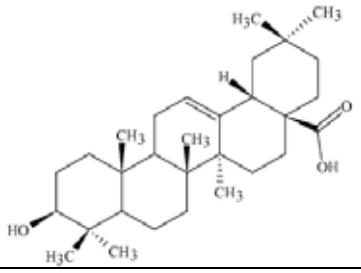
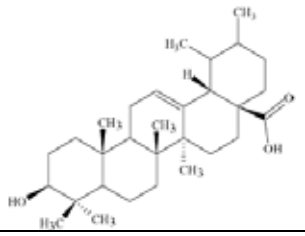
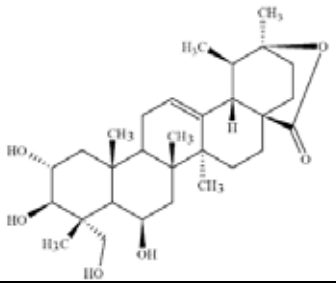
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี

ใบฝรั่งมีแทนนิน (tannin) 8-15% เป็นประเภท Catechol และ Pyrogallol และมีน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ซึ่งประกอบด้วย bisabolene, caryophyllene, caryphyllene oxide, longicyclene, tertiary sesquiterpene alcohol เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 2.1 สารแทนนินในฝรั่งมีฤทธิ์ในการลดการระคายเคืองของลำไส้ ลดการสูญเสียน้ำ และมีฤทธิ์การต้านเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้ใบและผลของฝรั่งมีสรรพคุณในการรักษาอาการท้องเสียได้ นอกจากนี้ใบฝรั่งยังใช้เป็นยาห้ามเลือด ใส่แผลสดและล้างแผล ระงับกลิ่นปาก แก้ฝี ดูดหนองและถอนพิษบาดแผล แก้เหงือกบวม แก้พิษเรื้อรัง แก้ปวดเนื่องจากเล็บขบ แก้แพ้ยุงได้อีกด้วย [21,23]

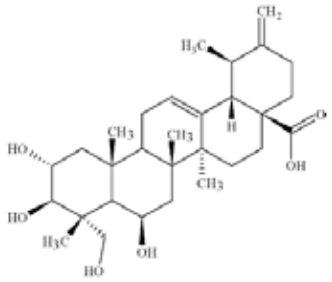
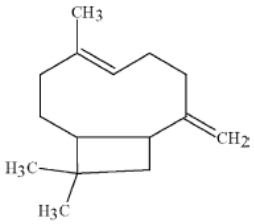
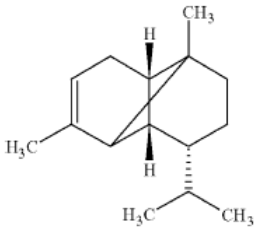
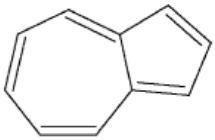
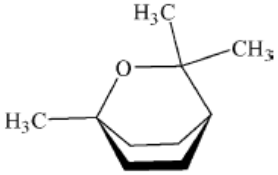
ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในฝรั่ง [24,25]

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
Caffeic acid 	เป็นสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของฟีนอลและอะคริลิก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ และต้านการเกิดออกซิเดชัน
Quercetin 	เป็นอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และต้านอาการท้องร่วง โดยลดการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการขยายตัวของหลอดเลือด
Kaempferol 	
Quercetin-3-**α**-L-arabinofuranside 	
Guaijaverin 	เป็น Acylated flavonol glycoside พบได้ในใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ เช่น *Streptococcus mutans*, *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*

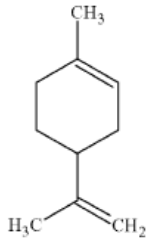
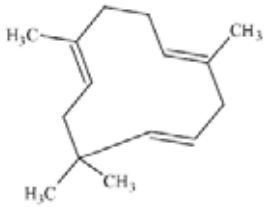
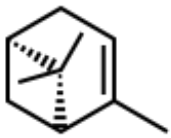
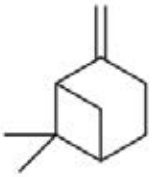
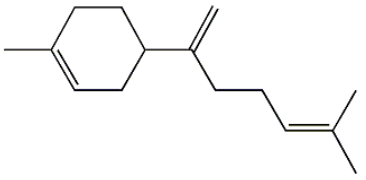
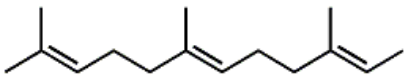
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
Aviclarin 	เป็น Acylated flavonol glycoside พบได้ในใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ เช่น *Streptococcus mutans*, *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*
Morin-3-O-α-L-arabinopyranoside 	
Oleanolic acid 	เป็นอนุพันธ์ของไตรเทอร์ปีน พบได้ในใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์
Ursolic acid 	
Guajavolide 	

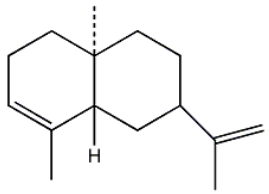
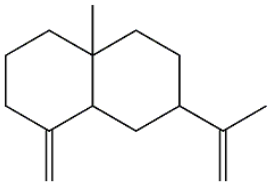
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
Guavenoic acid 	เป็นอนุพันธ์ของไตรเทอร์ปีน พบได้ในใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์
β-caryophyllene 	เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ซึ่งเป็นสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ บรรเทาปวด
Copaene 	
Azulene 	
Eucalyptol 	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
Limonene 	เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารกลุ่มเซสคิวเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน และบรรเทาอาการปวด
α-humulene 	
α-pinene 	
β-pinene 	
β-bisabolene 	
Farnesene 	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
α-selinene 	เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารกลุ่มเซสคิวเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน และบรรเทาอาการปวด
β-selinene 	

2.3.3 **ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดสอบทางคลินิก** [24]

2.3.3.1. **ฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ และฤทธิ์ต้านการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ**

สารสกัดใบฝรั่งด้วยคลอโรฟอร์มสามารถลดการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กในหนูตะเภาที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย acetylcholine (ซึ่งกระตุ้นให้ลำไส้เล็กมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น และทำให้เกิดอาการท้องเสีย) ได้ดีมากกว่าสารสกัดจากหัวขมิ้นชัน ใบชา ผลมะตูม เปลือกของต้นมังคุด และทับทิม ซึ่งในใบฝรั่งมีสาร quercetin และ quercetin-3-arabinoside มีฤทธิ์เหมือน morphine ในการต้านฤทธิ์ของ acetylcholine โดยทำการทดลองในลำไส้เล็กส่วนปลายของหนูตะเภาที่ความเข้มข้น 1.6 มก./มล. ถึง 1.28 มก./มล. พบว่าที่ความเข้มข้น 1.28 มก./มล. สามารถต้านการหดตัวของลำไส้เล็กที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย acetylcholine ทำให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหวลดน้อยลง

2.3.3.2. **สารสำคัญในการออกฤทธิ์แก้อาการท้องเสีย**

ในใบฝรั่งมีสาร quercetin 3-O-β-L-arabinoside (guajavarin), quercetin 3-O-β-D-glucoside (isoquercetin), quercetin 3-O-β-D-galactoside (hyperin), quercetin 3-O-β -L-rhamnoside (quercitrin) และ quercetin 3-O gentiobioside สามารถลดการบีบตัวของลำไส้จึงทำให้หยุดถ่าย

2.3.3.3. ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้ท้องเสีย

เมื่อนำใบฝรั่งมาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 เอทานอล:น้ำ ในอัตราส่วน 1:1 และสกัดด้วยน้ำ พบว่า สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *V. cholerae V. parahaemolyticus* (ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วง) *S. dysenteriae*, *S. flexneri* (ทำให้เกิดโรคบิด) *E. coli* (แบคทีเรียในลำไส้) และ *S. typhimurium* (ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันหอมระเหยของใบฝรั่งสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้อีกด้วย ซึ่งสาร morin 3-O-lyxoside และ morin 3-O-arabinoside จากใบฝรั่งยังสามารถยับยั้งเชื้อ *S. enteritidis* โดยมีค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) ของสารทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 200 มก./มล. และมีค่า MIC ต่อเชื้อ *B. cereus* เท่ากับ 250 และ 300 มก./มล. ตามลำดับ ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียดีกว่า guaijaverin และ quercetin

2.3.3.4. ฤทธิ์ต้านการอักเสบ

สารสกัดผลฝรั่งด้วยเมทานอล ในขนาด 100 มก./กก. เมื่อฉีดเข้าช่องท้องของหนูถีบจักรที่ทำให้เกิดการอักเสบในช่องท้องด้วยกรดอะซิติก โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่รักษาด้วย aspirin ในขนาด 100 มก./กก. พบว่าสารสกัดจากผลฝรั่งสามารถยับยั้งการอักเสบและลดอาการเจ็บปวดได้ 58.1% และ 96.4% ตามลำดับ ในขณะที่ aspirin ยับยั้งการอักเสบและลดอาการเจ็บปวดได้เพียง 41.1% และ 82.4% ตามลำดับ

2.3.3.5. การทดสอบทางคลินิก ใช้รักษาอาการท้องเสีย

ศึกษาในผู้ป่วยที่มีอาการท้องเสีย จำนวน 50 ราย ที่มีอายุระหว่าง 20-55 ปี ทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยให้รับประทานยาเม็ดแคปซูลฝรั่งขนาด 500 มก. ซึ่งมีสารฟลาโวนอยด์ 1 มก.ต่อแคปซูลขนาด 500 มก. โดยให้ผู้ป่วยรับประทานทุก 8 ชม. นาน 3 วัน พบว่า สามารถลดการบีบตัวของลำไส้และลดระยะเวลาการปวดท้องได้

2.3.3.6. หลักฐานความเป็นพิษและการทดสอบความเป็นพิษ

<u>พิษเฉียบพลัน</u>

สารสกัดใบฝรั่งด้วยน้ำ เมื่อให้ทางปากของหนูถีบจักรมีค่าขนาดที่ทำให้สัตว์ตาย 50% (LD_{50}) มากกว่าหรือเท่ากับ 20 ก./กก. และมีค่ามากกว่า 5 ก./กก. เมื่อฉีดเข้าทางช่องท้องของหนูถีบจักร

พิษเรื้อรัง

การให้สารสกัดใบฝรั่งด้วยน้ำทางปากขนาด 0.2, 2 และ 20 ก./กก. ทุกวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าหนูเพศผู้มีระดับ ALP, SGPT (บ่งถึงการทำงานของตับ), BUN (บ่งถึงการทำงานของไต) และ WBC สูงขึ้น ขณะที่ระดับของโซเดียมและคลอเลสเตอรอลในเลือดลดลง น้ำหนักของตับและไตเพิ่มขึ้น และยังพบการเปลี่ยนแปลงของไขมันและลักษณะ hydronephrosis หนูเพศเมียมีระดับโซเดียม โปแตสเซียม และอัลบูมินในเลือดเพิ่มขึ้น ขณะที่เกร็ดเลือดและกลอบูลินลดลง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวและไต แต่พบลักษณะ nephrocalcinosis และ pyelonephritis ในบางตัว

2.4 สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากพืช

2.4.1 **สารสกัด** (extracts)

เป็นการสกัดเอาเฉพาะส่วนที่มีประโยชน์ของพืชซึ่งเป็นสารเคมีจากธรรมชาติออกมา จัดว่าเป็นการแปรรูปพืชสมุนไพรในขั้นแรกก่อนการนำสารสกัดดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป เช่น สารสกัดที่เป็นน้ำมันหอมระเหย สารสกัดที่ใช้เป็นยารับประทาน สารสกัดที่ใช้เป็นยาทาภายนอก สารสกัดที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่ม สารสกัดที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช [25,26]

ประเภทของสารที่สกัดได้ แยกตามลักษณะทางเคมีได้เป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

1. **คาร์โบไฮเดรต** (carbohydrate) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พืชจะสร้างคาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์แสงและเก็บสะสมไว้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหาร ยา และเครื่องสำอาง คาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างขึ้นอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น แป้ง (starch) กัม (gum) เซลลูโลส (cellulose) วุ้น (agar) และสารเมือก (mucilage) [26]

2. **ไขมัน** (fat) มีองค์ประกอบสำคัญ คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันจากพืชแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันตามองค์ประกอบของกรดไขมัน [26]

3. **น้ำมันหอมระเหย** (volatile oils หรือ essential oils) เป็นน้ำมันชนิดหนึ่งที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อระเหยจะมีกลิ่นหอม เป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ดึงดูดแมลง ไล่แมลง และป้องกันตัวเองจากเชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย นำมาใช้ประโยชน์ในการทำน้ำหอม ประโยชน์ทางยาใช้เป็นสุคนธบำบัด (aromatherapy) [26]

4. **เรซิน** (resins) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน กึ่งแข็งกึ่งเหลว ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และอีเธอร์ เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว เช่น ใช้เตรียมขี้ผึ้ง เรซินในธรรมชาติอาจรวมตัวกับสารอื่นทำให้เกิดสารใหม่ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น สารประกอบระหว่างเรซินกับกัม เรียกว่า กัมเรซิน (gumresin) เรซินกับน้ำมันหอมระเหย เรียกว่า โอลีโอเรซิน (oleoresin) [26]

5. **แอลคาลอยด์** (alkaloids) เป็นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ มักมีรสขม มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ นำมาใช้ประโยชน์ทางยา ไม่นิยมใช้ในเครื่องสำอาง [26]

6. **ไกลโคไซด์** (glycosides) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เจนนิน (genin) หรืออะไกลโคน (aglycone) กับไกลโคน (glycone) ซึ่งเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาล เป็นสารสำคัญที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยาและเครื่องสำอาง เช่น แทนนิน (tannins) ฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ (flavonoid glycosides) แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (anthraquinone glycosides) และซาโปนินไกลโคไซด์ (saponin glycosides) [26]

7. **เทอร์ปีนอยด์** (terpenoids) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืชชั้นสูง มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยา [26]

การนำสารสกัดไปใช้ประโยชน์ในด้านใดนั้น ต้องคำนึงถึงประเภทของสารที่ต้องการ เนื่องจากในสารสกัดประกอบด้วยสารหลายชนิดรวมกัน การนำไปใช้งานอาจต้องมีการแยกประเภทของสารที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง

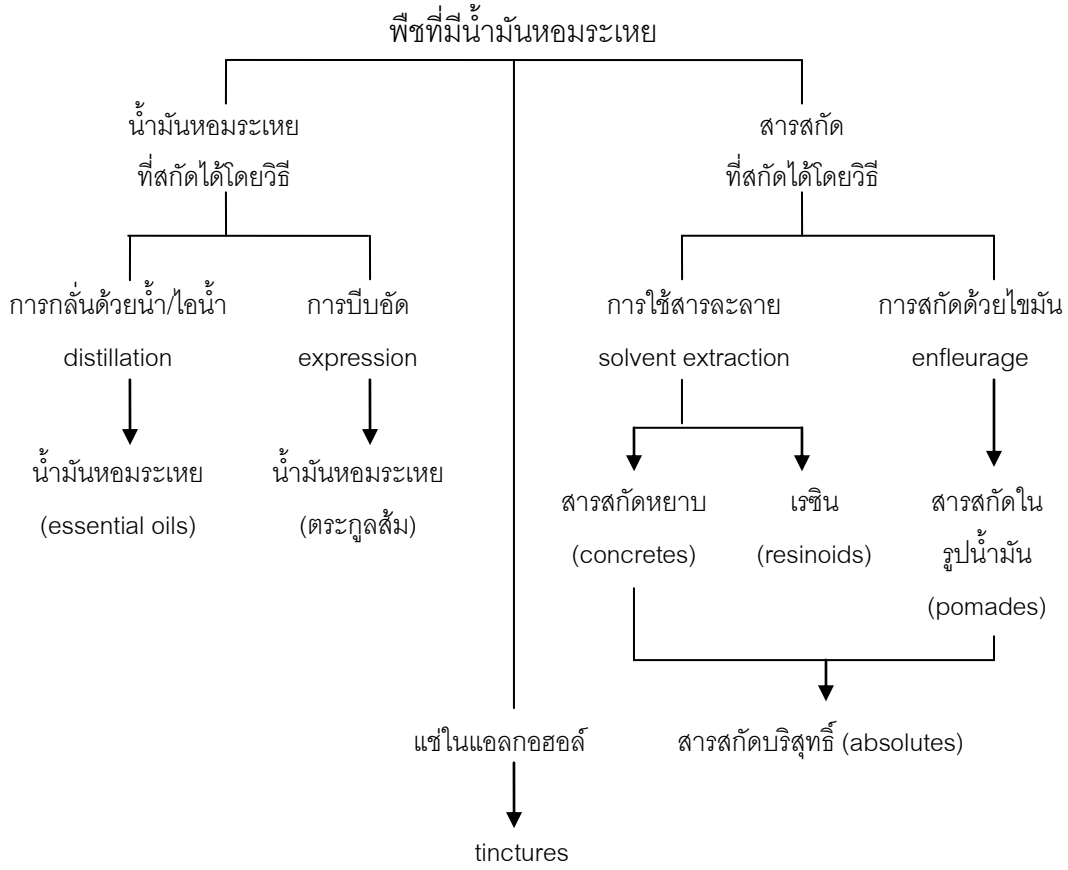
2.4.2 **น้ำมันหอมระเหย** (essential oil)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบสลับซับซ้อน ได้จากการสกัดน้ำมันที่พืชสร้างขึ้นแล้วเก็บไว้ที่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ใบ ดอก ผล เปลือกของลำต้น รากหรือเหง้า เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสีหรือมีสีอ่อนๆ สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยได้ดีขึ้น นอกจากนี้น้ำมันหอมระเหยยังมีกลิ่นที่เฉพาะตัว และมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด ซึ่งพืชผลิตน้ำมันหอมระเหยขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการดึงดูดแมลงให้มาช่วยผสมเกสร หรือไม่ก็ส่งกลิ่นเพื่อไล่แมลงศัตรูพืช รวมทั้งช่วยในการรักษาความชุ่มชื้น [27,28]

น้ำมันหอมระเหยนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำหอม ใช้เป็นสารแต่งกลิ่นในเครื่องสำอางและอาหาร นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางยา เช่น ช่วยขับลม ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และยังใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารควบคุมแมลงอีกด้วย [26,27,28]

2.4.3 วิธีการสกัดสารจากพืช

การสกัดสารจากพืชไม่ว่าจะเป็นน้ำมันหอมระเหยหรือสารสกัด สามารถสกัดได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีความยากง่ายต่างกันๆ ไป โดยการสกัดแต่ละวิธีนั้นจะมีความเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดหรือแต่ละส่วนของพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยหรือสารสำคัญอยู่ นอกจากนั้นวิธีการสกัดสารจากพืชยังมีผลโดยตรงต่อปริมาณ และคุณภาพของสารที่จะสกัดได้ ซึ่งการจำแนกวิธีการสกัดสารจากพืชสามารถจำแนกได้หลายวิธี ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [28]



รูปที่ 2.4 วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืช [28]

2.4.3.1 **การสกัดด้วยการบีบ** (expression)

เป็นการแยกสารโดยใช้แรงจักรกลหรือแรงมนุษย์ในการคั้นแยกน้ำมันที่อยู่ในเปลือกของผลไม้ออกมา เช่น เปลือกพืช ผลไม้ตระกูลส้ม นอกจากนี้ยังใช้ในการสกัดสารจากกระเทียมด้วย โดยน้ำมันหอมระเหยจะสะสมอยู่ในต่อมใต้ผิวของเปลือก ซึ่งจะแตกออกได้ง่ายเมื่อถูกบีบ แต่น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีปริมาณน้อยและไม่บริสุทธิ์ วิธีนี้ใช้เฉพาะกับพืชสด มีต้นทุนต่ำ และเครื่องมือมีราคาถูก [26,28]

2.4.3.2 **การกลั่นน้ำมันหอมระเหย** (distillation)

เป็นการแยกน้ำมันชนิดที่ระเหยได้ออกจากส่วนของพืชโดยใช้ความร้อนทำให้น้ำมันหอมระเหยถูกสกัดออกมาพร้อมกับไอน้ำ หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวลงเพื่อให้เกิดการควบแน่น น้ำมันหอมระเหยและน้ำจะกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง เมื่อทิ้งไว้น้ำมันหอมระเหยกับน้ำจะแยกออกจากกัน ซึ่งสามารถแยกด้วยเครื่องมือแยก วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชเพราะทำได้ง่ายและประหยัด การกลั่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ [27,28,29]

1. **การกลั่นด้วยน้ำ** (water distillation) โดยพืชจะถูกแช่ในน้ำเดือด มักใช้กับพืชแห้งและสารในพืชคงทนต่อความร้อน ไม่สลายไปเมื่อถูกความร้อน ข้อควรระวังในการกลั่นด้วยวิธีนี้ คือ พืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ โดยพืชที่อยู่ตรงกลางหม้อต้มมักจะได้รับความร้อนมากกว่าด้านข้าง ทำให้เกิดการไหม้ของพืช ส่งผลให้เกิดกลิ่นไหม้และสารที่ไม่พึงประสงค์ออกมากับน้ำมันหอมระเหย

2. **การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ** (water and steam distillation) วางพืชบนตะแกรงให้อยู่เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มน้ำให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชที่จะกลั่น มักใช้กับพืชสดหรือพืชแห้งที่มีสารไม่คงทนต่อความร้อน และอาจสลายตัวไปเมื่อถูกความร้อนสูงๆ จัดเป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยออกมาดีกว่าวิธีการกลั่นด้วยน้ำ การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า

3. **การกลั่นด้วยไอน้ำ** (steam distillation) วางพืชบนตะแกรงในหม้อกลั่น ซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำจากภายนอกจะถูกส่งไปตามท่อใต้ตะแกรง โดยไอน้ำจะผ่านขึ้นไปถูกกับพืชบนตะแกรง ซึ่งไอน้ำที่ใช้ต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันหอมระเหยแพร่ระเหยออกมาจากพืช ใช้กับพืชสดที่สารไม่คงทนต่อความร้อนจะสลายไปได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน ข้อดีของการกลั่นวิธีนี้ คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพืชใส่หม้อกลั่น โดยไม่ต้องเสียเวลารอให้น้ำร้อนสามารถปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย

2.4.3.3 **การสกัด** (extraction)

เป็นการแยกสารโดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารที่ต้องการในปริมาณมาก โดยมีหลักการดังนี้

-ต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อสกัดให้ได้สารที่ต้องการออกมามากและต้องมีสิ่งเจือปนติดน้อยที่สุด นอกจากนี้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด

-กรณีที่ต้องแยกสารผสมที่มีองค์ประกอบปนกันหลายชนิด ต้องเลือกตัวทำละลายที่ละลายสารใดสารหนึ่งได้มากและอีกสารหนึ่งได้น้อย เพื่อให้เจือปนกันน้อยที่สุด

-แยกสารที่ไม่ต้องการออกไป ด้วยกระบวนการแยกสารต่างๆ เช่น การกรอง เป็นต้น

วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูงแต่คุณภาพไม่ดี เนื่องจากมีสารอื่นปะปนออกมาด้วย นิยมใช้กับพืชสมุนไพรที่ทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น มะลิ และหลังจากการสกัดต้องระเหยตัวทำละลายออกให้หมด ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำ เอทานอล กลีเซอรีน โพรพิลีนไกลคอล วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายมี 2 วิธี ดังนี้ [26,29]

1. **การสกัดที่ต้องผ่านความร้อน** (hot extract)

1.1 **การต้ม** (decoction) เป็นการนำสมุนไพรสดหรือแห้งมาย่อยขนาดเป็นชิ้นเล็กๆ เติมตัวทำละลายขณะเย็น ทิ้งให้ตัวทำละลายซึมเข้าไปในสมุนไพรจนเปียกทั่ว แล้วยกขึ้นตั้งไฟ 10-30 นาที จากนั้นจึงกรอง

1.2 **การตุ๋น** (digestion) ทำโดยนำสมุนไพรใส่ภาชนะ เติมน้ำและนำขึ้นตั้งบนหม้ออังไอน้ำหรือใช้หม้อประเภทเพิ่มความดัน พืชสมุนไพรจะถูกสกัดที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส แต่เป็นการสกัดที่ใช้เวลานานกว่าการต้ม สารสกัดที่ได้บูดเสียง่ายเช่นกัน

1.3 **การสกัดแบบต่อเนื่อง** เป็นการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายน้อย ไหลผ่านพืชสมุนไพรทีละน้อยและทำให้เกิดการสกัดแบบต่อเนื่องได้สารสกัดเข้มข้น เครื่องมือที่ใช้ระดับอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ได้แก่ การสกัดด้วยเครื่องมือ soxhlet apparatus ตัวทำละลายที่ใช้สกัดมักเป็นแอลกอฮอล์ วิธีนี้ไม่สิ้นเปลืองตัวทำละลาย สามารถสกัดสารได้มากกว่าและใช้เวลาสั้นกว่า แต่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า วิธีนี้ใช้ความร้อนจึงอาจทำให้สารสำคัญบางชนิดสลายตัวได้ สารสกัดที่ได้ต้องทนความร้อนในการสกัดด้วย

2. **การสกัดโดยไม่ใช้ความร้อน** (cold extraction)

2.1 **การชงหรือแช่** (infusion)

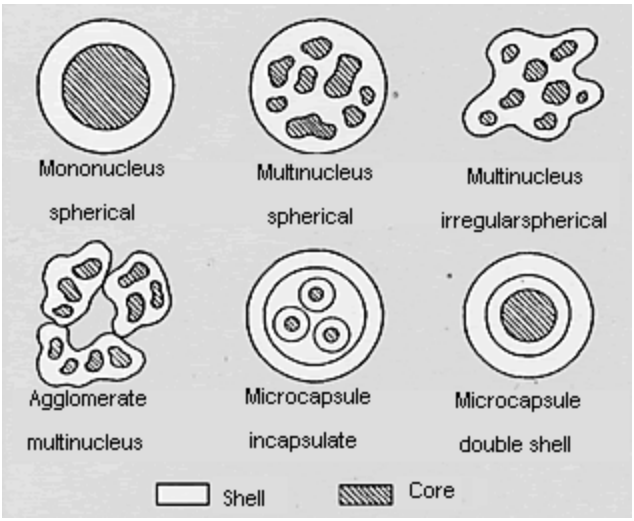
2.2 **การหมัก** (maceration) เหมาะสำหรับสารที่ไม่ทนต่อความร้อน ตัวทำละลายที่ใช้มักเป็นเอทานอล โพรพิลีนไกลคอล หรือสารผสมระหว่างกลีเซอรีนกับน้ำ ใช้เวลานานกว่าการต้มหรือการแช่ ไม่นิยมใช้น้ำเพราะต้องทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ 3 วันขึ้นไปทำให้ขึ้นราได้ง่าย วิธีนี้มีข้อดี คือ สารไม่ถูกความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลาย เนื่องจากต้องสกัดซ้ำหลายๆ ครั้ง

2.5 **ไมโครเอนแคปซูเลชัน** (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation) หมายถึง กระบวนการที่อนุภาคของแข็งหรือของเหลวถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล (microcapsule) [30]

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูล เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 1-1000 ไมโครเมตร โดยทั่วไปไมโครแคปซูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ สารแกน (core หรือ nucleus) และสารห่อหุ้ม (shell หรือ wall) โดยสารที่บรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูล เรียกว่า สารแกน ส่วนผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารแกนนั้น เรียกว่า สารห่อหุ้ม ไมโครแคปซูลมีรูปร่างที่หลากหลาย เช่น มีลักษณะกลม กลมแบน คล้ายไต คล้ายเมล็ดข้าว และเป็นก้อน แสดงดังรูปที่ 2.5 [31,32]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครแคปซูล [33]

2.5.1.1 **สารแกน** (Core **หรือ** Nucleus)

สารแกนหรือสารที่ถูกห่อหุ้ม อาจเป็นได้ทั้งของแข็งหรือของเหลว ที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลแต่ส่วนใหญ่มักใช้สารแกนเป็นของแข็งมากกว่าของเหลว เนื่องจากสามารถควบคุมขนาดได้ง่ายกว่า ตัวอย่างของสารแกน แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยกลไกการปล่อยสารแกนนั้นต้องคำนึงถึงการเลือกวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานอีกด้วย ซึ่งสารแกนอาจถูกปล่อยได้โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือความดัน แรงเสียดสีหรือแรงกดทับ การแพร่ผ่านของผนังแคปซูล และการย่อยสลายของผนังแคปซูล ดังตารางที่ 2.3 [32,34,35]

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของสารแกน [32]

ประเภท	ตัวอย่าง
Solvents	Benzene, Toluene, Chlorinated diphenyl, Cyclohexane, Paraffin, Esters, Ethers, Ketones, Alcohols, Water, Glycerin
Plasticizers	Phthalate-type plasticizers, Adipate-type plasticizers, Phosphate-type plasticizers; Silicones, Chlorinated diphenyl, Chlorinated paraffin
Acid and bases	Fuming nitric acid, Boric acid, Caustic alkali, Amines
Colorants	Pigments, Dyes, Leuco dyes
Fuels	Nuclear fuel, Rocket fuel, Gasoline, Light oil
Catalysts	Curing agents, Oxidants, Reducing agents, Initiators
Adhesives	Polysulfides, Heat-sensitive adhesive compositions, Amines, Epoxy resins, Isocyanates
Perfumes	Menthol, Mercaptan and Essences
Recording materials	Xerographical toners, Silver halides, Couplers, Developers, Fixing agents, Inks, Magnetic powdwes, Diazo compounds, Photosensitive resins, Liquid crystals, Photochromic compounds
Medicines	Aspirin, Vitamins, Amino acids, etc.
Organisms	Hemoglobin, Gelatin, Enzymes, Yeasts, Bacteria, Virus
Foods	Oils, Fats, Condiments, Flavors
Agricultural chemicals	Herbicides, Insecticides, Fertilizers
Swelling agents	Azo compounds, Sodium bicarbonate, Baking powder
Rust inhibitors	Zinc chromate
Others	Cellulose flock, Fire-suppressing chemicals, Shoeblack, Detergents, Clay, Silver, Phosphorus

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอกับกลไกการปล่อยสารแกน [35]

การใช้งาน	กลไกการปล่อยสารแกน
Cosmetic Textiles (On contact with skin)	Friction, Pressure, Biodegradation
Aromatherapy & Fragrance Textiles	Friction, Diffusion through Polymer Wall
Phase Change Material (Thermoregulation)	Temperature
Thermochromic & Photochromic (Colour Changing System)	Temperature, Ultra-violet Light
Flame Retardant Textiles	Flame, High Temperature

2.5.1.2 สารห่อหุ้ม (Shell หรือ Wall)

สารที่ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มอาจเป็นพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ ความหนาของผนังแคปซูลอยู่ในช่วง 0.2 ไมโครเมตร จนถึงหน่วยมิลลิเมตร แต่โดยปกติผนังของไมโครแคปซูลจะมีความหนามากกว่า 10 ไมโครเมตร โดยคุณสมบัติของสารห่อหุ้มที่ดีต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกน สามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ มีคุณสมบัติทำให้เกิดอิมัลชัน และต้องให้คุณสมบัติของผนังแคปซูลตามที่ต้องการ เช่น มีความแข็งแรง ไม่เกิดการซึมผ่าน มีความยืดหยุ่น และมีความคงตัว เป็นต้น ตัวอย่างของสารห่อหุ้มแสดงในตารางที่ 2.4 [32,36]

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของสารห่อหุ้ม [32]

ประเภท	ตัวอย่าง
Protein	Collagen, Gelatin, Casein, Fibrinogen, Hemoglobin, Polyamino acid
Vegetable gums	Gum arabic, Agar, Sodium alginate, Carrageenin, Dextran sulfate

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ประเภท	ตัวอย่าง
Cellulose	Ethyl cellulose, Nitrocellulose, Carboxymethyl cellulose, Acetylcellulose, Cellulose acetate-phthalate, Cellulose acetate-buthylate-phthalate
Condensation polymers	Ethyl cellulose, Nitrocellulose, Carboxymethyl cellulose, Acetylcellulose, Cellulose acetate-phthalate, Cellulose acetate-buthylate-phthalate
Copolymer	Nylon, Tetron, Polyurethane, Polyurea, Formalin naphtalenesulfonic acid condensate, Polycarbonates, Amino resins, Alkyl resins, Silicone resins
Homopolymer	Maleic anhydride copolymers with ethylene or vinylmethyl ether, Acrylic acid copolymers, Methacrylic acid copolymers, Polyvinyl chloride, Saran, Polyethylene, Polystyrene, Polyvinyl acetate, Polyvinyl chloride, Saran, Polyethylene, Polystyrene, Polyvinyl acetal, Polyacrylamide, Polyvinylbenzenesulfonic acid, Polyvinyl alcohol, Synthetic rubbers
Curable polymers	Epoxy Resins, Nitroparaffin, Nitrated polystyrene
Waxs	Wax, Paraffin, Resin, Shellac, Tristearin, Monoglyceride, Beeswax, Haze wax, Oils, Fats, Hardened oils
Inorganic materials	Calcium sulfate, Graphite, Silicates, Aluminum, Alumina, Copper, Silver, Glass, Alloys, Clays

2.5.2 **ข้อดีของการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน** [30,37]

1. ป้องกันสารแกนจากสภาวะที่เป็นอันตราย เนื่องจากสารบางชนิดมีความว่องไวต่อความร้อน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความชื้น ซึ่งทำให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนแปลงไป

2. ลดอัตราการระเหยของสารที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากสารบางชนิดมีอัตราการระเหยที่รวดเร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหยของดอกไม้ชนิดต่างๆ เช่น ลาเวนเดอร์ มะลิหอม กุหลาบ เมื่อนำมาทาหรือหยดบนผ้า น้ำมันหอมระเหยนั้นสามารถระเหยหมดได้ภายในวันเดียว แต่ถ้านำมาทำเป็นไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยจะถูกปล่อยได้ก็ต่อเมื่อมีการขยี้หรือขัดถู ซึ่งเป็นการทำให้เม็ดแคปซูลแตก ในทางตรงกันข้ามถ้าไม่มีการขยี้หรือขัดถู เม็ดแคปซูลก็จะไม่แตกออกจึงทำให้เก็บรักษากลิ่นได้ยาวนานขึ้น

3. ช่วยกลบกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น น้ำยาปรับผ้านุ่มหรือผงซักฟอกที่ผสมสารที่มีกลิ่นหอม เพื่อกลบกลิ่นของสารซักล้างบางชนิด ทำให้เสื้อผ้ามีกลิ่นหอมและยังเป็นเครื่องบ่งบอกได้ว่าเสื้อผ้าที่สวมใส่ยังสะอาดอยู่

4. ช่วยควบคุมการปล่อยสารแกน การทำไมโครแคปซูลช่วยให้ปล่อยสารแกนได้ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดการระคายเคืองในกรณีสารแกนที่ใช้เป็นพิษ และยังลดความสิ้นเปลืองในการใช้สารแกนได้อีกด้วย

5. ดัดแปลงสมบัติทางกายภาพของสาร การทำไมโครแคปซูลสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะของสารจากของเหลวเป็นของแข็ง เรียกว่า pseudo-solid ทำให้ได้สารใหม่ที่ภายนอกมีสถานะเป็นของแข็งแต่ภายในมีสถานะเป็นของเหลว และยังคงสภาพการเกิดปฏิกิริยาเป็นของเหลวหรือสามารถเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และปริมาตรของสาร เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน

2.5.3 **วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล** (Microencapsulation Techniques)

วิธีการเตรียมไมโครแคปซูลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ วิธีทางเคมี วิธีทางเคมีกายภาพ และวิธีทางกายภาพ ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลแต่ละวิธีนั้นจะเหมาะสมกับสารห่อหุ้มและสารแกนที่แตกต่างกัน และยังส่งผลต่อขนาดของไมโครแคปซูลที่แตกต่างกันอีกด้วย แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล [9]

วิธีทางเคมี	วิธีทางเคมีกายภาพ	วิธีทางกายภาพ
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation)	1. อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization) 2. อินซิตูพอลิเมอไรเซชัน (In-situ polymerization)	1. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension) 2. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating) 3. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying) 4. ออริฟิซ (Orifice process)

ตารางที่ 2.6 ลักษณะของสารแกนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีต่างๆ และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ [38]

วิธีการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน	ลักษณะของสารแกน	ขนาดของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)
1.โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation)	ของแข็งและของเหลว	2-5000
2. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)	ของแข็ง	35-5000
3. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)	ของแข็ง	600-5000
4. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)	ของแข็งและของเหลว	600
5. ออริฟิซ (Orifice process)	ของแข็งและของเหลว	1-5000

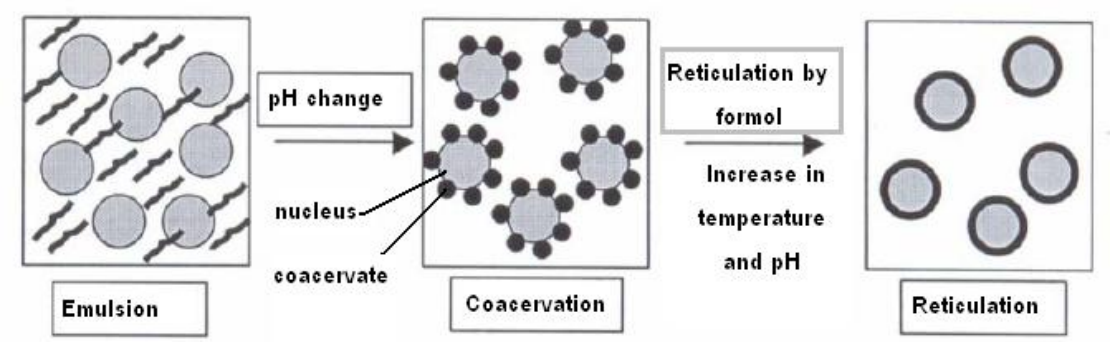
2.5.3.1 โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation)

เป็นการนำสารแกนมากระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบ จากนั้นคนอย่างต่อเนื่อง และทำให้สารเคลือบเกิดการแยกตัวออกจากตัวทำละลาย (phase separation) เกิดเป็น coacervation droplets ขึ้น แล้ว coacervation droplets นี้จะเกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนบนสารแกน จากนั้นจึงทำให้สารเคลือบแข็งตัว ดังรูปที่ 2.6 [32,34,36]

วิธีโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation) แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

1) โคอะเซอร์เวชันแบบง่าย (simple coacervation) เป็นการใช้พอลิเมอร์ 1 ชนิด เป็นสารเคลือบ ในการเตรียมนั้นสารเคลือบที่อยู่ในตัวกลางจะถูกทำการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมจนทำให้เกิดการแยกตัวออกมาเคลือบสารแกนไว้ ซึ่งการทำให้สารเกิดการแยกวัฏภาคนั้น ได้แก่ การเติมสารอิเล็กโตรไลต์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือ pH การเติมสารทำละลายที่ไม่ใช่สารทำละลายของพอลิเมอร์ และการเติมพอลิเมอร์ที่ไม่เข้ากับพอลิเมอร์ที่ละลายในตัวกลาง วิธีนี้สามารถเตรียมได้ง่ายและยังสามารถใช้กับสารแกนทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันพืช วิตามินเอ

2) โคอะเซอร์เวชันแบบซับซ้อน (complex coacervation) เป็นการใช้พอลิเมอร์มากกว่า 1 ชนิดเป็นสารเคลือบ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุสารที่ใช้จนได้สารที่ไม่ละลายและแยกตัวออกมาเคลือบสารแกนไว้ แต่วิธีนี้ยังต้องอาศัยการปรับเปลี่ยน pH ของตัวกลางจนเกิดการเหนี่ยวนำทำให้สารมีประจุตรงข้ามกันในปริมาณ และความแรงของประจุที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิจนทำให้เกิดฟิล์มห่อหุ้มสารแกนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

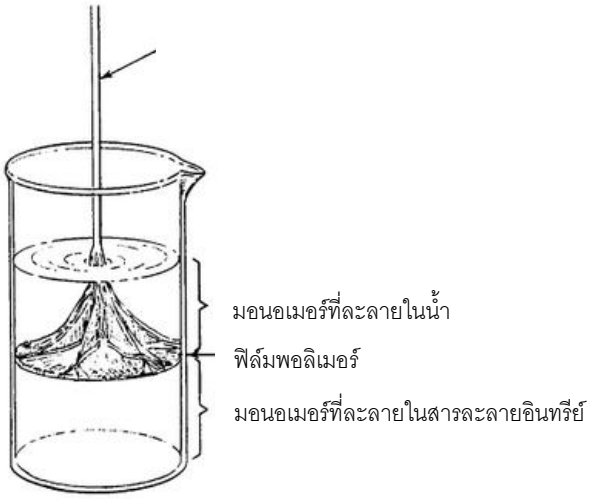


รูปที่ 2.6 ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูเลชันโดยใช้วิธีโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation) [39]

2.5.3.2 **อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน** (Interfacial polymerization)

เป็นการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างผิวหน้าของมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่ไม่เข้ากัน จนเกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบสารแกนไว้ ดังรูปที่ 2.7 ทั้งนี้อาจต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาด้วย ขั้นตอนการเตรียมเริ่มจากการนำอนุภาคของสารแกนและมอนอเมอร์ไปละลายในวัฏภาคกระจายตัวและทำให้เกิดอิมัลชันขึ้น จากนั้นจึงเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ละลายในวัฏภาคต่อเนื่องลงไป ทั้งนี้ต้องควบคุมความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่างให้เหมาะสม ตัวอย่างของสารแกน มอนอเมอร์ที่ละลายในน้ำและน้ำมัน และฟิล์มพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 2.7 [34,36]

ผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันจะมีความสามารถในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi-permeable membrane) เนื่องจากปฏิกิริยาอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของมอนอเมอร์ที่กระจายตัวในอิมัลชัน [40]



รูปที่ 2.7 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization) [41]

ตารางที่ 2.7 ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน [32]

Core	Monomer		Wall
	Oil-soluble	Water-soluble	
Methylphthaloyl ethyl glycolate	Telephthaloyl chloride	Bisphenol A	Polyester
Iron powder suspended in methyl methacrylate	Telephthaloyl chloride	Ethylenediamine	Polyamine
Ligroine	Telephthaloyl chloride	Ethylene tetramine	Polyamine
Aqueous triamine	Telephthaloyl chloride	Diethylenetriamine	Polyamine
Glycerin	Adipic acid chloride	Hexamethylene diamine	Polyamine
Liquid paraffin	Dodecanediol acid chloride	2,4,6-Triaminotoluene and ethylenediamine	Polyamine
Nujol	Toluenediiscyanate	Ethylene glycol	Polyurethane
Benzene	Hexamethylene bischloroformate	Hexamethylene diamine	Polyurethane
Diethylenetriamine	Toluenediiscyanate	Diethylenetriamine	Polyurea
Toluene	Epicoat 828	Hardener T	Epoxy resin
Amines	Epoxy resin	Amine	Epoxy resin
Toluenediisocyanate	Polymer of methyltrimethoxysilane and dimethyl silicone	Sodium trimethysilanolate	Silicone
Water	Styrene and acrylonitrile	Casein	Graft copolymer

ข้อจำกัดของวิธีการเตรียมแบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

1) มอนอเมอร์หรือสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิริยาในระบบอาจเป็นพิษได้

2) สารแกนกับมอนอเมอร์อาจเกิดปฏิกิริยาด้วยกันเอง ทำให้สารแกนมีประสิทธิภาพลดลง

3) ผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากวิธีนี้มีสมบัติในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi permeable membrane) จึงอาจทำให้สารแกนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแพร่ผ่านผนังของไมโครแคปซูลได้ง่ายขึ้น

4) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีความเปราะสูงและย่อยสลายได้ยาก [25]

2.5.3.3 **อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน** (In-situ polymerization)

วิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชันเป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน แต่มอนอเมอร์จะผสมอยู่กับสารแกนหรือตัวกลางเท่านั้น จะไม่เติมมอนอเมอร์ลงในทั้งสารแกนและตัวกลาง โดยสารแกนอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ไม่ละลายในตัวกลาง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ผิวหน้าของสารแกนที่กระจายตัว และวิธีนี้อาจจำเป็นต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) หรือสารกระจายตัว (dispersing agent) เพื่อทำให้สารแกนเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างของสารแกน มอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และสารเติมแต่งในตัวกลางที่เป็นทั้งน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ และแก๊ส ดังตารางที่ 2.8, 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ [33,40]

ตารางที่ 2.8 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง) [32]

Core	Monomer	Catalyst	Additives to Aqueous Medium
Chlorinated diphenyl, Lard, Cotton seed	Styrene + divinyl benzene	Benzoyl peroxide (BPO)	Gum Arabic, Soap, Surfactant
Plasticizer	Unsaturated polyester, Precondensate of phenol with formalin	Potassium persulfate, Hexamethylene tetramine	Red oil, nonionic surfactant
Neopentane	Methyl methacrylate	BPO, $K_2Cr_2O_7$	Colloidal silica, Aqueous polyamine solution
Chlorinated diphenyl	Diallyl phthalate, Styrene	ABIN	Surfactant
Cellulose floc	Butyl methacrylate, Styrene	BPO	N_2 gas
Iron oxide	Styrene	Potassium persulfate	Potassium laurate
Chlorinated diphenyl	Linseed oil	Cobalt naphthanate	Gelatin, Gum arabic

ตารางที่ 2.9 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลาง) [32]

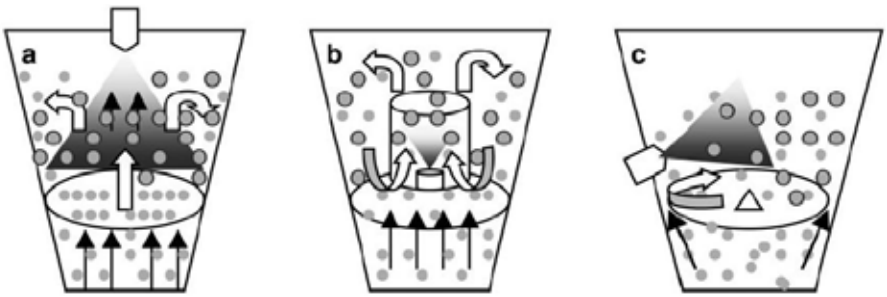
Core	Monomer	Catalyst	Organic Medium
Azobisisobutyronitrile	Styrene, Butadiene	$TiCl_4$, Triethylene aluminum	Benzene + Methanol
Li-Al-Hydride	Versamid + Epon 828		Toluene + Hexamethylenedisiloxane
Urea	Butadiene and arylglycidyl ether	Phosphoric acid	Trichloroethylene
Sodium hydroxide	Acrylonitrile, Methyl methacrylate, Vinylidene chloride	NaOH	Hexane
Boron trifluride	Vinyl cyclohexane diepoxide		Petroleum ether
Iron oxide, TiO_2	Methyl methacrylate + Methacrylic acid	Azobisisobutyronitrile	Petroleum ether
Cellulose floc	Ethylene	$TiCl_4$ + Tributyl aluminum	Toluene + Methanol
Complex of polyvinyl pyrrolidone with iodine	Ethylene	$TiCl_4$ + Methyl magnesium bromide	Toluene + Methanol

ตารางที่ 2.10 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้แก๊สเป็นตัวกลาง) [32]

Core	Monomer	Catalyst	Phase
Phosphoric acid	Isobutylene, Vinyl acetate, Methyl acrylate, Tung oil	NO_2, Boron	N_2
Ammonium perchlorate	Dichloro-p-xylylene, di-p-xylylene	Heating	Vacuum
Phosphoric acid, Fertilizer	Polybutadiene, Butadienestyrene, Butadieneacrylonitrile		Heated air
Urea	Tung oil		Heated air
Ascorbic acid	Methyl siloxane		Heated air

2.5.3.4 **แอร์ซัสเพนชัน** (Air suspension)

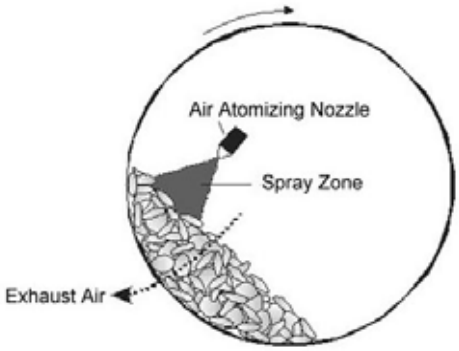
อนุภาคของสารแกนที่ใช้มักเป็นของแข็งขนาดเล็ก โดยทำให้สารแกนจะถูกลอยตัวอยู่ใน chamber ที่มีกระแสลมร้อน จากนั้นพ่นสารเคลือบเข้าไป สารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของสารแกน และเกิดการแห้งตัวด้วยกระแสลมร้อนดังกล่าว ดังรูปที่ 2.8 วิธีนี้ต้องควบคุมเรื่องความชื้น แรงลม อัตราการพ่นสาร อัตราการทำให้แห้ง และขนาดของสารแกนที่ใช้ ถ้าสารแกนมีลักษณะเปราะ อาจทำให้สารแกนแตกออกและแทรกตัวอยู่ในชั้นเคลือบ ส่งผลให้ชั้นเคลือบมีสมบัติยอมให้สารผ่านได้มากขึ้น วิธีนี้ทำได้รวดเร็วกว่าวิธี pan coating นอกจากนี้ยังไม่ต้องอาศัยความชำนาญ และเกิดการสูญเสียสารเคลือบน้อยมากหรือไม่สูญเสียเลยเนื่องจากวิธีนี้เป็นระบบปิด แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ อุปกรณ์ต่างๆ มีราคาแพง [34,36]



รูปที่ 2.8 ลักษณะของ Fluid-bed coater (a) top spray (b) bottom spray (c) tangential spray [9]

2.5.3.5 **การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ** (Pan coating)

อนุภาคของสารแกนที่ใช้มักเป็นของแข็งขนาดใหญ่ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 500 ไมโครเมตรขึ้นไป และมีลักษณะกลม สารแกนจะกลิ้งอยู่ในหม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าอยู่เสมอ จากนั้นเทสารเคลือบลงไป ลมร้อนจะทำให้สารเคลือบแห้งตัว ดังรูปที่ 2.9 วิธีนี้พบมากในอุตสาหกรรมยา [30,34,36]

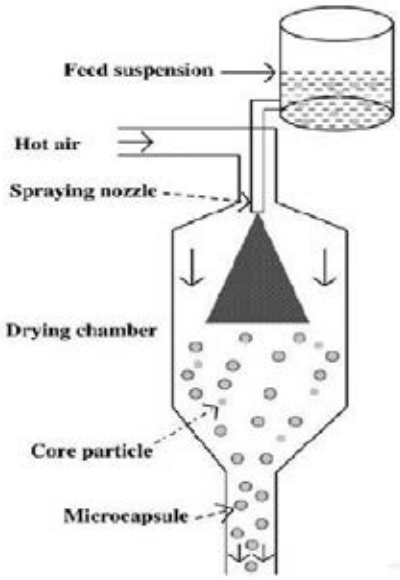


รูปที่ 2.9 หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการเคลือบ (Pan coating) [33]

2.5.3.6 **การทำแห้งแบบพ่นละออง** (Spray drying)

อนุภาคของสารแกนที่ใช้มักเป็นสารอิมัลชันที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สารให้กลิ่นรส (flavor) อนุภาคของสารแกนถูกกระจายตัวอยู่ในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบ จากนั้นพ่นสารละลายดังกล่าวใน chamber ที่มีลมร้อน ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งลมร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 100-160 องศาเซลเซียส ลมร้อนจะทำให้สารเคลือบแข็งตัวอยู่บนสารแกน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตัวแปรสำคัญในการเตรียม คือ ชนิดของพอลิเมอร์ ความเข้มข้น ความหนืด อัตราส่วนของสารแกนต่อสาร

เคลือบ และอุณหภูมิของสารที่นำมาพ่น วิธีนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเหมาะกับการผลิตจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม เครื่อง Spray dryer มีราคาแพง [9,30,34,36]



รูปที่ 2.10 การทำเอนแคปซูลเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying) [9]

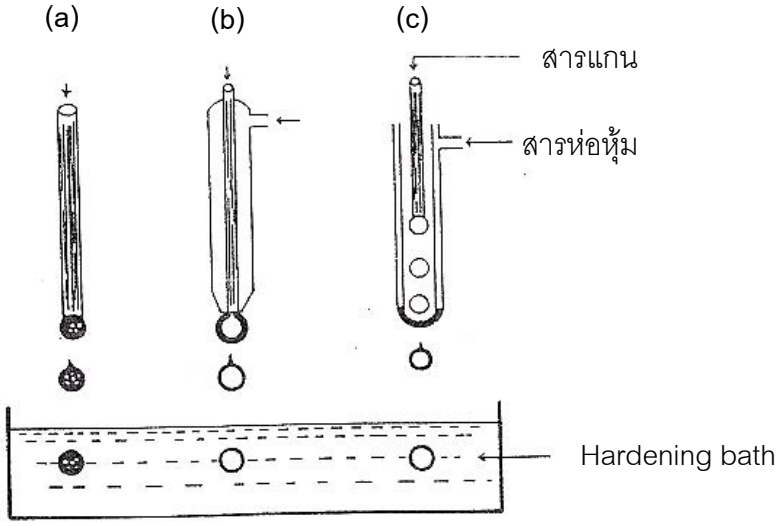
2.5.3.7 **ออริฟิซ** (Orifice process)

การเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีนี้ พอลิเมอร์ที่ใช้สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำหรือละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้พอลิเมอร์ที่สมบูรณ์เป็นสารเริ่มต้น พอลิเมอร์โซ่ตรงจะละลายอยู่ในตัวทำละลาย แต่ก็สามารถกลายเป็นสารที่ไม่ละลายและเกิดการฟอร์มตัวเป็นฟิล์มได้ การทำให้พอลิเมอร์ไม่ละลายได้นั้นอาจเติมสารช่วย เช่น inorganic ions, aldehydes, nitric acid หรือ isocyanates เมื่อทำการปรับอุณหภูมิจะเกิดการ neutralized สารละลาย จึงทำให้เกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองตัวที่มีประจุตรงข้ามกัน ได้เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลาย วิธีออริฟิซ สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1) ใช้ tube หรือ nozzle ตามรูป a อิมัลชันของสารแกนที่อยู่ในสารละลายของสารเคลือบจะถูกหยดผ่านปลายท่อขนาดเล็กเกิดเป็นเม็ดทรงกลม จากนั้นไมโครแคปซูลจะแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับสารละลาย calcium chloride

2) เป็นวิธีที่ใช้ bifluid nozzle ซึ่งมี concentric double orifice ประกอบด้วย inner และ outer cylinders สารแกนจะไหลออกมาจาก inner cylinder ส่วนสารเคลือบจะไหลออกมาทาง outer cylinder โดยสารแกนจะถูกเคลือบด้วยสารเคลือบขณะไหลผ่านปลายท่อออกมาจาก bifluid nozzle ดังรูป b

3) เป็นวิธีที่ใช้ concentric double orifice เช่นเดียวกัน ปลายด้านบนของ inner cylinder จะซ่อนอยู่ใน outer cylinder แต่ไม่เชื่อมติดกัน ดังรูป c เมื่อสารแกนหลุดออกจากปลาย inner cylinder ลงมาที่ outer cylinder กระทบกับสารเคลือบทำให้สารแกนถูกเคลือบเกิดเป็นไมโครแคปซูลขึ้น [34]



รูปที่ 2.11 รูเปิดลักษณะต่างๆของการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีออริฟิซ (Orifice process) [40]

2.5.4 การประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การใช้งานของไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในยุโรปตะวันตก ญี่ปุ่น และอเมริกาเหนือ ซึ่งมีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติใหม่ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ทั้งสิ่งทอทางการแพทย์และสิ่งทอเทคนิค ตัวอย่างของไมโครแคปซูลที่นำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งทอ ได้แก่ ไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ ไมโครแคปซูลของสารหอม ไมโครแคปซูลของสารบำรุงผิว ไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์ ไมโครแคปซูลของสารต้านแมลง และไมโครแคปซูลของสารหน่วงไฟ [42]

2.5.4.1 ไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ (Phase change material: PCM)

การทำไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ (phase change material: PCM) มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้สิ่งทอสามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้ตามต้องการการ ซึ่ง PCM คือวัสดุที่มีพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสูง โดย PCM สามารถดูดพลังงานความร้อนสะสมได้ในปริมาณมากขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และสามารถปล่อยพลังงานที่สะสมนี้ออกมาได้ขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับเป็นสถานะเริ่มต้น PCM จึงถูกนำมา

ประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ PCM เปลี่ยนสถานะ [42]

PCM ที่นำมาทำเอนแคปซูเลชัน เช่น nonadecane ($C_{19}H_{40}$) และสารอัลเคนชนิดอื่นที่มีความยาวสายโซ่กลางๆ ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงกว่าจุดหลอมเหลวของสาร PCM สาร PCM จะดูดความร้อนเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลว ทำให้อุณหภูมิของสิ่งทอไม่เพิ่มขึ้นตามสิ่งแวดล้อม แต่เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดลง สาร PCM จะคายความร้อนเพื่อกลายเป็นของแข็ง ทำให้อุณหภูมิของสิ่งทอไม่ลดลงตามสิ่งแวดล้อม ไมโครแคปซูลของสาร PCM จะมีผนังหนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20-40 ไมโครเมตร มีสาร PCM บรรจุอยู่ 80-85% ซึ่งขนาดอนุภาคที่เล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มาก ดังนั้น PCM จึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกได้อย่างรวดเร็ว [42,43]

2.5.4.2 **ไมโครแคปซูลของสารหอม**

สารที่มีกลิ่นหอมหรือน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการรักษาหรือที่เรียกว่า สุคนธบำบัด (aromatherapy) เนื่องจากช่วยในการปรับสมดุลทางอารมณ์และจิตใจ เช่น ช่วยให้จิตใจสงบ ลดความโกรธและความเครียด ช่วยผ่อนคลาย ช่วยกระตุ้นอารมณ์รื่นเริง เป็นต้น ตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนุ่งห่มและสรรพคุณ แสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 สรรพคุณและตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนุ่งห่ม [44]

สรรพคุณ	สารที่มีกลิ่นหอม
- ยกระดับจิตใจ/อารมณ์	เลมอน เปปเปอร์มิ้นต์
- ผ่อนคลาย	คาโมมายล์ ลาเวนเดอร์ มะลิ
- ปลุกเร้าอารมณ์	มะลิ กุหลาบ
- ปรับสมดุล	ลาเวนเดอร์ มะลิ กุหลาบ
- เกิดความคิดที่ชัดเจน	เปปเปอร์มิ้นต์
- เสริมสร้างความมั่นใจ	มะลิ กุหลาบ
- ทำให้สมองปลอดโปร่ง	เปปเปอร์มิ้นต์
- ผ่อนคลายกล้ามเนื้อ	เปปเปอร์มิ้นต์
- หลับสบาย	คาโมมายล์ ลาเวนเดอร์

อย่างไรก็ตามการเติมสารหอมลงบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอโดยตรงนั้นมักจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากสารหอมเป็นสารที่ระเหยง่ายและไม่คงทนต่อการซัก ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชันมาใช้เพื่อเพิ่มความคงทนให้กับสารหอมบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอมากมาย เช่น ชุดกีฬา ชุดนอน ชุดทำงาน ชุดเครื่องนอน ผ้าม่าน และพรม เป็นต้น

2.5.4.3 ไมโครแคปซูลของสารบำรุงผิว

Cosmeto-textiles คือ เครื่องนุ่งห่มที่ถูกออกแบบมาให้มีการสัมผัสกับผิวหนังเพื่อส่งผ่านสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารเสริมความงาม สารบำรุงผิว หรือวิตามิน ซึ่งสารเหล่านี้ถูกบรรจุอยู่ในรูปของไมโครแคปซูลเพื่อเพิ่มความคงทนและป้องกันสารสำคัญจากสภาวะแวดล้อม

ไมโครแคปซูลของสารเสริมความงามทางการค้ามีการส่งผ่านสาร 3 รูปแบบ คือ

1) การใช้แรงเสียดทานระหว่างไมโครแคปซูลในผ้ากับผิวหนัง

2) การย่อยสลายทางชีวภาพของสารห่อหุ้มโดยเอนไซม์ในผิวหนัง

3) การละลายของสารห่อหุ้มเนื่องจากความเป็นกรดบนผิวหนัง (pH 4-5)

ตัวอย่างของการใช้งาน เช่น การเติมไมโครแคปซูลของวิตามิน หรือน้ำมันอโลเวรา ลงในชุดชั้นใน เสื้อยืด ถุงน่อง ถุงเท้า และชุดเครื่องนอน เป็นต้น [35,44]

2.5.4.4 ไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์และสารระงับกลิ่น

เหงื่อทำให้จุลินทรีย์ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ชุดชั้นใน ชุดกีฬา ถุงเท้า ถุงมือ และสิ่งทอที่ใช้ในการผลิตรองเท้า รวมไปถึงสิ่งทอที่ใช้ในบ้าน เช่น พรม ผ้าม่าน เบาะรองนั่ง และสิ่งทอที่ใช้ในยานพาหนะ เช่น เบาะรถยนต์ เป็นต้น จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอเหล่านี้ให้มีความรู้สึกสดชื่นและสะอาด ซึ่งการทำไมโครเอนแคปซูเลชันของสารต้านจุลินทรีย์จะทำให้สารต้านจุลินทรีย์ค่อยๆ ปล่อยออกมา จึงเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ในระยะยาวได้

สารต้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ไอออนของเงิน (silver ion) และน้ำมันหอมระเหยของพืชบางชนิด เช่น ทีทรี (tea tree oil) ยูคาลิปตัส ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยมักเป็นสารที่ระเหยง่าย การทำไมโครเอนแคปซูเลชันจะช่วยลดอัตราการระเหยและยืดอายุการใช้งานได้ ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์มักถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์เพื่อป้องกันการติดเชื้อจากแบคทีเรียและเชื้อรา โดยไมโครแคปซูลจะค่อยๆ ปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สัมผัสกับผิวหนังเพื่อลด

โอกาสในการติดเชื้อหลังการผ่าตัด และการเย็บแผลด้วยไหมที่บรรจุด้วยไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์จะทำให้แผลเกิดการสมานตัวได้เร็วขึ้น [44]

2.5.4.5 ไมโครแคปซูลของสารต้านแมลง

สิ่งทอที่มีสมบัติในการต้านแมลงได้รับความนิยมในเขตร้อนชื้น ซึ่งมียุงและแมลงอื่นๆ เป็นจำนวนมาก โดยไมโครแคปซูลของสารต้านแมลงจะช่วยปล่อยสารต้านแมลงออกมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป ทำให้สมบัติต้านแมลงมีความคงทนยาวนานขึ้น และยังช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ และไหมที่เกิดจากการตัวอ่อนของแมลงได้อีกด้วย [44]

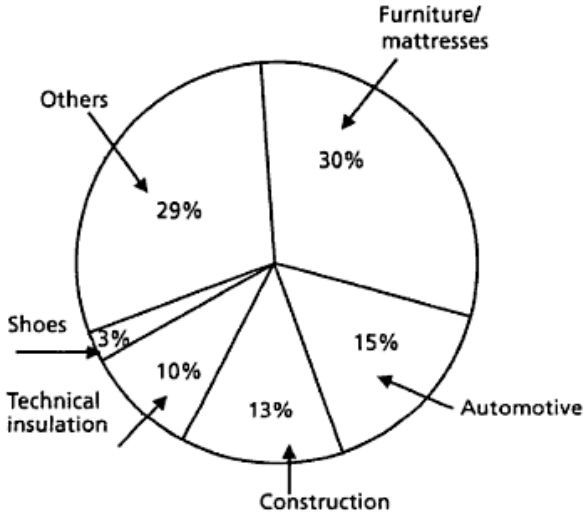
2.5.4.6 ไมโครแคปซูลของสารหน่วงไฟ

การตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟแบบดั้งเดิมมักขาดความคงทนต่อการซักล้าง เนื่องจากสารหน่วงไฟที่ใช้มักละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการทำไมโครเอนแคปซูเลชันจะสามารถช่วยป้องกันสารหน่วงไฟจากการซักล้างได้ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงการเลือกพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มเนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงยึดติดระหว่างไมโครแคปซูลกับสิ่งทอ ซึ่งมีผลต่อความคงทนของสมบัติหน่วงไฟ และยังเพิ่มปริมาณสารที่แตกตัวให้คาร์บอน (carbonific component) อีกด้วย

นอกจากนี้ไมโครแคปซูลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอด้านอื่นๆ เช่น ไมโครแคปซูลของสารกันน้ำ สารสี เอนไซม์ น้ำยาปรับผ้านุ่ม สารดูดซับรังสีอัลตร้าไวโอเลต เป็นต้น [42,44]

2.6 **พอลิยูรีเทน** (Polyurethane, PU)

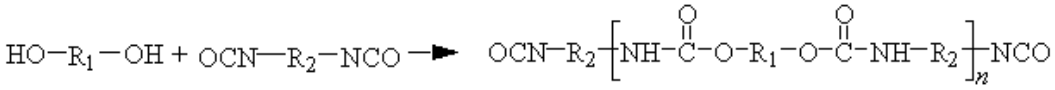
พอลิยูรีเทนผลิตขึ้นครั้งแรกในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อใช้ทดแทนยางธรรมชาติ พอลิยูรีเทนมีสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับขั้นตอนการสังเคราะห์ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นและความแข็งแตกต่างกัน สามารถนำไปใช้งานได้ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม เช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม โฟม รองเท้า ตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง เช่น กันชนของรถยนต์ และโครงสร้างอาคาร เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการใช้งานของพอลิยูรีเทน [45]

2.6.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนเกิดจากการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วระหว่างไอโซยาเนต (isocyanates) และโอลิโกเมอร์สายโซ่ยาวที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีหมู่ปลายเป็นไฮดรอกซิล (polyol) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ในบางครั้งอาจเติมสารอื่นๆ เช่น สารเพิ่มความยาวสายโซ่ (chain extender) สารฟู (blowing agent) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารหน่วงไฟ (flame retardant) เป็นต้น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน [46]

ไดไอโซไซยาเนต คือ โมเลกุลที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต 2 หมู่ อาจเป็นได้ทั้งสารแอโรมาติก เช่น diphenylmethane diisocyanate (MDI) และ toluene diisocyanate (TDI) หรือสารที่มีสายโซ่ตรง เช่น hexamethylene diisocyanate (HMDI) และ isophorone diisocyanate (IPDI) โดยสารไอโซไซยาเนตแต่ละชนิดจะส่งผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาแตกต่างกัน แสดงในตาราง 2.12

ตารางที่ 2.12 ความว่องไวของไอโซไซยาเนตในการเกิดปฏิกิริยากับ methoxyethanol [46]

ชนิดของไอโซไซยาเนต	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (10^4 ลิตร/โมล วินาที)	
	k_1	k_2
2,4-TDI	42.5	1.6
2,6-TDI	5	2
1,5-NDI	6.1	-
1,4-MDI	16	8.6
p-XDI	3	-
1,6-HMDI	0.2	-

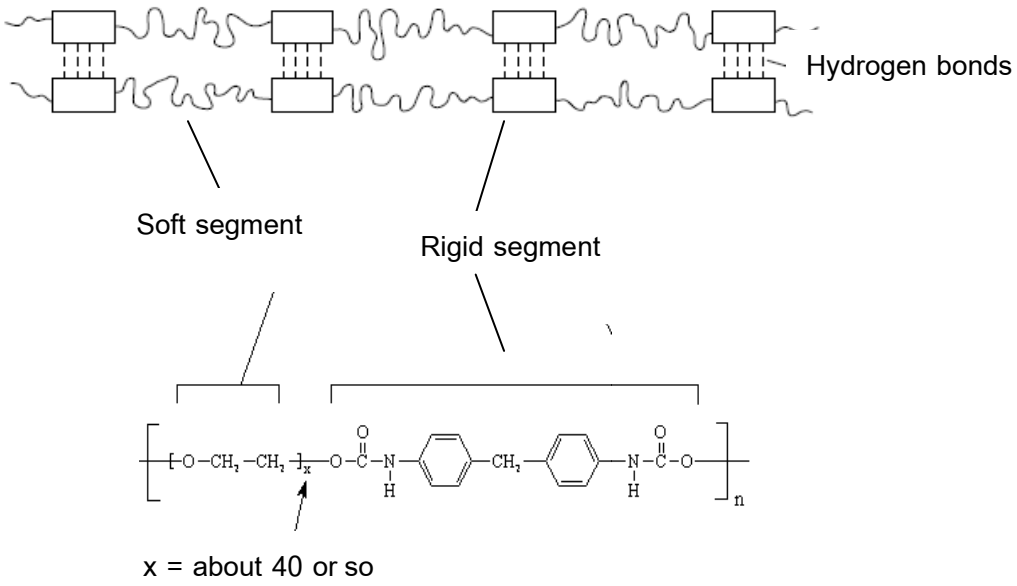
ไดออล (diols) คือ โมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ เช่น ethylene glycol (EG), 1,4- butanediol (BDO), diethylene glycol (DEG), glycerine, and trimethylol propane (TMP) โดยโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของสารพอลิออลจะส่งผลต่อสถานะ สมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทน และอัตราเร็วของปฏิกิริยา ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลชนิด primary มีความว่องไวมากกว่า secondary และ tertiary ตามลำดับ เนื่องจากผลของความเกะกะของหมู่ฟังก์ชัน (steric hindrance)

2.6.2 **สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล**

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่แข็ง (rigid segment) และส่วนที่ยืดหยุ่น (soft segment or flexible segment) ดังแสดงในรูป 2.14 โดยส่วนที่แข็งเกิดจากไอโซไซยาเนต และส่วนที่ยืดหยุ่นเกิดจากพอลิออล

โครงสร้างโมเลกุลของไอโซไซยาเนตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของส่วนแข็ง มีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน ได้แก่ การเกิดผลึก มอดูลัสยืดหยุ่น ความทนแรงดึง ความแข็ง (hardness) และความต้านทานการขัดถู โดยเมื่อไอโซไซยาเนตมีโครงสร้างสมมาตรและมีวงแหวนแอโรมาติกจะมีสมบัติเชิงกลเพิ่มสูงขึ้น โดยสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิยูรีเทนจะเพิ่มขึ้นตามชนิดของไอโซไซยาเนตที่ใช้บ่อยดังนี้ MDI>HTDI>TDI>HMDI ตามลำดับ

โครงสร้างโมเลกุลของสารพอลิออลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของส่วนยืดหยุ่นก็มีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนเช่นเดียวกัน โดยตารางที่ 2.13 แสดงชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน [46]

ตารางที่ 2.13 ชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน [46]

ชนิดของไกลคอล	สถานะ	สมบัติของพอลิยูรีเทน
Ethylene	ของแข็ง	แข็ง ความทนแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขัดถู เป็นผลึก
Propylene	ของเหลว	อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ มีความต้านทานการเกิดไฮโดรลิซิส
Diethylene	ของเหลว	อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ
1,4-Butanediol	ของแข็ง	แข็ง ความทนแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขัดถู
1,6-Hexanediol	ของแข็ง	แข็ง ความทนแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขัดถู และการเกิดไฮโดรลิซิส

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น ความทนแรงดึง (tensile strength) ความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) และความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ลดลง แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิยูรีเทนเกิดจากพันธะของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล แสดงในตารางที่ 2.14 พันธะไฮโดรเจนและหมู่

มีขั้วในพอลิยูรีเทนจะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ยาก ซึ่งทำให้มอดุลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) เพิ่มขึ้น ทำให้พอลิเมอร์มีความหยืดหยุ่นและแข็งแกร่งในขณะเดียวกัน

ตารางที่ 2.14 แรงระหว่างโมเลกุลระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทน [46]

หมู่	แรงระหว่างโมเลกุล (กิโลจูล/โมล)	ปริมาตร/โมล (ลิตร/โมล)
$-CH_2-$	2.85	21.8
-O-	4.2	7.3
-(C=O)-	11.1	21.6
-(C=O)-O	12.1	28.9
$-C_6H_4-$	16.9	83.9
-CONH-	35.6	36.2
-CONH-	36.5	43.5
-NHCONH-	50-100	-

นอกจากนี้สารเพิ่มความยาวสายโซ่ (chain extender) ของพอลิยูรีเทน เช่น ไดออล (diols) และไดแอมีน (diamines) ที่มีโมเลกุลเล็กๆ ยังมีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนเช่นเดียวกัน เนื่องจากทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นสารเพิ่มความยาวสายโซ่ที่เป็นแอมีน และน้ำทำให้เกิดหมู่ยูเรีย ซึ่งมีความเป็นขั้วมากกว่ายูรีเทนทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

2.6.3 **สมบัติทางความร้อน**

การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทนเกิดขึ้นหลายขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 2.15 การสลายตัวของพอลิยูรีเทนนั้นจะเริ่มจากส่วนที่แข็ง ส่วนยืดหยุ่น และพันธะที่เชื่อมระหว่างหมู่ยูรีเทนและหมู่สายโซ่ตรง ตามลำดับ

ตารางที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทน [46]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การเปลี่ยนแปลงของพอลิยูรีเทน
20-60	ไม่กระทบต่อสมบัติกายภาพของพอลิยูรีเทนสายโซ่ตรง
100	ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ลดลงครึ่งหนึ่ง
80-150	พันธะไฮโดรเจนระหว่าง NH ของหมู่ยูรีเทน กับ O ของส่วนยืดหยุ่นแตกออก
87-127	ไม่ปรากฏ spherulite
130-170	พันธะไฮโดรเจนของหมู่ยูรีเทนแตกออก
150	เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของพอลิยูรีเทน
183-247	เกิดการสลายตัวของส่วนแข็ง

2.6.4 **สมบัติทางเคมี**

พอลิยูรีเทนสายโซ่ตรงมีความต้านทานต่อแสงได้ดี แต่ถ้าหากมีพันธะยูเรียเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำให้มีความต้านทานต่อแสงลดลง ดังเช่นพอลิเอสเทอร์ยูรีเทนจะมีความต้านทานต่อรังสีอัลตร้าไวโอเลตและการเกิดออกซิเดชัน ในขณะที่พอลิอีเทอร์ยูรีเทนจะว่องไวต่อรังสีอัลตร้าไวโอเลตและการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งทำให้พอลิอีเทอร์ยูรีเทนสลายตัวได้ง่ายในธรรมชาติ นอกจากนี้เมื่อความยาวสายโซ่ ปริมาณของส่วนแข็ง ความเป็นระเบียบของสายโซ่ของพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น ทำให้พอลิยูรีเทนมีความต้านทานการเกิดไฮโดรลิซิส (hydrolysis) เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะทำให้สมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นด้วย โดยพันธะยูรีเทนจะเกิดไฮโดรลิซิสช้ากว่าพันธะเอสเทอร์แต่เร็วกว่าพันธะอีเทอร์

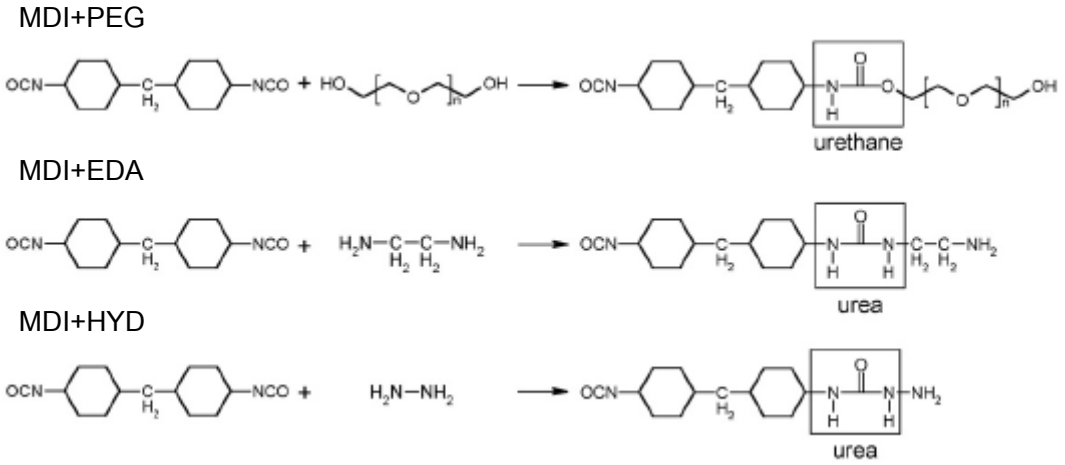
พอลิยูรีเทนที่ไม่มีโครงสร้างร่างแหจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น THF, DMF และ DMSO และละลายได้บ้างในตัวทำละลายเอสเทอร์ คีโตน ฮาโลคาร์บอน และแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิห้องพอลิยูรีเทนจะเกิดการบวมตัวใน THF, dioxan, cyclohexanol และ benzyl alcohol

2.6.5 **สมบัติทางชีวภาพ**

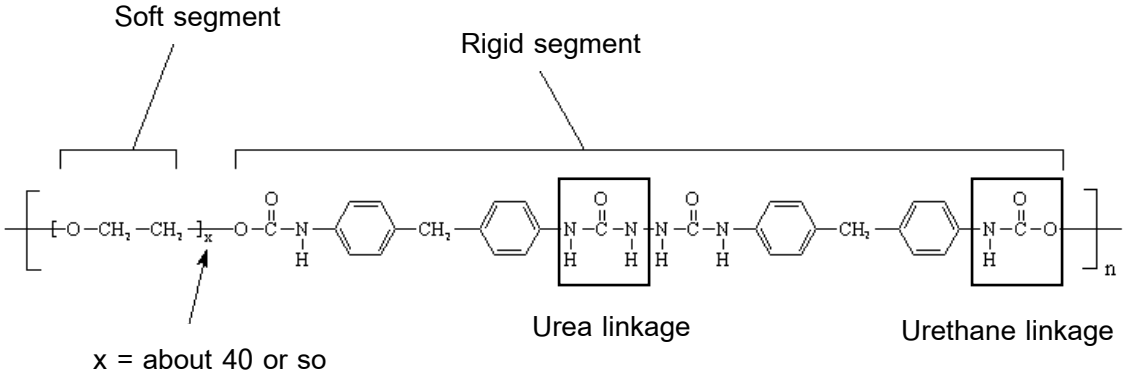
โดยธรรมชาติพอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ จึงไม่เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพกับร่างกายและมีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อของเหลวในร่างกายพอสมควร และมีอัตราการย่อยสลายและการดูดซึมสู่ร่างกายต่ำ

2.7 **พอลิยูรีเทน-ยูเรีย** (Polyurethane-urea, PUU)

พอลิยูรีเทน-ยูเรีย หรือ waterborne polyurethane เป็นพอลิเมอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตพอลิยูรีเทน นิยมนำมาทำเป็นผนังแคปซูล เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีเสถียรภาพสูง มีสมบัติการปลดปล่อยสารแกนที่ยั่งยืน สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าพอลิยูรีเทน อีกทั้งยังได้ผนังแคปซูลประเภทกึ่งซึมผ่านได้ (semi-permeable shells) อย่างไรก็ตาม พอลิยูรีเทน-ยูเรียยังเป็นระบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่เป็นฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น เมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เนื่องจากผนังดังกล่าวสามารถปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้การที่มีหมู่ยูเรียซึ่งเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่าเข้าแทนที่หมู่ยูรีเทนทำให้พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [11,12,47]



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย [11]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย [46]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่แสดงประสิทธิภาพของสมุนไพรไทยในการต้านจุลินทรีย์

Lutterodt และคณะ [48] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคท้องร่วงทั้ง 10 ชนิด ได้แก่ *S. thyphi, S. paratyphi A, S. paratyphi B, S. paratyphi C, S. typhimurium, S. sonnei, S. dysenteriae, S. flexneri, V. cholera* และ *S. aureus* ด้วยสารสกัดจากใบฝรั่งที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่าสารสกัดจากใบฝรั่งที่ความเข้มข้น 20 มก./มล. มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 10 ชนิด โดยยับยั้ง *S. aureus* ได้มากที่สุด ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณการยับยั้งจุลินทรีย์เท่ากับ 20 มม. รองลงมา คือ *S. flexneri* และสารสกัดจากใบฝรั่งที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1 มก./มล. มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *S. flexneri*, *V. cholera* และ *S. aureus* ซึ่ง *S. aureus* มีความว่องไวต่อสารสกัดใบฝรั่งมากที่สุด เพราะมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณการยับยั้งจุลินทรีย์เท่ากับ 11 มม.

Kanbutra และคณะ [18] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ *E. coli* F18+ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อโรคบวมน้ำและท้องเสียในลูกสุกรหย่านมของสารสกัดสมุนไพรที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ ได้แก่ ใบคูน เปลือกลำต้นคูน เมล็ดอะคาพลูโค ใบฟ้าทะลายโจร ใบฝรั่ง ผลฝรั่ง และกลีบรองดอกกระเจี๊ยบแดง โดยหาค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ (minimal Inhibitory Concentration, MIC) และค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ฆ่าเชื้อได้ (minimal bactericidal Concentration, MBC) ผลการศึกษาพบว่า มีสารสกัดสมุนไพรเพียง 5 ชนิดเท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญและฆ่าเชื้อ *E. coli* F18+ ได้ คือ สารสกัดจากผลฝรั่ง (MIC = 7.3, MBC = 29.1 มก./มล.) กลีบรองดอกกระเจี๊ยบแดง (MIC = 4.7, MBC = 9.4 มก./มล.) ใบคูน (MIC = 6.8, MBC = 27.0 มก./มล.) เปลือกลำต้นคูน

(MIC = 2.8 มก./มล.) โดยเฉพาะใบฝรั่ง (MIC = 2.0, MBC = 8.0 มก./มล.) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อค่อนข้างสูง

Cheruiyot และคณะ [17] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus*, *P. aeruginosa* และ *E. coli* ของสารสกัดจากพืชด้วยเมทานอล ได้แก่ เปลือกลำต้นมะกอก ใบฝรั่ง ใบจากต้นเบญจมาศ ใบจากต้นผกากรอง และใบมะม่วง พบว่า สารสกัดจากพืชทั้งหมดมีความสามารถในการต้าน *S. aureus* มากที่สุด โดยเปลือกลำต้นมะกอกและใบฝรั่งแสดงค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อในการต้าน *S. aureus* เท่ากับ 62.5 มก./มล. และ 250 มก./มล. ตามลำดับ ส่วนใบฝรั่งและใบมะม่วงแสดงค่า MIC ที่เท่ากันในการต้าน *P. aeruginosa* เท่ากับ 250 มก./มล. ในทางตรงกันข้าม ใบจากต้นเบญจมาศไม่มีประสิทธิภาพในการต้าน *P. aeruginosa* และยังพบว่าใบฝรั่งมีค่า MIC ที่ดีกว่าในการต้าน *E. coli* เท่ากับ 500 มก./มล. แต่ใบจากต้นเบญจมาศและใบจากต้นผกากรองไม่มีประสิทธิภาพในการต้าน *E. coli*

<u>งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้สมุนไพรเป็นสารต้านจุลินทรีย์บนสิ่งทอ</u>

Han และ Yung [49] ได้ศึกษาการต้านจุลินทรีย์ *E. coli* และ *S. aureus* ของผ้าขนสัตว์ที่ย้อมด้วยสีย้อมจากขมิ้น ด้วยวิธี AATCC Test Method 100-1999 พบว่าสีย้อมจากขมิ้นสามารถต้านจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมสูงกว่า 0.2% ไม่ได้ส่งผลให้การต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทดสอบความคงทนของการต้านจุลินทรีย์ต่อการซักล้างด้วยวิธี AATCC Test Method 124-2001 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและการต้านจุลินทรีย์ของผ้าหลังการซัก พบว่าหลังการซักครั้งแรกประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ไม่ลดลงแต่เมื่อทำการซักล้างมากขึ้นสมบัติการต้านจุลินทรีย์จะลดลง ซึ่งอัตราการต้านเชื้อ *E. coli* จะลดลงมากกว่าเชื้อ *S. aureus* เมื่อทดสอบความคงทนต่อแสงด้วยวิธี AATCC Test Method 16 E-1998 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีและการต้านจุลินทรีย์ของผ้าหลังผ่าน การทดสอบความคงทนต่อแสง พบว่าการต้านจุลินทรีย์ลดลงเมื่อผ่านแสงมากขึ้น โดยอัตราการต้านเชื้อ *E. coli* จะลดลงมากกว่าเชื้อ *S. aureus* เช่นกัน

จิตต์โสภา เฉลียวศักดิ์ [8] ได้ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยข่าในการตกแต่งต้านจุลินทรีย์บนผ้าฝ้ายที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 1% ถึง 10% และนำมาทดสอบสมบัติต้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยข่าเพิ่มขึ้น การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus* ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ความเข้มข้น 10% มีการลดลงของ *S. aureus* มากที่สุด คือ 99.3% แต่เมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ที่ห้ามใช้สารดังกล่าวมากกว่า 5% ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยข่าที่เหมาะสม คือ 3% ซึ่งสามารถลดจำนวนของ *S. aureus*

ได้ถึง 92% และสีของผ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำผ้าที่ถูกตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยข่าดังกล่าวไปผ่านภาวะการใช้งาน พบว่า น้ำมันหอมระเหยข่าไม่คงทนต่อแสงและเหงื่อ โดยผ้ามีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ลดลงเพียง 30-50% เท่านั้น แต่เมื่อนำผ้าที่ถูกตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยข่าไปผ่านการซักและรีดร้อน พบว่า ผ้ากลับมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ได้ดี อาจเนื่องมาจากการซักและรีดร้อนเป็นการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนผ้าฝ้าย ซึ่งการลดลงของจุลินทรีย์นี้ไม่ได้มาจากน้ำมันหอมระเหยข่า

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตกแต่งไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์บนสิ่งทอ

Thilagavathi และ Krishna [50] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของอะคาเซีย (Acacia) บรรจุด้วยสารสกัดจากนีม (Neem) และเดซีแมกซิกัน (Mexican daisy) ซึ่งมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ ด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation) จากนั้นนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด และนำมาทดสอบความคงทนต่อการซักล้างของสมบัติต้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน AATCC 124 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลยังคงมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีแม้ภายหลังการซักล้าง 15 รอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

Rodrigues และคณะ [11] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรรจุด้วยน้ำหอมจากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน จากนั้นตกแต่งไมโครแคปซูลลงบนผ้าด้วยวิธี Impregnation พบว่า ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-10 ไมโครเมตร ซึ่งมีน้ำหอมบรรจุในไมโครแคปซูล 55% หลังจากตกแต่งไมโครแคปซูลลงบนผ้าแล้วพบว่ามีไมโครแคปซูลบางส่วนแตกออก แต่ไมโครแคปซูลที่เหลือมีแรงยึดติดที่ดีกับเส้นใย โดยกลิ่นหอมจะถูกปล่อยออกมาจากไมโครแคปซูลด้วยการขัดถู นอกจากนี้เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลดังกล่าวไปผ่านการซัก พบว่า มีการสูญเสียกลิ่นหอม 38% หลังการซัก 1 รอบ และ 87% หลังการซัก 5 รอบ

Salaüna และคณะ [51] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรรจุด้วยไซลิทอล (xylitol) จากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างไดฟีนิลเมทิลีน ไดไอโซไซยาเนต (diphenyl methylene diisocyanate; MDI) กับไซลิทอล โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบในการกวนผสมและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้ม ที่มีผลต่อวิธีเตรียมไมโครแคปซูล พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมต่ำ ไมโครแคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณไซลิทอลบรรจุในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกน

ต่อสารห่อหุ้มไมโครแคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้มมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของสารแกนหรืออนุภาคของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเอนแคปซูเลชันลดลง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้มที่เหมาะสมต่อการเอนแคปซูเลชัน คือ 77.0/23.0

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากใบฝรั่งมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์หลากหลายชนิด เช่น *S. thyphi, S. flexneri*, *V. cholera, S. aureus* เป็นต้น และยังมีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ได้ดีกว่าพืชชนิดอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะใช้สารธรรมชาติที่สกัดได้จากใบฝรั่งในรูปของน้ำมันหอมระเหยมาใช้เป็นสารต้านจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามการตกแต่งน้ำมันหอมระเหยลงบนสิ่งทอโดยตรงไม่มีความคงทนต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลเพื่อเพิ่มความคงทน ไม่ถูกทำลายจากภาวะการใช้งาน ไม่ปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ตลอดเวลา และสามารถควบคุมการปล่อยสารในระหว่างการนำไปใช้งานได้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ขอบเขตการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การเตรียมไมโครแคปซูลโดยมีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็นสารแกน และพอลิยูรีเทน พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

3.2 วัสดุและสารเคมี

1) น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (guava leaf essential oil) เป็นน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งทางการค้าที่ได้จากสกัดด้วยการกลั่นไอน้ำ จากบริษัทเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด

2) เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate, HMDI) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka เป็นสารไอโซไซยาเนต ใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

3) พอลิเอทิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 400 (polyethylene glycol 400, PEG 400) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Fluka เป็นสารพอลิออลซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol, PVA) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Ajex Finechem ใช้เป็นสาร protective colloid

5) ไดบิวทิลทินไดลอเรต (dibutyltin dilaurate, DBTDL) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Sigma-Aldrich ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

6) เอทิลีนไดแอมีน (ethylenediamine, EDA) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Panreac เป็นสารแอมีนซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

7) ทวีน 80 (Tween 80) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Sigma-Aldrich ใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ เพื่อป้องกันการรวมตัวกันเป็นกลุ่มของไมโครแคปซูล ส่งผลให้ไมโครแคปซูลกระจายตัวได้ดีในน้ำ

8) เอทานอล ร้อยละ 99.8 (ethanol 99.8%) เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Merck ใช้สำหรับชะล้างสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

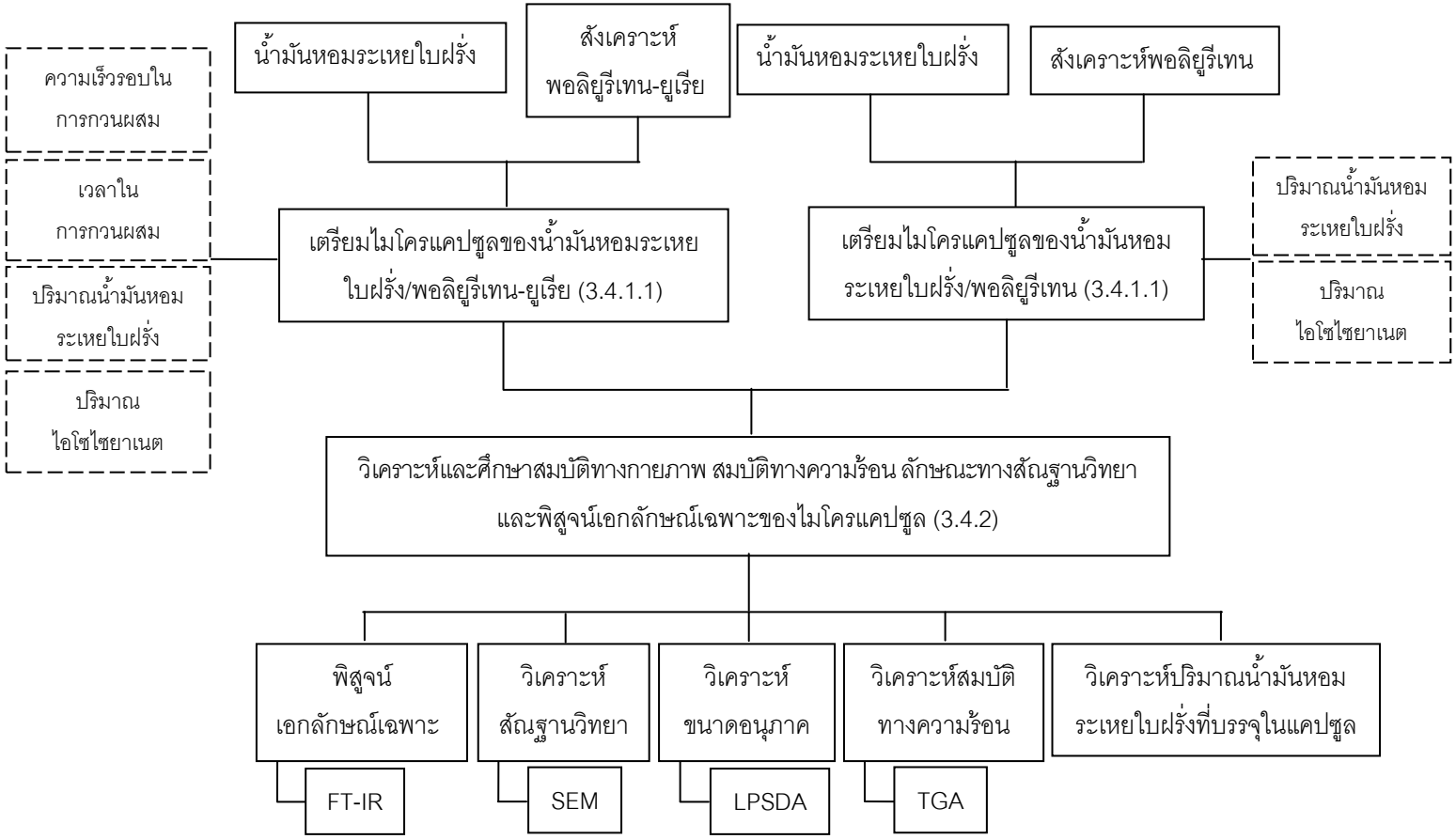
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	รุ่น / ยี่ห้อ / ประเทศผู้ผลิต
1. เครื่องกวนผสมแบบ homogenizer	รุ่น T18 basic / Ultra Turrax IKA / Malaysia
2. เครื่องกวนสารแบบมีแผ่นให้ความร้อน (Magnetic Stirrer & Hot Plate)	รุ่น MS300HS / Favorit®
3. เครื่องปั่นเหวี่ยงสารสะลาย (Centrifuge)	รุ่น Model 2420 / Kubota / Japan
4. ตู้อบ (Isotemperature Oven)	Memmert / Thermo Fisher Scientific Inc. / United States
5. เครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบเลเซอร์ (Laser Particle Size Distribution Analyzer, LPSDA)	รุ่น Mastersizer 2000 / Malvern / United Kingdom
6. เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (ทีจีเอ) (Thermogravimetric Analyzer, TGA)	รุ่น TGA/SDTA851e / Mettler Toledo
7. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)	รุ่น Nicolet 6700 / Thermo Fisher Scientific Inc. / United States
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	รุ่น XL30CP / Philips / Netherlands

3.4 การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูล

งานวิจัยนี้ได้เตรียมไมโครแคปซูลทั้งหมด 2 ชนิด ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่ ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้ความเร็วรอบและเวลาในการกวนผสม ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ

3.4.1.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่มีพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิ-เมอไรเซชัน

ขั้นตอนในการเตรียมไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็นสารแกนพอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน มีดังนี้

1) ผสมน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งในปริมาณต่างๆ คือ 5, 10 และ 15 มิลลิลิตร กับ HMDI ในปริมาณต่างๆ คือ 0.22, 0.26 และ 0.29 โมล ลงในสารละลายที่ 1 (PVA ปริมาณ $2.7x10^{-5}$ โมล ในน้ำปริมาตร 125 มิลลิลิตร) ทำหน้าที่เป็น Protective colloid

2) นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 1) ไปกวนผสมด้วยเครื่องกวนผสมแบบ homogenizer ที่ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (mixing rate) คือ 6000, 8000, 10000, 12000 และ 14000 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆ (mixing time) คือ 3, 5 และ 10 นาที ในขั้นตอนนี้จะเกิดอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำขึ้น

3) เติมสารละลายที่ 2 (PEG 400 ผสมกับ DBTDL ปริมาณ 0.03 และ 0.0004 โมล ตามลำดับ ในน้ำปริมาตร 25 มิลลิลิตร) ลงในอิมัลชันที่ได้จากข้อ 2) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนผสม (mixing rate) ที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Interfacial polymerization เกิดเป็นผนังแคปซูลของพอลิยูรีเทน จากนั้นเติมสารละลายที่ 3 (EDA ปริมาณ 0.04 โมล ในน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร) ลงไป โดยคงอุณหภูมิและความเร็วรอบในการกวนผสมไว้เช่นเดิม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้จะเกิดเป็นผนังแคปซูลของพอลิยูเรีย

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าเป็นการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ไม่ได้เติมสารละลายที่ 3 ลงในอิมัลชัน

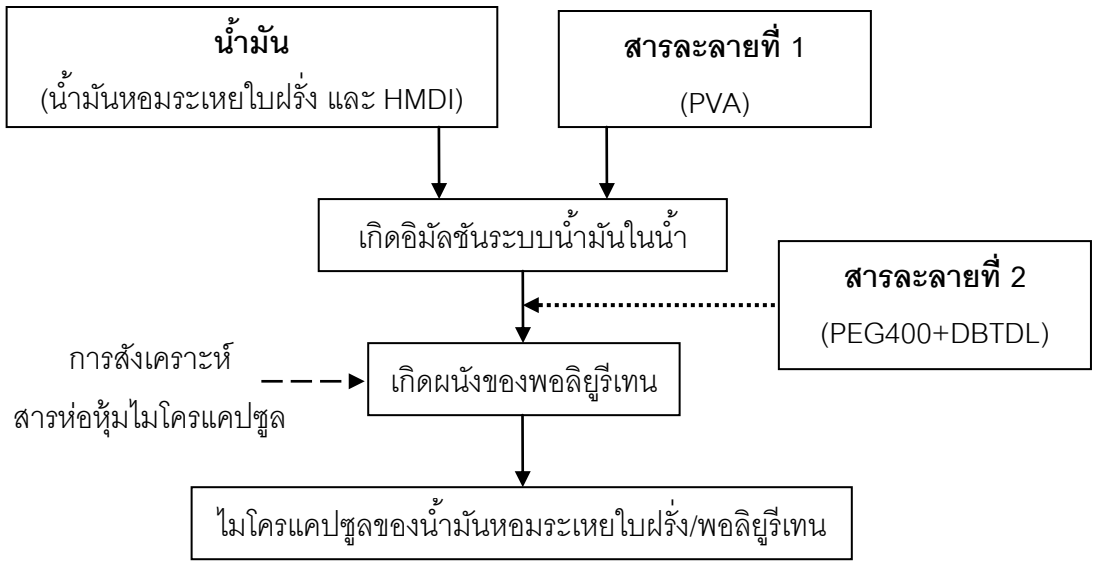
4) นำของผสมจากข้อ 3) ไปหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบที่ 2400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

6) ชะล้างไมโครแคปซูลที่ได้ด้วยสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร และชะล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 รอบ แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงอีกเช่นกัน

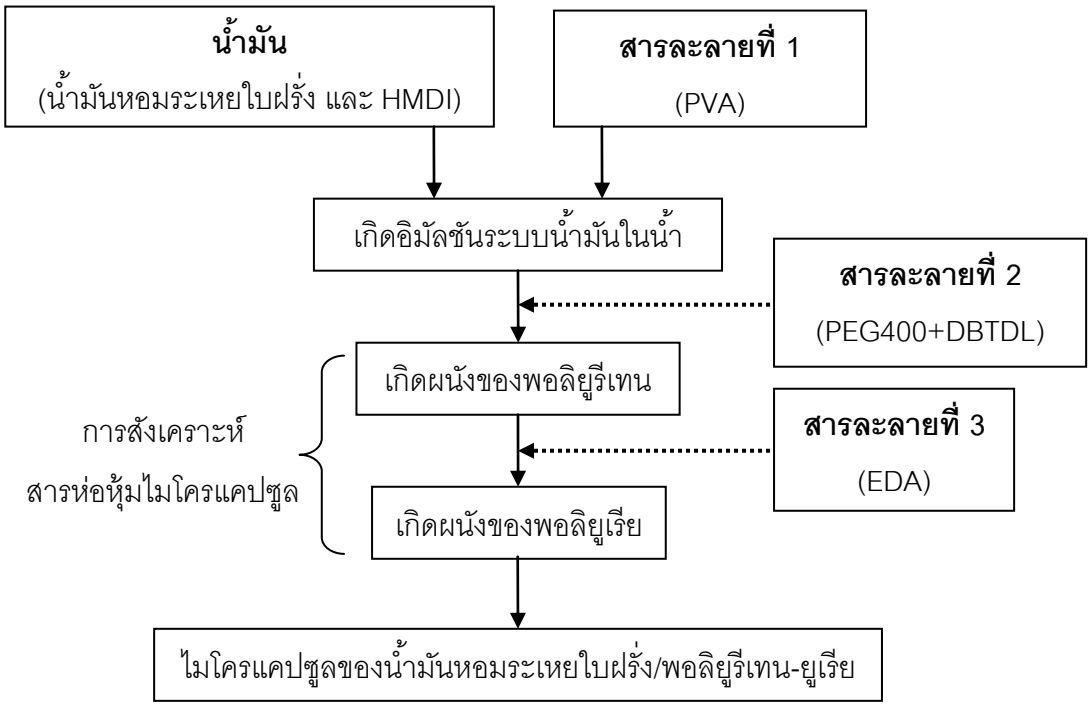
7) เก็บรักษาไมโครแคปซูลไว้ในสารละลายที่มี Tween 80 เป็นอิมัลซิฟายเออร์เพื่อป้องกันการรวมตัวเกาะกันเป็นกลุ่มของไมโครแคปซูล

ตารางที่ 3.2 สูตรส่วนประกอบทางเคมีของสารน้ำมันและสารละลายในน้ำ

สาร	ส่วนประกอบ				
	HMDI (โมล)	PVA (โมล)	PEG 400 (โมล)	DBTDL (โมล)	EDA (โมล)
น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง	0.22, 0.26, 0.29	-	-	-	-
สารละลายที่ 1	-	$2.7x10^{-5}$	-	-	-
สารละลายที่ 2	-	-	0.03	0.0004	-
สารละลายที่ 3	-	-	-	-	0.04



รูปที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

3.4.2 การวิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูล

3.4.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.1 เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) ด้วยเครื่อง FT-IR ของ Thermo Fisher Scientific รุ่น Nicolet 6700 ดังรูปที่ 3.4 โดยใช้โหมดการส่งผ่านตั้งแต่ความยาวคลื่นที่ 400-4000 cm^{-1} ความละเอียด 4 cm^{-1} ใช้จำนวน 64 ครั้งในการสแกน

เทคนิคที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์นี้มี 2 เทคนิค คือ 1) ตัวอย่างที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง เตรียมตัวอย่างโดยใช้เซลล์สำหรับของเหลว (KBR liquid cell) 2) ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ได้แก่ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูล

พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) สามารถเตรียมตัวอย่างได้โดยนำสารตัวอย่างมาบดผสมกับผง KBR (KBR pellets) ในอัตราส่วน 1:9 จากนั้นนำมาอัดให้เป็นแผ่นบางและใสด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

รูปที่ 3.4 เครื่อง FT-IR ของ Thermo Fisher Scientific รุ่น Nicolet 6700

3.4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวภายนอก และบริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.1 ด้วยเครื่อง SEM ของ Philips รุ่น XL30CP ดังรูปที่ 3.5 ที่กำลังขยาย 2000, 5000 และ 10000 เท่า โดยสารตัวอย่างจะถูกเคลือบด้วยทองโดยใช้ sputter-coater ที่ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์

รูปที่ 3.5 เครื่อง SEM ของ Philips รุ่น XL30CP

3.4.2.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค LPSDA

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.1 ด้วยเครื่อง LPSDA ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 โดยนำไมโครแคปซูลมาสั่นด้วยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (sonicate) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ไมโครแคปซูลเกิดการกระจายตัวได้ดี จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LPSDA โดยใช้หน่วยกระจายที่มีชื่อว่า Hydro 2000SM ดังรูปที่ 3.6 หน่วยกระจายนี้ออกแบบมาเพื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็กหรือจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายน้อยที่สุด ซึ่งมีปริมาตรเพียง 50-120 มิลลิลิตร โดยในการทดสอบใช้ค่า Particle refractive index เป็น 1.5 ค่า Absorption เป็น 0.1 และใช้น้ำเป็นตัวกลาง วิเคราะห์โดยหยดไมโครแคปซูลลงในหน่วยกระจายที่มีลักษณะคล้ายกรวย จากนั้นเครื่องจะวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาคโดยอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้อ่านค่าขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลจากค่า d(0.5)

รูปที่ 3.6 (a) เครื่อง LPSDA ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 และ (b) หน่วยกระจาย Hydro 2000SM

3.4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.1 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยปริมาณร้อยละของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล คำนวณได้จากสมการ 3.1

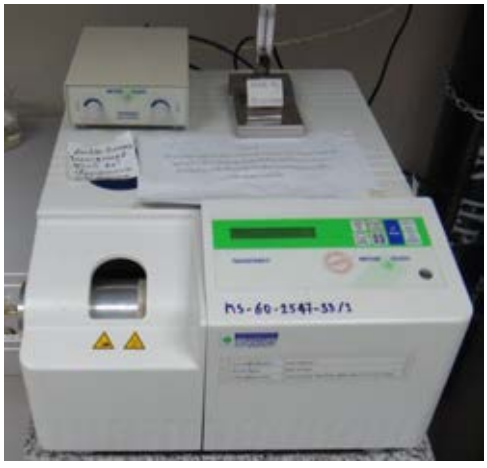
ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูล (%) (Loading capacity) $= \left[\frac{W_m - W_o}{W_m} \right] \times 100$.....(3.1)

W_m หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ

W_o หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.4.2.5 **การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค** TGA

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในข้อ 3.4.1.1 สภาพแห้งเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไมโครแคปซูลเทียบกับเวลา (isothermal TGA) ด้วยเครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e ดังรูปที่ 3.7 ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) และไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในข้อ 3.4.1.1 ด้วยเครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851e โดยใช้ภาวะการทดสอบแบบไดนามิกส์ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่มีอัตราการไหลของแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิในการวิเคราะห์ตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 3.7 เครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e

3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ เพื่อหาปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.1 สภาพแห้ง โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไมโครแคปซูลเทียบกับเวลา (isothermal TGA) ด้วยเครื่อง TGA ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e ดังรูปที่ 3.7 ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณร้อยละของการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$\text{ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ } 37^{\circ}C\ (\%)\ \text{(Oil release content)} = \left[\frac{W_m - W_{t(37^{\circ}C)}}{W_m - W_{o(37^{\circ}C)}}\right] \times 100 \quad \text{.....(3.2)}$$

W_m หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ

$W_{t(37^{\circ}C)}$ หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลที่เวลา 1-60 นาที ณ อุณหภูมิ 37°C

$W_{o(37^{\circ}C)}$ หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 60 นาที

$$\text{ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ } 120^{\circ}C\ (\%)\ \text{(Oil release content)} = \left[\frac{W_m - W_{t(120^{\circ}C)}}{W_m - W_{o(120^{\circ}C)}}\right] \times 100 \quad \text{.....(3.3)}$$

W_m หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ

$W_{t(120^{\circ}C)}$ หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 120°C

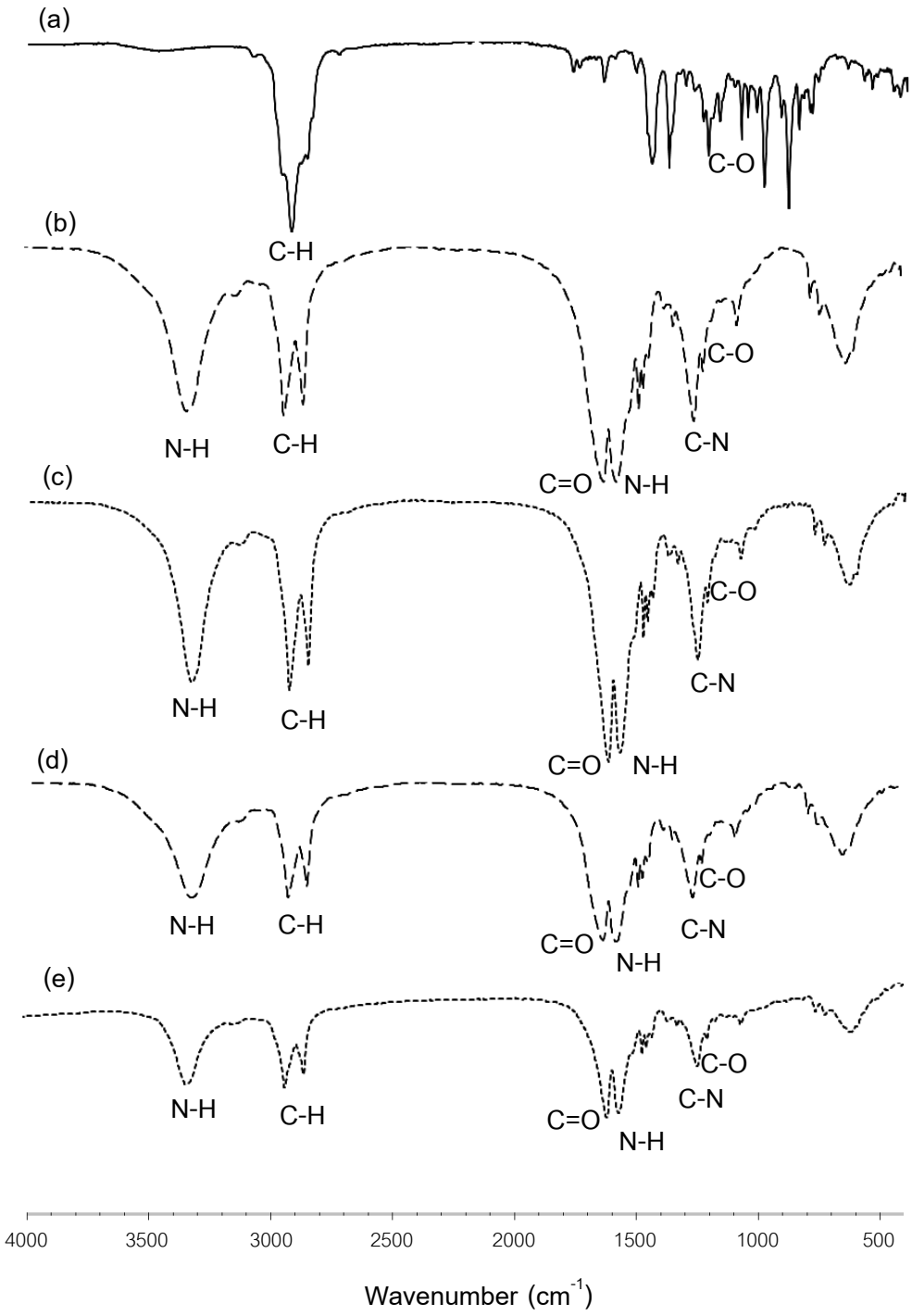
$W_{o(120^{\circ}C)}$ หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 60 นาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

นำน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ไม่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (เตรียมโดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่เติมลงไป 5 มิลลิลิตร) มาพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะโดยใช้เทคนิค FT-IR แสดงผลในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (b) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน (c) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (d) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ (e) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

จากรูปที่ 4.1 พบว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งแสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความถี่ 1640 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ C=O stretching และพบ C-O-C stretching, =C-H stretching และ =C-H bending ที่ความถี่ 1080 cm^{-1}, 2917 cm^{-1} และ 885 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งการดูดกลืนที่ความถี่ดังกล่าวสอดคล้องกับโครงสร้างของ caryophyllene และ limonene ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งซึ่งก็พบเช่นเดียวกันในงานวิจัยของ R.M. P' Gutiérrez และคณะ [52] นอกจากนี้ยังไม่พบพีกของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่แอมีนที่ความถี่ 3400 - 3300 cm^{-1} จึงยืนยันได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่แอมีนที่ทำปฏิกิริยากับ HMDI ไม่ได้มาจากน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ส่วน FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย พบ N-H stretching ที่ความถี่ 3333 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบ urea carbonyl ที่ความถี่ 1617 cm^{-1}, C-O-C stretching ที่ความถี่ 1080 cm^{-1} และ =C-H stretching ที่ความถี่ 2931-2854 cm^{-1} แต่ไม่พบพีกของ NCO (ไอโซไซยาเนต) ที่ความถี่ 2270 cm^{-1} ในไมโครแคปซูลดังกล่าว จึงกล่าวได้ว่าไดไอโซไซยาเนตเกิดปฏิกิริยากับพอลิออลได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิ-ยูรีเทน-ยูเรีย ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียต่างก็แสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับที่พบในสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง คือ C-H และ C-O เนื่องจากสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ที่พบในน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและมีองค์ประกอบของอีเทอร์ ดังนั้นสเปกตรัมของสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน C-O และ C-H เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย จึงอาจมีการซ้อนทับกันกับสเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ดังนั้นเทคนิค FT-IR เพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่น เช่น TGA เพื่อวิเคราะห์ร่วมด้วย

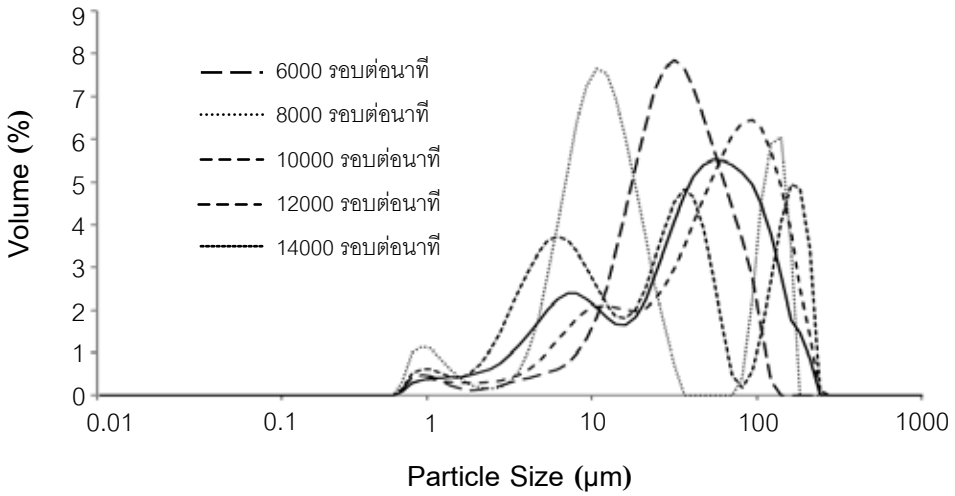
4.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค การกระจายขนาดอนุภาค ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

4.2.1 ผลของความเร็วรอบในการกวนผสม

ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ความเร็วรอบในการกวนผสมแตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 6000, 8000, 10000, 12000 และ 14000 รอบต่อนาที โดยใช้เวลา

ในการกวนผสม 5 นาที แสดงผลในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 พบว่าที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 6000 รอบต่อนาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 10 ถึง 150 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 43.50 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง ส่วนที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 44.66 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคหลายขนาดแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 0.8 ถึง 1.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาตรมากที่สุดนั้นอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 30 ไมโครเมตร และช่วงที่สามอนุภาคมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 100 ถึง 200 ไมโครเมตร ในทางตรงกันข้ามที่ความเร็วรอบ 10000, 12000 และ 14000 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 79.56, 62.21 และ 61.25 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยมีลักษณะพีกการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลคล้ายกัน คือมีการกระจายขนาดอนุภาคกว้าง ขนาดอนุภาคที่เตรียมได้มีทั้งขนาดเล็กตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร จนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 100 ไมโครเมตรผสมกัน

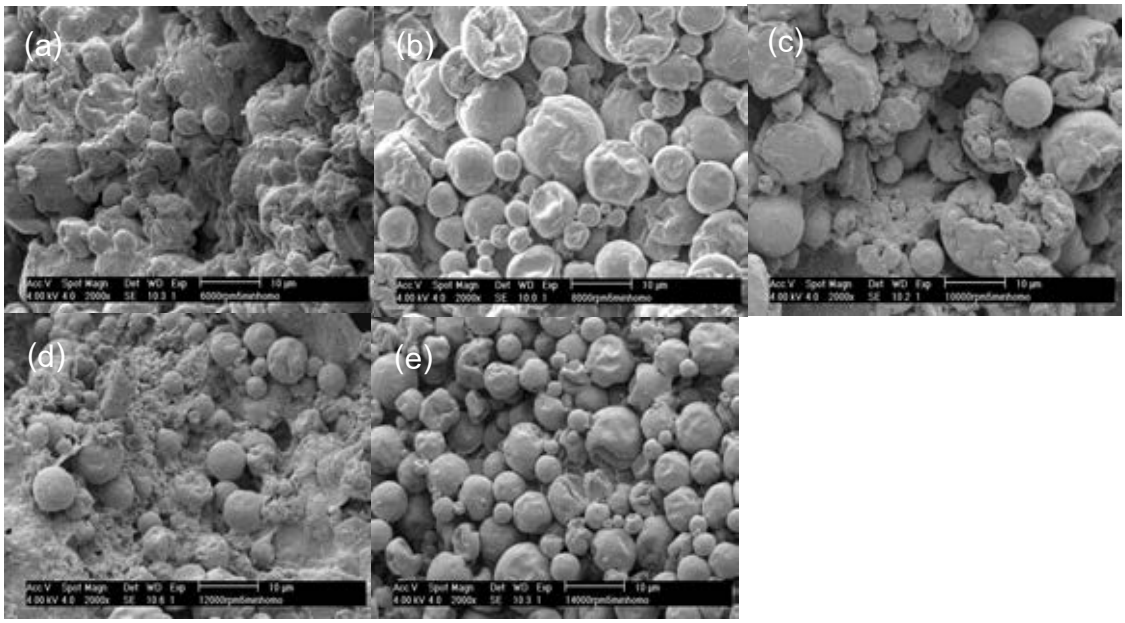
สำหรับการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาจากภาพ SEM ของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนผสมมีผลทำให้อนุภาคของไมโครแคปซูลเป็นรูปทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบแต่เว้าเข้า อนุภาคมีหลายขนาดผสมกันทั้งเล็กและใหญ่ ในขณะที่ความเร็วรอบต่ำๆ ที่ 6000 รอบต่อนาที อนุภาคของไมโครแคปซูลเกาะเป็นก้อนติดกัน



รูปที่ 4.2 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (เวลาในการกวนผสม 5 นาที)

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (เวลาในการกวนผสม 5 นาที)

ความเร็วรอบในการกวนผสม (รอบต่อนาที)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)
6000	43.50
8000	44.60
10000	79.56
12000	62.21
14000	61.25



รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (a) 6000, (b) 8000, (c) 10000, (d) 12000 และ (e) 14000 รอบต่อนาที (เวลาในการกวนผสม 5 นาที)

จากผลของความเร็วรอบในการกวนผสมต่อขนาด การกระจายขนาดอนุภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลที่ทำให้ไมโครแคปซูลมีรูปทรงเป็นทรงกลม ไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน อนุภาคมีขนาดเล็กไม่เกิน 45 ไมโครเมตร พบว่าที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที มาศึกษาผลของภาวะอื่นๆ และใช้เตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนต่อไป

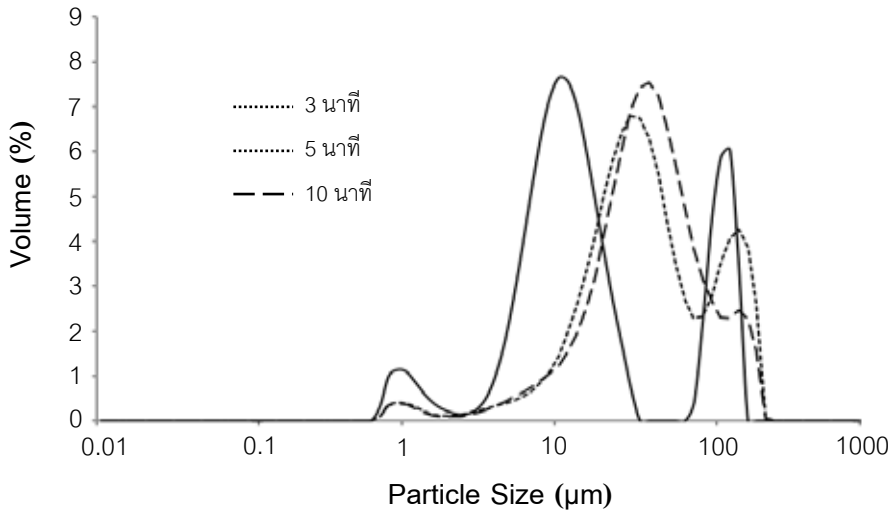
4.2.2 ผลของเวลาในการกวนผสม

ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆ ได้แก่ 3, 5 และ 10 นาที และความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที แสดงผลในรูปที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการกวนผสมน้อยเพียง 3 นาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 10 ถึง 100 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 64.78 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการกวนผสมนานขึ้นเป็น 5 นาที พบว่าไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เล็กลง เท่ากับ 44.66 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคหลายขนาดแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 0.8 ถึง 1.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาตรมากที่สุดนั้นอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 30 ไมโครเมตร และช่วงที่สามอนุภาคมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 100 ถึง 200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามหากเพิ่มเวลาในการกวนผสมนานมากขึ้นเป็น 10 นาที พบว่าไมโครแคปซูลกลับมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) สูงขึ้น เท่ากับ 71.40 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคหลายขนาดแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 0.8 ถึง 1.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาตรมากที่สุดนั้นอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 10 ถึง 100 ไมโครเมตร และช่วงที่สามอนุภาคมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 200 ไมโครเมตร

สำหรับการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาจากภาพ SEM ของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการกวนผสมน้อยเกินไปเพียง 3 นาที หรือนานเกินไป 10 นาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เกาะติดกันเป็นก้อน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการใช้เวลาในการกวนผสมที่นานเกินไป (10 นาที) ส่งผลให้อนุภาคของไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็กกลับมารวมตัวกันอีก

ครั้ง ในขณะที่ถ้าใช้เวลาในการกวนผสม 5 นาที อนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เป็นรูปทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบแต่เว้า อนุภาคมีหลายขนาดผสมกันทั้งเล็กและใหญ่

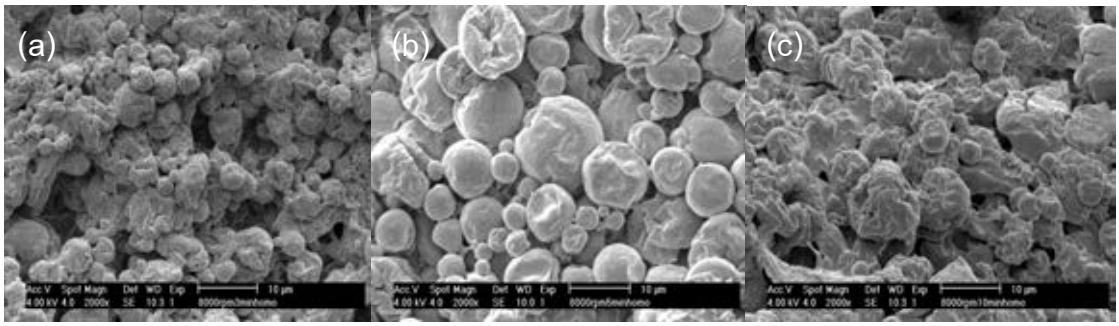
จากผลการศึกษาข้างต้นจึงพิจารณาให้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เหมาะสมสำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ดังนั้นจึงใช้ความเร็วรอบและเวลาในการกวนผสมดังกล่าวมาใช้ศึกษาผลของภาวะอื่นๆ และใช้เตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนต่อไป



รูปที่ 4.4 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที)

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที)

เวลาในการกวนผสม (นาที)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)
3	64.78
5	44.66
10	71.40



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยเวลาในการกวนผสมต่างๆ (a) 3, (b) 5 และ (c) 10 นาที (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที)

4.2.3 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง

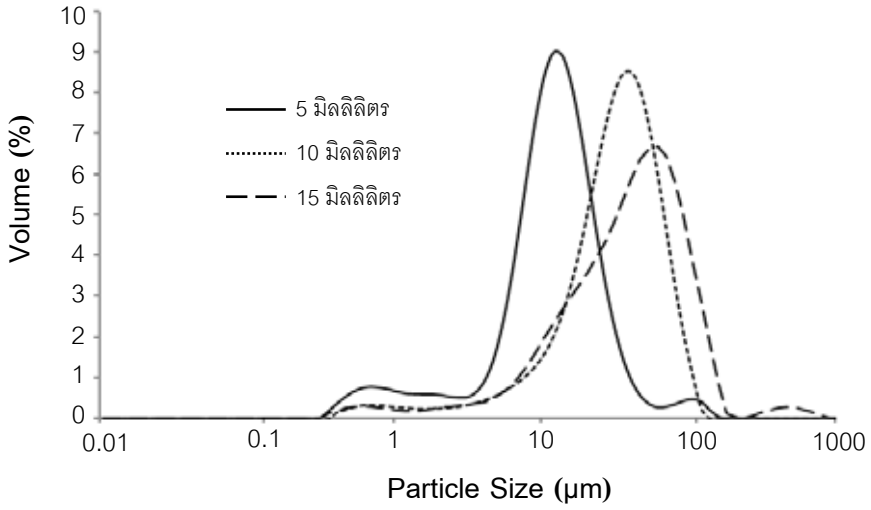
ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่แตกต่างกันที่ 5, 10 และ 15 มิลลิลิตร ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที แสดงผลในรูปที่ 4.6, 4.7 และ ตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมีผลทำให้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร อนุภาคไมโครแคปซูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 50 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 18.29 ไมโครเมตร และเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร อนุภาคไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 ถึง 100 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 43.71 ไมโครเมตร สำหรับการเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 15 มิลลิลิตร ทำให้ไมโครแคปซูลมีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง อนุภาคไมโครแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 ถึง 200 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 66.71 ไมโครเมตร

ในกรณีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมีผลทำให้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น และมีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างคล้ายกับกรณีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร อนุภาคไมโครแคปซูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 10 ถึง 100 ไมโครเมตรโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 41.20 ไมโครเมตร

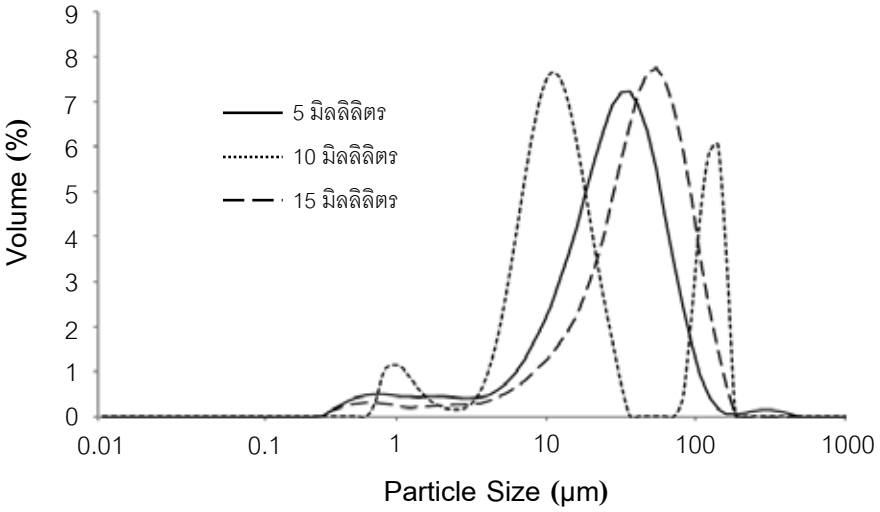
และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร พบว่าไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) ใหญ่ขึ้น เท่ากับ 44.66 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคหลายขนาดแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 0.8 ถึง 1.5 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาตรมากที่สุดนั้นอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 30 ไมโครเมตร และช่วงที่สามอนุภาคมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 100 ถึง 200 ไมโครเมตร สำหรับการเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 15 มิลลิลิตร ทำให้ไมโครแคปซูลมีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 ถึง 200 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 67.20 ไมโครเมตร การกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง

สำหรับการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาจากภาพ SEM ของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมากเกินไปที่ 15 มิลลิลิตรมีผลทำให้ทั้งไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ได้เป็นเม็ดค่อนข้างแบนและมีขนาดเล็กเกาะติดกันเป็นก้อนมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งน้อยๆ ที่ 5 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลทั้ง 2 ชนิดที่เตรียมได้มีรูปทรงเป็นเม็ดกลมอย่างชัดเจน มีหลายขนาดทั้งเล็กและใหญ่ผสมกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็น 10 มิลลิลิตร พบว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่ได้เป็นเม็ดกลมขนาดเล็กและใหญ่เกาะติดกันเป็นก้อน ในขณะที่อนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นรูปทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบแต่เว้าเข้า อนุภาคมีหลายขนาดผสมกันทั้งเล็กและใหญ่

จากผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ทำให้ขนาดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน อนุภาคมีขนาดเล็กและมีการกระจายอนุภาคของไมโครแคปซูลไม่สูง พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ในขณะที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 หรือ 10 มิลลิลิตร ต่างก็เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย



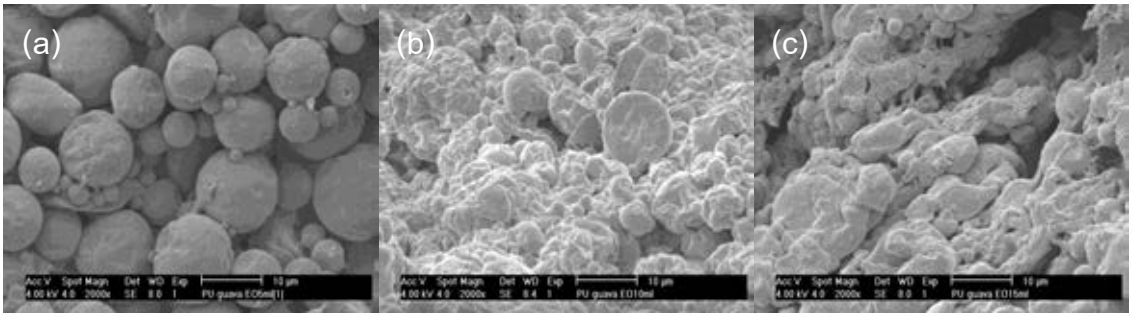
รูปที่ 4.6 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)



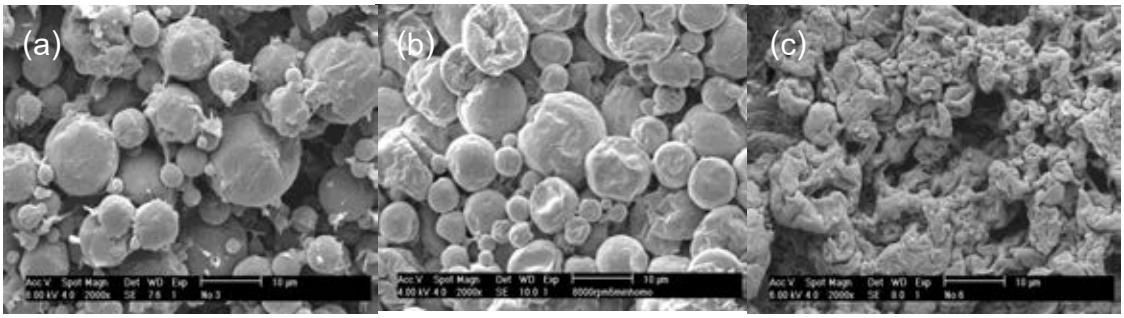
รูปที่ 4.7 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)

ตารางที่ 4.3 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (มิลลิลิตร)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (ไมโครเมตร)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ไมโครเมตร)
5	18.29	41.21
10	43.71	44.66
15	66.71	67.20



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (a) 5, (b) 10 และ (c) 15 มิลลิลิตร (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)



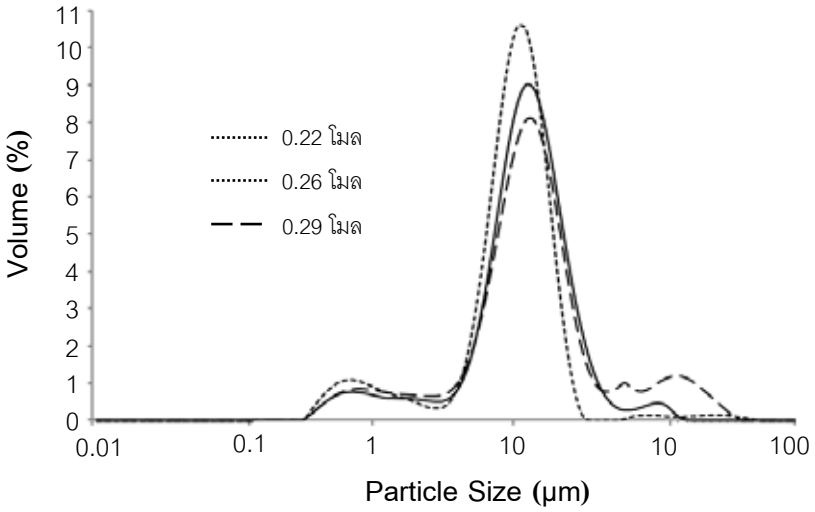
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (a) 5, (b) 10 และ (c) 15 มิลลิลิตร (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)

4.2.4 ผลของปริมาณไอโซไซยาเนต

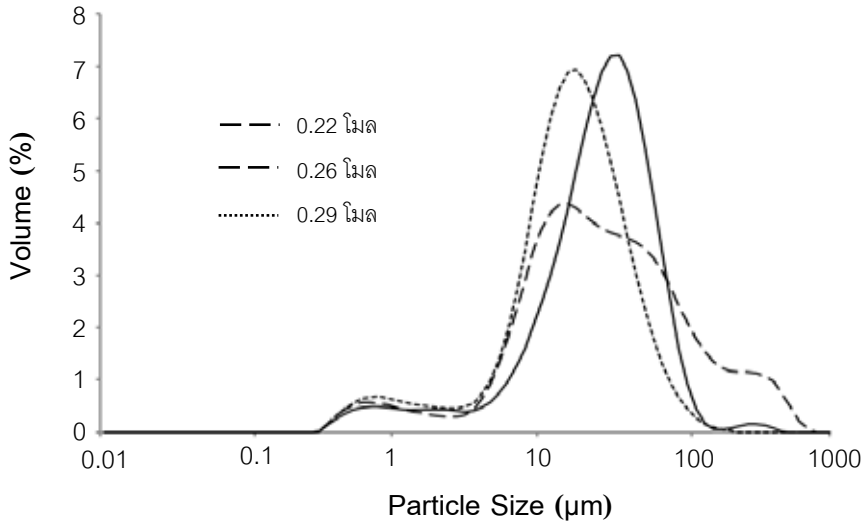
ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้ปริมาณไอโซไซยาเนตที่แตกต่างกันที่ 0.22, 0.26 และ 0.29 โมล ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร จากการตรวจสอบขนาดและการกระจายขนาดอนุภาค รวมทั้งลักษณะพื้นผิวและรูปทรงของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงผลในรูปที่ 4.10, 4.11 และ ตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนตมีผลทำให้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณไอโซไซยาเนต 0.22 โมล อนุภาคไมโครแคปซูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 30 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 16.84 ไมโครเมตร และเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต 0.26 โมล อนุภาคไมโครแคปซูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 50 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 18.29 ในขณะที่การเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต 0.29 โมล ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคหลายขนาดแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาตรมากที่สุดนั้นอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 50 ไมโครเมตร มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 24.70 ไมโครเมตร และช่วงที่สามอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีปริมาตรเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 50 ถึง 200 ไมโครเมตร

ในกรณีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนตมีผลทำให้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยลดลงโดยที่ปริมาณไอโซไซยาเนต 0.22 โมล อนุภาคไมโครแคปซูลมีการกระจายอนุภาคกว้างมากตั้งแต่ประมาณ 5 ถึง 800 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 75.65 ไมโครเมตร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต 0.26 โมล อนุภาคไมโครแคปซูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 10 ถึง 100 ไมโครเมตรโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) ลดลง เท่ากับ 41.20 ไมโครเมตร ในขณะที่การเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต 0.29 โมล ทำให้ไมโครแคปซูลมีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4 ถึง 100 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D[4,3]) เท่ากับ 26.75 ไมโครเมตร นอกจากนี้มีอนุภาคขนาดเล็กตั้งแต่ 0.5 ถึง 1 ไมโครเมตร ปริมาตรเล็กน้อย

สำหรับการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาจากภาพ SEM ของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าการแปรเปลี่ยนปริมาณไอโซไซยาเนตไม่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลทั้ง 2 ชนิด ไมโครแคปซูลมีอนุภาคเป็นเม็ดกลม พื้นผิวไม่เรียบ



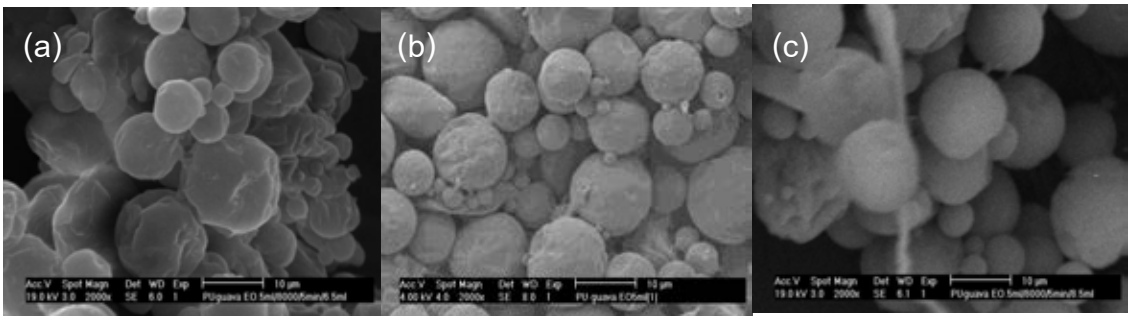
รูปที่ 4.10 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)



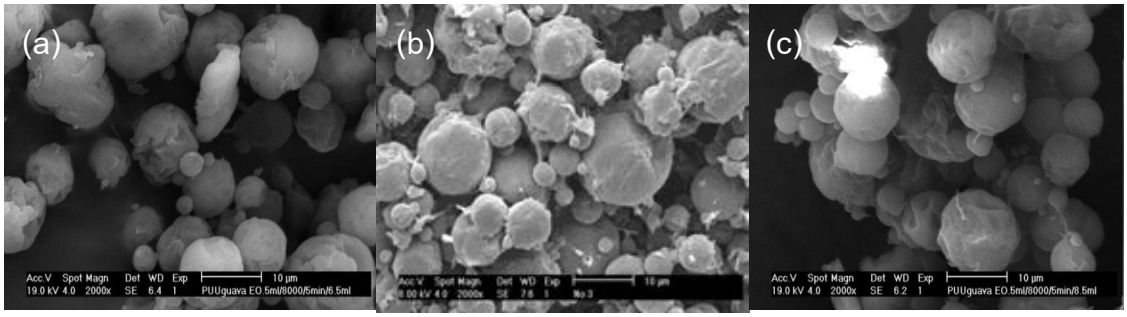
รูปที่ 4.11 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)

ตารางที่ 4.4 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)

ปริมาณไอโซไซยาเนต (โมล)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (ไมโครเมตร)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ไมโครเมตร)
0.22	16.84	75.65
0.26	18.29	41.21
0.29	24.70	26.75



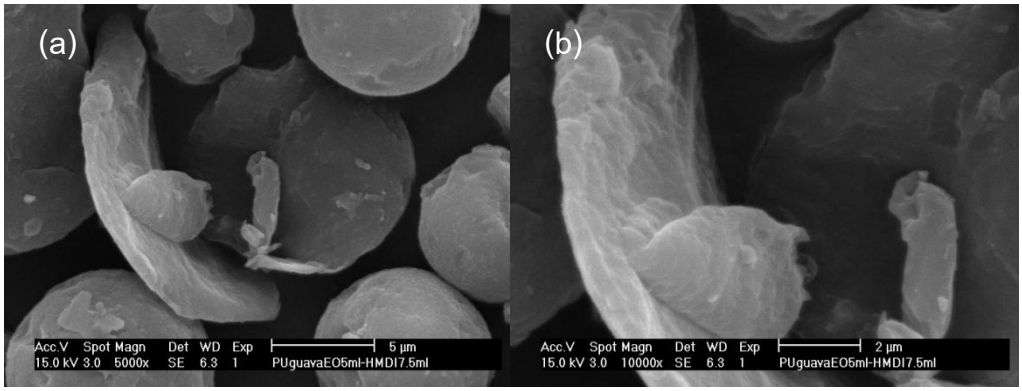
รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (a) 0.22, (b) 0.26 และ (c) 0.29 โมล (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)



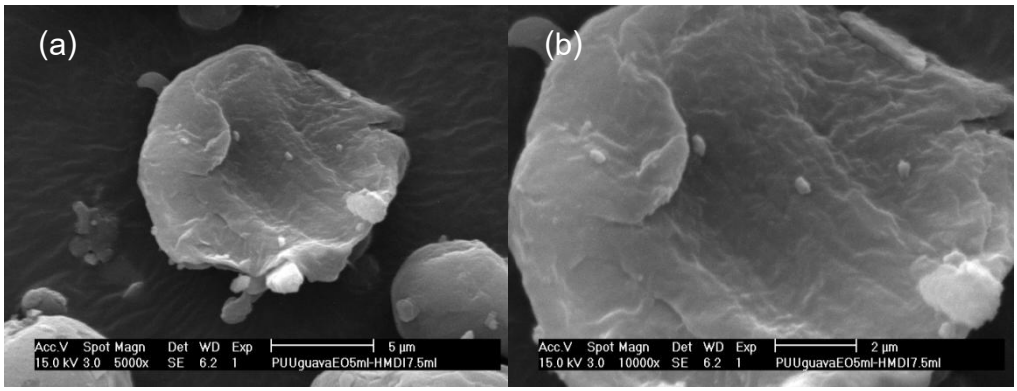
รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (a) 0.22, (b) 0.26 และ (c) 0.29 โมล (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร)

4.2.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของผนังภายในไมโครแคปซูล

จากการส่องดูผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ พบว่าภายในเนื้อไมโครแคปซูลมีลักษณะพื้นผิวเรียบ ซึ่งผิวเรียบดังกล่าวแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งภายในไมโครแคปซูล ทำให้ทราบได้ว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลในลักษณะอนุภาคเดียว ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จึงมีลักษณะเป็นแบบ Mono-nucleus spherical microcapsule



รูปที่ 4.14 ลักษณะผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 4.15 ลักษณะผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.3.1 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ กัน ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาทีและเวลาในการกวนผสมเท่ากันที่ 5 นาที

แสดงผลในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้สามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ 15 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้กลับบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้ในปริมาณที่น้อยลง เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับผล SEM เห็นได้ว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีรูปทรงเป็นเม็ดกลมแบนและเกาะติดกันเป็นก้อน ไมโครแคปซูลจึงบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้ในปริมาณที่น้อยลง เนื่องจากปริมาณ PVA ที่ใช้ซึ่งทำหน้าที่เป็น protective colloid อาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการเกิดไมโครแคปซูลที่มีรูปทรงเป็นเม็ดกลมและให้การกระจายขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ ซึ่งปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลขึ้นกับรูปทรงและขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ร้อยละ)
5	8.56	13.35
10	22.57	20.96
15	12.89	4.76

4.3.2 ผลของปริมาณไอโซไซยาเนต

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้ปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ กัน ที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาทีและเวลาในการกวนผสมเท่ากันที่ 5 นาที แสดงผลในตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต ไมโครแคปซูลสามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งในปริมาณที่น้อยลง แต่ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณไอโซไซยาเนต 0.26 โมล กลับมีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ในปริมาณมาก เมื่อวิเคราะห์

ร่วมกับผล SEM จะเห็นได้ว่า ปริมาณไอโซไซยาเนตที่ 0.22 และ 0.29 โมล ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ทั้ง 2 ชนิดเกาะติดกันเป็นก้อน อาจเนื่องจากปริมาณ PVA ที่ใช้มีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการกระจายตัวของไมโครแคปซูล นอกจากนี้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลยังขึ้นกับรูปทรงและขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้ ซึ่งการเกาะติดกันเป็นก้อนของไมโครแคปซูลดังกล่าวส่งผลให้ไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้ปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณไอโซไซยาเนตต่างๆ (ความเร็วรอบในการกวนผสม 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที)

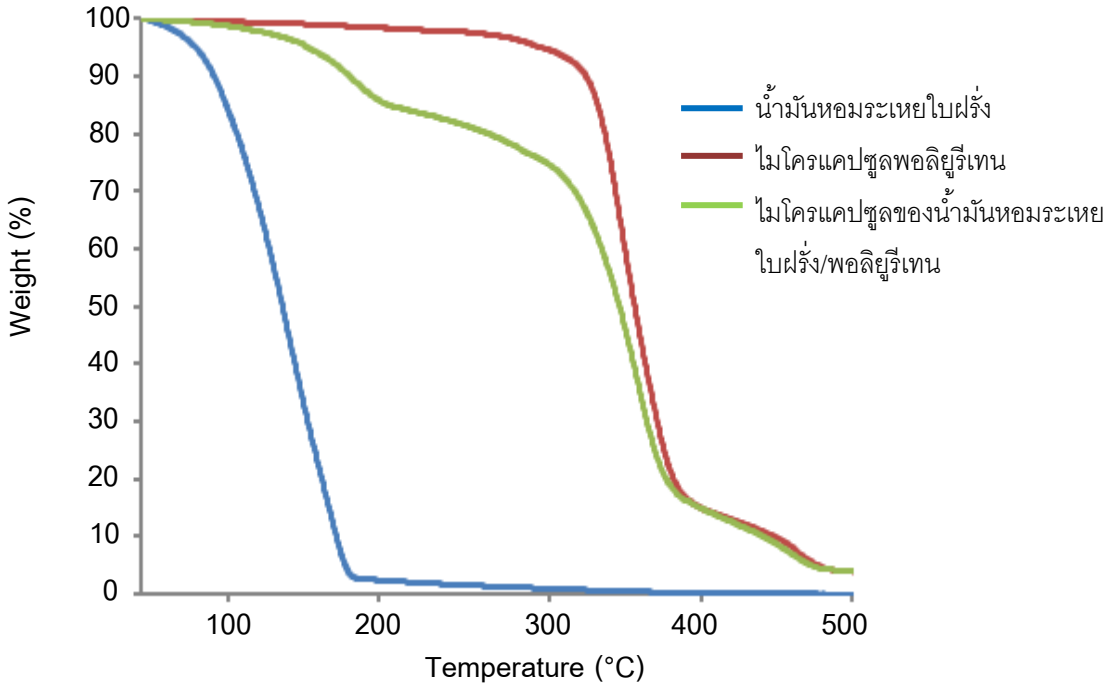
ปริมาณไอโซไซยาเนต (โมล)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ร้อยละ)
0.22	6.63	9.67
0.26	13.35	8.56
0.29	5.78	6.15

4.4 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA

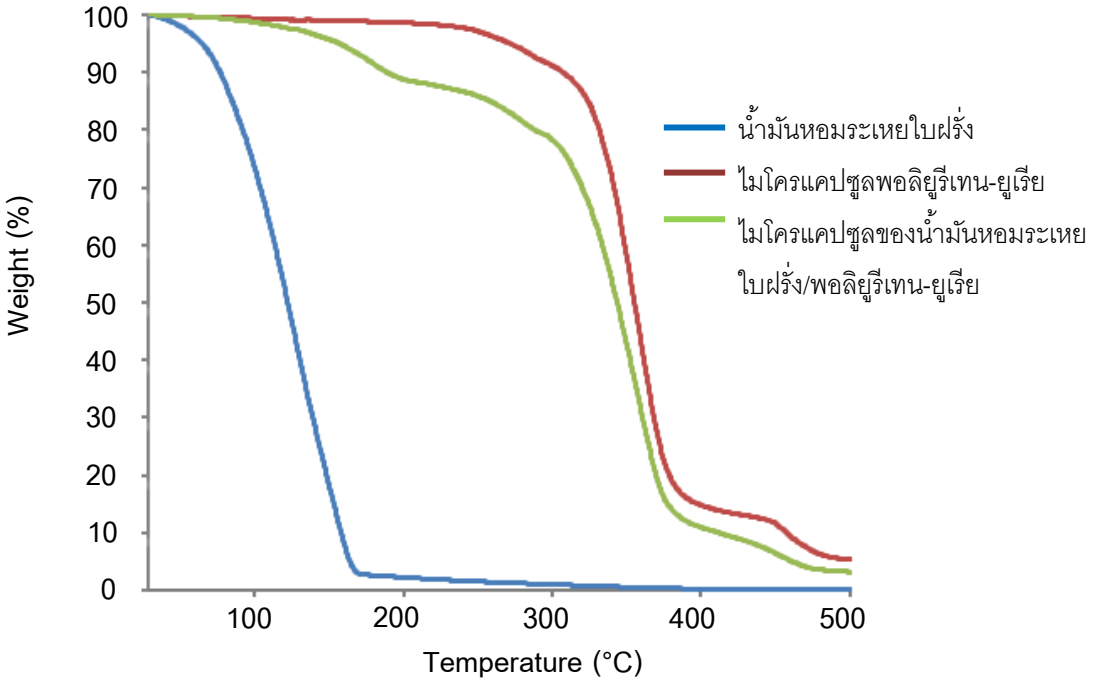
4.4.1 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลแบบไดนามิกส์

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สภาพแห้งเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้ทำการห่อหุ้มด้วยพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ไมโครแคปซูลพอลิ-ยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่) ได้เลือกไมโครแคปซูลดังกล่าวที่เตรียมได้จากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันโดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร มาศึกษา ผลของ TGA เทอร์โมแกรมของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและ

ของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ พบว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนแสดงการสูญเสียน้ำหนักเป็น 3 ขั้น แต่ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียแสดงการสูญเสียน้ำหนักเป็น 4 ขั้น โดยขั้นแรกเกิดการสูญเสียน้ำหนักเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิประมาณ 145-200 องศาเซลเซียส น่าจะเกิดจากการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล โดยเกิดการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 90-173 องศาเซลเซียส ส่วนขั้นที่ 2 และ 3 ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทนเกิดการสูญเสียน้ำหนักเช่นเดียวกับขั้นที่ 3 และ 4 ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 325-375 และ 442-472 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย แต่ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นอีก 1 ขั้น ในช่วงขั้นที่ 2 ซึ่งแตกต่างจากไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน โดยเกิดการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 254-293 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบนี้เมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FT-IR ในข้อ 4.1 สามารถยืนยันได้ว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่โดยมีพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการตกแต่งไมโครแคปซูลดังกล่าวที่มากกว่า 145 องศาเซลเซียสอาจทำให้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูลเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือระเหยออกมาได้ แต่ก็ยังน้อยกว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล



รูปที่ 4.16 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน

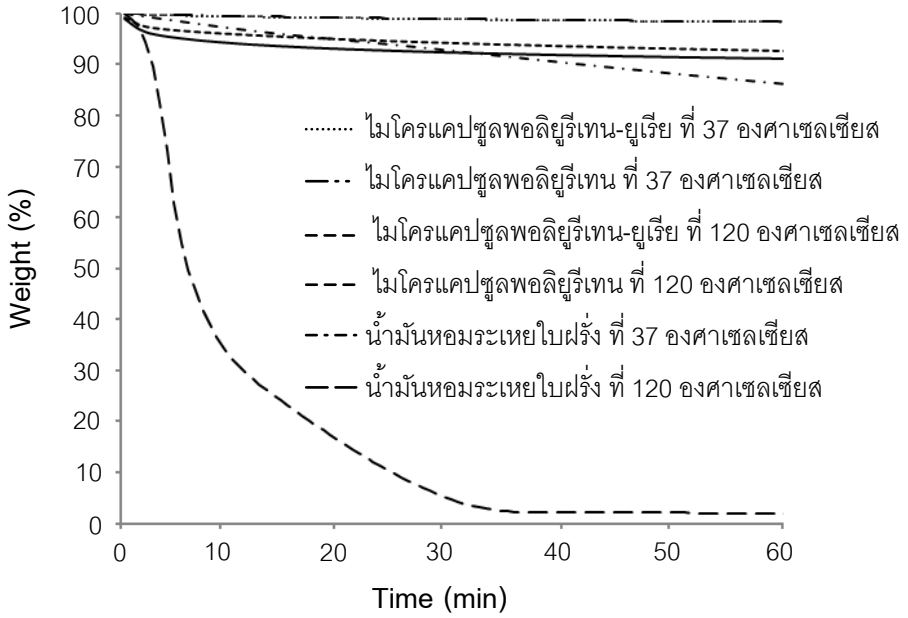


รูปที่ 4.17 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.4.2 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลแบบไอโซเทอร์มอล

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียสภาพแห้งเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้ทำการห่อหุ้มด้วยพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยได้เลือกไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร มาศึกษา รูปที่ 4.18 แสดงกราฟ Isothermal TGA ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ 15 นาทีแรกของ 120 องศาเซลเซียส พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมากถึงร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่สูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 5 และร้อยละ 7 ตามลำดับ และภายใน 30 นาที น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งระเหยออกมาอย่างต่อเนื่องและเริ่มคงที่ ในขณะที่ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีน้ำหนักลดลงเพียงร้อยละ 6 และร้อยละ 8 ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าการทำไมโครแคปซูลที่มีพอลิยูรีเทนและ

พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้มสามารถป้องกันการระเหยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้ ดังนั้น เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันสามารถปรับปรุงความคงทนต่อความร้อนของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งในระหว่างการผลิตหรือการใช้งานได้

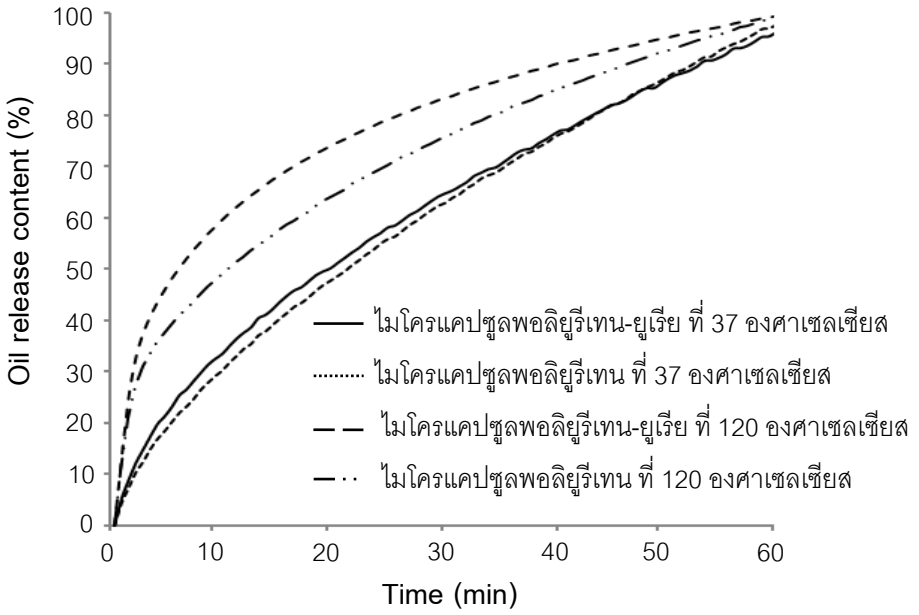


รูปที่ 4.18 Isothermal TGA เทอร์โมแกรมของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่างๆ กัน

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค TGA

วิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไมโครแคปซูลเปรียบเทียบกับเวลา (Isothermal TGA) ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส โดยเลือกไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 5 นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร มาศึกษา รูปที่ 4.19 ชี้ให้เห็นว่าที่ 10 นาทีแรกของ 120 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียปล่อย

น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งออกมาประมาณร้อยละ 50 และร้อยละ 61 ตามลำดับ ในขณะที่ 10 นาทีแรกของ 37 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งออกมาประมาณร้อยละ 32 และร้อยละ 35 ตามลำดับ และยังคงปล่อยออกมาเรื่อยๆจนเกือบหมดภายใน 1 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย อาจกล่าวได้ว่าที่อุณหภูมิเดียวกันไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนมีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลช้ากว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย



รูปที่ 4.19 ปริมาณการปล่อยของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่างๆ กัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็นสารแกนและมีพอลิยูรีเทน และพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม ด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน

จากการศึกษาผลของความเร็วรอบและเวลาในการกวนผสม พบว่า ความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 8000 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการกวนผสม 5 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง

1) เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมีผลทำให้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 18.29 ไมโครเมตร อนุภาคมีรูปทรงเป็นเม็ดกลมอย่างชัดเจน มีหลายขนาดทั้งเล็กและใหญ่ผสมกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็น 10 และ15 มิลลิลิตร กลับพบว่าไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 43.71 และ 66.71 ไมโครเมตร ตามลำดับ อนุภาคเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กและใหญ่เกาะติดกันเป็นก้อน

2) เมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนตมีผลทำให้ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณไอโซไซยาเนต 0.22, 0.26 และ 0.29 โมล ไมโครแคปซูลส่วนใหญ่ที่ได้อนุภาคมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 16.84, 18.29 และ 24.70 ไมโครเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการแปรเปลี่ยนปริมาณไอโซไซยาเนตไม่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูล ไมโครแคปซูลที่ได้มีอนุภาคเป็นเม็ดกลม พื้นผิวไม่เรียบ

3) ลักษณะอนุภาคของไมโครแคปซูลเป็นเม็ดกลมแบบมีสารแกนอนุภาคเดียวอยู่ภายในไมโครแคปซูล

4) สำหรับงานวิจัยนี้การใช้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร สารไอโซไซยาเนต 0.26 โมล สามารถเตรียมไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ปริมาณมาก

5) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล

6) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนมีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลช้ากว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

7) สำหรับงานวิจัยนี้ ภาวะและปริมาณสารต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมไมโครแคปซูลที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน อนุภาคมีขนาดเล็กไม่เกิน 20 ไมโครเมตร ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลสูง คือการใช้สารไอโซไซยาเนต 0.26 โมล น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่เติมลงไป 5 มิลลิลิตร ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที

5.1.2 ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

1) เมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 6000 รอบต่อนาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 43.50 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง และอนุภาคของไมโครแคปซูลเกาะเป็นก้อนติดกัน ส่วนที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 44.66 ไมโครเมตร โดยขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 30 ไมโครเมตร ในทางตรงกันข้ามที่ความเร็วรอบ 10000, 12000 และ 14000 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 79.56, 62.21 และ 61.25 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีการกระจายขนาดอนุภาคกว้างตั้งแต่ 1 ถึง 100 ไมโครเมตรผสมกัน นอกจากนี้การเพิ่มความเร็วรอบในการกวนผสมมีผลทำให้อนุภาคของไมโครแคปซูลเป็นรูปทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบแต่เว้า อนุภาคมีหลายขนาดผสมกันทั้งเล็กและใหญ่

2) เมื่อใช้เวลาในการกวนผสม 3 และ 10 นาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 64.78 และ 71.40 ไมโครเมตร ตามลำดับ มีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง และอนุภาคของไมโครแคปซูลเกาะติดกันเป็นก้อน แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการกวนผสมเป็น 5 นาที พบว่าไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กลง เท่ากับ 44.66 ไมโครเมตร อนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เป็นรูปทรงกลม พื้นผิวไม่เรียบแต่เว้า อนุภาคมีหลายขนาดผสมกันทั้งเล็กและใหญ่

3) เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ 5 และ 10 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 41.21 และ 44.66 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีรูปทรงเป็นเม็ดกลมแยกกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเป็น 15 มิลลิลิตร กลับพบว่าอนุภาคไมโครแคปซูลไม่แยกให้เห็นเป็นเม็ดกลมแต่เกาะเป็นก้อนติดกันลักษณะคล้ายเม็ดกลมแบน

4) เมื่อเพิ่มปริมาณไอโซไซยาเนต ไมโครแคปซูลที่ได้ยังคงมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีผิวขรุขระ ปริมาณไอโซไซยาเนตที่ 0.22 โมล ไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 75.65 ไมโครเมตร

มีการกระจายขนาดอนุภาคกว้าง ในขณะที่ 0.26 และ 0.29 โมล ไมโครแคปซูลมีการกระจายขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 41.21 และ 26.75 ไมโครเมตร ตามลำดับ

5) ลักษณะอนุภาคของไมโครแคปซูลเป็นเม็ดกลมแบบมีสารแกนอนุภาคเดียวอยู่ภายในไมโครแคปซูล

6) สำหรับงานวิจัยนี้การใช้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร สารไอโซไซยาเนต 0.26 โมล สามารถเตรียมไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ปริมาณมากกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 15 มิลลิลิตร

7) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล

8) ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลเร็วกว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

9) สำหรับงานวิจัยนี้ ภาวะและปริมาณสารต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมไมโครแคปซูลที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน อนุภาคมีขนาดเล็กไม่เกิน 45 ไมโครเมตร ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลสูง มีเสถียรภาพความร้อนที่ดี และมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งออกมาไม่รวดเร็วเกินไป คือการใช้สารไอโซไซยาเนต 0.26 โมล น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน และของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิ-ยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้ยังมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่ค่อนข้างน้อย หากสามารถหาภาวะและศึกษาปริมาณการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล และเอทิลีนไดแอมีนที่เหมาะสม เพื่อทำให้ผนังของเปลือกบางลงก็จะทำให้ไมโครแคปซูลสามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้มากขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] Nano Materials Technology. บทบาทของนาโนซิงออกไซด์[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.nanomaterials.co.th/index2.asp?CType=4 [10 ธันวาคม 2553]

[2] Digital Journal. Is Nano Silver Dangerous?[Online] Available from : http://www.digitaljournal.com/article/274021 [10 December 2010]

[3] Thubthimthed, S. Chemical constituents and CNS depressive effect of the essential oil of *Michella alba* DC. Proceesing in the 20th FAPA Congress, 2004.

[4] Thubthimthed, S., Reran, U., Phatvej, W., Khayungarnnawee, A. and Sematong, T. Composition and sedative effect via inhalation of some essential oils. Proceesing in the 3rd Global Summit on Medicinal and Aromatic Plants, 2007.

[5] Oonmetta-aree, J., Suzuki, T., Gasaluck, P., and Eumkeb, G. Antimicrobial properties and action of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) on *Staphylococcus aureus*. Food Science and Technology 39 (2006) : 1214-1220.

[6] Khantha, B., Photchanachai, S., Laohakunjit, N. and Kerdchoechuen, O. Inhibitory effects of five essential oils extracted from *Zingiberaceae* on growth of *Aspergillus flavus*. Agriculture Science Journal 38 No.6 (2007) : 29-32.

[7] Metwally, A. M., Omar, A. A., Harraz, F. M. and Sohafy, S. M. Phytochemical investigation and antimicrobial activity of *Psidium guajava* L. leaves. Pharmacognosy Magazine 6 (2010) : 212-8.

[8] จิตต์โสภา เฉลียวศักดิ์. การปรับปรุงสมบัติต้านจุลินทรีย์ของผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยข่าและสารสกัดข่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

[9] Ghosh, S. K. Functional coatings and microencapsulation: A general perspective. ISBN: 3-527-31296-X. WILTY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim : 2006.

[10] Jabbari, E. and Khakpour, M. Morphology of and release behavior from porous polyurethane microcapsule. Biomaterials 21 (2000) : 2073-2079.

[11] Rodrigues, S. N., Martins, I. M., Fernandes, I. P., Gomes, P. B., Mata, V. G. Barreiro, M. F. and Rodrigues, A. E. Scentfashion®: Microencapsulated perfumes for textile application. Chemical Engineering Journal 149 (2009) : 463-472.

[12] Chang, C. P., Chang, J. C., Ichikawa, K. and Dobashi, T. Permeability of dry through poly(urea-urethane) membrane prepared from mixture of di- and tri-isocyanate. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 44 (2005) : 187-190.

[13] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สิ่งทอกับสารต้านแบคทีเรีย[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.thaitextile.org/th/download/THTI_v25.pdf [20 สิงหาคม 2554]

[14] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. ต้านแบคทีเรียร้าย...ไม่ให้มากวนใจ[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.thaitextile.org/tdc/?page_id=661 [20 สิงหาคม 2554]

[15] สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์. สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ. Colourway 8 No.46 (2003) : 58-62.

[16] Gao, Y. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. Textile Research Journal (2008) : 60-72.

[17] Cheruiyot, K. R., Olila, D. and Kateregga, J. *In-vitro* antibacterial activity of selected medicinal plants from Longina region of Bomet district, Kenya. African Health Sciences 9 (2009) : s42-s46.

[18] Kanbutra, P., Borisutpeth, P., Porntrakulpipat, S., Sarachoo, K., Jivaganon, J., Aromdee, C. and Wongkham, S. Anti-bacterial activity of alcoholic extract of Thai medicinal plants on *Escherichia Coli* F18+. 29th Congress on Science and Technology of Thailand Khon Kaen University, 2003.

[19] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. ฝรั่ง[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki [20 สิงหาคม 2554]

[20] สมุนไพรดอทคอม. ฝรั่ง[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.samunpai.com/samunpai/show.php?cat=1&id=80 [20 สิงหาคม 2554]

[21] สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. ฝรั่ง-สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_07_6.htm [20 สิงหาคม 2554]

[22] Google ประเทศไทย. ลำต้นฝรั่ง[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.google.com. [20 สิงหาคม 2554]

[23] สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. ฝรั่ง[ออนไลน์]. คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งที่มา : http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/alpinia.html [20 สิงหาคม 2554]

[24] สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. ฝรั่ง[ออนไลน์]. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. แหล่งที่มา : http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/alpinia.html [20 สิงหาคม 2554]

[25] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. สารสกัดจากสมุนไพร โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนอุตสาหกรรมเฉพาะเรื่อง,รายงานฉบับสมบูรณ์. 1-14. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2546.

[26] รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล. การเตรียมสารสกัดสมุนไพร. เกษตรกรรมธรรมชาติ 11 (2549): 28-39.

[27] สิริลักษณ์ มาลานิยม. น้ำมันหอมระเหยสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย. สมอ สาร (กรกฎาคม 2545) : 3-6.

[28] คมสัน หุตะแพทย์. การสกัดน้ำมันหอมระเหย การใช้ประโยชน์ และการทำผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2551.

[29] กองบรรณาธิการ YeaSpaThailand. วิธีการผลิต การกลั่น การสกัดน้ำมันหอมระเหย (Essential Oils)[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.yeaspathailand.com [25 สิงหาคม 2554]

[30] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. จิ๋วแต่แจ๋วด้วย...Microencapsulation[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.thaitextile.org/tdc/?page_id=517 [25 สิงหาคม 2554]

[31] ฉันทรา พูนศิริ. เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 21 (2549) : 57-60.

[32] Kondo, A. Microcapsule processing and technology. New York : Marcel Dekker, Inc., 1984.

[33] Deasy, P. B. Microencapsulation and related drug processes. Drugs and The Pharmaceutical Sciences. 20. New York : Marcel Dekker, Inc., 1984.

[34] ปัญจรัตน์ สุนทรสมิต. การเคลือบน้ำมันหอมระเหยด้วยอัลจิเนต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2541.

[35] Cheng, S. Y. Development of cosmetic textiles using microencapsulation technology. Research Journal of Textile and Apparel 12 No.4 (2008) : 41-51.

[36] มหาวิทยาลัยศิลปากร. เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชั่น[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext [25 สิงหาคม 2554].

[37] ปรียา อาตมียะนันทน์. ไมโครเอนแคปซูเลชัน. ครั้งที่พิมพ์ 2. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2525.

[38] Jyothi, N. V. N., Sakarkar, S. N., Kumar, G. Y. S. and Prasanna, M. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency: A review. Journal of Microencapsulation-Informa Health Care 27 (2010) : 187-197.

[39] เบญจา ชุตินทราศรี. บทที่ 4 เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส (Encapsulation and control release of food flavoring). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://ebook.ram.edu/ebook/f/FY 463(50)/FY463-4.pdf [20 มีนาคม 2554]

[40] ปรียา อาตมียะนันทน์. ไมโครเอนแคปซูเลชัน. ครั้งที่พิมพ์ 2. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2525.

[41] Odian, G. Principles of polymerization. 4. New York: A John Wiley & Song, Inc., 2004.

[42] Nelson, G. Application of microencapsulation in textile. International Journal of Pharmaceutics 242 (2002) : 55-62.

[43] Mondal, S. Phase change materials for smart textiles-An overviews. Applied Thermal Engineering 28 (2008) : 1536-1550.

[44] Holme, I. Innovative technologies for high performance textiles. Color Technology 123 (2007) : 59-73.

[45] Mahali, L. Chemistry and technology of polyol for polyurethanes. ISBN: 1-85957 491-2. UK : Rapra Technology Limited, 2005.

[46] Wirpsza, Z. Polyurethanes : chemistry, technology and applications. London: Ellis Horwood, 1993.

[47] Vroman, I. and Tighzert, L. Biodegradable polymers. Materials 2 (2009) : 307-344.

[48] Lutterodt, G. D., Ismail, A., Basheer, R. H. and Baharudin, H. M. Antimicrobial effects of *Psidium guajava* extract as one mechanism of its antidiarrhoeal action. Journal of Medical Science. 6 No.2 (1999) : 17-20.

[49] Han, S. and Yang, Y. Antimicrobial activity of wool fabric treated with curcumin. Dye and Pigments 64 (2005) : 157-161.

[50] Thilagavathi, G. B. and Krishna, S. Microencapsulation of herbal extracts for microbial resistance in healthcare textiles. Indian Journal of Fibre & Textile Research 32 (2007) : 351-354.

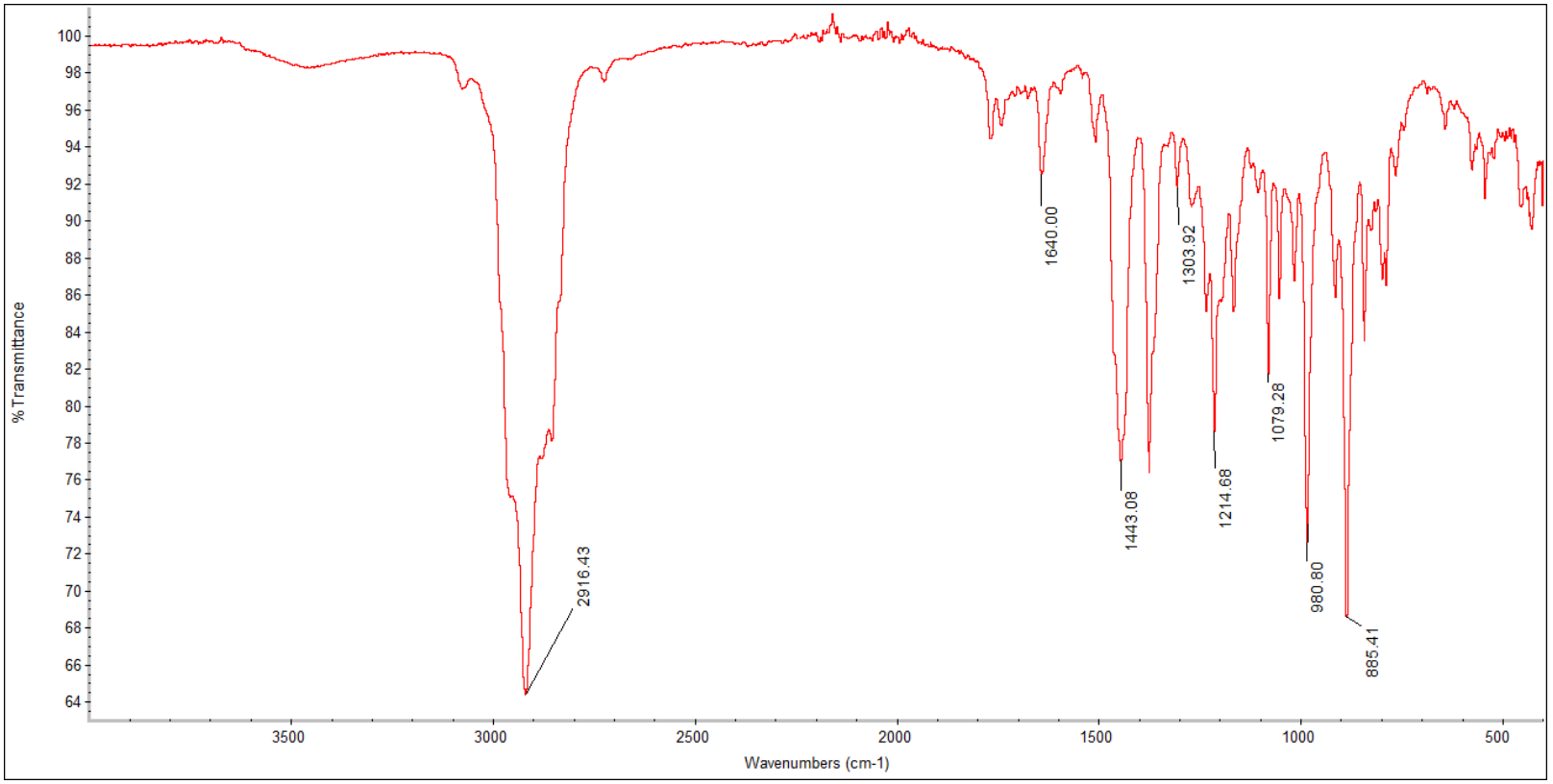
[51] Salaüna, F., Bedek, G., Devaux, E., Dupont, D. and Gengembre, L. Microencapsulation of a cooling agent by interfacial polymerization: Influence of the parameters of encapsulation on poly(urethane–urea) microparticles characteristics. Journal of Membrane Science 370 (2011) : 23-33.

[52] P'Gutiérrez, R. M., Mitchell, S. and Solis, R. V. *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. Journal of Ethnopharmacology 117 (2008) : 1-27.

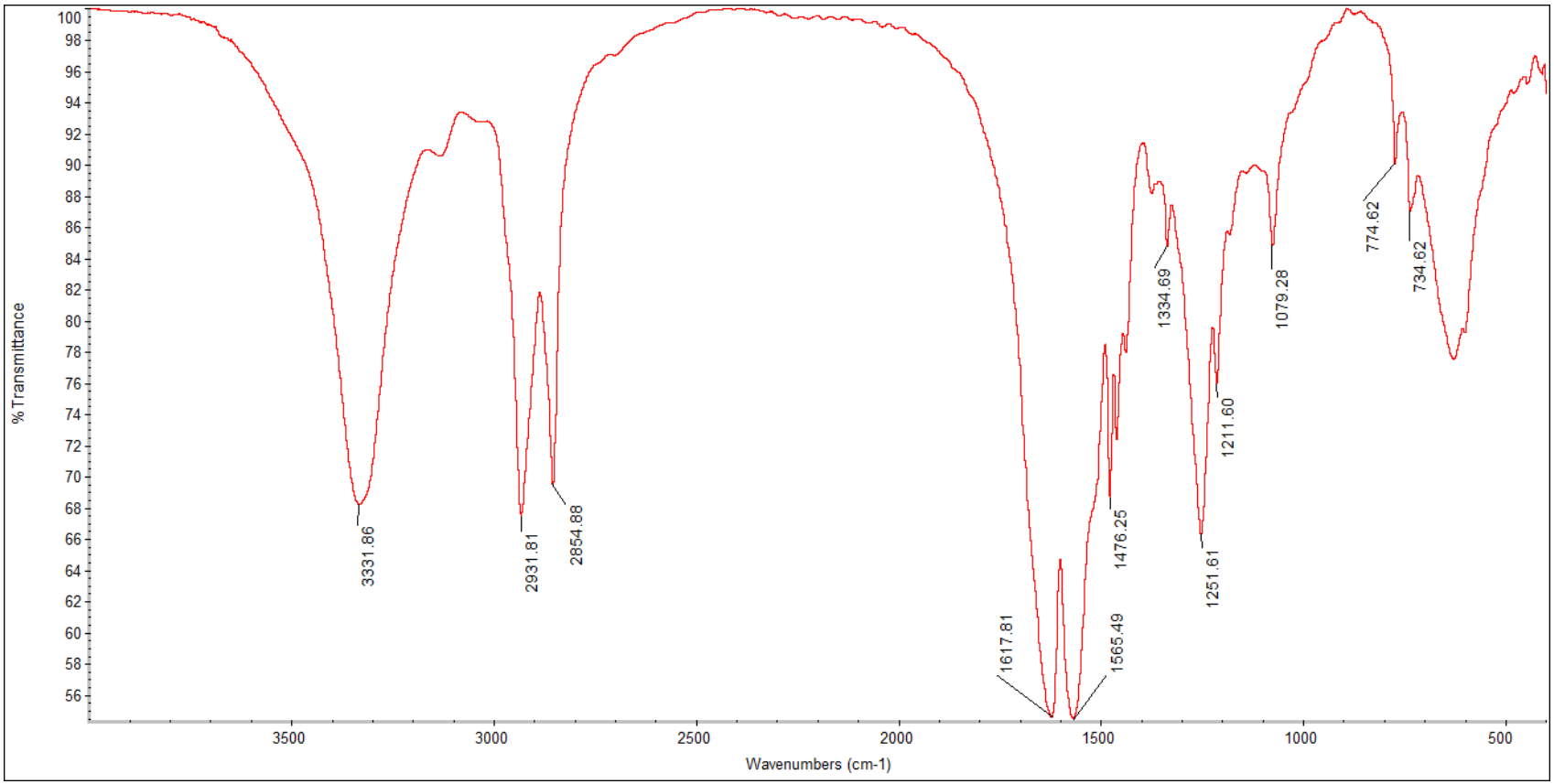
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

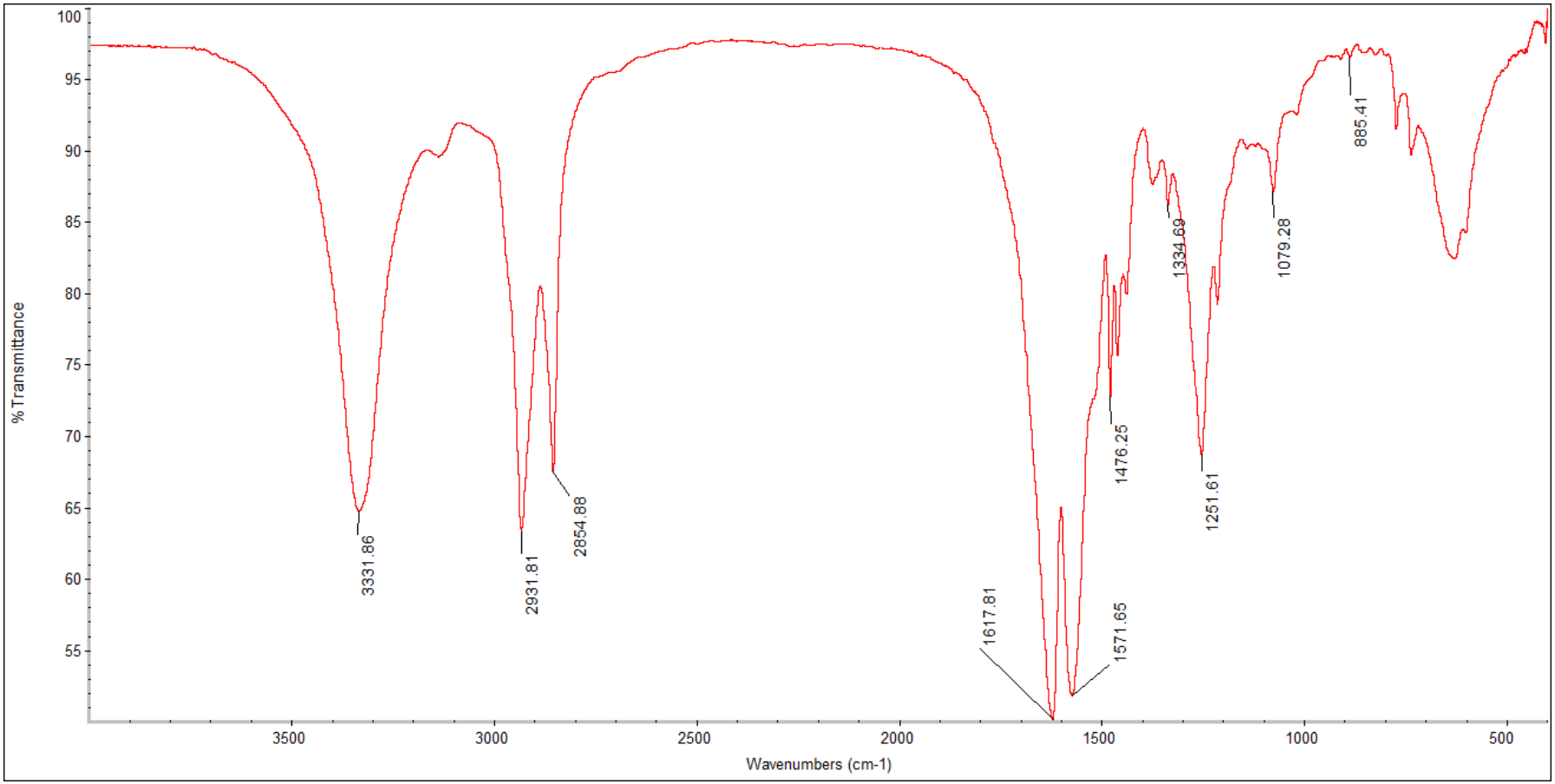
การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ ก.1 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง

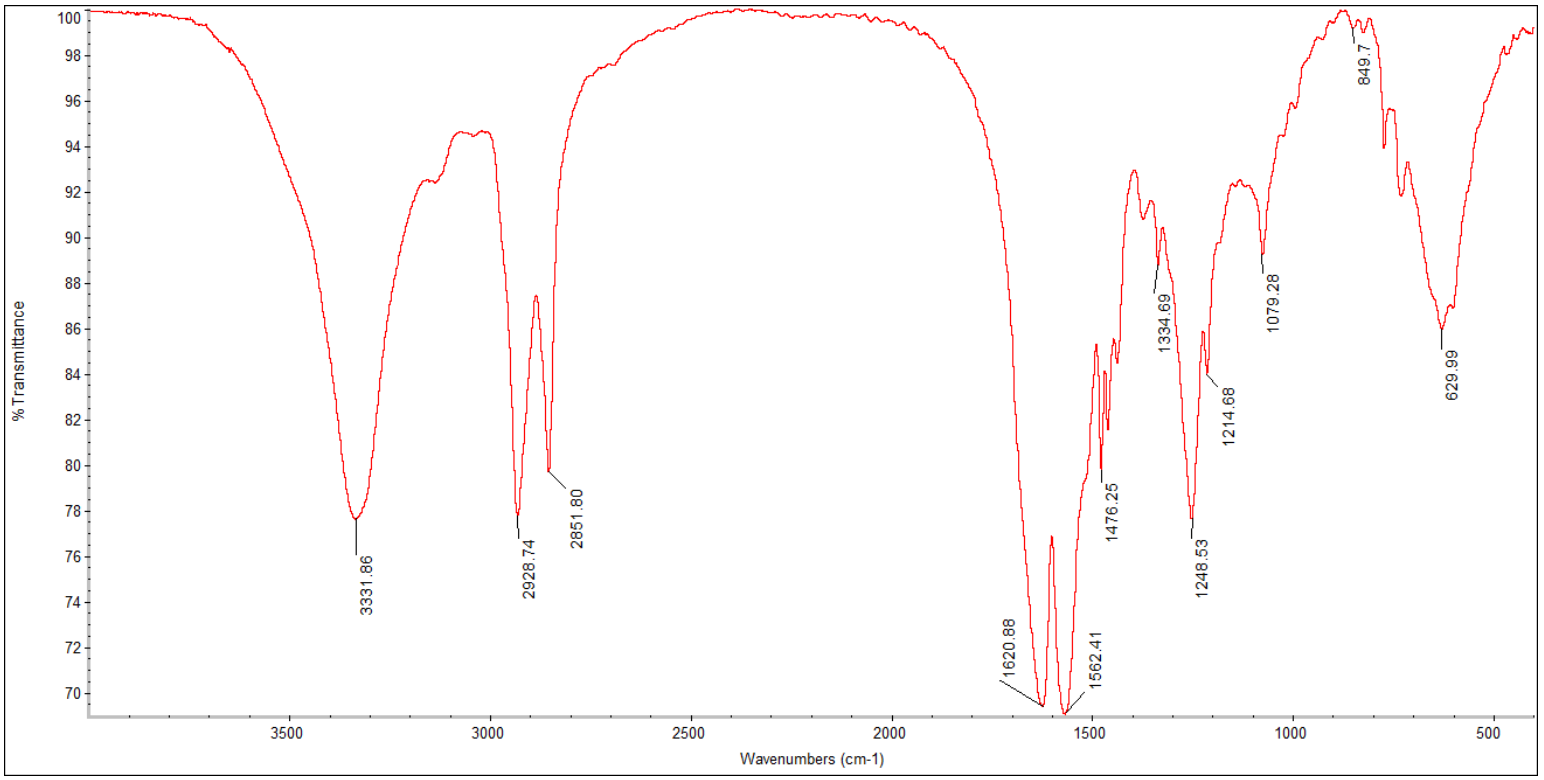


รูปที่ ก.2 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

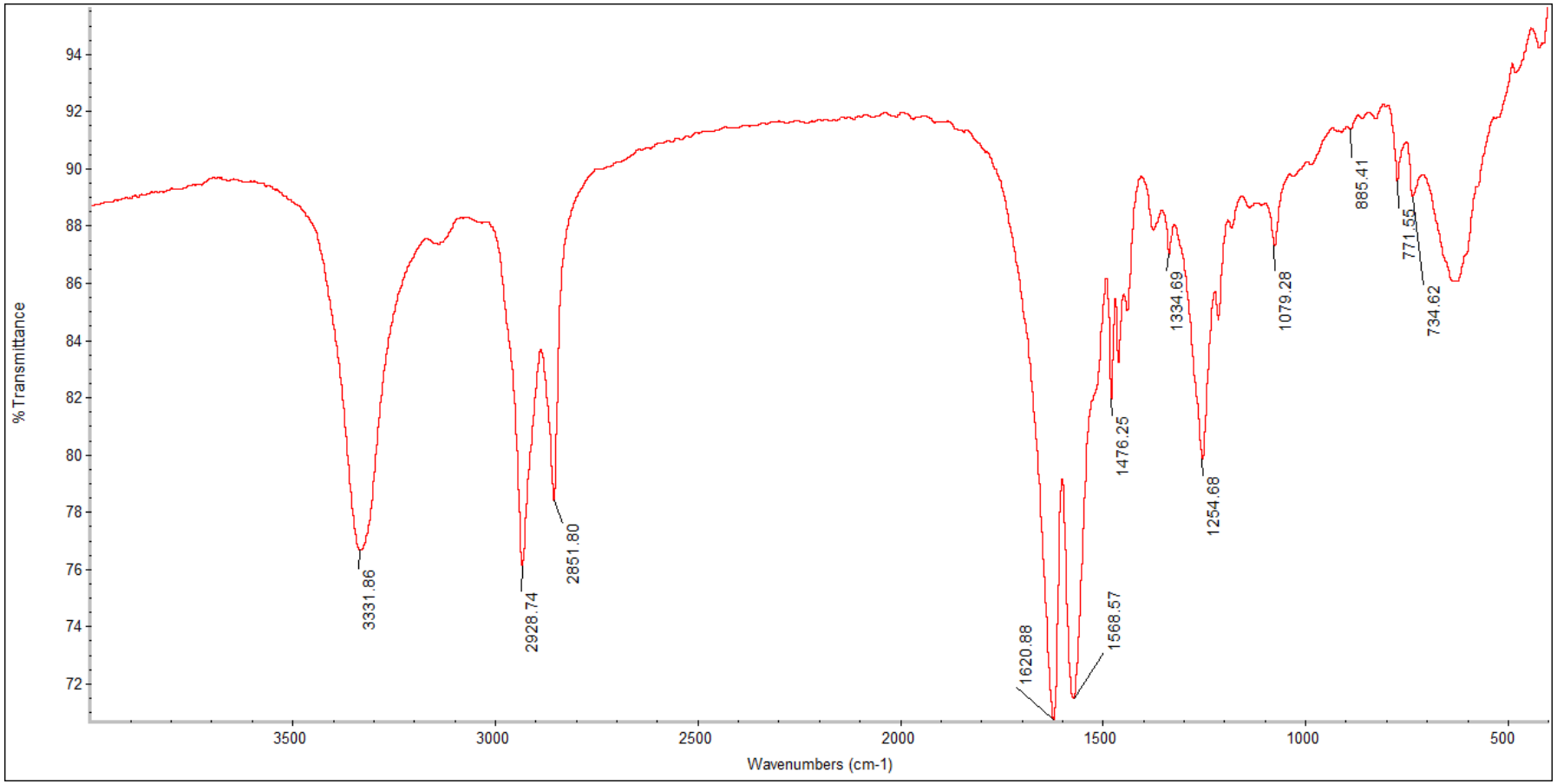


รูปที่ ก.3 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ ก.4 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร



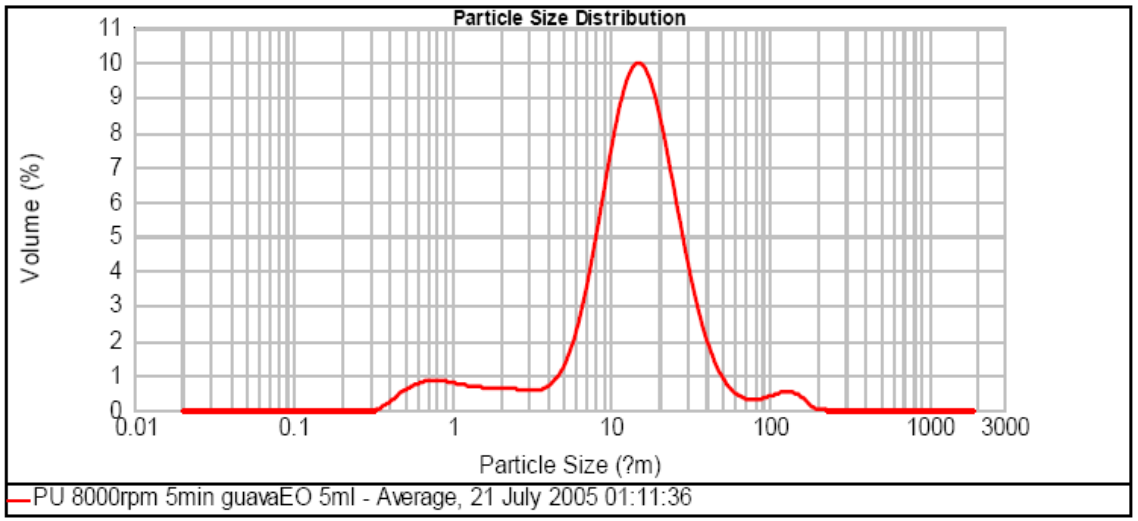
รูปที่ ก.5 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ด้วย Laser Particle Size Distribution Analyzer (LPSDA)

Concentration: 0.0017 %Vol	**Span :** 1.955	**Uniformity:** 0.709	**Result units:** Volume
Specific Surface Area: 0.996 m^2/g	**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.021 um	**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 18.287 um	

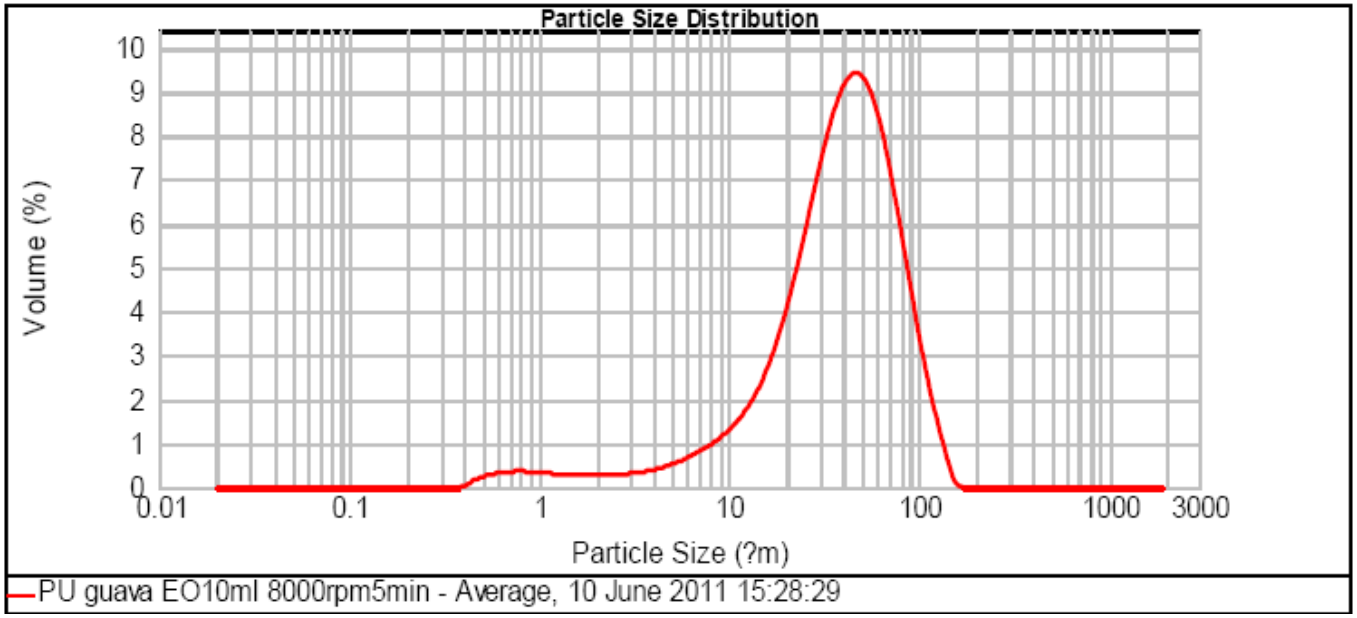
d(0.1): 3.875 um **d(0.5):** 14.175 um **d(0.9):** 31.586 um



รูปที่ ข.1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	**Span :**	**Uniformity:**	**Result units:**
0.0107 %Vol	1.805	0.552	Volume
Specific Surface Area:	**Surface Weighted Mean D[3,2]:**	**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**	
0.444 m²/g	13.520 um	43.708 um	

d(0.1): 11.023 um **d(0.5): 39.331 um** **d(0.9): 82.018 um**

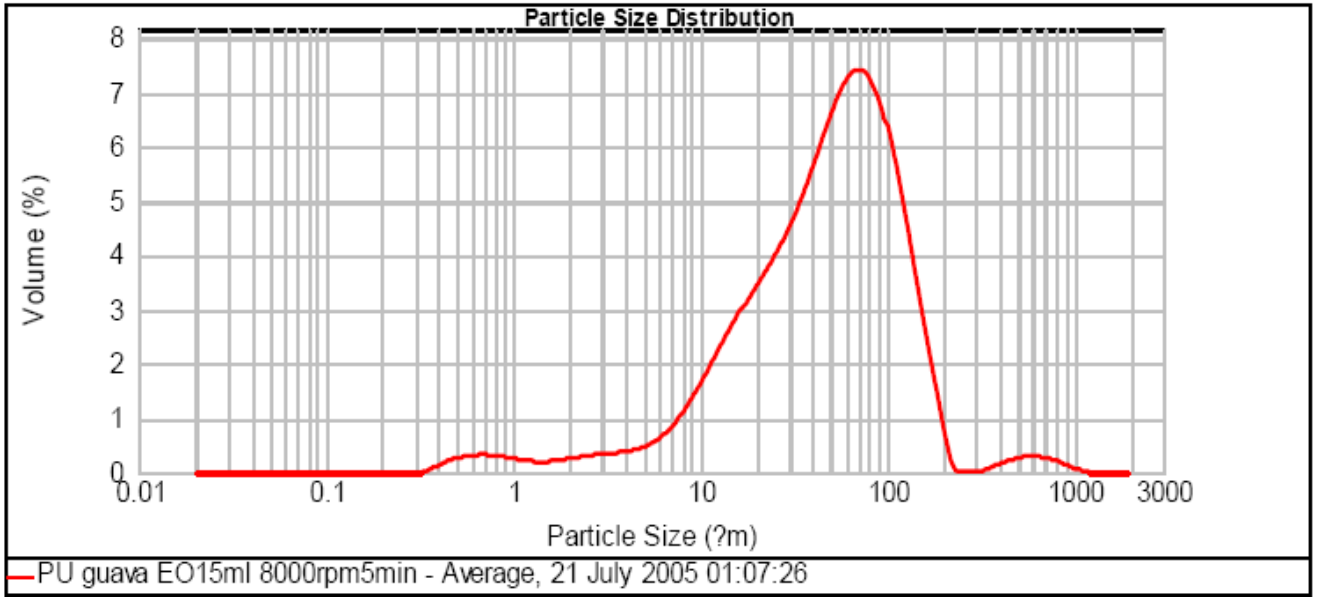


รูปที่ ข.2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0054 %Vol	2.267	0.837	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.424 m²/g	14.139 um	66.706 um

d(0.1): 10.910 um **d(0.5):** 50.325 um **d(0.9):** 124.987 um

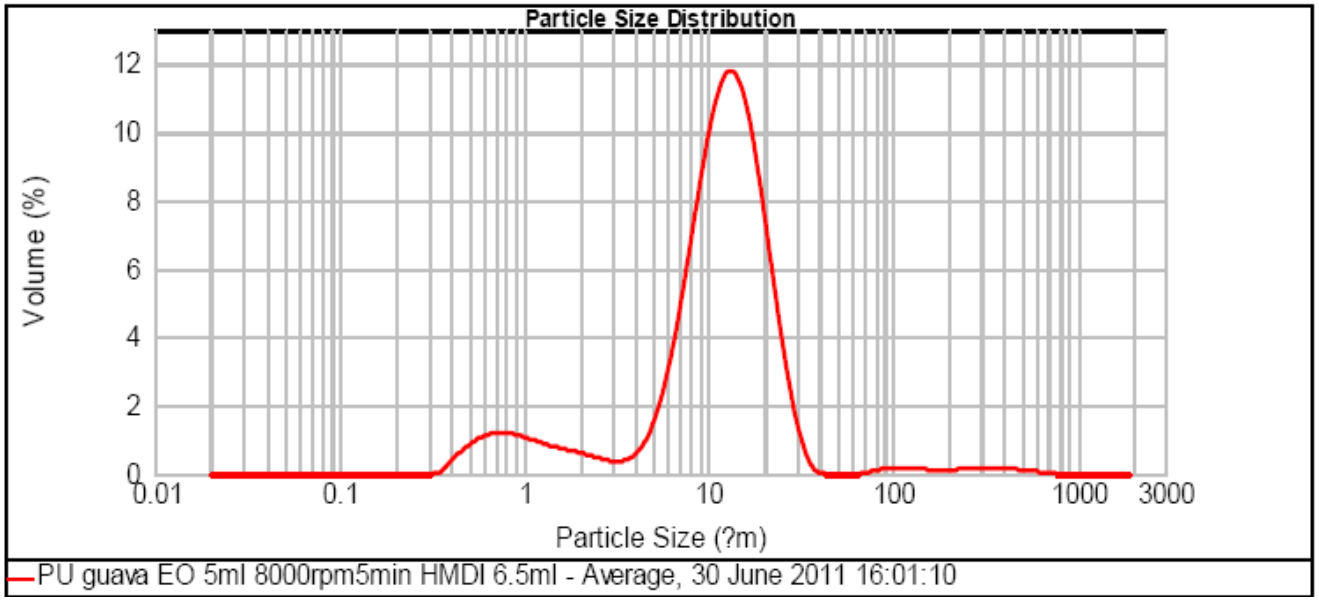


รูปที่ ข.3 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 15 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0070 %Vol	1.675	0.833	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.26 m²/g	4.781 um	16.841 um

d(0.1): 2.002 um **d(0.5): 11.881 um** **d(0.9): 21.908 um**

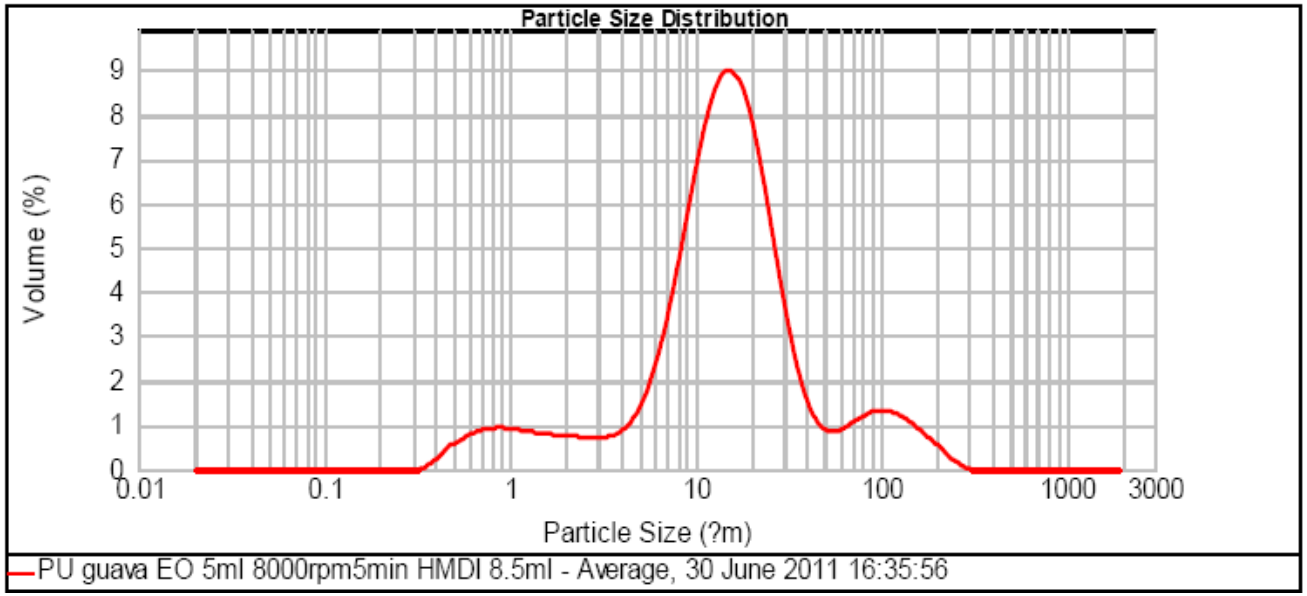


รูปที่ ข.4 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 6.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0060 %Vol	3.344	1.14	Volume

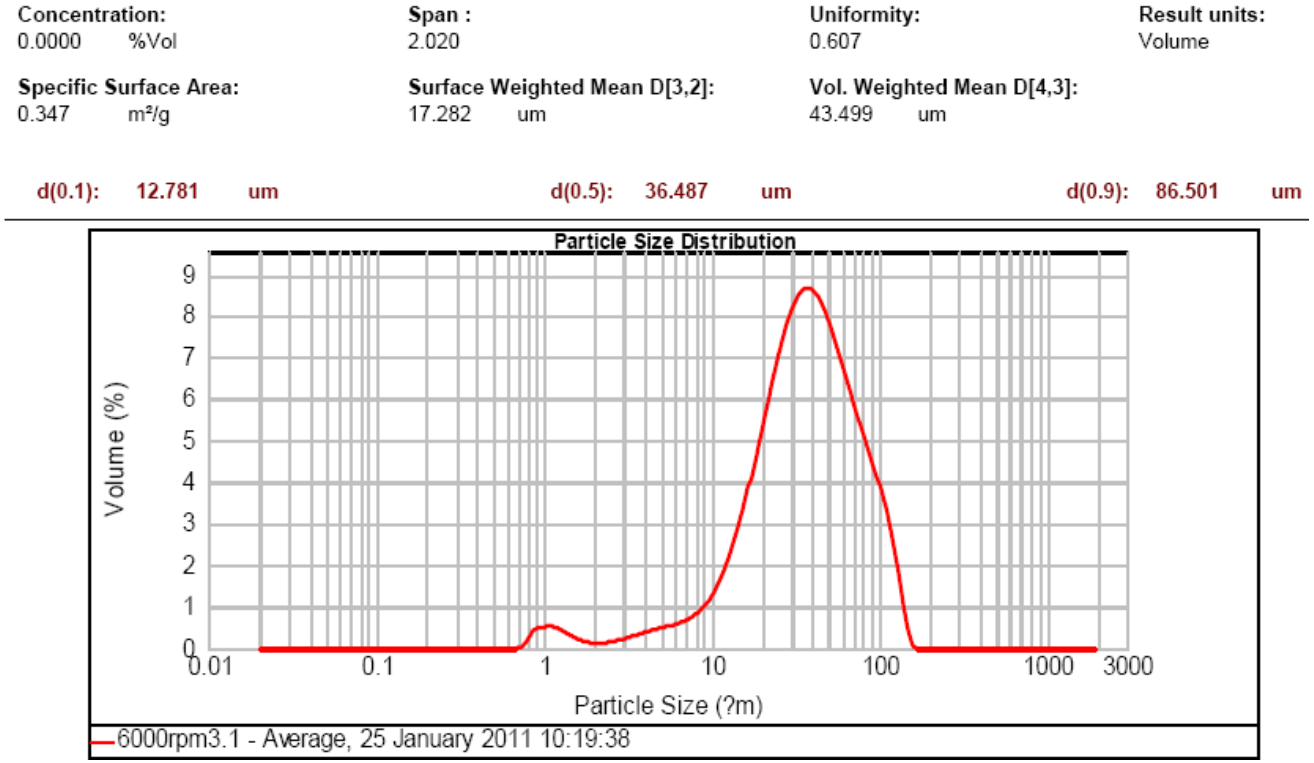
Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.03 m²/g	5.810 um	24.697 um

d(0.1): 2.820 um **d(0.5): 14.595 um** **d(0.9): 51.629 um**



รูปที่ ข.5 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 8.5 มิลลิลิตร

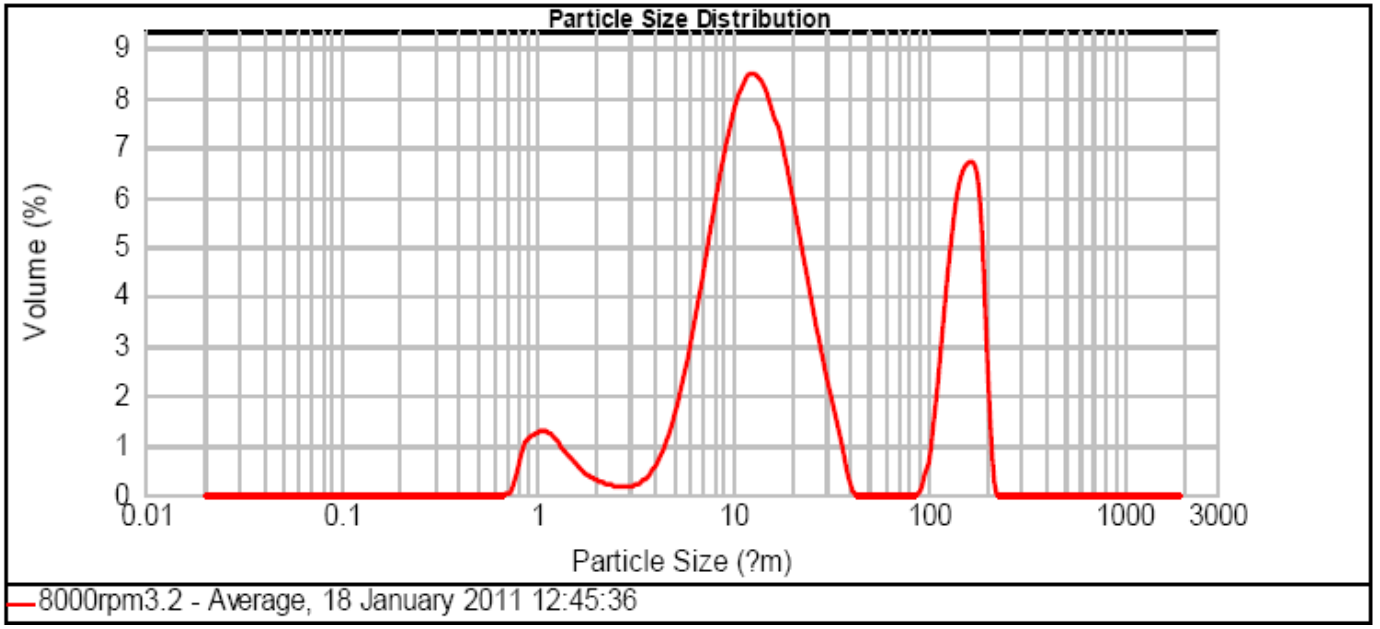
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วย Laser Particle Size Distribution Analyzer (LPSDA)



รูปที่ ข.6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 6000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	**Span :**	**Uniformity:**	**Result units:**
0.0000 %Vol	10.130	2.41	Volume
Specific Surface Area:	**Surface Weighted Mean D[3,2]:**	**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**	
0.694 m²/g	8.644 um	44.655 um	

d(0.1): 5.781 um **d(0.5):** 14.887 um **d(0.9):** 156.586 um

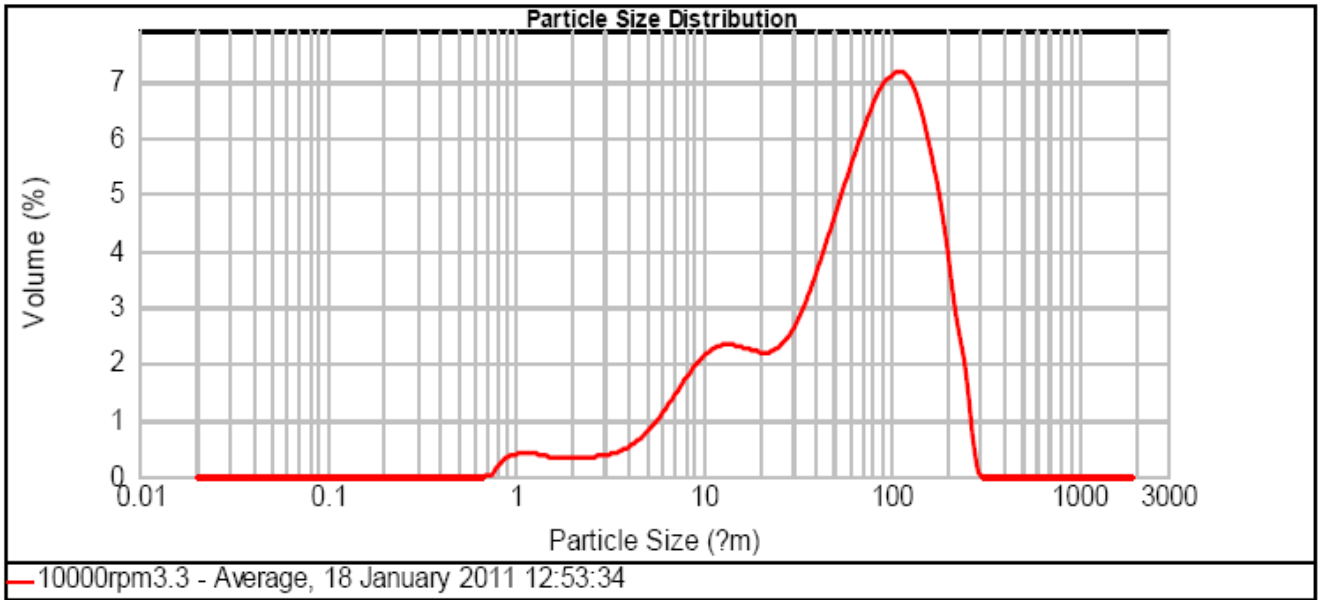


รูปที่ ข.7 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0000 %Vol	2.377	0.744	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.324 m²/g	18.492 um	79.557 um

d(0.1): 9.025 um **d(0.5): 67.933 um** **d(0.9): 170.532 um**

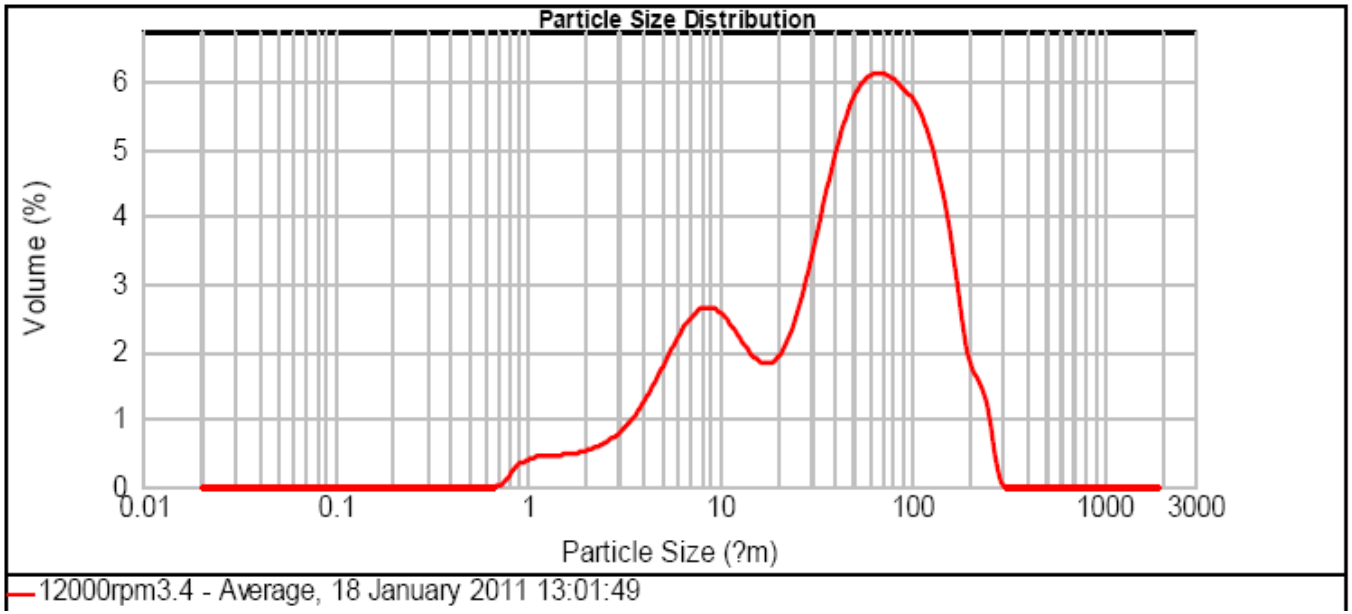


รูปที่ ข.8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0000 %Vol	2.783	0.874	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.433 m²/g	13.846 um	62.207 um

d(0.1): 5.707 um **d(0.5): 48.650 um** **d(0.9): 141.120 um**

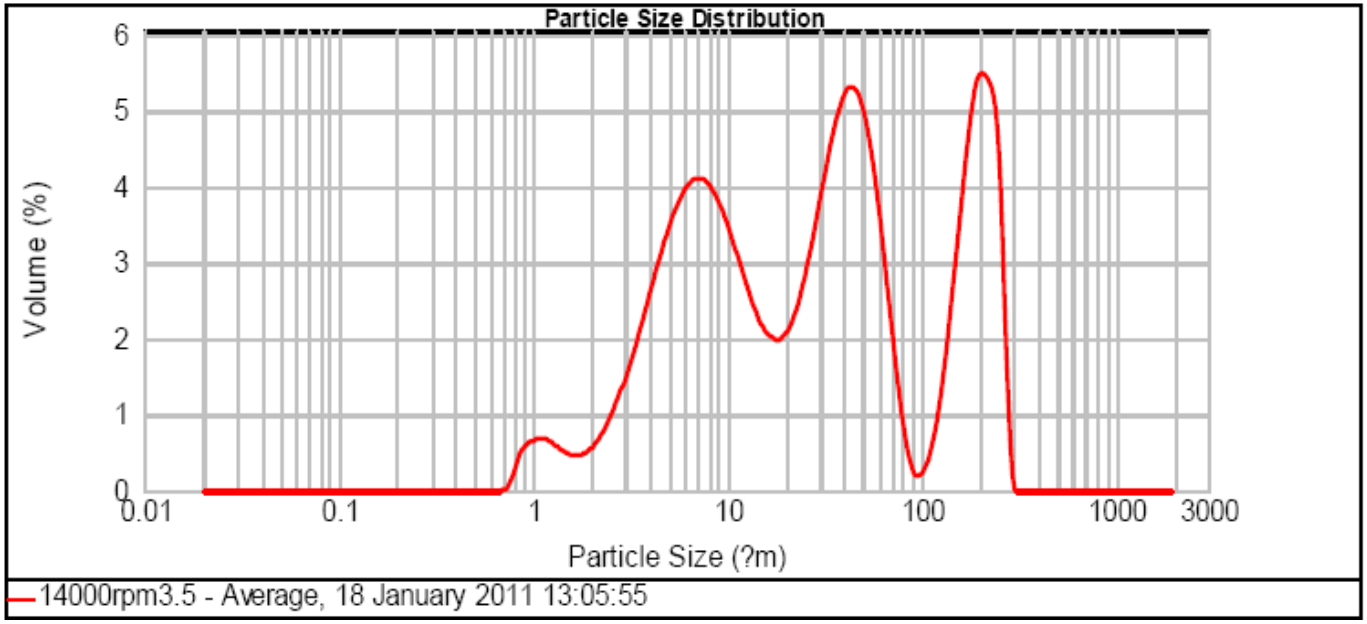


รูปที่ ข.9 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 12000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0000 %Vol	6.790	1.78	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.626 m²/g	9.580 um	61.252 um

d(0.1): 4.037 um **d(0.5): 28.835 um** **d(0.9): 199.817 um**

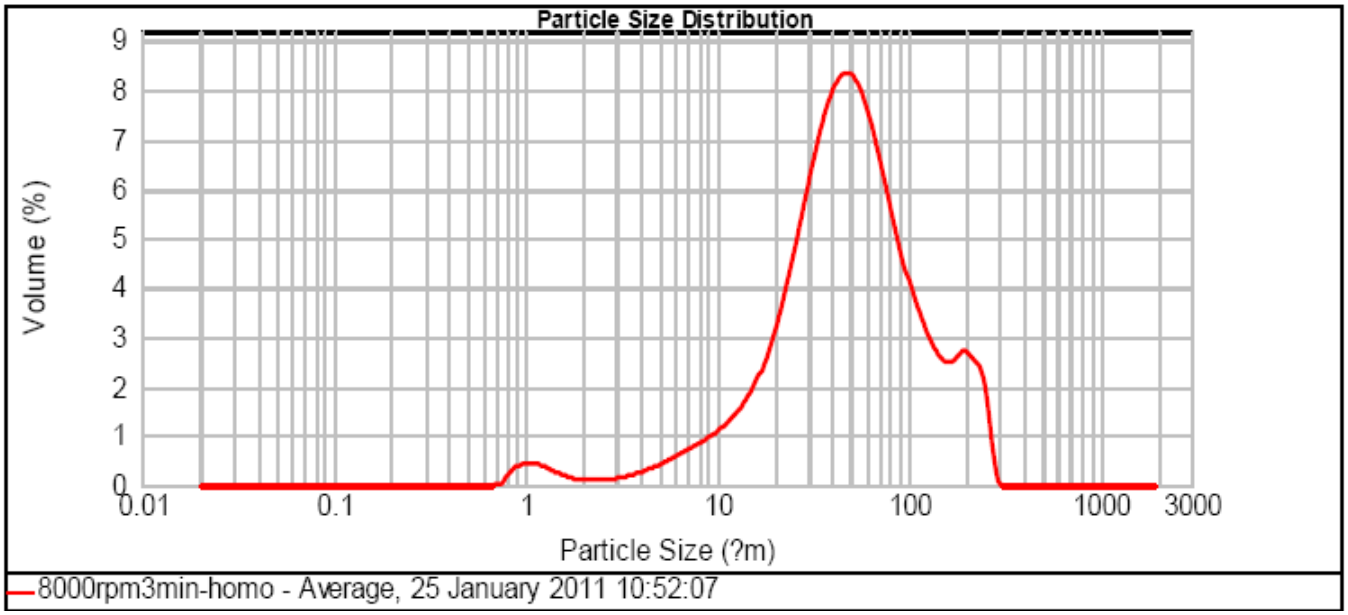


รูปที่ ข.10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 14000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0000 %Vol	2.737	0.787	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.284 m²/g	21.151 um	64.784 um

d(0.1): 14.883 um **d(0.5): 47.775 um** **d(0.9): 145.632 um**

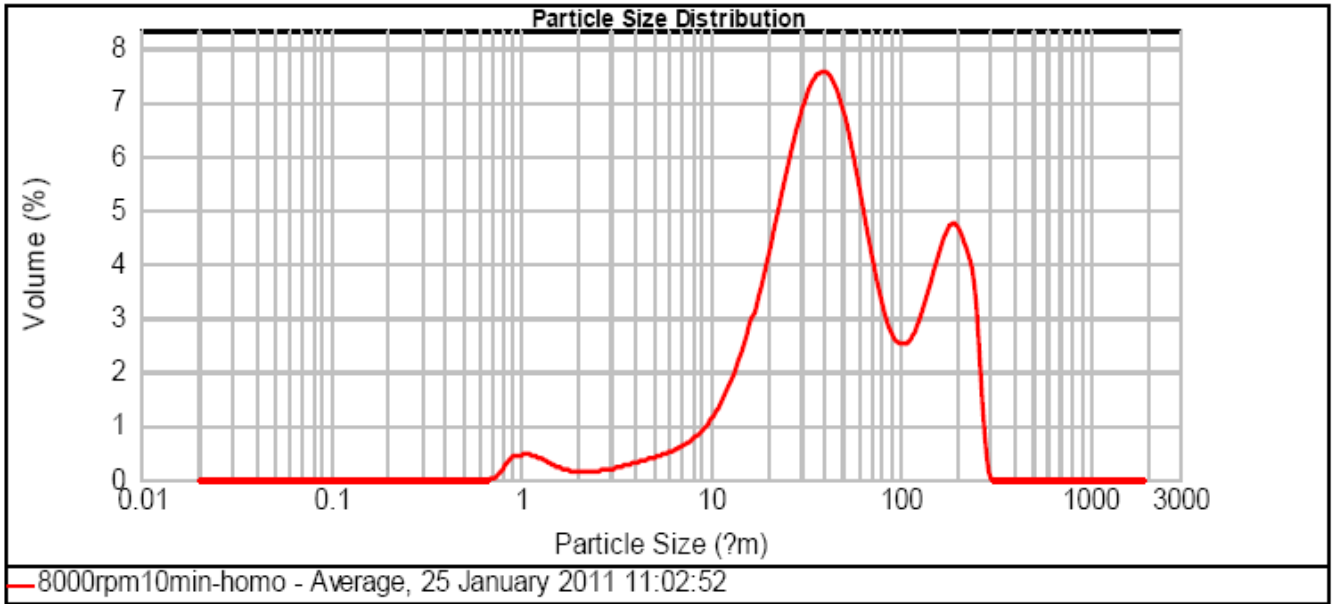


รูปที่ ข.11 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0000 %Vol	3.919	1.06	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.299 m²/g	20.057 um	71.395 um

d(0.1): 14.234 um d(0.5): 44.013 um d(0.9): 186.701 um

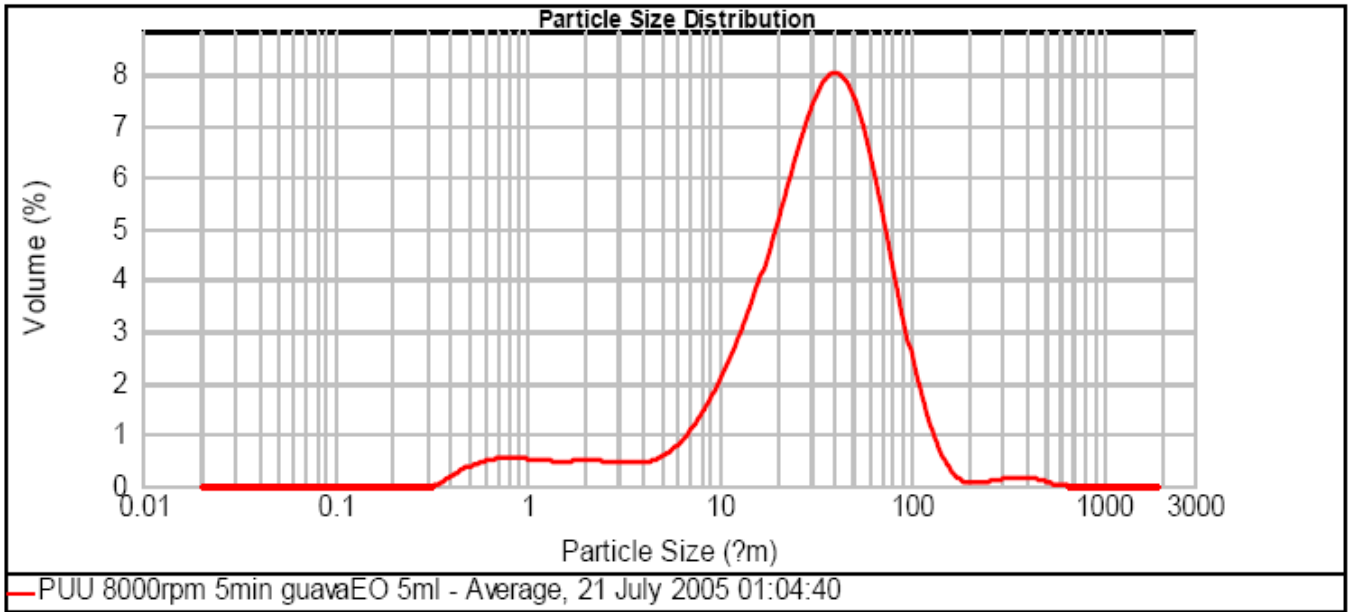


รูปที่ ข.12 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 10 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 10 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0135 %Vol	2.169	0.728	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.628 m²/g	9.560 um	41.195 um

d(0.1): 7.410 um d(0.5): 33.085 um d(0.9): 79.181 um

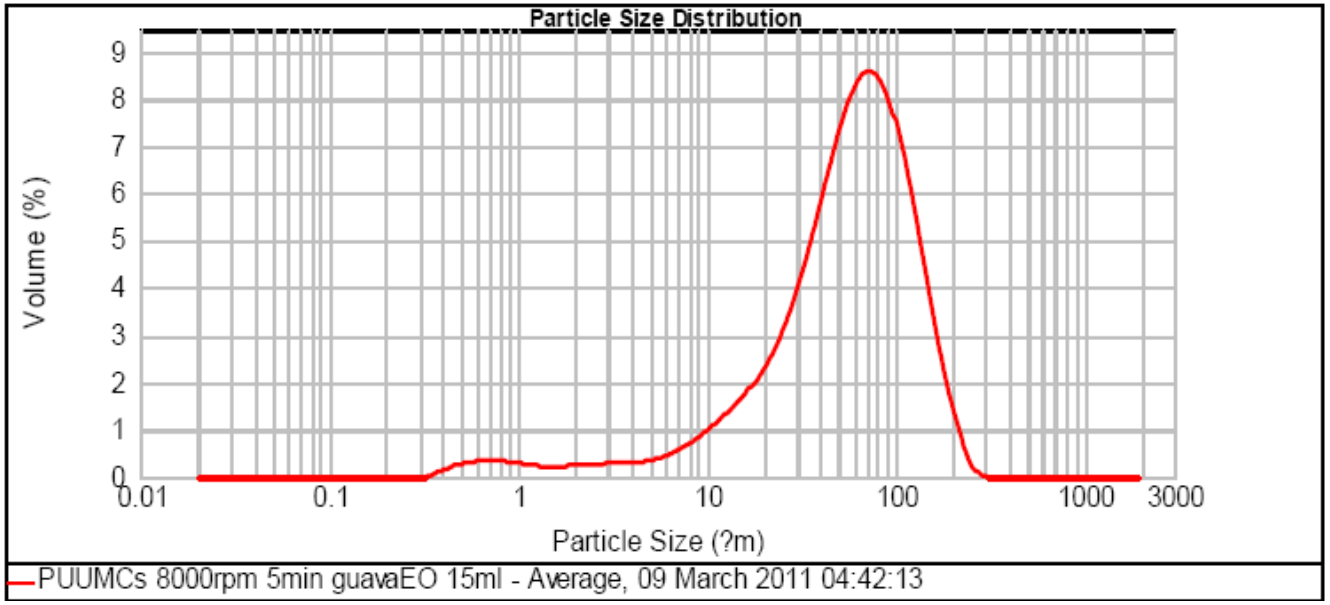


รูปที่ ข.13 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0208 %Vol	1.988	0.611	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.409 m²/g	14.687 um	67.202 um

d(0.1): 13.716 um **d(0.5):** 59.061 um **d(0.9):** 131.123 um

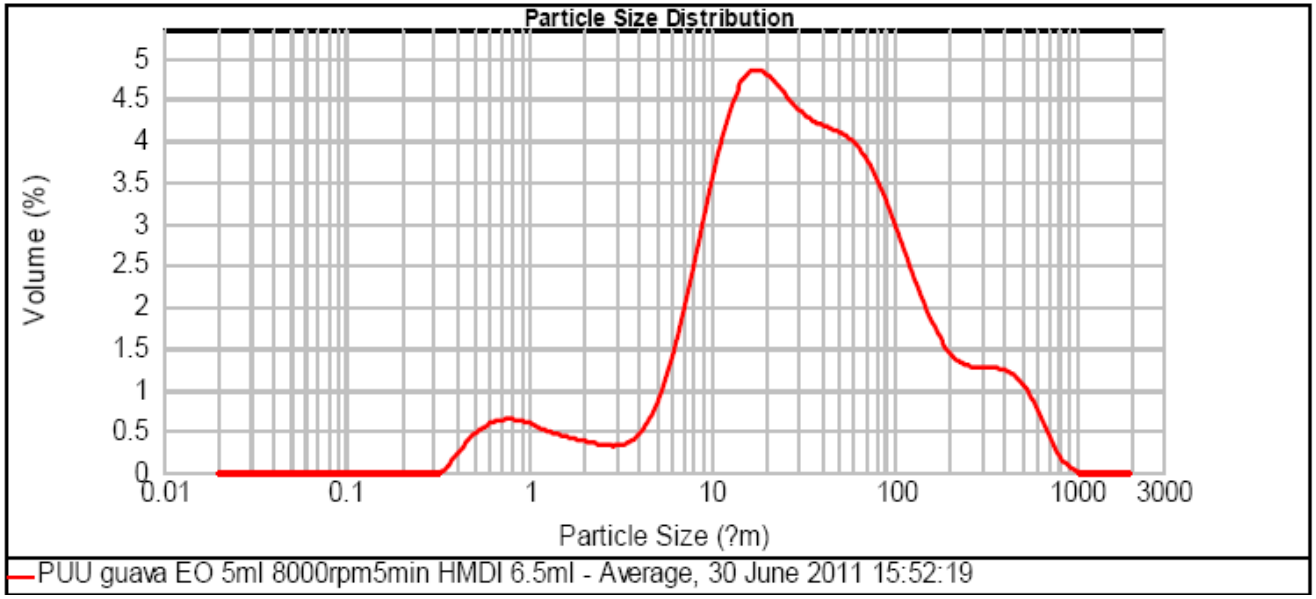


รูปที่ ข.14 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 15 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 7.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0037 %Vol	6.236	2.04	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.69 m²/g	8.693 um	75.651 um

d(0.1): 6.508 um **d(0.5):** 30.294 um **d(0.9):** 195.429 um

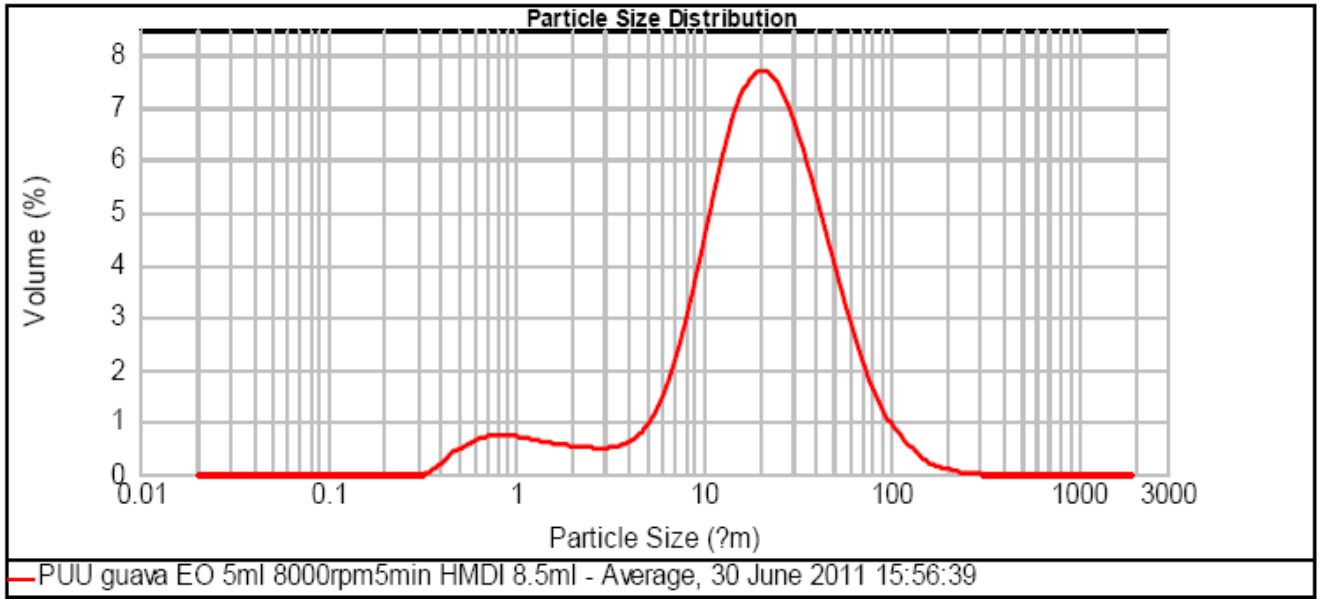


รูปที่ ข.15 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 6.5 มิลลิลิตร

Concentration:	Span :	Uniformity:	Result units:
0.0033 %Vol	2.489	0.791	Volume

Specific Surface Area:	Surface Weighted Mean D[3,2]:	Vol. Weighted Mean D[4,3]:
0.829 m²/g	7.240 um	26.747 um

d(0.1): 5.021 um d(0.5): 20.128 um d(0.9): 55.115 um



รูปที่ ข.16 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ และการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบ 8000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 5 มิลลิลิตร และปริมาณสารไอโซไซยาเนต 8.5 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ค

การทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน และวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA)

ตารางที่ ค.1 เสถียรภาพทางความร้อน และปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจากไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทนและของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

Time (min)	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 120°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 120°C	
	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)
0.60	100.00	0.00	100.00	0.00	-	-	-	-
1.20	99.91	5.34	99.92	4.47	-	-	-	-
1.80	99.85	9.02	99.87	7.43	-	-	-	-
2.40	99.79	12.36	99.82	10.47	98.82	0.00	99.27	0.00
3.00	99.75	14.92	99.78	12.48	97.80	13.31	98.57	10.50
3.60	99.70	17.48	99.74	14.94	96.88	25.29	97.88	20.80
4.20	99.66	19.89	99.71	16.94	96.29	32.93	97.44	27.29
4.80	99.63	21.38	99.68	18.47	95.93	37.55	97.20	30.95
5.40	99.60	23.24	99.65	20.26	95.67	40.91	97.02	33.56
6.00	99.56	25.42	99.62	21.97	95.45	43.65	96.88	35.64
6.60	99.54	26.57	99.60	23.20	95.26	46.07	96.76	37.51
7.20	99.51	28.23	99.57	24.68	95.09	48.29	96.64	39.25
7.80	99.48	29.83	99.54	26.49	94.94	50.26	96.53	40.83

Time (min)	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 120°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 120°C	
	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)
8.40	99.45	31.41	99.52	27.87	94.80	52.06	96.44	42.29
9.00	99.43	32.55	99.50	29.14	94.66	53.83	96.34	43.76
9.60	99.41	33.53	99.48	30.26	94.54	55.37	96.25	45.08
10.20	99.39	35.09	99.45	31.78	94.42	56.96	96.16	46.48
10.80	99.36	36.52	99.43	33.10	94.31	58.29	96.08	47.68
11.40	99.34	37.69	99.40	34.48	94.20	59.71	95.99	48.97
12.00	99.32	38.72	99.39	35.42	94.10	61.02	95.91	50.20
12.60	99.29	40.48	99.36	37.04	94.01	62.19	95.83	51.30
13.20	99.28	41.13	99.34	37.85	93.92	63.34	95.76	52.42
13.80	99.26	42.27	99.32	39.11	93.84	64.42	95.69	53.51
14.40	99.24	43.68	99.30	40.35	93.76	65.45	95.62	54.53
15.00	99.21	44.89	99.28	41.48	93.68	66.47	95.55	55.58
15.60	99.20	45.91	99.26	42.66	93.60	67.50	95.48	56.66
16.20	99.19	46.52	99.25	43.41	93.54	68.35	95.41	57.58
16.80	99.17	47.68	99.23	44.49	93.47	69.31	95.34	58.62
17.40	99.15	48.83	99.21	45.76	93.41	70.12	95.28	59.50
18.00	99.13	49.59	99.19	46.84	93.34	71.00	95.22	60.50
18.60	99.12	50.18	99.18	47.69	93.28	71.74	95.16	61.31
19.20	99.10	51.24	99.16	48.60	93.22	72.60	95.10	62.30
19.80	99.09	52.23	99.14	49.53	93.17	73.28	95.04	63.10
20.40	99.07	53.28	99.12	50.71	93.11	74.05	94.99	63.98
21.00	99.06	54.19	99.11	51.70	93.06	74.72	94.93	64.80

Time (min)	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 120°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 120°C	
	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)
21.60	99.04	55.38	99.09	52.82	93.01	75.38	94.88	65.60
22.20	99.02	56.29	99.07	53.76	92.96	76.09	94.82	66.45
22.80	99.00	57.09	99.05	54.94	92.91	76.70	94.77	67.16
23.40	98.99	58.16	99.04	55.84	92.86	77.41	94.71	68.03
24.00	98.98	58.55	99.03	56.34	92.82	77.96	94.67	68.72
24.60	98.96	59.52	99.01	57.42	92.77	78.64	94.61	69.53
25.20	98.95	60.58	98.99	58.54	92.73	79.18	94.57	70.26
25.80	98.93	61.27	98.97	59.37	92.69	79.74	94.52	70.99
26.40	98.92	62.27	98.96	60.43	92.64	80.34	94.47	71.73
27.00	98.90	63.27	98.94	61.39	92.61	80.78	94.42	72.39
27.60	98.89	64.19	98.92	62.33	92.56	81.46	94.37	73.18
28.20	98.87	64.82	98.91	62.87	92.52	81.91	94.33	73.80
28.80	98.86	65.39	98.90	63.89	92.49	82.41	94.28	74.46
29.40	98.85	66.19	98.88	64.60	92.45	82.98	94.24	75.17
30.00	98.84	67.03	98.86	65.78	92.41	83.41	94.20	75.78
30.60	98.82	68.22	98.85	66.54	92.38	83.83	94.16	76.37
31.20	98.81	68.86	98.83	67.64	92.34	84.38	94.11	77.11
31.80	98.79	69.55	98.82	68.26	92.31	84.83	94.07	77.70
32.40	98.79	69.86	98.81	68.76	92.27	85.31	94.02	78.36
33.00	98.77	70.79	98.80	69.67	92.24	85.78	93.98	78.99
33.60	98.76	71.80	98.78	70.66	92.21	86.17	93.94	79.57
34.20	98.74	72.80	98.77	71.51	92.18	86.56	93.91	80.10

Time (min)	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 120°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 120°C	
	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)
34.80	98.73	73.35	98.75	72.49	92.14	87.10	93.86	80.79
35.40	98.73	73.62	98.74	72.85	92.12	87.46	93.83	81.34
36.00	98.71	74.63	98.73	73.80	92.09	87.84	93.79	81.88
36.60	98.70	75.37	98.71	74.51	92.06	88.29	93.75	82.51
37.20	98.68	76.29	98.70	75.56	92.03	88.70	93.71	83.10
37.80	98.67	77.06	98.68	76.34	92.00	89.03	93.67	83.62
38.40	98.66	77.26	98.68	76.80	91.98	89.38	93.64	84.11
39.00	98.65	78.06	98.66	77.53	91.94	89.91	93.59	84.79
39.60	98.64	78.95	98.65	78.40	91.91	90.26	93.56	85.30
40.20	98.63	79.71	98.63	79.27	91.89	90.54	93.53	85.78
40.80	98.61	80.50	98.62	80.26	91.87	90.84	93.50	86.27
41.40	98.60	81.21	98.60	80.94	91.84	91.21	93.46	86.76
42.00	98.59	82.02	98.59	81.82	91.81	91.70	93.42	87.39
42.60	98.58	82.29	98.58	82.24	91.79	91.98	93.39	87.85
43.20	98.57	82.89	98.57	82.92	91.76	92.29	93.36	88.33
43.80	98.56	83.76	98.55	84.02	91.73	92.72	93.32	88.91
44.40	98.54	84.71	98.54	84.68	91.71	93.04	93.28	89.42
45.00	98.53	85.35	98.53	85.41	91.69	93.35	93.26	89.86
45.60	98.53	85.33	98.52	85.96	91.67	93.62	93.22	90.34
46.20	98.51	86.27	98.51	86.70	91.64	93.95	93.19	90.78
46.80	98.50	87.19	98.49	87.51	91.62	94.35	93.16	91.36
47.40	98.49	87.88	98.48	88.37	91.59	94.67	93.13	91.81

Time (min)	ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 37°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ 120°C		ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน ที่ 120°C	
	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)	Weight (%)	Oil release content (%)
48.00	98.48	88.28	98.47	88.74	91.57	94.96	93.09	92.27
48.60	98.47	88.77	98.46	89.52	91.55	95.22	93.07	92.69
49.20	98.46	89.54	98.44	90.40	91.53	95.56	93.03	93.21
49.80	98.44	90.65	98.43	91.24	91.50	95.93	93.00	93.68
50.40	98.44	90.73	98.42	91.41	91.48	96.19	92.97	94.15
51.00	98.43	91.23	98.41	92.46	91.46	96.45	92.94	94.56
51.60	98.42	91.92	98.40	93.14	91.45	96.50	92.91	94.63
52.20	98.40	93.01	98.38	93.80	91.44	96.63	92.89	94.74
52.80	98.40	93.14	98.38	94.29	91.43	96.70	92.86	94.97
53.40	98.39	93.60	98.36	95.04	91.42	96.98	92.84	95.37
54.00	98.38	94.41	98.35	95.82	91.41	97.21	92.82	95.77
54.60	98.36	95.31	98.33	96.72	91.38	97.53	92.80	96.23
55.20	98.36	95.41	98.33	96.89	91.36	97.89	92.79	96.77
55.80	98.35	96.24	98.32	97.57	91.34	98.21	92.77	97.15
56.40	98.34	96.80	98.30	98.56	91.32	98.39	92.74	97.54
57.00	98.33	97.27	98.29	99.07	91.30	98.64	92.72	97.93
57.60	98.32	97.80	98.29	99.47	91.28	98.93	92.69	98.33
58.20	98.31	98.81	98.27	100.32	91.27	99.13	92.67	98.70
58.80	98.30	99.50	98.26	101.14	91.25	99.38	92.64	99.14
59.40	98.30	99.39	98.25	101.58	91.22	99.79	92.60	99.64
60.00	98.29	100.00	98.24	102.16	91.21	100.00	92.58	100.00

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวบุศรัญญา มั่นช้อย เกิดเมื่อวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2551 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้น ปีการศึกษา 2554

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

B. Manchoi and S. Charuchinda. Preparation and Characterization of Guava Leaf Essential Oil/ Polyurethane-Urea Microcapsules. PACCON 2011 (Pure and Applied Chemistry International Conference 2011), Bangkok, Thailand, 2011.

B. Manchoi and S. Charuchinda. Guava Leaf Essential Oil /Polyurethane-urea Microcapsules: Morphology and Thermal Behavior. The 5th Asia-Europe Symposium on Processing and Properties of Reinforced Polymers, Dresden, Germany, 2011.