

การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต
และน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

นางสาวฐิษานีย์ เจียมรุ่งรักษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF GALANGAL ESSENTIAL OIL/ALGINATE AND
GALANGAL ESSENTIAL OIL/POLYTURETHANE-UREA MICROCAPSULE

Miss Thichanee Jiamrungraksa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

ฐิษาณียั เจียมรุ่งรักษา : การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินเตและน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.(PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF GALANGAL ESSENTIAL OIL/ALGINATE AND GALANGAL ESSENTIAL OIL/POLYTURETHANE-UREA MICROCAPSULE) อ.ที่ปรีษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา, 154 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่าด้วยวิธีเตรียม 2 วิธี ได้แก่ วิธี Orifice โดยใช้แอลจินเตเป็นสารห่อหุ้ม และวิธี Interfacial polymerization โดยใช้พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม จากนั้นนำมาวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินเตซึ่งเตรียมโดยวิธี Orifice มีลักษณะอนุภาคเริ่มเป็นเม็ดกลมแบบมีวัสดุแกนหลายอนุภาคอยู่ภายในไมโครแคปซูล (multi-nucleus spherical microcapsule) เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตตั้งแต่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และมีขนาดใหญ่อันประมาณ 700 – 1000 ไมโครเมตร รวมทั้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูลสูงที่สุดคือ ร้อยละ 40.8 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตและเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่ใช้ โดยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยข่าร้อยละ 60 ของน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูล สำหรับไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียซึ่งเตรียมโดยวิธี Interfacial polymerization มีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดกลมแบบมีวัสดุแกนหลายอนุภาคอยู่ภายในไมโครแคปซูล พื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีขนาดเล็กลงเมื่อความเร็วรอบในการกวนผสมเพิ่มขึ้นแต่เวลาในการกวนผสมลดลง ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาทีขึ้นไปให้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็กประมาณ 10.0 ไมโครเมตร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไปมากกว่า 10 มิลลิลิตร ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบ เวลาในการกวนผสมและน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบในการกวนผสม 5000 รอบต่อนาทีขึ้นไปให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูลประมาณร้อยละ 15 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไปจาก 10 มิลลิลิตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะให้ไมโครแคปซูลที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูลมากขึ้นถึงร้อยละ 52 โดยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยข่าร้อยละ 20 ของน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูล โดยไมโครแคปซูลจะมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยข่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดเวลาในการกวนผสม และเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธี Interfacial polymerization มีขนาดเล็กและอยู่ในรูปที่เหมาะสมและง่ายสำหรับนำไปตกแต่งสิ่งทอมากกว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินเตที่เตรียมด้วยวิธี Orifice

ภาควิชา วัสดุศาสตร์.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ.....
ปีการศึกษา 2553.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

##5172273323: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : GALANGAL ESSENTIAL OIL / ALGINATE / POLYURETHANE-UREA /
ORIFICE METHOD / INTERFACIAL POLYMERIZATION

THICHANEE JIAMRUNGRAKSA : PREPARATION AND CHARACTERIZATION
OF GALANGAL ESSENTIAL OIL/ALGINATE AND GALANGAL ESSENTIAL
OIL/POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULE. ADVISOR : ASST. PROF.
SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D, 154 pp.

Galangal essential oil microcapsules were prepared by 2 methods. The first was orifice method using alginate as shell of microcapsule and the second was interfacial polymerization using polyurethane-urea as shell of microcapsule. The physical properties, thermal properties and chemical structure of the microcapsules were investigated. It was found that galangal essential oil/alginate microcapsule tended to form multi-nucleus spherical microcapsule when more than 2% (w/v) of sodium alginate solution was used. An increase of sodium alginate concentration and oil content resulted in significantly higher average size of the microcapsules ranging from 700 to 1000 μm . In addition, maximum oil content in the microcapsules was 40.8% and oil release content at 37°C for 1 hour was 60%. In case of galangal essential oil/polyurethane-urea microcapsule, multi-nucleus spherical structure and smooth surface was obtained. The increase of stirring rate and decrease stirring time resulted in smaller average size of the microcapsules. Size of microcapsule about 10 μm was unchanged when stirring rate was higher than 4000 rpm. However, an increase of oil content more than 10 ml into the mixture resulted in the increase of microcapsule's size. Stirring rate, stirring time and oil content affected to increase oil loading capacity in microcapsules. A high stirring rate (more than 5000 rpm) of the mixture with 10 ml oil content led to only 15% oil loading capacity, whereas, the increase of oil content from 10 ml to 50 ml led to 52% oil loading capacity. Oil release content at 37°C for 1 hour was about 20% when lower mixing time was applied, but higher when oil content was increased. Finally, galangal essential oil/polyurethane-urea microcapsule was more appropriate for textile finishing as antimicrobial textile than galangal essential oil/alginate microcapsule due to its smaller particle size.

Department : Materials Science..... Student's Signature

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology..... Advisor's Signature

Academic Year : 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านต่างๆ เป็นอย่างนี้ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังรายนามต่อไปนี้

1. ผศ. ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีเยี่ยมในการแก้ไขปัญหา แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

2. ผศ. ดร.ศิริพันธ์ว์ เจียมศิริเลิศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ ผศ. ดร. อรุณทัย ภิญญาคง และ รศ. ดร. นันทยา ยานูเมศ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิจัย

4. Center for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials, Chulalongkorn University ที่ให้ทุนการศึกษาและทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

5. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สิ่งทอที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial textiles).....	4
2.2 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (Antimicrobial agents for textiles).....	4
2.2.1 การเลือกสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ.....	5
2.2.2 กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ.....	5
2.2.3 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบัน.....	7
2.3 ข่า (Galangal).....	8
2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	8
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	9
2.3.3ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดสอบทางคลินิก.....	13
2.3.3.1 ฤทธิ์ต้านเชื้อรา (Antifungal activities).....	13
2.3.3.2 ฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activities).....	13
2.3.3.3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidation activities).....	14
2.3.3.4 ฤทธิ์ลดการอักเสบ.....	14

บทที่	หน้า
2.3.3.5	14
2.3.3.6	14
2.3.3.7	14
2.3.3.8	14
2.4	15
2.4.1	15
2.4.2	16
2.4.3	17
2.4.3.1	17
2.4.3.2	18
2.4.3.3	18
2.5	19
2.5.1	19
2.5.1.1	20
2.5.1.2	21
2.5.2	22
2.5.3	23
2.5.3.1	24
2.5.3.2	25
2.5.3.3	26
2.5.3.4	27
2.5.3.5	27
2.5.3.6	28
2.5.3.7	29
2.5.4	30
2.5.4.1	30
2.5.4.2	31

บทที่	หน้า
2.5.4.3 ไมโครแคปซูลของสารบำรุงผิว.....	32
2.5.4.4 ไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์ และสารระงับกลิ่น.....	32
2.5.4.5 ไมโครแคปซูลของสารต้านแมลง.....	32
2.5.4.6 ไมโครแคปซูลของสารหน่วงไฟ.....	33
2.6 แอลจีเนต (Alginate).....	33
2.6.1 โครงสร้างทางเคมี.....	34
2.6.2 สมบัติทางเคมี.....	36
2.6.3 สมบัติทางกายภาพ.....	37
2.7 พอลิยูรีเทน (Polyurethane).....	38
2.7.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	38
2.7.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล.....	39
2.7.3 สมบัติทางความร้อน.....	42
2.7.4 สมบัติทางเคมี.....	43
2.7.5 สมบัติทางชีวภาพ.....	43
2.7.6 พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea).....	44
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
3. วิธีการทดลอง.....	49
3.1 ขอบเขตการทดลอง.....	49
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	49
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	50
3.4 การดำเนินการวิจัย.....	51
3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า.....	51
3.4.1.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจีเนตด้วยวิธี Orifice โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตและ ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่อัตราส่วนต่างๆ.....	52
3.4.1.2 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยวิธี Interfacial polymerization โดยใช้ความเร็วรอบในการผสม เวลาในการผสม ชนิดของสาร Protective colloid และปริมาณน้ำมัน หอมระเหยซ่าที่อัตราส่วนต่างๆ.....	54

บทที่	หน้า
3.4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา.....	55
3.4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR...	55
3.4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค OM และ SEM.....	56
3.4.2.3 การวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค LPSDA และ OM	57
3.4.2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA	57
3.4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุในไมโครแคปซูลด้วย IMDBและเทคนิค TGA.....	58
3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาจากไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA.....	59
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	60
4.1 สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต.....	60
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตด้วยเทคนิค FTIR.....	60
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตด้วยเทคนิค OM.....	61
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตด้วย IMDB.....	67
4.1.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนและการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียสด้วยเทคนิค TGA.....	69
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	71
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค FTIR.....	71
4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วย SEM และ LPSDA.....	72
4.2.2.1 ผลของความเร็วรอบในการกวาดผสม.....	75

บทที่	หน้า
4.2.2.2 ผลของเวลาในการกวนผสม.....	71
4.2.2.3 ผลของชนิดของสาร Protective colloid.....	77
4.2.2.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใช้.....	79
4.2.3 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.	82
4.2.4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า / พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	83
4.2.4.1 ผลของความเร็วยกขึ้นในการกวนผสม.....	83
4.2.4.2 ผลของเวลาในการกวนผสม.....	85
4.2.4.3 ผลของชนิดของสาร Protective colloid.....	86
4.2.4.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่ใช้.....	87
4.2.5 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส.....	88
4.2.5.1 ผลของความเร็วยกขึ้นในการกวนผสม.....	88
4.2.5.2 ผลของเวลาในการกวนผสม.....	90
4.2.5.3 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่ใช้.....	91
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	102
ภาคผนวก ค.....	124
ภาคผนวก ง.....	138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	154

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในข่า.....	9
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างของสารหอม.....	21
ตารางที่ 2.3	การเตรียมไมโครแคปซูล.....	23
ตารางที่ 2.4	ลักษณะของสารแทนที่เหมาะสมและขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ ด้วยวิธีต่างๆ.....	24
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนึ่งห่มและสรรพคุณ.....	31
ตารางที่ 2.6	ปริมาณของแอลจินेटในสหายชนิดต่างๆ.....	33
ตารางที่ 2.7	ความว่องไวของไอโซไซยานตในการเกิดปฏิกิริยากับ methoxyethanol..	39
ตารางที่ 2.8	แรงระหว่างโมเลกุลของหมู่ฟังก์ชันในพอลิยูรีเทน.....	40
ตารางที่ 2.9	ผลของชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน.....	42
ตารางที่ 2.10	การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทน.....	43
ตารางที่ 3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
ตารางที่ 3.2	ส่วนประกอบและปริมาณของสารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	54
ตารางที่ 4.1	หมู่ฟังก์ชันของแอลจินेट น้ำมันหอมระเหยข่า และไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยข่า/แอลจินेट	61
ตารางที่ 4.2	สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินेट	63
ตารางที่ 4.3	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/ แอลจินेट.....	67
ตารางที่ 4.4	หมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทน-ยูเรียม้ำมันหอมระเหยข่าและไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	72
ตารางที่ 4.5	สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที)..	73

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.6	<p>สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการ กวนผสม 4000 รอบ/นาที).....</p>	76
ตารางที่ 4.7	<p>สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ Protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการ ผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที).....</p>	78
ตารางที่ 4.8	<p>สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าต่างๆกัน (ความเร็วรอบ ในการกวนผสม 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที).....</p>	80
ตารางที่ 4.9	<p>ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน (เวลาในการ กวนผสม 3 นาที).....</p>	84
ตารางที่ 4.10	<p>ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน (ความเร็วรอบ 4000 รอบ/ นาที).....</p>	85
ตารางที่ 4.11	<p>ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการ กวนผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....</p>	86
ตารางที่ 4.12	<p>ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้น้ำมันหอมระเหยซ่าปริมาณต่างๆกัน (ความเร็วรอบ ในการกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....</p>	87

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ ก) คือ การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย ข) คือ การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย ค) คือ การทำงานของสารที่เกิดจากการปลดปล่อยสารจากโครงสร้างภายในของเส้นใย.....	6
รูปที่ 2.2	ลักษณะของต้นข้าว.....	8
รูปที่ 2.3	เหง้าข้าว.....	8
รูปที่ 2.4	วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย.....	17
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	20
รูปที่ 2.6	ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูลเลชันโดยใช้เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation).....	25
รูปที่ 2.7	การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอร์ไรเซชัน.....	26
รูปที่ 2.8	เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการ Wurster process.....	27
รูปที่ 2.9	หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการเคลือบหรือห่อหุ้ม.....	28
รูปที่ 2.10	การทำเอนแคปซูลเลชันโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นละออง.....	29
รูปที่ 2.11	รูเปิดลักษณะต่างๆของกระบวนการออริฟิซ	29
รูปที่ 2.12	กระบวนการผลิตโซเดียมแอลจีเนต.....	34
รูปที่ 2.13	สูตรโครงสร้างของ D-Mannuronic acid และ L-Guluronic acid.....	34
รูปที่ 2.14	บล็อกรูปร่างของ β - (1, 4)-D-Mannuronic acid.....	35
รูปที่ 2.15	บล็อกรูปร่างของ α - (1, 4)-L-Guluronic acid.....	35
รูปที่ 2.16	โมเลกุลของแอลจีเนตแสดงการเรียงตัวแบบผสมกันระหว่าง Mannuronate และ Guluronate.....	36
รูปที่ 2.17	การเกิดเจลของแคลเซียมแอลจีเนตแบบ Egg-box model.....	37
รูปที่ 2.18	การผลิตพอลิเมอร์ในปี 1990.....	38
รูปที่ 2.19	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	38
รูปที่ 2.20	โครงสร้างของพอลิยูรีเทน.....	40
รูปที่ 2.21	โครงสร้างโมเลกุลเมื่อรับแรงดึงที่ 200% Elongation (ซ้าย) 500% (ขวา).	41

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.22	ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	44
รูปที่ 2.23	โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	44
รูปที่ 3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	51
รูปที่ 3.2	การเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธี Orifice.....	52
รูปที่ 3.3	แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหย ซ่า/แอลจินेटโดยวิธี Orifice.....	53
รูปที่ 3.4	ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจินेटที่เตรียมได้โดยวิธี Orifice....	53
รูปที่ 3.5	แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยวิธี Interfacial polymerization.....	55
รูปที่ 3.6	เครื่อง FTIR ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยซ่า เม็ดแอลจินेटและเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	56
รูปที่ 3.7	เครื่อง OM (ซ้าย) และ SEM (ขวา) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา ของไมโครแคปซูล.....	56
รูปที่ 3.8	เครื่อง LPSDA ที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูล.....	57
รูปที่ 3.9	เครื่อง TGA ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน.....	58
รูปที่ 3.10	เครื่องวัดปริมาณความชื้น (IMDB) ที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำมันหอม ระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูล.....	59
รูปที่ 4.1	FTIR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยซ่า แอลจินेट และไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจินेट	60
รูปที่ 4.2	ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจินेट (1% (w/v) โซเดียมแอลจินेट) ก) ขณะเปียก (x100) ข) ขณะแห้ง (x100).....	62
รูปที่ 4.3	ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจินेट (3% (w/v) โซเดียมแอลจินेट) ก) ขณะเปียก (x100) ข) ขณะแห้ง (x100).....	62
รูปที่ 4.4	ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจินेट.....	66
รูปที่ 4.5	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ แอลจินेट.....	68

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.6	พื้นผิวที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (X1000) และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชา ก) 0 มิลลิลิตร (แอลจีเนต) ข) 1 มิลลิลิตร ค) 3 มิลลิลิตร ง) 5 มิลลิลิตร.....	69
รูปที่ 4.7	เสถียรภาพทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยชาที่ 120 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต ที่ 37 และ 120 องศาเซลเซียส.....	70
รูปที่ 4.8	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส.....	70
รูปที่ 4.9	FTIR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชา พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	71
รูปที่ 4.10	ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	75
รูปที่ 4.11	ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที).....	77
รูปที่ 4.12	ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ Protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	79
รูปที่ 4.13	ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	81
รูปที่ 4.14	ผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบต่อนาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที ก) กำลังขยาย 10,000 เท่า ข) กำลังขยาย 20,000 เท่า.....	81
รูปที่ 4.15	สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียน้ำมันหอมระเหยชาและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	83

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.16	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำบรจในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม ต่างๆกัน (เวลาใน การกวนผสม 3 นาที).....	84
รูปที่ 4.17	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำบรจในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน (ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที).....	86
รูปที่ 4.18	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำบรจในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ Protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการ กวนผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	87
รูปที่ 4.19	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำบรจในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่างๆกัน (ความเร็วรอบใน การกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	88
รูปที่ 4.20	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ / พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ใช้ความเร็วรอบในการ กวนผสมต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	89
รูปที่ 4.21	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ใช้ความเร็วรอบในการ กวนผสมต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที).....	89
รูปที่ 4.22	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ใช้เวลาในการกวนผสม ต่างๆกัน.....	90
รูปที่ 4.23	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ใช้เวลาในการกวนผสม ต่างๆกัน.....	91
รูปที่ 4.24	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ใช้ปริมาณน้ำมันหอม ระเหยต่างๆกัน.....	92

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.25	การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ใช้ปริมาณน้ำมันหอม ระเหยต่างๆกัน.....	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติเฉพาะทางเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้รับความสนใจมากขึ้น อีกทั้งผู้บริโภคได้หันมาให้ความสำคัญกับสุขอนามัยเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สามารถต้านจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น โดยสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสิ่งทอเพื่อเพิ่มสมบัติต้าน จุลินทรีย์มีหลายชนิดซึ่งมักจะเป็นสารที่ได้จากโลหะและสารสังเคราะห์ที่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคทั้งจากกระบวนการผลิตและจากการใช้งาน ทำให้มีความสนใจที่จะใช้สารจากธรรมชาติที่สกัดได้จากพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์มาทดแทนโลหะและสารสังเคราะห์ พืชสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์มีมากมายได้แก่ ขมิ้น ข่า ชิง กระชาย เหวหอม และมะขามป้อม ซึ่งพบว่าข่ามีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์มากที่สุด แต่ส่วนใหญ่มักนิยมนำไปใช้งานทางการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรมการถนอมอาหาร สำหรับการนำไปใช้งานด้านสิ่งทอยังมีน้อยมากแต่ก็ได้เริ่มมีงานวิจัยที่นำน้ำมันหอมระเหยข่าไปใช้ตกแต่งต้านจุลินทรีย์บนผ้าฝ้ายโดยตรง และพบว่าทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ที่ดี อย่างไรก็ตามหลังจากนำไปใช้งานแล้วผ้าฝ้ายกลับมีสมบัติต้านจุลินทรีย์ลดลง [1] ดังนั้นเพื่อให้ น้ำมันหอมระเหยข่ามีความคงทน ไม่ถูกทำลายจากภาวะการใช้งานและไม่ปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ออกมาตลอดเวลา งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะเตรียมน้ำมันหอมระเหยข่าให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลโดยน้ำมันหอมระเหยข่าจะถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล เพื่อเพิ่มความคงทนของน้ำมันหอมระเหยข่า ไม่ให้ถูกทำลายจากภาวะการใช้งานและไม่ปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ตลอดเวลา

โดยทั่วไปสารห่อหุ้มที่ใช้ อาจเป็นสารพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน เจลาติน เพกติน และไฮเดียมแอลจีเนต ไฮเดียมแอลจีเนตที่เป็นสารธรรมชาติจากสาหร่ายสีน้ำตาล มีสมบัติเข้ากับร่างกายได้ดี ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถเกิดเจลและขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ง่าย โดยไฮเดียมแอลจีเนตละลายน้ำได้และสามารถเกิดโครงสร้างร่างแหกับแคลเซียมคลอไรด์ได้จากปฏิกิริยา ionic gelation ซึ่งจะได้อนุภาคของแคลเซียมแอลจีเนตซึ่งไม่ละลายน้ำ มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดอนุภาคของแอลจีเนตตั้งแต่อนุภาคขนาด 100 นาโนเมตรถึง 2 มิลลิเมตรเพื่อนำไปใช้เป็นสารนำส่งยา [2] พบว่าวิธีการห่อหุ้มสารสำคัญด้วยแอลจีเนตหรือเรียกว่าวิธีเอนแคปซูลเลชันที่เหมาะสมคือกระบวนการ Orifice เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือง่ายๆ เช่น tube หรือ nozzle ซึ่งอิมัลชันของสารแกนที่อยู่ในสารละลายของสารไฮเดียมแอลจีเนตถูกหยดผ่านปลาย tube แล้วเกิดเป็นเม็ดทรงกลมขึ้นขณะหยดผ่านอากาศ หลังจากนั้นไมโครแคปซูลจะแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับสารละลายแคลเซียม

คลอไรด์ [3] หรืออาจเตรียมสารหล่อหุ้มจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เอทิลเซลลูโลส และซีฟิ่งสังเคราะห์ ที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารแกน ไม่เป็นพิษหรือระคายเคืองเมื่อสัมผัสกับร่างกายและตัวทำละลายที่จำเป็นต้องใช้ต้องไม่ทำให้เกิดผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการ ซึ่งพอลิยูรีเทน-ยูเรียซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีสมบัติทางกายภาพที่ดี ขณะเป็นฟิล์มจะมีสมบัติยอมให้สารซึมผ่านได้ (permeability) และมีความเข้ากันได้ดีกับร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น สารเคลือบ สารยึดติด อีลาสโตเมอร์ (elastomer) และการนำมาใช้เป็นสารนำส่งยา ซึ่งวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลที่เหมาะสมกับพอลิยูรีเทน-ยูเรีย คือการทำ Interfacial polymerization ของ ไดไอโซไซยานาตกับไดออลได้เป็นพอลิยูรีเทนและไอโซไซยานาตกับไดเอมีนได้เป็นพอลิยูเรีย ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้สารหล่อหุ้มเกิดรูพรุนไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จึงมีสมบัติยอมให้สารแกนซึมผ่านสู่สิ่งแวดล้อมได้ [4] จากที่กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะเตรียมไมโครแคปซูลโดยมีน้ำมันหอมระเหยเข้าเป็นสารแกน แอลจินเตและพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารหล่อหุ้ม แล้วนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของน้ำมันหอมระเหยเข้าและโซเดียมแอลจินเตในการเตรียมไมโครแคปซูลที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้
2. ศึกษาภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของน้ำมันหอมระเหยเข้าและพอลิยูรีเทน-ยูเรียในการเตรียมไมโครแคปซูลที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ ทางความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือ การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยเข้าทางการค้าหุ้มด้วย

- 1) แอลจินเตด้วยวิธี Orifice และ 2) พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยวิธี Interfacial polymerization เท่านั้น และวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ไม่ใคร่แคบชุดของน้ำมันหอมระเหยชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สิ่งทอที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial textiles)

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ใช้ในการทำกิจกรรมที่ต้องการความคล่องตัวสูงและทำให้เกิดเหงื่อ เช่น ชุดกีฬา ชุดทำงาน และชุดลำลองมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนด้วยเชื้อจุลินทรีย์และทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ง่าย ทำให้ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ได้เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งสิ่งทอที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ยังสามารถลดจำนวนครั้งในการซักล้างลงซึ่งเป็นการลดปัญหามลภาวะที่ทำให้ภาวะโลกร้อนรุนแรงมากขึ้นได้ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีสารตกแต่งต้านจุลินทรีย์ชนิดใดที่มีประสิทธิภาพครอบคลุมทุกการใช้งานของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ แต่สารต้านจุลินทรีย์บางชนิดได้ถูกพัฒนาขึ้นให้มีประสิทธิภาพและมีความคงทนต่อการใช้งานจนเป็นที่ยอมรับในหมู่ผู้บริโภค เช่น สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้กับเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม และสิ่งทอที่ใช้ทำรองเท้า เป็นต้น [5]

2.2 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (Antimicrobial agents for textiles)

สารต้านจุลินทรีย์ คือ สารที่สามารถฆ่าหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เกิดการเจริญหรือแพร่พันธุ์ออกไป โดยมีกลไกในการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน 5 แบบ ได้แก่

- 1) ยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์
- 2) ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน
- 3) รบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (cytoplasmic membrane)
- 4) ยับยั้งกระบวนการเกิดเมตาบอลิซึม
- 5) ยับยั้งการสังเคราะห์ DNA หรือ RNA [5]

สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอมีการพัฒนาขึ้นมากมายเพื่อนำมาควบคุมจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา และยีสต์ ไม่ให้เจริญ เพื่อประโยชน์การใช้งานต่างๆ ในวงการแพทย์ อุตสาหกรรม หรือในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม สิ่งทอที่ใช้ตกแต่งที่อยู่อาศัย ซึ่งสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอควรจะมีสมบัติที่สำคัญดังนี้ [5]

- 1) มีความคงทนต่อการซัก ล้าง ซักแห้งและการใช้งานหลายๆ ครั้ง
- 2) สามารถยับยั้งและฆ่าจุลินทรีย์ที่ไม่พึงปรารถนาได้
- 3) สามารถใช้ร่วมกับสารตกแต่งสิ่งทอชนิดอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี
- 4) สามารถถ่ายเทความชื้นได้เป็นอย่างดี

- 5) มีความปลอดภัยในการใช้งานและต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย
- 6) ใช้งานได้ง่ายและสะดวก
- 7) ไม่ควรมีผลกระทบต่อสมบัติของสิ่งทอ

2.2.1 การเลือกสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ

สารต้านจุลินทรีย์มีมากมายหลากหลายชนิดเพราะฉะนั้นการเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ควรที่จะเข้าใจถึงความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์เพื่อที่จะเลือกและนำสารต้านจุลินทรีย์มาใช้งานได้เหมาะสมตรงกับความต้องการ ทั้งนี้เพราะการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดประกอบไปด้วย [6]

- 1) ธรรมชาติทางเคมีของสารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารต้านจุลินทรีย์นั้นสามารถสร้างพันธะกับสิ่งทอได้หรือไม่
- 2) รูปแบบการทำงาน หมายถึง สารต้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้โดยกลไกการต้านจุลินทรีย์แบบใด
- 3) ความคงทนต่อการซัก สารต้านจุลินทรีย์ควรจะมี ความคงทนต่อการซักล้างได้หลายๆครั้ง เพื่อรักษาสมบัติต้านจุลินทรีย์ได้คงอยู่บนผลิตภัณฑ์สิ่งทอไว้ได้นาน
- 4) ประสิทธิภาพของการต้านจุลินทรีย์ สารต้านจุลินทรีย์ควรมีประสิทธิภาพในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลากหลายชนิด ทั้งที่เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (Gram positive) เช่น *Staphylococcus aureus* หรือแกรมลบ (Gram negative) เช่น *Klebsiella pneumoniae* เชื้อรา หรือยีสต์
- 5) ความปลอดภัย สารต้านจุลินทรีย์จะต้องไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสารพิษ เช่น สารหนู สารฟอรัมาลดีไฮด์ หรือโลหะหนัก และจะต้องไม่ทำให้เกิดการแพ้หรือเกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้บริโภค
- 6) ราคาของสารต้านจุลินทรีย์ควรอยู่ในระดับที่ยอมรับได้มากนักน้อยเพียงใด

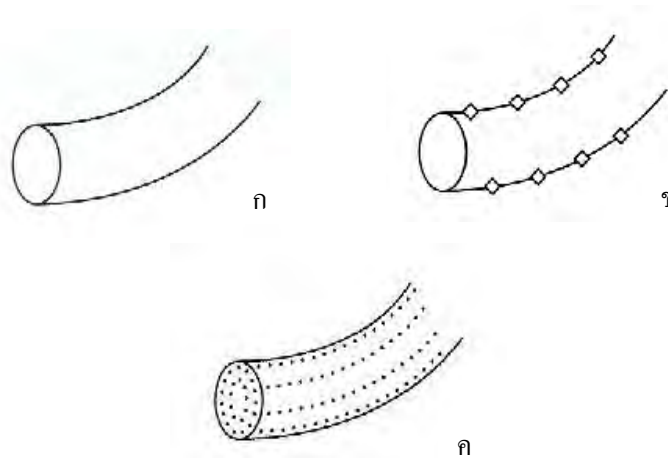
2.2.2 กลไกของการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ

การที่จะเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ได้อย่างเหมาะสม ควรเข้าใจกลไกของการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ ซึ่งกลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกัน ดังนี้

- 1) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์บนพื้นผิวของเส้นใย (surface application) จะเป็นการเคลือบสารต้านจุลินทรีย์ลงบนผิวเส้นใยชนิดต่างๆ ซึ่งการเคลือบอาจจะใช้หรือไม่ใช้พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่ยึดสารต้านจุลินทรีย์ให้ติดกับเส้นใย ซึ่งความคงทนต่อการซักของสารต้านจุลินทรีย์แบบกลไกการทำงานชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้ใกล้กันระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใย ความแข็งแรงของพอลิ

เมอร์ในการยึดติดสารกับพื้นผิวเส้นใย และพันธะไอออนิกที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใยบางชนิด

2) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการสร้างพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างเส้นใย (chemical bonding) ตามทฤษฎีเชื่อว่าการเกิดพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับ เส้นใยจะมีผลทำให้ความคงทนต่อการซักของสารต้านจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้ ต้องการหมู่ที่มีปฏิกิริยาตอบโต้หรือสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใย เพื่อให้เกิดเป็นพันธะทางเคมีขึ้น ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพบนเส้นใยฝ้าย ขนสัตว์ และพอลิเอไมด์



รูปที่ 2.1 กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ ก) การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย ข) การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย ค) การทำงานของสารที่เกิดจากการปลดปล่อยสารจากโครงสร้างภายในของเส้นใย [6]

3) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ออกมาจากภายในโครงสร้างของเส้นใย (internal antimicrobial release) เป็นกลไกที่เลือกใช้สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ การตกแต่งสารต้านจุลินทรีย์เข้าไปภายในเส้นใยสามารถทำได้โดยการใส่สารเข้าไปในขั้นตอนการปั่นเส้นใย หรือให้สารต้านจุลินทรีย์แพร่เข้าไปในเส้นใยโดยมีกลไกเช่นเดียวกับการแพร่เข้าไปในเส้นใยพอลิเอสเตอร์ของสปีดเฟิร์ส ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวนี้ไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติ จึงทำให้มีการดัดแปรแนวความคิดนี้เพื่อนำไปใช้กับเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ โดยการทำไมโครแคปซูล (encapsulation technology) ซึ่งจะสร้างแคปซูลที่ใช้เป็นแหล่งเก็บสารต้านจุลินทรีย์ แล้วดัดแปรผนังแคปซูลให้มีหมู่ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยฝ้ายได้ ทำให้เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ขึ้นระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับผนังแคปซูล ซึ่งแคปซูลที่จะใช้ในกระบวนการนี้ควรมีขนาดเล็กพอสมควรเพื่อจะได้ไม่มี

ผลกระทบต่อผิวสัมผัส นอกจากนี้ความแข็งแรงของแคปซูลต้องมีเพียงพอในระดับหนึ่งเพื่อที่แคปซูลจะสามารถทนต่อแรงกระทำอื่นที่เกิดจากกระบวนการตกแต่งสำเร็จบนผ้า [6]

2.2.3 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบัน

สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด [7] ได้แก่

1) **โลหะและเกลือของโลหะ** (metals and metal salts) โลหะหนักส่วนมากจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ถึงแม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ ทองแดง (copper) สังกะสี (zinc) โคบอลต์ (cobalt) และเงิน (silver) ซึ่งนิยมใช้กับสิ่งทออย่างแพร่หลายในปัจจุบันในรูปของอนุภาคนาโนเงิน (silver nano) โดยเส้นใยสังเคราะห์จะผสมอนุภาคเงินกับพอลิเมอร์ก่อนการฉีดเป็นเส้นใย ระหว่างการใช้งานอนุภาคเงินจะแพร่ออกมาที่ผิวของเส้นใยทำปฏิกิริยากับความชื้นเกิดเป็นไอออนเงินซึ่งสามารถฆ่าและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ สำหรับเส้นใยธรรมชาติจะตกแต่งสำเร็จด้วยอนุภาคโลหะซึ่งต้องคำนึงถึงความสามารถในการดูดซับบนเส้นใย ความคงทนต่อการใช้งาน ข้อจำกัดทางเทคนิค และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) **สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม** (quaternary ammonium compounds) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีประจุบวกซึ่งมีสมบัติฆ่าและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสามารถยึดติดกับสิ่งทอด้วยพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกของสารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียมและประจุลบที่ผิวของเส้นใย

3) **พอลิเฮกซะเมทิลีน ไบกวาไนด์** (Polyhexamethylene biguanide: PHMB) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์อย่างกว้างขวางและมีความเป็นพิษต่ำ นิยมใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหาร สระว่ายน้ำ น้ำยาบ้วนปาก และผ้าปิดแผล การตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยสังเคราะห์จะต้องใช้สารเชื่อมขวาง และตัวเร่ง ส่วนการตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยธรรมชาติสามารถทำได้โดยการแช่โดยตรงที่อุณหภูมิห้องและ pH เป็นกลาง หรือใช้กระบวนการจุ่มอัด ซึ่งสาร PHMB เป็นสารที่มีประจุบวกสามารถยึดติดกับเส้นใยฝ้ายได้ด้วยพันธะไอออนิก และพันธะไฮโดรเจน

4) **ไคโตซาน** (chitosan) มีสมบัติฆ่าและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างหลากหลาย เป็นสารธรรมชาติจึงไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีสมบัติเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ ไม่สะสมและตกค้างในร่างกาย จึงทำให้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายด้านทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ การเกษตรและสิ่งทอ แต่การตกแต่งด้านจุลินทรีย์ด้วยสารไคโตซานบนสิ่งทออาจไม่คงทนต่อการใช้งาน

5) **ไตรโคลซาน** (triclosan) มีสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างหลากหลาย จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อความสะอาดหลายชนิด เช่น สบู่ ครีมอาบน้ำ ผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นกาย ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และน้ำยาล้างจาน สารไตรโคลซานสามารถผสมในเส้นใยสังเคราะห์หรือตกแต่งบนเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสามารถเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานได้โดยการเติมลงใน β -cyclodextrins หรือการ

ทำไมโครเอนแคปซูเลชัน แต่เนื่องจากสารไตรโคลซานมักเกิดการแตกตัวเป็นสารไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นพิษเมื่อได้รับแสง บางประเทศในทวีปยุโรปจึงไม่อนุญาตให้นำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสารไตรโคลซาน

โดยสารต้านจุลินทรีย์ที่ได้จากโลหะและสารสังเคราะห์ที่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคทั้งจากกระบวนการผลิตและจากการใช้งาน อีกทั้งประเทศไทยเป็นประเทศที่อุดมไปด้วยพืชสมุนไพรหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ขมิ้น ข่า ขิง กระชาย เหวหอม และมะขามป้อม เป็นต้น และพบว่าข่ามีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์มากที่สุดในบรรดาพืชสมุนไพรไทยเหล่านี้ [8,9]

2.3 ข่า (Galangal)

ข่ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Alpinia galanga* (Linn.) Swartz. โดยมีชื่อพ้องคือ *Languas galanga* (Linn.) Stuntz. อยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* เป็นพืชสมุนไพรซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปของประเทศไทย นอกจากนี้ข่ายังมีชื่อเรียกอื่นๆตามท้องถิ่น ได้แก่ กฎุกโรหิณี ข่าหยวก ข่าแดง ข่าหลวง สะเอเซย สะเอเอเคย [10,11,12]

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข่าเป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นเป็นกอ มีเหง้าอยู่ใต้ดิน เหง้ามีสีน้ำตาลอมแดง มีเส้นแบ่งข้อเป็นช่วงสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 เนื้อในเหง้ามีสีเหลือง รสขมเผ็ดร้อน แต่ไม่เผ็ดเหมือนกับขิง มีกลิ่นหอมฉุนเฉพาะตัว ข่าเป็นพืชใบเดี่ยว ใบเรียวยาวปลายใบมนขอบใบเรียบ ก้านใบยาวเป็นกาบหุ้มซ้อนกัน ดอกออกที่ยอดเป็นช่อรูปกรวยสีขาวนวล ผลกลมสีแดงส้ม เมื่อแก่จัดมีสีดำ มีรสเผ็ดร้อน [10,11,12]



รูปที่ 2.2 ลักษณะของต้นข่า [13]


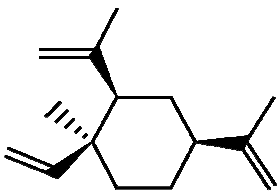
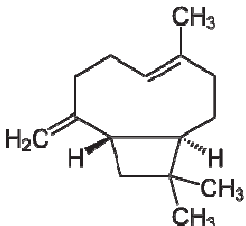
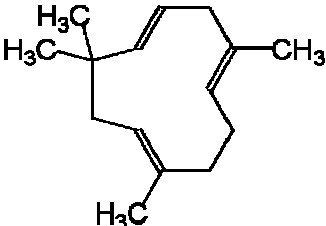


รูปที่ 2.3 เหง้าข่า [14]

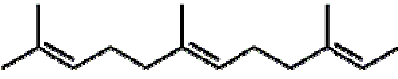
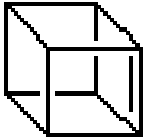
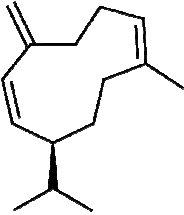
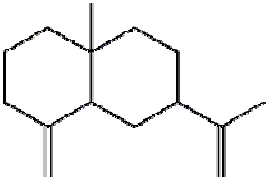
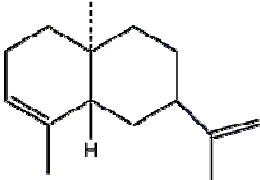
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี

เหง้าข่ามีน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 1.5 ประกอบด้วย 1,8-cineol, caryophyllene, farnesene, α -selinene และ germacrene B ซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เหง้าข่าใช้เป็นเครื่องเทศในการแต่งกลิ่นอาหารเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยอยู่จึงทำให้มีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ นอกจากนี้ในเหง้าอ่อนยังมีสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม และวิตามินซี [10,11,12,15]


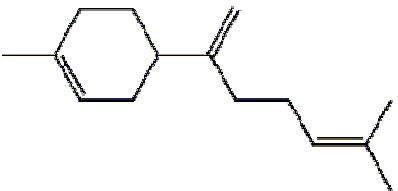
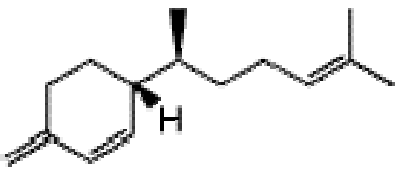
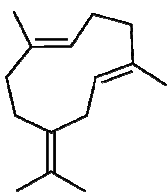
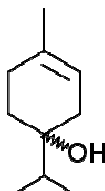
ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในข่า [15,16]

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p>1,8-cineol</p> 	<p>เป็นสารกลุ่มออกไซด์ เกิดจากสารประกอบของแอลกอฮอล์ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ลดการอักเสบ ขับเสมหะ และกระตุ้นระบบหายใจ</p>
<p>β-elemene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กลุ่มเซสควิเทอร์พีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน</p>
<p>Caryophyllene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กลุ่มเซสควิเทอร์พีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ บรรเทาปวด</p>
<p>α-humulene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กลุ่มเซสควิเทอร์พีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ ป้องกันการติดเชื้อ</p>

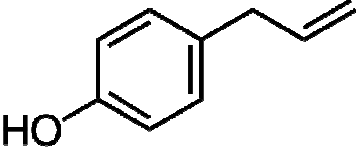
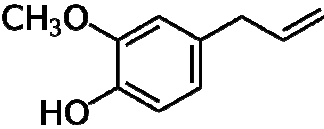
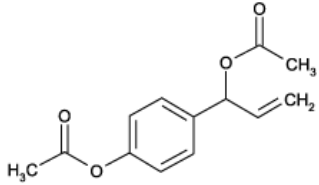
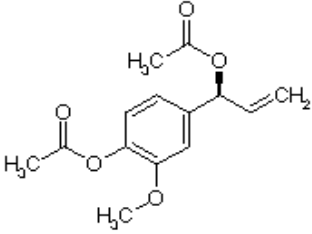
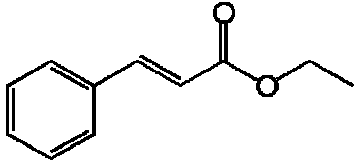
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p style="text-align: center;">Farnesene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ ป้องกันการติดเชื้อ</p>
<p style="text-align: center;">β-cubene</p> 	
<p style="text-align: center;">germacrene D</p> 	
<p style="text-align: center;">β-selinene</p> 	
<p style="text-align: center;">α-selinene</p> 	

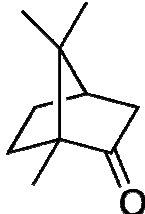
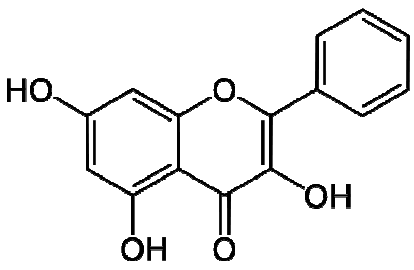
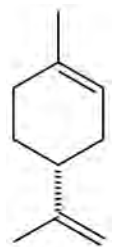
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p>Pentadecane</p> 	
<p>β-bisabolene</p> 	
<p>β-sesquiphellandrene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ ป้องกันการติดเชื้อ</p>
<p>germacrene B</p> 	
<p>terpinene-4-ol</p> 	<p>เป็นสารกลุ่มแอลกอฮอล์ มีพิษต่ำ ไม่ระคายเคือง มีฤทธิ์ป้องกันการติดเชื้อ ต้านจุลินทรีย์ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ให้ความอบอุ่นกับร่างกาย</p>

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p style="text-align: center;">Chavicol</p> 	<p>เป็นสารกลุ่มฟีนอล ค่อนข้างเป็นกรด จึงทำปฏิกิริยามากและรุนแรง ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เพราะมีโอกาสเป็นพิษต่อตับ ระคายเคืองต่อผิวหนัง และเซลล์กล้ามเนื้อ มีฤทธิ์ป้องกันการติดเชื้อ ต้านจุลินทรีย์ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน กระตุ้นระบบประสาท</p>
<p style="text-align: center;">Eugenol</p> 	
<p style="text-align: center;">1'-acetoxychavicol acetate</p> 	<p>เป็นสารกลุ่มเอสเทอร์ ปลอดภัย และมีพิษต่ำ มีฤทธิ์อ่อนคล้ายแอลกอฮอล์ แต่มีกลิ่นหอมหวาน กลิ่นผลไม้ มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ แก้กล้ามเนื้อกระตุก ระวังประสาท แก้ผื่นคันและลมพิษ</p>
<p style="text-align: center;">1'-acetoxyeugenol acetate</p> 	
<p style="text-align: center;">ethyl trans-cinnamate</p> 	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p>camphor</p> 	<p>เป็นสารกลุ่มคีโตน มีสมบัติค่อนข้างรุนแรง ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ใช้อย่างเจือจาง ในความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 2 ใช้ภายนอกเท่านั้น และใช้ในระยะเวลาสั้นๆ ห้ามใช้ในคนท้อง มีฤทธิ์ช่วยระงับประสาท ชับเสมหะ บรรเทาปวด ช่วยย่อย รักษาบาดแผล</p>
<p>galangin</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กกลุ่มโมโนเทอร์ปีน ระเหยเร็วมาก เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศง่าย เกิดการระคายเคืองต่อผิว มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ บรรเทาปวด และชันเสมหะ</p>
<p>limonene</p> 	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กกลุ่มโมโนเทอร์ปีน ระเหยเร็วมาก เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศง่าย เกิดการระคายเคืองต่อผิว มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ บรรเทาปวด และชันเสมหะ</p>

2.3.3 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดสอบทางคลินิก

2.3.3.1 ฤทธิ์ต้านเชื้อรา

น้ำมันหอมระเหยที่แยกได้จากข่ามีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราได้แก่ กลุ่ม yeast (*Candida albicans*), กลุ่ม molds (*Aspergillus niger* และ *Aspergillus fumigatus*) และกลุ่ม dermatophytes (*Microsporum gypseum* และ *Trichophyton mentagrophytes*) เมื่อนำสารสกัดข่าที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และปิโตรเลียมอีเทอร์ ไปทดสอบการฆ่าเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคกลาก (*Microsporum gypseum* และ *Trichophyton rubrum*) พบว่าได้ผลดี เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านเชื้อรา tolnaftate [10,16]

2.3.3.2 ฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

สารสกัดข่าด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำมีฤทธิ์ฆ่า *Paramecium caudatum* ภายในเวลา 5 นาที ที่ความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ฆ่า *Mycobacterium tuberculosis* ที่ความ

เข้มข้น 25 กรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดฆ่าที่สกัดด้วยอีเธอร์ มีประสิทธิภาพในการฆ่า *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella pneumoniae* ได้ดีกว่าสารสกัดฆ่าที่สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ [10,16,17,18]

2.3.3.3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อนำสารสกัดฆ่ามาทดสอบการจับอนุมูลอิสระ (free radical scavenging) และการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase inhibition) พบว่ามีอัตราของสารที่เหลืออยู่หลังการดูดกลืน (residual rate of absorbance) เท่ากับร้อยละ 76.70 เมื่อเปรียบเทียบกับวิตามินซีและวิตามินอี ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.7 และ 18 ตามลำดับ ฆ่ามีการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส เท่ากับร้อยละ 44.8 ของชุดควบคุม ในขณะที่ kojic acid มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 สารสกัดฆ่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ tocopherol และ butylated hydroxytoluene ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 และ 0.20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ [10,16]

2.3.3.4 ฤทธิ์ลดการอักเสบ

ฆ่ามีสารออกฤทธิ์ คือ 1'-acetoxychavicol acetate, 1'-acetoxyeugenol acetate และ eugenol ช่วยลดการอักเสบ และตำรับยาสมุนไพรที่มีฆ่าเป็นส่วนประกอบมีฤทธิ์ลดอักเสบได้ [10, 16]

2.3.3.5 ฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง

เอทิล ทรานส์-ซินนามेट (ethyl trans-cinnamate) ที่สกัดได้จากฆ่ามีฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มขึ้นของ glutathione-s-transferase ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้ง 1'-acetoxychavicol acetate จากฆ่ามีฤทธิ์ยับยั้ง azoxymethane ที่จะไปเหนี่ยวนำการเกิดมะเร็งในหนู โดยอาจใช้ 1'-acetoxychavicol acetate เป็นสารประเภท chemopreventive เพื่อต้านการเกิดมะเร็งในลำไส้ได้ [10,16]

2.3.3.6 ฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้

ฆ่ามีฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ โดยพบสารออกฤทธิ์ คือ cineole, camphor และ eugenol [10,16]

2.3.3.7 ฤทธิ์ยับยั้งแผลในกระเพาะอาหาร

ฆ่ามีสารออกฤทธิ์คือ 1'-acetoxychavicol acetate และ 1'-acetoxyeugenol acetate จึงช่วยยับยั้งแผลในกระเพาะอาหารได้ [10,16]

2.3.3.8 หลักฐานความเป็นพิษและการทดสอบความเป็นพิษ

การทดสอบความเป็นพิษ

เมื่อป้อนหรือฉีดสารสกัดฆ่าที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 ปริมาณ 10 กรัมต่อ กิโลกรัมเข้าได้ผิวหนังของหนูถีบจักร พบว่าไม่มีพิษ นอกจากนี้ได้มีการทดสอบพิษเฉียบพลันโดยป้อนสารสกัดฆ่าที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ให้หนูถีบจักรในปริมาณ 0.5, 1 และ 3 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่าไม่มีหนูถีบจักรตาย [10,16]

ความเป็นพิษต่อเซลล์

สารสกัดเมทานอลจากเหง้าชาที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นพิษต่อเซลล์ตัวอย่าง ในขณะที่สารสกัดชาที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 จากเหง้าชา ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ดังกล่าว [10,16]

2.4 สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากพืช

2.4.1 สารสกัด (Extracts)

เป็นการคัดหรือสกัดเอาเฉพาะส่วนที่มีประโยชน์ของพืชซึ่งเป็นสารเคมีจากธรรมชาติออกมา จัดว่าเป็นการแปรรูปพืชสมุนไพรในขั้นแรกก่อนการนำสารสกัดดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป เช่น สารสกัดที่เป็นน้ำมันหอมระเหย สารสกัดที่ใช้เป็นยารับประทาน สารสกัดที่ใช้เป็นยาทาภายนอก สารสกัดที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่ม สารสกัดที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช [19,20]

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) [20]

2) **ไขมัน (fat)** มีองค์ประกอบสำคัญคือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันจากพืชแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันตามองค์ประกอบของกรดไขมัน [20]

3) **น้ำมันหอมระเหย (volatile oils หรือ essential oils)** เป็นน้ำมันชนิดหนึ่งแต่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ เมื่อระเหยจะมีกลิ่นหอม เป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ดึงดูดแมลง ไล่แมลง และป้องกันตัวเองจากเชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย นำมาใช้ประโยชน์ในการทำน้ำหอม ประโยชน์ทางยาใช้เป็นสுகนบำบัด (aromatherapy) [20]

4) **เรซิน (resins)** เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน กิ่งแข็งกิ่งเหลว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และอีเทอร์ ใช้เป็นสารช่วยให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว ใช้เตรียมขี้ผึ้งเรซินในธรรมชาติ อาจรวมตัวกับสารอื่นทำให้เกิดสารใหม่ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น สารประกอบระหว่างเรซินกับกัม เรียกว่า กัมเรซิน (gum resin) เรซินกับน้ำมันหอมระเหย เรียกว่า โอลีโอเรซิน (oleoresin) [20]

5) **แอลคาลอยด์ (alkaloids)** เป็นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ มักมีรสขม มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ นำมาใช้ประโยชน์ทางยา ไม่นิยมใช้ในเครื่องสำอาง [20]

6) **ไกลโคไซด์** (glycosides) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เจนิน (genin) หรืออะไกลโคน (aglycone) กับไกลโคน (glycone) ซึ่งเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาล เป็นสารสำคัญที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยาและเครื่องสำอาง เช่น แทนนิน (tannins) ฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ (flavonoid glycosides) แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (anthraquinone glycosides) และซาโปนินไกลโคไซด์ (saponin glycosides) [20]

7) **เทอร์พีนอยด์** (terpenoids) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืชชั้นสูง มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยา [20]

การนำสารสกัดไปใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับว่าต้องการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใด ต้องการสารประเภทใด เนื่องจากในสารสกัดประกอบด้วยสารหลายชนิดรวมกันอยู่ การนำไปใช้งานอาจต้องมีการแยกประเภทของสารที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง

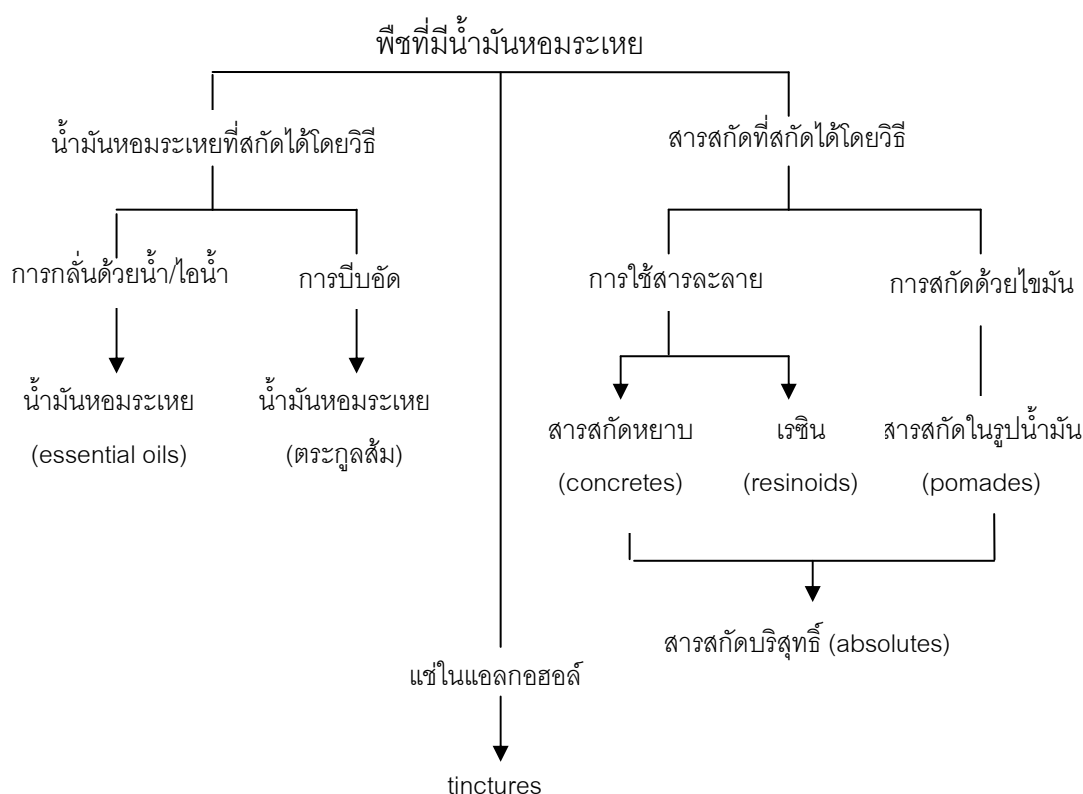
2.4.2 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

เป็นสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่ได้จากการสกัดแยกเอาน้ำมันที่พืชสมุนไพรสร้างขึ้น และเก็บไว้ในผนังเซลล์ในส่วนต่างๆของพืชสมุนไพร เช่น เมล็ด ดอก ใบ ผล เปลือก ลำต้น หรือที่รากและเหง้า น้ำมันหอมระเหยนี้มีสมบัติระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ เมื่อได้รับความร้อนน้ำมันจะระเหยได้ง่ายและส่งกลิ่นหอม พืชผลิตน้ำมันหอมระเหยขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการดึงดูดแมลงให้มาช่วยผสมเกสร หรือไม่ก็ส่งกลิ่นเพื่อไล่แมลงศัตรูพืช รวมทั้งช่วยในการรักษาความชุ่มชื้น น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสีหรือมีสีอ่อน ๆ ส่วนใหญ่จะมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว น้ำมันหอมระเหยจะมีสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด [15, 21]

การนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้งานนั้น นิยมนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ผลิตน้ำหอม ใช้เป็นสารแต่งกลิ่นในเครื่องสำอางและอาหาร นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยยังมีสรรพคุณทางยา เช่น สรรพคุณช่วยขับลมของน้ำมันหอมระเหยจากเหล้าขิง ผลดีป्ली ใบกะเพรา และใบสะระแหน่ สรรพคุณในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าขมิ้น เหง้าข่า และยังใช้น้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารควบคุมแมลงอีกด้วย [15,20,21]

2.4.3 วิธีการสกัดสารจากพืช

สารจากพืชที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นน้ำมันหอมระเหยหรือสารสกัดที่สามารถที่จะสกัดแยกจากพืชได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งมีความยากง่ายแตกต่างกันไป วิธีการสกัดแต่ละวิธีก็จะมีเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด หรือแต่ละส่วนของพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย หรือสารสำคัญอยู่ นอกจากนี้วิธีการสกัดสารจากพืชยังมีผลโดยตรงต่อปริมาณและคุณภาพของสารที่จะสกัดได้ ซึ่งการจำแนกวิธีการสกัดสารจากพืชสามารถจำแนกได้หลายวิธี ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [15]



รูปที่ 2.4 วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย [15]

2.4.3.1 การสกัดด้วยการบีบ (Expression)

เป็นการแยกสารโดยการใช้แรงจักรกลหรือแรงมนุษย์ในการคั้นแยกของเหลวออกจากเซลล์พืช ใช้ได้กับไขมันหรือสารละลายน้ำที่ละลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน นิยมใช้ในการสกัดพืชตระกูลส้ม เช่น ส้ม มะนาว เบอร์กามอต ที่น้ำมันหอมระเหยจะถูกสะสมอยู่ในต่อมใต้ผิวของเปลือก ซึ่งจะแตกออกได้ง่ายเมื่อถูกบีบ นอกจากนี้ยังใช้ในการสกัดสารจากกระเทียมด้วย ซึ่งวิธีนี้ใช้เฉพาะพืชสด มีต้นทุนต่ำ และเครื่องมือมีราคาถูก [15,20]

2.4.3.2 การกลั่นน้ำมันหอมระเหย (Distillation)

เป็นการแยกน้ำมันชนิดที่ระเหยได้ออกจากส่วนกากโดยใช้ความร้อนทำให้น้ำมันหอมระเหยถูกสกัดออกมาพร้อมกับไอน้ำแล้วทำให้เย็นเพื่อควบแน่น ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะกลับเป็นของเหลวอีกครั้ง หลังจากทิ้งไว้ น้ำและน้ำมันหอมระเหยจะแยกตัวออกจากกัน สามารถแยกด้วยเครื่องมือแยก วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชเพราะทำได้ง่ายและประหยัด นอกจากนี้การกลั่นยังแบ่งย่อยออกเป็น 3 วิธี คือ [15,21]

1) การกลั่นด้วยน้ำ (water distillation) เป็นการกลั่นที่พืชจะแช่อยู่ในน้ำขณะต้ม มักใช้กับพืชแห้ง และสารในพืชคงทนต่อความร้อน ไม่สลายไปเมื่อได้รับความร้อน

2) การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) พืชจะไม่แช่อยู่ในน้ำขณะต้ม น้ำต้มเดือดจะต้มอยู่ด้านล่าง พืชจะอยู่บนตะแกรงลอยอยู่เหนือน้ำต้มเดือด ใช้กับพืชสดหรือพืชแห้งที่มีสารไม่คงทนต่อความร้อน และอาจสลายตัวไปเมื่อได้รับความร้อนสูงๆ

3) การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) หม้อต้มน้ำจะแยกออกไปต่างหาก ไอน้ำจะถูกส่งผ่านทางท่อมายังพืช ใช้กับพืชสดที่มีสารไม่คงทนต่อความร้อน และจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน

2.4.3.3 การสกัด (Extraction)

เป็นการละลายสารเคมีในพืชออกจากเซลล์พืชด้วยตัวทำละลาย การสกัดที่ดีต้องใช้เวลา น้อย สกัดสารสำคัญได้มาก มีความสม่ำเสมอของสารสกัดในแต่ละครั้งของการผลิต และต้นทุนต่ำ วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง แต่คุณภาพไม่ดีเนื่องจากจะมีสารอื่นปะปนออกมาด้วย วิธีนี้จะใช้กับพืชสมุนไพรที่ทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น มะลิ และหลังจากการสกัดต้องระเหยสารละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดออกให้หมด ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำ เอทานอล กลีเซอริน โพรพิลีนไกลคอล สารละลายผสมระหว่างน้ำและตัวทำละลายอื่น ตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งที่ยาไทยใช้คือ น้ำมันพืช วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย มี 2 วิธี ดังนี้ [20]

1) การสกัดที่ต้องผ่านความร้อน (hot extract)

1.1) การต้ม (decoction) เป็นการนำสมุนไพรสดหรือแห้งมาชงขนาดเป็นชิ้นเล็กๆ เติมตัวทำละลายขณะเย็น ทิ้งให้ตัวทำละลายซึมเข้าไปในสมุนไพรจนเปียกทั่ว จากนั้นยกขึ้นตั้งไฟ 10-30 นาที แล้วกรอง

1.2) การตุ๋น (digestion) ทำโดยนำสมุนไพรใส่ภาชนะ เติมน้ำ และนำขึ้นตั้งบนหม้ออังไอน้ำหรือใช้หม้อประเภทเพิ่มความดัน พืชสมุนไพรจะถูกสกัดที่อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส แต่เป็นการสกัดที่ใช้เวลานานกว่าการต้ม สารสกัดที่ได้บูดเสียวเช่นกัน

1.3) การสกัดแบบต่อเนื่อง เป็นการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายน้อย ไหลผ่านพืชสมุนไพรที่ละเอียดและทำให้เกิดการสกัดแบบต่อเนื่องได้สารสกัดเข้มข้น เครื่องมือที่ใช้ระดับอุตสาหกรรมมี

หลายชนิดได้แก่ การสกัดด้วยเครื่องมือ soxhlet apparatus สารละลายที่ใช้สกัดมักเป็นแอลกอฮอล์ วิธีนี้ไม่สิ้นเปลืองตัวทำละลายเหมือนการหมัก สามารถสกัดสารได้มากกว่า และใช้เวลาสั้นกว่า แต่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า วิธีนี้ใช้ความร้อนจึงอาจทำให้สารสำคัญบางชนิดสลายตัวได้ สารสกัดที่ได้ต้องทนความร้อนในการสกัดด้วย

2) การสกัดโดยไม่ใช้ความร้อน (cold extraction)

2.1) การชงหรือแช่ (infusion) เป็นการนำสมุนไพรมาชงหรือแช่ในน้ำจะให้สารละลายออกมาเหมือนการชงชา วิธีนี้เหมาะกับสมุนไพรที่เป็นใบ ดอก หรือเมล็ด ซึ่งน้ำมันหอมระเหยอาจสูญเสียไปหากได้รับความร้อน

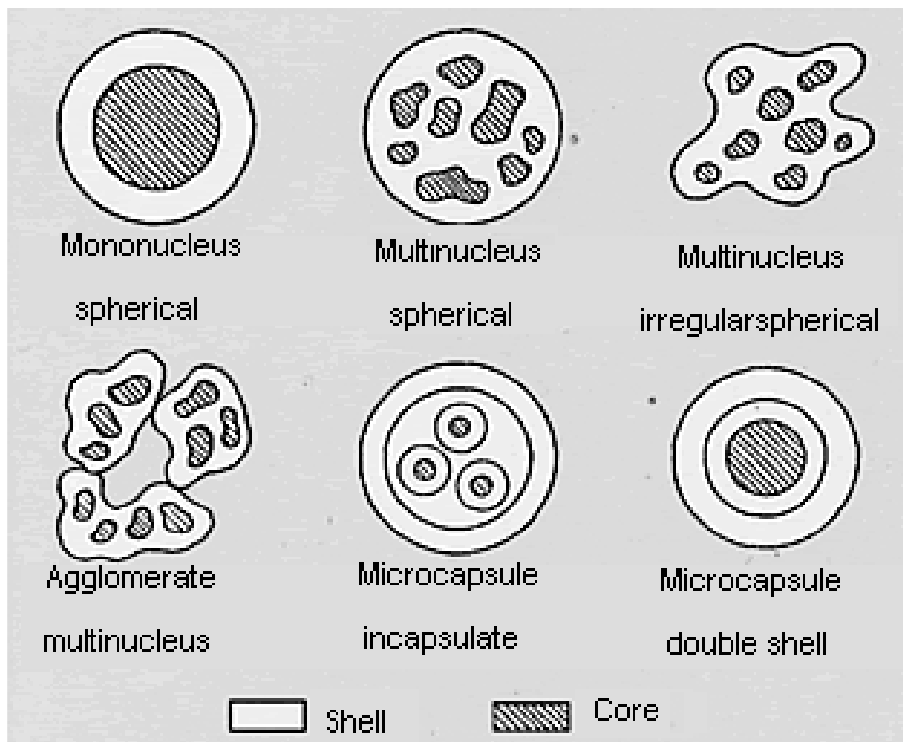
2.2) การหมัก (maceration) เหมาะสำหรับสารที่ไม่ทนต่อความร้อน ตัวทำละลายที่ใช้มักเป็นเอทานอล หรือโพรพิลีนไกลคอล หรือสารผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำ ใช้เวลานานกว่าการต้มหรือการแช่ ไม่นิยมใช้น้ำเพราะต้องทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ 3 วันขึ้นไปทำให้ขึ้นราได้ง่าย วิธีนี้มีข้อดีคือสารไม่ได้รับความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลาย เนื่องจากต้องสกัดซ้ำหลายๆ ครั้ง

2.5 ไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล (microcapsule)

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูลมีขนาดอยู่ในช่วง 1-1,000 ไมโครเมตร โดยขนาดที่เหมาะสมและนิยมใช้ที่สุดอยู่ระหว่าง 5-20 ไมโครเมตร และความหนาของผนังมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1-30 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลมีรูปร่างหลากหลายขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 2.5 ผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญเรียกว่า สารห่อหุ้ม (wall หรือ shell) และสารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลจะถูกรเรียกว่า สารแกน (core หรือ nucleus) โดยปกติสารแกนที่บรรจุจะมีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 55-95 ของน้ำหนักไมโครแคปซูล [22,23]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครแคปซูล [23]

2.5.1.1 สารแกน (Core หรือ Nucleus)

สารแกนหรือสารที่ถูกห่อหุ้มอาจเป็นของเหลวหรือของแข็งและมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป สารแกนที่เป็นของเหลวอาจประกอบด้วยสารมีขั้วหรือไม่มีขั้วซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวยาสำคัญ ตัวทำละลายหรือสารแขวนลอย โดยสมบัติการละลายของสารแกนจะส่งผลกระทบต่ออัตราการปล่อยสารแกนและการเลือกใช้สารห่อหุ้ม สารแกนที่เป็นของแข็งได้รับความนิยมมากกว่าสารแกนที่เป็นของเหลวเนื่องจากสามารถควบคุมขนาดได้ง่าย แต่หากสารแกนมีขนาดอนุภาคเล็กเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวขณะเตรียมไมโครแคปซูลได้เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสูง ในขณะที่สารแกนขนาดใหญ่ก็สามารถเกิดการรวมตัวได้เช่นเดียวกันเนื่องจากการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว รูปร่างของอนุภาคของสารแกนส่งผลกระทบต่ออัตราการเคลือบของสารห่อหุ้มโดยสารแกนที่เหมาะสมควรเป็นทรงกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อทำให้เกิดการเคลือบของสารห่อหุ้มที่สม่ำเสมอ สารแกนที่สามารถเกิดการพองตัวได้จากการดูดน้ำ หรือจากการขยายตัวทางความร้อนจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเคลือบด้วยสารห่อหุ้มและการควบคุมการปล่อยของสารแกนได้โดยการขยายตัวของสารแกนอาจทำให้ฟิล์มของสารห่อหุ้มแตกออกได้ [23]

2.5.1.2 สารห่อหุ้ม (Wall หรือ Shell)

สารที่ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มอาจเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ แต่ที่นิยมใช้กันมากจะเป็นสารพอลิเมอร์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตัวอย่างของสารห่อหุ้มแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของสารห่อหุ้ม [3]

ประเภท	ตัวอย่าง
Protein	Collagen, Gelatin, Casein, Fibrinogen, Hemoglobin, Polyamino acid
Vegetable gums	Gum arabic, Agar, Sodium alginate, Carrageenin, Dextran sulfate
Cellulose	Ethyl cellulose, nitrocellulose, Carboxymethyl cellulose, Acetylcellulosr, Cellulose acetate-phthalate, Cellulose acetate-buthylate-phthalate
Condensation polymers	Nylon, Tetron, Polyurethane, Polyurea, Formalin naphtalenesulfonic acid condensate, Polycarbonates, Amino resins, Alkyl resins, Silicone resins
Copolymer	Maleic anhydride copolymers with ethylene or vinylmethyl ether, Acrylic acid copolymers, Methacrylic acid copolymers
Homopolymer	Polyvinyl chloride, Saran, Polyethylene, Polystyrene, Polyvinyl acetate, Polyacrylamide, Polyvinylbenzenesulfonic acid, Polyvinyl alcohol, Synthetic rubber
Curable polymers	Epoxy Resins, Nitroparaffin, Nitrated polystyrene
Waxes	Wax, Paraffin, Resin, Shellac, Tristearin, Monoglyceride, Beeswax, Haze wax, Oils, Fats, Hardened oils
Inorganic materials	Calcium sulfate, Graphite, Silicates, Aluminum, Alumina, Copper, Silver, Glsaa, Alloys, Clays

การเลือกใช้สารห่อหุ้มขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และวิธีการเตรียมไมโครแคปซูล โดยส่วนมากสารห่อหุ้มควรมีสมบัติดังนี้

- 1) สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางๆได้
- 2) มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ

- 3) สามารถทำให้เกิดอิมัลชัน
- 4) สามารถยึดติดกับสารแกนได้ดี โดยไม่ทำปฏิกิริยา
- 5) มีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ขึ้นง่าย
- 6) มีความคงตัวสูงเพื่อป้องกันสารแกนจากสภาวะแวดล้อม
- 7) สามารถปล่อยสารแกนได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน
- 8) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ และมีกระบวนการผลิตที่ไม่เป็นพิษ [22]

2.5.2 วัตถุประสงค์ของการทำไมโครเอนแคปซูล

1. ดัดแปลงสมบัติทางกายภาพของสาร การทำไมโครเอนแคปซูลจะสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะของสารจากของเหลวเป็นของแข็งซึ่งเรียกว่า pseudo-solid ซึ่งทำให้ได้สารใหม่ที่เป็นของแข็งแต่ภายในเป็นของเหลวและยังคงรักษาสภาพการเกิดปฏิกิริยาเป็นของเหลว หรือสามารถเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของสาร เช่น ของแข็งซึ่งมีความหนาแน่นมากหลังจากทำไมโครเอนแคปซูลแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถลอยตัวบนน้ำได้

2. ลดการระเหยของสารที่ระเหยได้ เนื่องจากสารบางชนิดมีอัตราการระเหยที่รวดเร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหยของดอกไม้ชนิดต่างๆ เช่น ลาเวนเดอร์ กุหลาบ มะลิ น้ำมันหอมระเหยดังกล่าวถ้าเรานำมาใช้จะระเหยไปในวันเดียว แต่ถ้านำมาทำไมโครแคปซูลจะช่วยลดการระเหยของสารหอม ซึ่งถ้าไม่มีกลไกไปกระตุ้นให้ผนังของไมโครแคปซูลแตกด้วยการขยี้หรือขูดถู สารแกนจะไม่สามารถระเหยออกมาได้ หรือมีอัตราการระเหยต่ำ ซึ่งจะสามารถเก็บรักษาสารแกนได้เป็นเวลานาน

3. ป้องกันสารแกนจากผลกระทบของสภาวะแวดล้อม ไมโครแคปซูลสามารถป้องกันสารที่อยู่ภายในจากสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น ออกซิเจน รังสีอัลตราไวโอเล็ต ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารได้ ทำให้สามารถเก็บสารได้นานตามที่ต้องการ

4. ควบคุมการปล่อยสารแกน ไมโครแคปซูลจะช่วยให้มีการปล่อยสารแกนในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อลดการระคายเคืองที่เกิดจากการใช้งานของสารแกนที่เป็นพิษ และยังคงลดความเสี่ยงในการใช้สาร [3]

2.5.3 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล (Microencapsulation)

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น กระบวนการทางเคมี ทางกายภาพ และทางกลศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งกระบวนการไมโครแคปซูลแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมกับสารแกนและสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน และยังมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ เช่น ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากวิธีไมโครแคปซูลแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.3 การเตรียมไมโครแคปซูล [3]

วิธีทางกายภาพ	วิธีทางเคมี	วิธีทางกลศาสตร์
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) <ul style="list-style-type: none"> - แบบธรรมชาติ - เชิงซ้อน 	1. อินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial Polymerization) 2. อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (In situ polymerization)	1. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension) 2. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating) 3. การทำแห้งแบบพ่นละอองและสเปรย์คอนจี้ลิ่ง (Spray drying และ Spray congealing) 4. ออร์ฟิช – เซนตริฟิวเกชัน (Orifice-centrifugal process)

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของสารแกนที่เหมาะสมและขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยวิธีต่างๆ [24]

วิธีการทำไมโครแคปซูล	ลักษณะของสารแกน	ขนาดของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)
1.แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)	ของแข็ง	35-5000
2.โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation)	ของแข็งและของเหลว	2-5000
3.ออร์ฟิช – เซนตริฟูกัล (Orifice-centrifugal process)	ของแข็งและของเหลว	1-5000
4.การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)	ของแข็ง	600-5000
5.การทำแห้งแบบพ่นละอองและสเปรย์คอนจิลลิง (Spray drying และ Spray congealing)	ของแข็งและของเหลว	600

2.5.3.1 โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation)

เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของการแยกวัฏภาค มีประโยชน์สำหรับการห่อหุ้มสารที่เป็นของเหลวหรืออนุภาคขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion: o/w emulsion) ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1) นำอนุภาคของสารแกนไปกระจายตัวในสารพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มเกิดเป็นวัฏภาคที่ไม่ผสมกัน 3 วัฏภาคคือ วัฏภาคของตัวกลางซึ่งเป็นของเหลว วัฏภาคของสารแกน และวัฏภาคของสารห่อหุ้ม

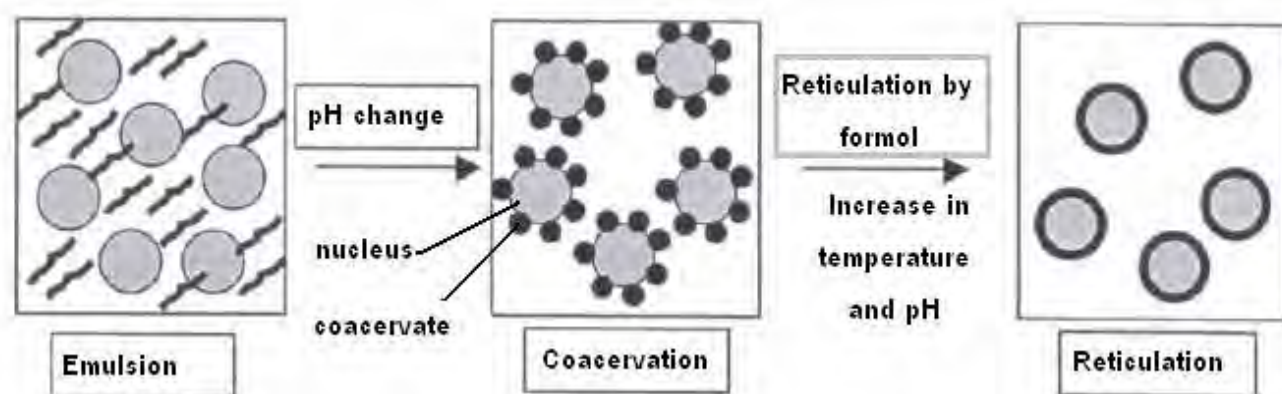
2) การแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มออกจากตัวทำละลายเพื่อไปดูดซับบนผิวของอนุภาคของสารแกน

3) การทำให้ชั้นของสารเคลือบหรือห่อหุ้มแข็งแรงขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือการทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห หรือการเติมสารที่ไม่ละลายลงไป แสดงดังรูปที่ 2.6 [3,22]

กระบวนการโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) มี 2 วิธี คือ

1) โคอะเซอร์เวชันแบบง่าย (simple coacervation) เป็นการใส่พอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้มแล้วทำให้เกิดการแยกวัฏภาคเกิดเป็นไมโครแคปซูล

2) โคอะเซอร์เวชันแบบเชิงซ้อน (complex coacervation) เป็นการใส่พอลิเมอร์มากกว่า 1 ชนิดเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งมีกลไกในการเกิดโคอะเซอร์เวชันแบบเชิงซ้อน คือการทำให้โคอะเซอร์เวตหลายหยดล้อมรอบนิวเคลียส 1 หยดหรือมากกว่า จากนั้นโคอะเซอร์เวต (coacervate) จะรวมตัวกันเป็นผนังไมโครแคปซูล



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูลชันโดยใช้เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation) [25]

2.5.3.2 อินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)

เป็นวิธีที่เกิดจากการนำมอนอเมอร์ 2 ชนิดมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกันที่ผิวหน้าระหว่างของเหลว 2 ชนิดที่ไม่เข้ากัน เพื่อก่อตัวเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์เคลือบหรือห่อหุ้มสารแกนไว้ สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1) นำอนุภาคของสารแกนไปกระจายตัวในมอนอเมอร์ชนิดแรกที่ไม่ละลายในน้ำ (Nonaqueous phase หรือ oil phase) ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (o/w emulsion) จากนั้นเติมมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งละลายได้ในน้ำ มอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดจะเกิดการแพร่มาที่ผิวหน้าระหว่างของเหลว 2 ชนิด แล้วทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์ที่ผิวของสารแกน

2) นำอนุภาคของสารแกนไปกระจายตัวในมอนอเมอร์ชนิดที่ละลายในน้ำ (aqueous phase) ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (w/o emulsion) จากนั้นเติมมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งไม่ละลายในน้ำ มอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดจะเกิดการแพร่มาที่ผิวหน้าระหว่างของเหลว 2 ชนิด แล้วทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมอร์ที่ผิวของสารแกน

ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน จะมีความสามารถในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi permeable membrane) เนื่องจากปฏิกิริยาอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของมอนอเมอร์ที่กระจายตัวในอิมัลชัน [3]



รูปที่ 2.7 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน [26]

ข้อจำกัดของวิธีเตรียมแบบอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

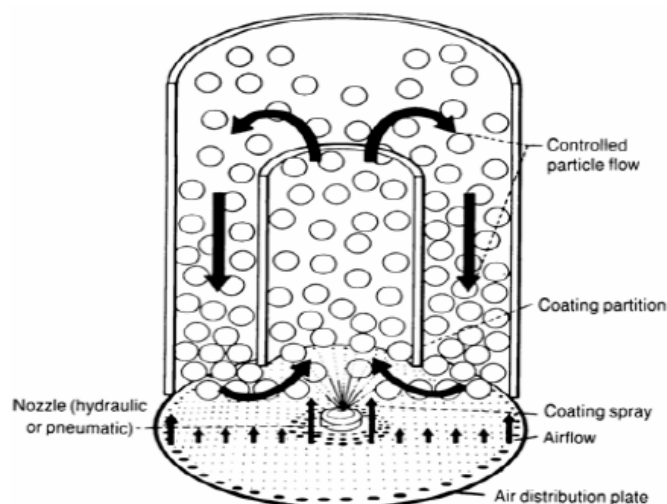
- 1) มอนอเมอร์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา พอลิเมอร์ หรือจากสารเคมีอื่นที่ใช้ในระบบอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษ
- 2) สารแกนกับมอนอเมอร์อาจเกิดปฏิกิริยากันส่งผลให้สารแกนมีประสิทธิภาพลดลง
- 3) สารแกนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถแพร่ผ่านสารห่อหุ้มได้สูงเนื่องจาก สารห่อหุ้มมีสมบัติในการแพร่ผ่านได้ (semi permeable membrane)
- 4) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีความเปราะสูง
- 5) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ย่อยสลายได้ยาก [19]

2.5.3.3 อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (In situ polymerization)

อินซิทูพอลิเมอไรเซชันเป็นกระบวนการที่คล้ายกับอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน แต่มอนอเมอร์อาจผสมอยู่กับสารแกนหรือในสารตัวกลางเท่านั้น จะไม่เติมมอนอเมอร์ลงในทั้งสารแกนและสารตัวกลาง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเกิดอย่างต่อเนื่องบนผิวหน้าของสารแกนที่กระจายตัวอยู่ โดยสารแกนอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวซึ่งไม่ละลายในสารตัวกลาง และเพื่อต้องการให้สารแกนเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออาจจำเป็นต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) หรือสารกระจายตัว (dispersing agent) [3,23]

2.5.3.4 แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)

กระบวนการแอร์ซัสเพนชันเป็นที่รู้จักในชื่อ Wurster process ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการ Wurster process แสดงดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ คอลัมน์แนวตั้ง fluidized air bed และ spray tube ในส่วนของคอลัมน์แนวตั้งจะประกอบด้วย ส่วนที่ใช้ในการเคลือบและส่วนที่ใช้ในการตกตะกอน ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นจากส่วนล่างขึ้นไปส่วนบน

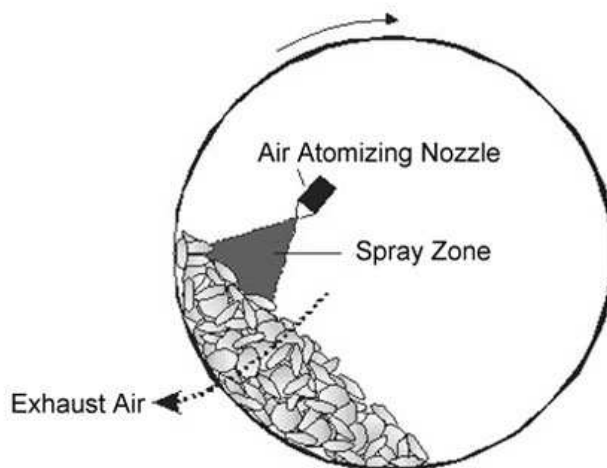


รูปที่ 2.8 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการ Wurster process [25]

Fluidized air bed จะทำให้สารแกนซึ่งเป็นของแข็งขนาดเล็กแขวนลอยตัวอยู่ เมื่อพ่นสารที่ใช้เคลือบซึ่งเป็นสารละลายของพอลิเมอร์ลงไปบนผิวของสารแกน สารเคลือบจะค่อยๆแห้งเป็นฟิล์มบางๆบนผิวของสารแกน การเคลือบจะกระทำโดยสารแกนจะถูกเป่าดันขึ้นไปยังส่วนบนของคอลัมน์ ความเร็วลมในส่วนบนของคอลัมน์จะลดลงเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ลมไม่สามารถหมุนให้สารแกนลอยตัวอยู่ได้ ทำให้สารแกนที่เคลือบแล้วตกลงมา [3]

2.5.3.5 การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)

เป็นกระบวนการที่ใช้เคลือบอนุภาคที่เป็นของแข็งและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยการเคลือบอนุภาคของสารแกนด้วยการพ่นสารก่อกฟิล์มลงไปบนอนุภาคนั้น ซึ่งอยู่ภายในหม้อเคลือบ (coating pan) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.9 พร้อมทั้งเป่าลมร้อนตลอดเวลา [22]

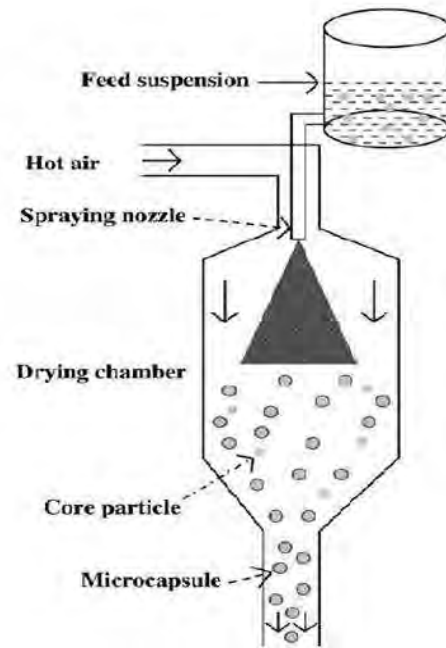


รูปที่ 2.9 หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการเคลือบหรือห่อหุ้ม [23]

2.5.3.6 การทำแห้งแบบพ่นละอองและสเปรย์คอนจิลลิง (Spray drying และ Spray congealing)

การเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นละออง เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากทางการค้าโดยเฉพาะในการทำเอนแคปซูลเลชันของน้ำมันหอมระเหย โดยสารแกนจะถูกกระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์เป็นอิมัลชัน จากนั้นทำให้แห้งโดยนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นละออง (spray dryer) กระทั่งกับลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งจะทำให้ได้ไมโครแคปซูลแบบมัลตินิวเคลียส (multinucleus) หรือแบบเมทริกซ์ (matrix) ขนาดอนุภาคประมาณ 10-150 ไมโครเมตร

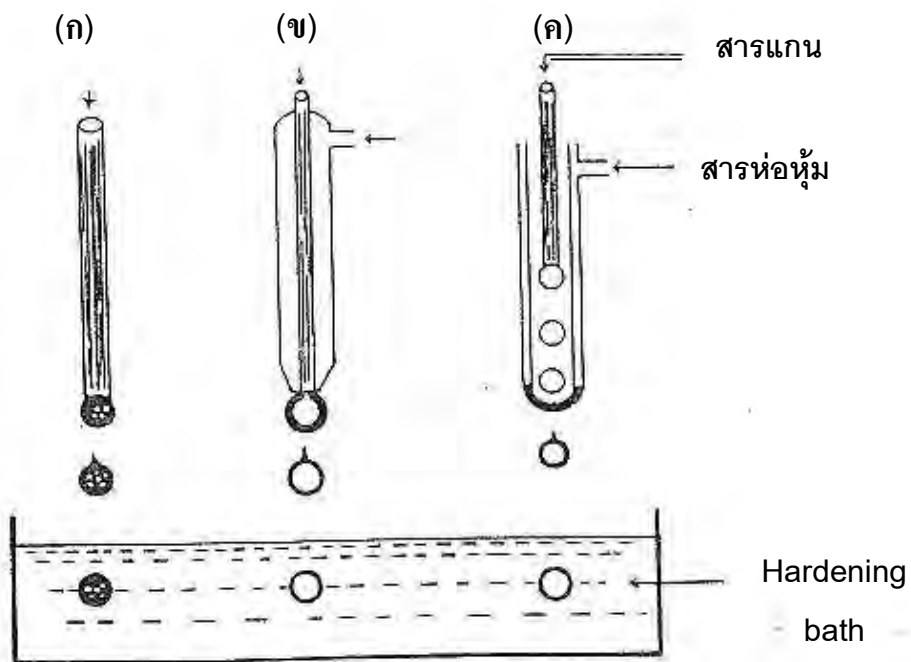
ส่วนวิธีสเปรย์คอนจิลลิง (spray congealing) จะมีหลักการคล้ายกับการทำแห้งแบบพ่นละออง คือนำอนุภาคของสารแกนไปกระจายตัวในสารห่อหุ้มที่อยู่ในสภาวะหลอมเหลว แล้วนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์กระแทกกับลมเย็น สารห่อหุ้มที่ใช้ต้องเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ขี้ผึ้ง (Wax) กรดไขมัน และพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม [22,24]



รูปที่ 2.10 การทำเอนแคปซูลเลชันโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นละออง [24]

2.5.3.7 กระบวนการออริฟิซ-เซนตริฟิวกัล (Orifice-centrifugal process)

เป็นวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลที่ได้รับการพัฒนามาจากกระบวนการทางกลศาสตร์ กระบวนการออริฟิซมี 3 วิธี



รูปที่ 2.11 รูเปิดลักษณะต่างๆของกระบวนการออริฟิซ [3]

1) เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือง่ายๆ เช่น tube หรือ nozzle ซึ่งอิมัลชันของสารแกนที่กระจายตัวในสารละลายของสารหล่อหุ้มถูกหยดผ่านปลาย tube แล้วเกิดเป็นเม็ดทรงกลมขึ้นขณะหยดผ่านอากาศ หลังจากนั้นไมโครแคปซูลจะแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับสารละลายใน hardening bath สารแกนที่ใช้กับวิธีนี้เป็นได้ทั้งของเหลวและของแข็ง และจะทำให้ได้ไมโครแคปซูลแบบแบบมัลติโนวเคลียสหรือแบบเมทริกซ์ แสดงในรูป 2.11(ก)

2) เป็นวิธีที่ใช้ bifluid nozzle เป็น concentric double orifice ที่ประกอบด้วย cylinder ซ้อนกัน 2 อัน ในและนอก สารแกนจะไหลออกมาจาก cylinder อันใน และสารหล่อหุ้มจะไหลออกจาก cylinder อันนอก สารแกนจะถูกเคลือบโดยสารหล่อหุ้มขณะที่ทำการหยดออกจาก bifluid nozzle โดยส่วนมากสารแกนที่ใช้จะเป็นของเหลว แสดงในรูป 2.11(ข)

3) เป็นวิธีที่ใช้ concentric double orifice เช่นกัน แต่ปลายของ cylinder อันใน จะถูกซ่อนอยู่ภายใน cylinder อันนอก โดยที่ cylinder อันในจะไม่เชื่อมติดกับ cylinder อันนอก เมื่อสารแกนซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวหยดออกจากปลายของ cylinder อันใน จะกระทบกับฟิล์มของสารหล่อหุ้มที่อยู่บนปลายของ cylinder อันนอก เกิดเป็นไมโครแคปซูล แสดงในรูป 2.11(ค)

2.5.4 การประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การใช้งานไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในยุโรป ตะวันตก ญี่ปุ่น และอเมริกาเหนือ ซึ่งเป็นประเทศผู้นำในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติใหม่ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของสิ่งทอทางการแพทย์ และเทคนิคสิ่งทอ ซึ่งการใช้งานไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะสามารถเพิ่มสมบัติที่เทคโนโลยีอื่นไม่สามารถทำได้ หรือมีต้นทุนในการผลิตที่สูงกว่าให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ โดยไมโครแคปซูลที่นำมาประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งทอ เช่น ไมโครแคปซูลของสารหอม สารบำรุงผิว สารต้านแมลง สารต้านจุลินทรีย์ วิตามิน และวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ [27]

2.5.4.1 ไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ (Phase change material: PCM)

การนำไมโครแคปซูลของวัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ (phase change material: PCM) มาประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งทอจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้ตามต้องการ โดย PCM คือวัสดุที่มีพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ PCM สามารถดูดพลังงานความร้อนสะสมได้ในปริมาณมากขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และสามารถปล่อยพลังงานที่สะสมนี้ออกมาได้ขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับเป็นสถานะเริ่มต้น PCM จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ PCM เปลี่ยนสถานะ [27]

PCM ที่นำมาทำเอนแคปซูล เช่น Nonadecane ($C_{19}H_{40}$) และสารอัลเคนชนิดอื่นที่มีความยาวสายโซ่กลางๆ ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่สิ่งทอได้เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงกว่าจุดหลอมเหลวของสาร PCM สาร PCM จะดูดความร้อนเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลว ทำให้อุณหภูมิของสิ่งทอไม่เพิ่มขึ้นตามสิ่งแวดล้อม แต่เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดลงสาร PCM จะคายความร้อนเพื่อกลายเป็นของแข็ง ทำให้อุณหภูมิของสิ่งทอไม่ลดลงตามสิ่งแวดล้อม ไมโครแคปซูลของสาร PCM จะมีผนังหนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20-40 ไมโครเมตร มีสาร PCM บรรจุอยู่ร้อยละ 80-85 ซึ่งขนาดอนุภาคที่เล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มาก ดังนั้น PCM จึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกได้อย่างรวดเร็ว[27,28]

2.5.4.2 ไมโครแคปซูลของสารหอม

สารที่มีกลิ่นหอมหรือน้ำหอมหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการรักษาหรือที่เรียกว่าสุนทรบำบัด (aromatherapy) เนื่องจากมีสรรพคุณทำให้ผู้ที่ได้กลิ่นรู้สึกสบายและมีความสุข ตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนุ่งห่มและสรรพคุณแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของสารหอมที่ใช้กับเครื่องนุ่งห่มและสรรพคุณ [5]

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

อย่างไรก็ตามการเติมสารหอมลงบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอโดยตรงมักจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากสารหอมซึ่งเป็นสารที่ระเหยง่ายจะติดอยู่บนสิ่งทอเพียง 1-2 รอบของการซักล้างเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูลเหล่านี้มาใช้เพื่อเพิ่มความคงทนให้กับสารหอมบน

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับผลิตภัณฑ์สิ่งทออย่างหลากหลาย เช่น ชุดกีฬา ชุดนอน ชุดทำงาน ชุดเครื่องนอน ผ้าปูที่นอนและพรม เป็นต้น

2.5.4.3 ไมโครแคปซูลของสารบำรุงผิว

Cosmeto-textiles คือ เครื่องนุ่งห่มที่ถูกออกแบบมาให้มีการสัมผัสกับผิวหนังเพื่อส่งผ่านสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารเสริมความงาม หรือสารบำรุงผิว สารเสริมความงามเหล่านี้มักถูกบรรจุอยู่ในรูปของไมโครแคปซูลเพื่อเพิ่มความคงทนและป้องกันสารสำคัญจากสภาวะแวดล้อม

ไมโครแคปซูลของสารเสริมความงามทางการค้าจะมีการส่งผ่านสาร 3 รูปแบบคือ

- 1) การใช้แรงเสียดทานระหว่างไมโครแคปซูลในผ้ากับผิวหนัง
- 2) การย่อยสลายทางชีวภาพของสารห่อหุ้มไมโครแคปซูลโดยเอนไซม์ในผิวหนัง
- 3) การละลายของสารห่อหุ้มไมโครแคปซูลเนื่องจากความเป็นกรดบนผิวหนัง (pH 4-5)

ตัวอย่างของการใช้งาน เช่น การเติมไมโครแคปซูลของวิตามินหรือน้ำมันอโรเวลาลงในชุดชั้นใน เสื้อยืด กางเกง กางเกง และชุดเครื่องนอน เป็นต้น [5,29]

2.5.4.4 ไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์และสารระงับกลิ่น

เพื่อทำให้จุลินทรีย์ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มเจริญอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ให้ความรู้สึกสดชื่นและสะอาดอย่างคงทน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ชุดชั้นใน ชุดกีฬา กางเกง กางเกง และสิ่งทอที่ใช้ในการผลิตรองเท้า รวมไปถึงสิ่งทอที่ใช้ในบ้าน เช่น พรม ผ้าปูที่นอน เบาะรองนั่ง และสิ่งทอที่ใช้ในยานพาหนะ เช่น เบาะรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งการทำไมโครแคปซูลเลขชั้นของสารต้านจุลินทรีย์จะทำให้สารต้านจุลินทรีย์ค่อยๆถูกปลดปล่อย จึงเป็นการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ในระยะยาว

สารต้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ไอออนของเงิน (silver ion) และน้ำมันหอมระเหยของพืชบางชนิด เช่น ทีทรี (Tea tree oil) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ยูคาลิปตัสซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยมักเป็นสารที่ระเหยง่าย การทำไมโครแคปซูลเลขชั้นจะช่วยลดอัตราการระเหยและยืดอายุการใช้งานได้

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ทั้งเส้นใย เส้นด้าย และผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์เพื่อป้องกันการติดเชื้อจากทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา โดยคุณสมบัติการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สัมผัสกับผิวหนังจะลดโอกาสในการติดเชื้อหลังการผ่าตัด และการเย็บแผลด้วยไหมที่บรรจุด้วยไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์จะทำให้แผลเกิดการสมานตัวได้เร็วขึ้น [5]

2.5.4.5 ไมโครแคปซูลของสารต้านแมลง

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติในการต้านแมลงได้รับความนิยมในเขตร้อนชื้นซึ่งมีมดและแมลงอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก โดยไมโครแคปซูลของสารต้านแมลงจะช่วยให้การปล่อยสารต้านแมลงเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปซึ่งทำให้สมบัติต้านแมลงคงทนอยู่ยาวนานขึ้น และยังช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ และไหมที่เกิดจากการตัวอ่อนของแมลงได้อีกด้วย [5]

2.5.4.6 ไมโครแคปซูลของสารหน่วงไฟ

การตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟแบบดั้งเดิมมักขาดความคงทนต่อการซักล้างเนื่องจากสารหน่วงไฟที่ใช้มักละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการทำไมโครแคปซูลจะช่วยให้สามารถช่วยป้องกันสารหน่วงไฟจากการซักล้างได้ อย่างไรก็ตามการเลือกพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มมีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงยึดติดระหว่างไมโครแคปซูลกับสิ่งทอซึ่งมีผลต่อความคงทนของสมบัติหน่วงไฟและยังเพิ่มปริมาณสารที่แตกตัวให้คาร์บอน (carbonific component) อีกด้วย

นอกจากนี้ไมโครแคปซูลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอด้านอื่นๆ เช่น ไมโครแคปซูลของสารกันน้ำ สารสี เอนไซม์ น้ำยาปรับผ้านุ่ม สารดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น [5,27]

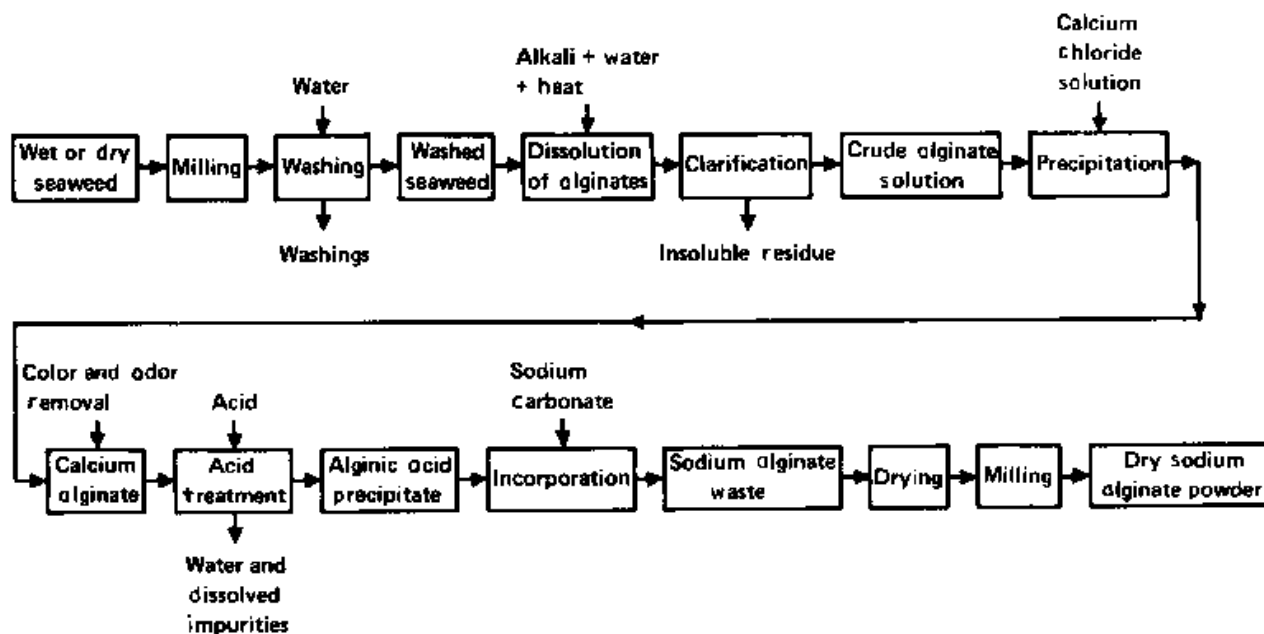
2.6 แอลจีเนต (Alginate)

แอลจีเนต (alginate) หรือ แอลจिन (algin) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งพบว่าเป็นส่วนประกอบอยู่ในผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาลในปริมาณร้อยละ 18-40 ของสาหร่ายทั้งต้น โดยปริมาณของแอลจีเนตในสาหร่ายชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณของแอลจีเนตในสาหร่ายชนิดต่างๆ [30]

ชนิดของสาหร่าย	ปริมาณแอลจินิกแอซิด (alginic acid)
Macrocystis pyrifera	20-31
Laminaria byperborea	25-38
Laminaria digitala	18-26
Laminaria japonica	22-28
Ascopbyllum nodosum	19-30
Ecklonia maxima	30-40
Lessonia nigrescens	28-41

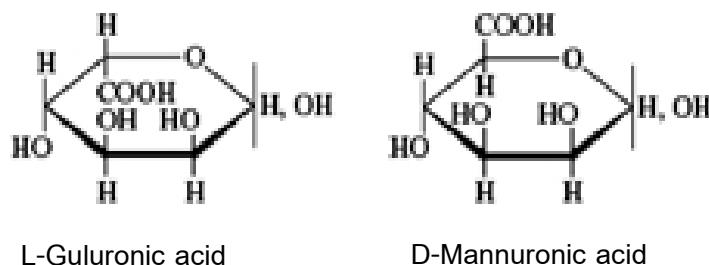
แอลจิเนตที่มีอยู่ในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลจะอยู่ในรูปเกลือของแอลจินิกแอซิด ซึ่งไม่ละลายน้ำ จำเป็นต้องทำให้อยู่ในรูปเกลือที่ละลายน้ำได้ คือเกลือของโซเดียม เทคนิคและกระบวนการที่ใช้ในการสกัด แอลจิเนตจากสาหร่ายทะเลของแต่ละบริษัทจะมีรายละเอียดแตกต่างกันไปแต่มีพื้นฐานคล้ายคลึงกันดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นกระบวนการสกัดซึ่งคิดค้นโดย Green and Le Gloahec and Herter [30]



รูปที่ 2.12 กระบวนการผลิตโซเดียมแอลจิเนต [30]

2.6.1 โครงสร้างทางเคมี

แอลจิเนตจะมีโครงสร้างเป็นบล็อกพอลิเมอร์ (block polymer) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นที่เป็นแอลจินิกแอซิด 2 ชนิด ได้แก่ β -D-mannuronopyranosyl (D-Mannuronic acid) และ α -L-guluronopyranosyl (L-Guluronic acid) โดยที่แต่ละหน่วยย่อยจะประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) 1 หมู่ แสดงดังรูปที่ 2.13

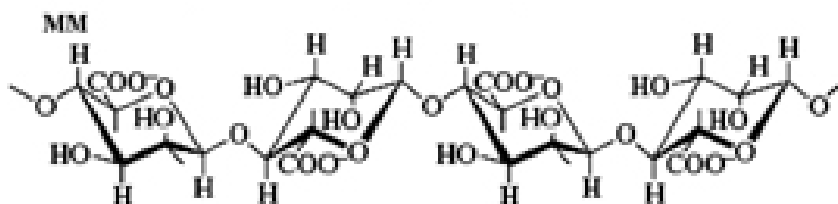


รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างของ D-Mannuronic acid และ L-Guluronic acid [31]

สำหรับทะเลแต่ละชนิดจะสกัดได้แอลจินที่มีอัตราส่วนของ D-Mannuronic acid และ L-Guluronic acid รวมถึงรูปแบบการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันออกไป

พอลิเมอร์ของแอลจินเกิดจากการเรียงตัวของแอลจินิกแอซิดมอนอเมอร์ (alginic acid monomer) ซึ่งพบได้ 3 รูปแบบ คือ

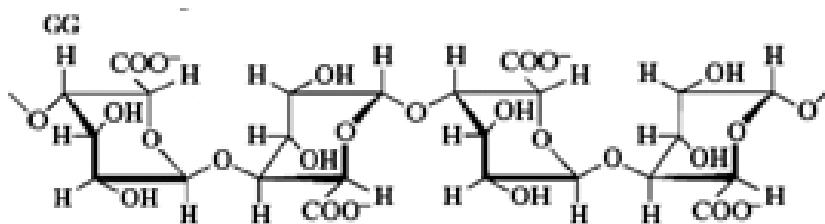
1. การเรียงตัวของ mannuronate เป็นบล็อกต่อเนื่องกัน เรียกว่า M-Blocks หรือ Poly(mannuronic acid) ดังรูปที่ 2.14



Joined with $\beta(1 \rightarrow 4)$ bonds D-mannuronic acid

รูปที่ 2.14 บล็อกของ β - (1, 4)- D-mannuronic acid[31]

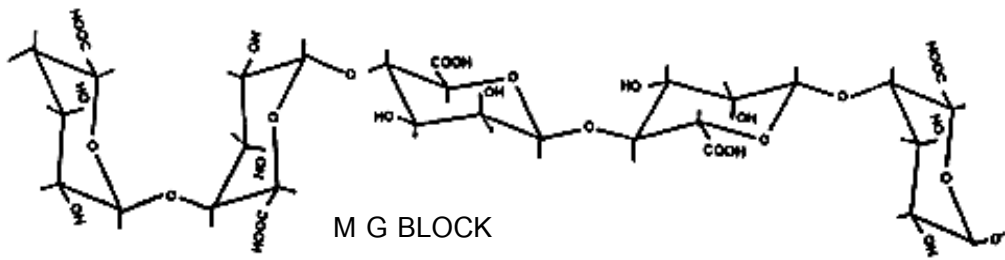
2. การเรียงตัวของ guluronate เป็นบล็อกต่อเนื่องกัน เรียกว่า G-Blocks หรือ Poly(guluronic acid) ดังรูปที่ 2.15



Joined with $\alpha(1 \rightarrow 4)$ bonds L-guluronic acid

รูปที่ 2.15 บล็อกของ α - (1, 4)- L-Guluronic acid [31]

3. การเรียงตัวแบบผสมกันระหว่าง Mannuronate และ Guluronate เป็นบล็อกต่อเนื่องกัน เรียกว่า MG-blocks ดังรูปที่ 2.16



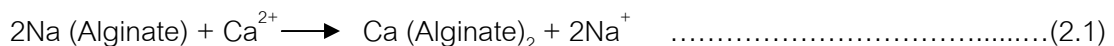
รูปที่ 2.16 โมเลกุลของแอลจินเตแสดงการเรียงตัวแบบผสมกันระหว่าง Mannuronate และ Guluronate [32]

2.6.2 สมบัติทางเคมี

แอลจินิกแอซิดไม่สามารถละลายได้ในน้ำ แต่เมื่ออยู่ในรูปของเกลือของโมโนวาเลนต์จะสามารถละลายน้ำได้ และสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดเจล (gelation) กับพอลิวาเลนต์ แคตไอออน ยกเว้นแมกนีเซียมได้ เช่น แคลเซียมไอออนสามารถเหนี่ยวนำให้แอลจินเตเกิดปฏิกิริยา gelation ได้แม้ที่ความเข้มข้นของสารละลายแอลจินเตต่ำๆ (ร้อยละ 0.5-1.0) โดยเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนต่ำจะทำให้สารละลายแอลจินเตมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนสูงขึ้นจะทำให้สารละลายแอลจินเตเกิดเป็นเจลได้

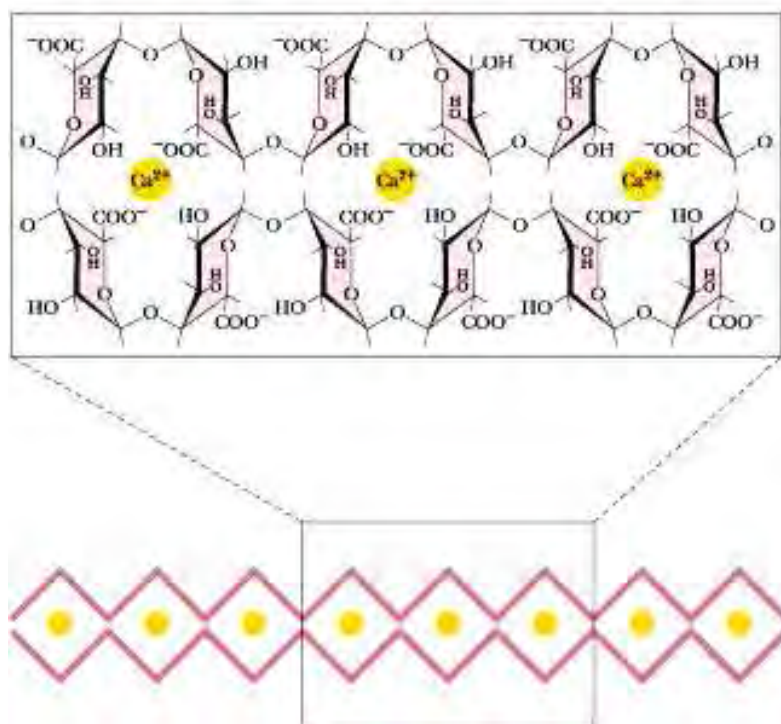
กลไกการเกิดปฏิกิริยา gelation ของแอลจินเต

เมื่อเติมแคลเซียมไอออนลงในสารละลายโซเดียมแอลจินเตจะได้แคลเซียมแอลจินเตที่ไม่ละลายน้ำเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง โซเดียมไอออน (Na^+) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ดังสมการที่ 2.1



สมการที่ 2.1 แสดงการเกิดปฏิกิริยา ionic gelation โดยแคลเซียมไอออนเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางแบบไอออน (ionic cross-linking) กับสายโซ่แอลจินเต โดยแคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับ guluronate residue (G-blocks) ก่อนที่จะทำปฏิกิริยากับ mannuronate residue (M-blocks) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะใช้ 2 สายโซ่ของ G-blocks ซึ่งมีโครงสร้างโค้งงอและหักเหลี่ยมในการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน โดยส่วนที่หักกลิ้งไปเป็นหลุมจะมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) และเป็นส่วนที่ใช้ทำปฏิกิริยา โดยแคลเซียมไอออนจะจับกับอะตอมของออกซิเจนในสายโซ่แอลจินเต และทำให้สายโซ่แอลจิ

เน็ตถูกยึดเข้าด้วยกันอย่างแข็งแรง โดยมีแคลเซียมไอออนอยู่ตรงกลางระหว่างสายโซ่แอลจีเนต 2 สายทำหน้าที่ยึดพอลิเมอร์ 2 สายเข้าด้วยกันในลักษณะคล้ายไข่ไก่ที่เรียงอยู่ในหลุมของภาตลูกฟูก (egg-box model) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



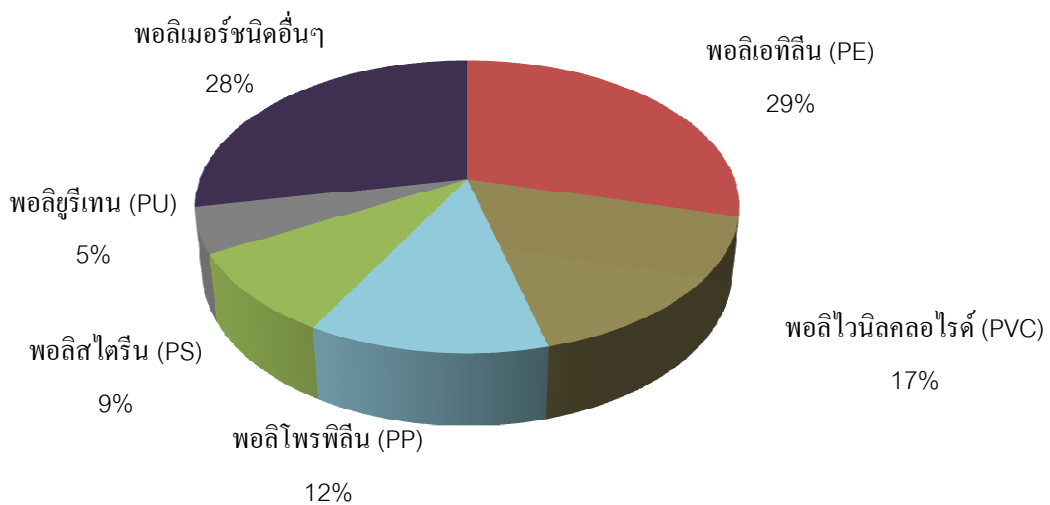
รูปที่ 2.17 การเกิดเจลของแคลเซียมแอลจีเนตแบบ Egg-box model [32]

2.6.3 สมบัติทางกายภาพ

แอลจีเนตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ High M และ High G ซึ่งสมบัติของแอลจีเนตเจลจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ D-Mannuronate และ L-Guluronate ในสายโซ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน หรือ polyvalent อื่นๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับแอลจีเนต โดยที่แอลจีเนตชนิด High G จะให้เจลที่แข็งและเปราะกว่าชนิด High M ซึ่งจะให้เจลที่มีความแข็งปานกลางถึงต่ำ แต่มีความยืดหยุ่นและคงตัวมากกว่า ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนสูงๆ จะทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แอลจีเนตชนิด High G ยังมีความคงทนต่อความร้อนสูง ส่วนสมบัติอื่นๆ ของแอลจีเนตเจล ได้แก่ มีสมบัติเข้ากับร่างกายได้ดี สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่เป็นพิษ

2.7 พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

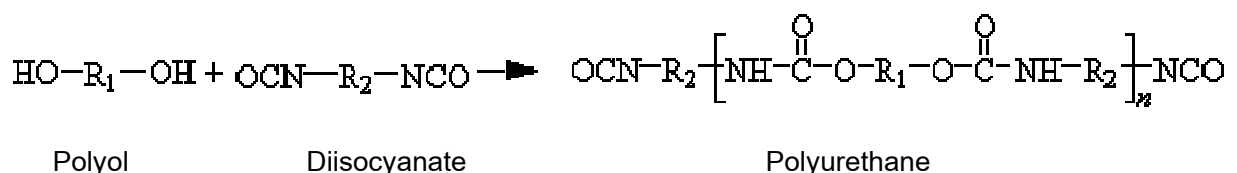
พอลิยูรีเทน (Polyurethane) จัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานกว้างขวางรองจากพอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีน ดังแสดงในรูป 2.18 พอลิยูรีเทนมีสมบัติที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการสังเคราะห์ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นและความแข็งแตกต่างกัน พอลิยูรีเทนสามารถนำไปใช้งานได้ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม เช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม โฟม รองเท้าจนถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง เช่น กันชนในรถยนต์และโครงสร้างอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 2.18 การผลิตพอลิเมอร์ในปี 1990 [33]

2.7.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน คือ ไอโซไซยานต (isocyanates) และโพลิโกลเมอรัลสายโซ่ยาวที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีหมู่ปลายเป็นไฮดรอกซิล (polyol) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางครั้งอาจเติมสารอื่นๆ เช่น สารเพิ่มความยาวสายโซ่ (chain extender) ตัวเร่งปฏิกิริยา สารฟู (blowing agent) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารหน่วงไฟ (flame retardant) หรือสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไป โดยปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนแสดงดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน [34]

ไดไอโซไซยาเนตคือโมเลกุลที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต 2 หมู่ สารไอโซไซยาเนตอาจเป็นสารอโรมาติก เช่น diphenylmethane diisocyanate (MDI) และ toluene diisocyanate (TDI) หรือเป็นสารที่ไม่มีสายโซ่ตรง เช่น hexamethylene diisocyanate (HMDI) และ isophorone diisocyanate (IPDI) โดยชนิดของสารไอโซไซยาเนตจะส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา ดังแสดงในตาราง 2.7

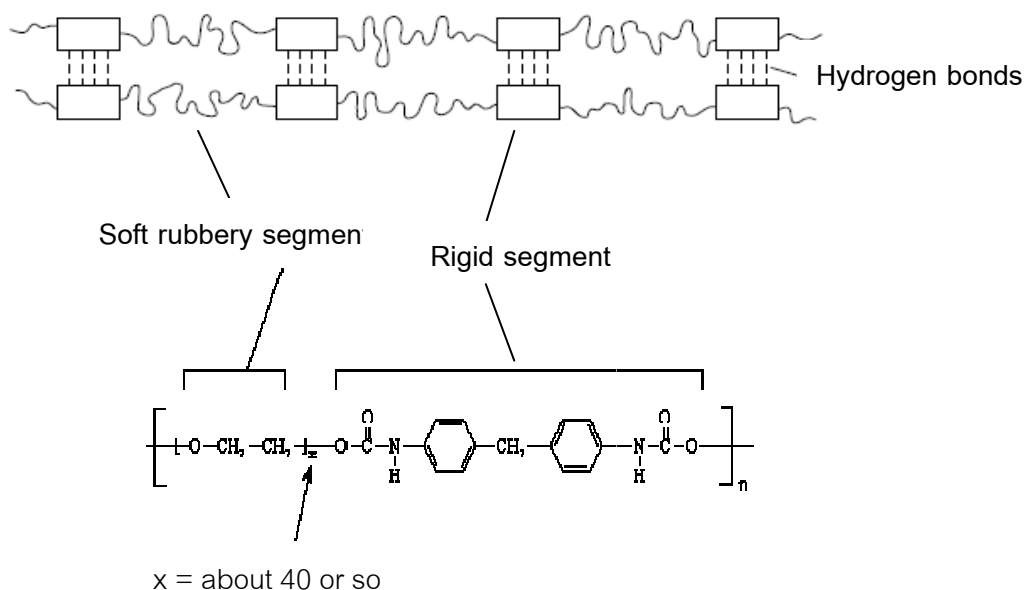
ตารางที่ 2.7 ความว่องไวของไอโซไซยาเนตในการเกิดปฏิกิริยากับ methoxyethanol [34]

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) คือโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ เช่น ethylene glycol (EG), 1,4-butanediol (BDO), diethylene glycol (DEG), glycerine, and trimethylol propane (TMP) โดยโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของสารพอลิออลจะส่งผลกระทบต่อสถานะ สมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทน และอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยหมู่ไฮดรอกซิลชนิด primary มีความว่องไวมากกว่า secondary และ tertiary ตามลำดับเนื่องจากผลของความเกะกะของหมู่ฟังก์ชัน (steric hindrance)

2.7.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่แข็ง (rigid segment) และส่วนที่ยืดหยุ่น (soft segment or flexible segment) ดังแสดงในรูป 2.20 โดยส่วนที่แข็งเกิดจากไอโซไซยาเนตและส่วนที่ยืดหยุ่นเกิดจากพอลิออล สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิยูรีเทนจะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของพอลิออล ขนาดของส่วนยืดหยุ่น และส่วนแข็ง อัตราส่วนระหว่างส่วนยืดหยุ่นต่อส่วนแข็ง แรงระหว่างโมเลกุล (พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล) ขนาดและความสมมาตรของวงแหวนอโรมาติก การจัดเรียงตัวของสายโซ่ พันธะที่ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห การแยกเฟสและการเกิดผลึก



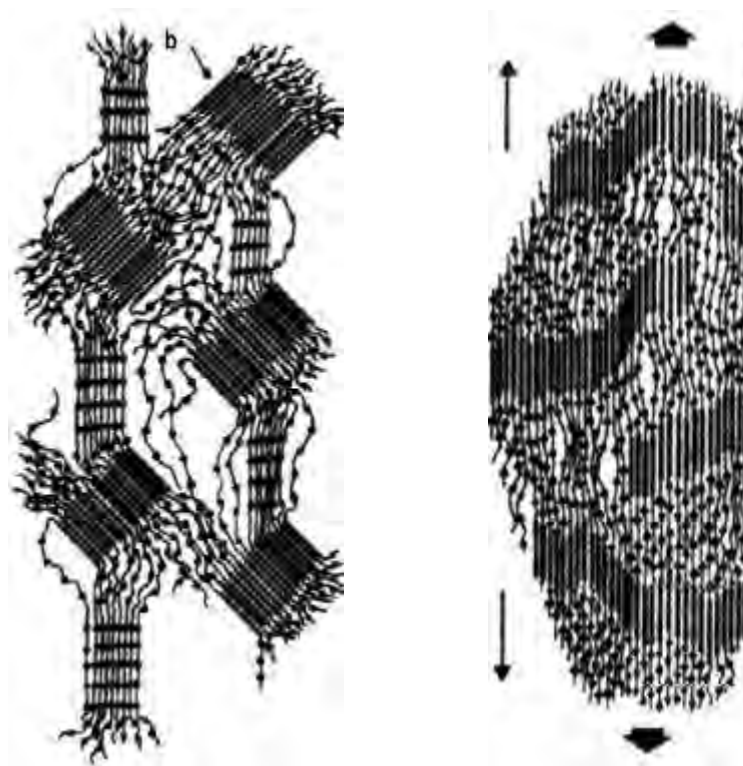
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน [34]

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นจะเพิ่มความต้านแรงดึง (tensile strength) ความต้านแรงดัดโค้ง (flexural strength) และความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ของพอลิเมอร์ แต่จะทำให้ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ลดลง แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิยูรีเทนเกิดจากพันธะของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล แสดงในตารางที่ 2.8 พันธะไฮโดรเจนและหมู่มีขั้วในพอลิยูรีเทนจะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ยากซึ่งทำให้อดดูล์สยืดหยุ่น (elastic modulus) เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์จะมีความยืดหยุ่นและแข็งแกร่งในขณะเดียวกัน

ตารางที่ 2.8 แรงระหว่างโมเลกุลของหมู่ฟังก์ชันในพอลิยูรีเทน [34]

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 ₆ H ₄ -	16.9	83.9
-CONH-	35.6	36.2
-CONH-	36.5	43.5
-NHCONH-	50-100	-

อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition, T_g) ของส่วนแข็งซึ่งเกิดจากไอโซไซยานาต จะอยู่ในช่วง 107-200 องศาเซลเซียส ส่วน T_g ของส่วนยืดหยุ่นซึ่งเกิดจากพอลิออล จะมีค่า -30 องศาเซลเซียส ซึ่งพอลิยูเทนที่มีจำนวนวงแหวนแอมโรมาติกในสายโซ่มากจะมีค่า T_g สูงด้วย การที่พอลิยูรีเทนมีส่วนแข็งมากๆจะทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ความแข็ง (rigidity) ความต้านทานการขีดถู และอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดการเปลี่ยนสถานะเพิ่มสูงขึ้น และการมีส่วนยืดหยุ่นในสายโซ่มากๆจะทำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่น ความยืดสูงสุดที่จุดขาด (elongation at break) และความต้านทานอุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น แต่จะมีความแข็ง มอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านทานการขีดถูลดต่ำลง โครงสร้างร่างแหทางกายภาพ (physical crosslink) ที่เกิดในส่วนแข็งของพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงซึ่งจะต้านทานการผ่อนคลายของสายโซ่ (chain relaxation) และสร้างผลึกเมื่อได้รับความเค้น ทำให้ความต้านแรงดึง และความต้านทานความร้อน (thermal resistance) เพิ่มขึ้น โดยปกติส่วนแข็งจะแยกเฟสกับส่วนยืดหยุ่นโดยมีการเชื่อมโยงด้วยสายโซ่ของส่วนยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงดึงยืดสายโซ่ของส่วนยืดหยุ่นจะเกิดการจัดเรียงตัว และเกิดเป็นผลึกทำให้มีความต้านแรงดึงสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างโมเลกุลเมื่อรับแรงดึงที่ 200% elongation (ซ้าย) 500% (ขวา) [34]

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

โครงสร้างโมเลกุลของสารพอลิออลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของส่วนยืดหยุ่นมีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทนเช่นเดียวกัน โดยตารางที่ 2.9 แสดงผลของชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน

ตารางที่ 2.9 ผลของชนิดของไกลคอล (glycol) ที่มีต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน [34]

ชนิดของไกลคอล	สถานะ	สมบัติของพอลิยูรีเทน
Ethylene	ของแข็ง	แข็ง ความต้านแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขาดถู เป็นผลึก
Propylene	ของเหลว	อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ มีความต้านทานการ Hydrolysis
Diethylene	ของเหลว	อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ
1,4-Butanediol	ของแข็ง	แข็ง ความต้านแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขาดถู
1,6-Hexanediol	ของแข็ง	แข็ง ความต้านแรงดึงยืดสูง มีความต้านทานการขาดถู และการเกิดไฮโดรไลซิส

สารเพิ่มความยาวสายโซ่ (chain extender) ของพอลิยูรีเทน เช่น ไดออล (diols) และ ไดเอมีน (diamines) ที่มีโมเลกุลเล็กๆมีผลต่อสมบัติของพอลิยูรีเทน เนื่องจากทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นสารเพิ่มความยาวสายโซ่ที่เป็นเอมีนและน้ำทำให้เกิดหมู่ยูเรีย ซึ่งมีความเป็นขั้วมากกว่ายูรีเทนทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น

ฟิล์มของพอลิยูรีเทนมีสมบัติยอมให้แก๊สและไอน้ำผ่านได้ (permeability) และพอลิยูรีเทนมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดี

2.7.3 สมบัติทางความร้อน

การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทนเกิดขึ้นหลายขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 2.10 และการสลายตัวของพอลิยูรีเทนจะเริ่มจากส่วนที่แข็ง จากนั้นจึงเกิดการสลายตัวของส่วนยืดหยุ่น และพันธะที่เชื่อมระหว่างหมู่ยูรีเทนและหมู่สายโซ่ตรงตามลำดับ

ตารางที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของพอลิยูรีเทน [34]

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

2.7.4 สมบัติทางเคมี

พอลิยูรีเทนสายโซ่ตรงจะมีความต้านทานต่อแสง หากมีพันธะยูเรียจะทำให้มีความต้านทานต่อแสงลดลง พอลิเอสเทอร์ยูรีเทนจะมีความต้านทานต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการเกิดออกซิเดชัน ในขณะที่พอลิอีเทอร์ยูรีเทนจะว่องไวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งทำให้พอลิอีเทอร์ยูรีเทนสลายตัวได้ง่ายในธรรมชาติ ความต้านทานการเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของพอลิยูรีเทนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวสายโซ่ ปริมาณของส่วนแข็ง ความเป็นระเบียบของสายโซ่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นด้วย โดยพันธะยูรีเทนจะเกิดไฮโดรไลซิสช้ากว่าพันธะเอสเทอร์แต่เร็วกว่าพันธะอีเทอร์

พอลิยูรีเทนที่ไม่มีโครงสร้างร่างแหจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น THF, DMF และ DMSO และละลายได้บ้างในตัวทำละลายเอสเทอร์ คีโตน แอลกอฮอล์ และแอโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิห้องพอลิยูรีเทนจะเกิดการบวมตัวใน THF, dioxan, cyclohexanol และ benzyl alcohol

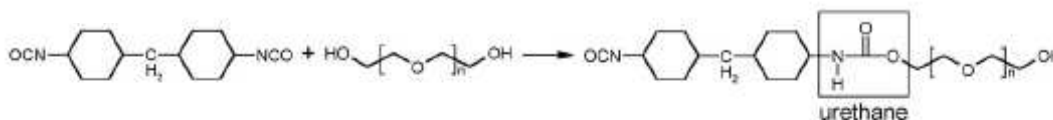
2.7.5 สมบัติทางชีวภาพ

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบโดยธรรมชาติ ดังนั้นจึงไม่เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพกับร่างกายและมีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อของเหลวในร่างกายพอสมควร และมีอัตราการย่อยสลายและการดูดซึมสู่ร่างกายต่ำ

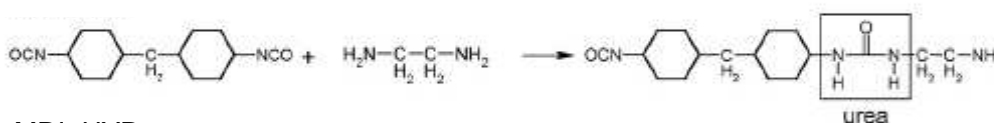
2.7.6 พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea)

พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (polyurethane-urea) หรือ waterborne polyurethane เป็นพอลิเมอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตพอลิยูรีเทน และยังมีคุณสมบัติในการควบคุมการแพร่ผ่านของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ มีความหนืดต่ำที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ไม่เป็นพิษ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าพอลิยูรีเทน นอกจากนี้การที่มีหมู่ยูเรียซึ่งเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่าเข้าแทนที่หมู่ยูรีเทนทำให้พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [35]

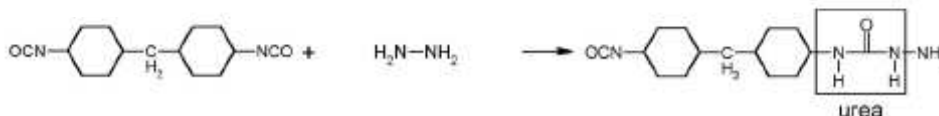
MDI+PEG



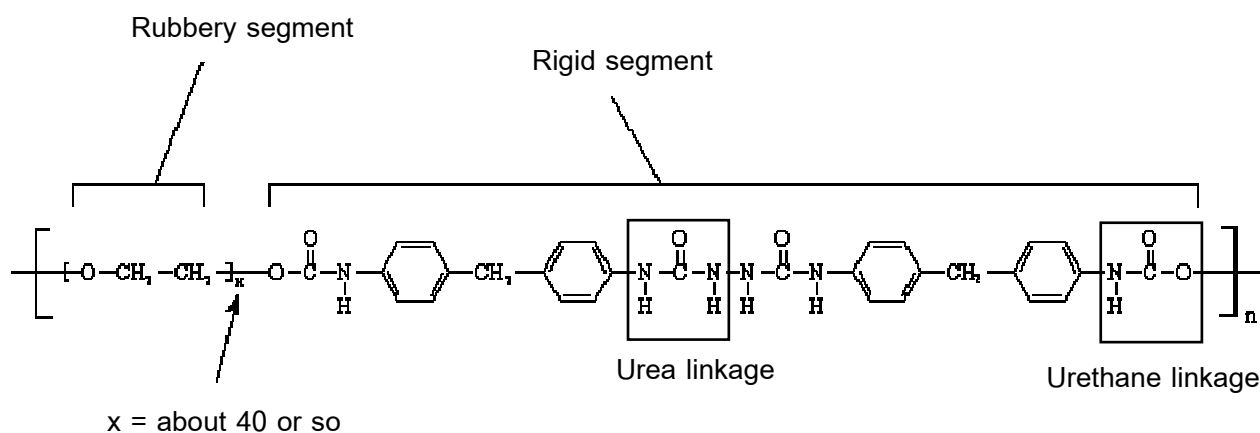
MDI+EDA



MDI+HYD



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย [4]



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย [34]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่แสดงประสิทธิภาพของสมุนไพรไทยในการต้านจุลินทรีย์

ในปี ค.ศ. 2006 Oonmetta-aree และคณะ [8] ได้ศึกษาสารสกัดจากพืชในตระกูล *Zingiberaceae* คือ ข่า ขิง ขมิ้น และกระชาย ที่สกัดด้วยเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นสารต้านจุลินทรีย์ *S. aureus* และ *E. coli* พบว่าสารสกัดจากข่ามีผลในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากขิง ขมิ้น และกระชาย โดยความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ขึ้นกับเวลาที่ทิ้งสารสกัดไว้และความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์

ในปี ค.ศ. 2007 Mayachiew และ Devahastin [9] ได้ศึกษาการต้านจุลินทรีย์และการต้านการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดมะขามป้อมและข่า โดยการสกัดสารจากมะขามป้อมและข่าด้วยเอทานอลร้อยละ 95 แล้ววิเคราะห์ส่วนประกอบหลักของสารสกัดข่าและมะขามป้อมด้วยเทคนิค GC-MS และเทคนิค UV-HPLC ตามลำดับ พบว่าส่วนประกอบหลักของสารสกัดข่า คือ 1,8-cineole, β -bisabolene, caryophyllene และ β -selinene ส่วนประกอบหลักของสารสกัดมะขามป้อม คือ สารประกอบฟีนอลเป็นจำนวนมาก จากการทดสอบความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ พบว่าสารสกัดข่ามีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ *S. aureus* มากกว่าสารสกัดมะขามป้อม เนื่องจากในสารสกัดข่ามี 1,8-cineole ซึ่งจะไปหยุดยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก จากการทดสอบความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชัน พบว่าสารสกัดมะขามป้อมมีการต้านการเกิดออกซิเดชันมากกว่าสารสกัดข่า เนื่องจากในสารสกัดมะขามป้อมมีสารประกอบฟีนอลซึ่งสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันเป็นองค์ประกอบหลัก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สมุนไพรเป็นสารต้านจุลินทรีย์บนสิ่งทอ

ในปี ค.ศ. 2005 Hana, S. และ Yanga, Y. [36] ได้ศึกษาการต้านจุลินทรีย์ของผ้าขนสัตว์ที่ย้อมด้วยสีย้อมจากขมิ้น โดยทดสอบการต้านจุลินทรีย์ *E. coli* และ *S. aureus* ด้วยวิธี AATCC Test Method 100-1999 พบว่าสีย้อมจากขมิ้นสามารถต้านจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของสีย้อมสูงกว่าร้อยละ 0.2 ไม่ได้ทำให้การต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทดสอบความคงทนของการต้านจุลินทรีย์ต่อการซักล้างด้วยวิธี AATCC Test Method 124-2001 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและการต้านจุลินทรีย์ของผ้าหลังการซัก พบว่าหลังการซักครั้งแรกประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ไม่ลดลงแต่เมื่อทำการซักล้างมากขึ้นสมบัติต้านจุลินทรีย์จะลดลง และอัตราการต้าน *E. coli* จะลดลงมากกว่า *S. aureus* และเมื่อทดสอบความคงทนต่อแสงด้วยวิธี AATCC Test Method 16 E-1998 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีและการต้าน จุลินทรีย์ของผ้าหลังผ่านการทดสอบความคงทนต่อแสง พบว่าการต้านจุลินทรีย์ลดลงเมื่อผ่านแสงมากขึ้น โดยอัตราการต้าน *E. coli* จะลดลงมากกว่า *S. aureus*

ในปีค.ศ. 2009 Chaliewsak [1] ได้ศึกษาการใช้ไขมันหอมระเหยเข้าในการตกแต่งด้านจุลินทรีย์บนผ้าฝ้ายที่ความเข้มข้นต่างๆตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง 10 โดยนำมาทดสอบสมบัติด้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นการลดลงของจุลินทรีย์ *S. aureus* ก็จะเพิ่มขึ้น แม้ว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงสูงถึงร้อยละ 99.3 แต่เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยจากการระคายเคืองของผิวหนังของผู้ใช้ที่ห้ามใช้สารดังกล่าวมากกว่าร้อยละ 5 แล้ว ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเข้าที่เหมาะสมคือร้อยละ 3 ที่ยังสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ลงได้มากกว่าร้อยละ 92 และสีของผ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำไปผ่านภาวะการใช้งานต่างๆ พบว่าน้ำมันหอมระเหยเข้าไม่ทนต่อแสง ต่อเหงื่อ โดยผ้าฝ้ายสามารถต้านจุลินทรีย์ลดลงมากโดยจำนวนจุลินทรีย์ลดลงเพียงร้อยละ 30 ถึง 50 เท่านั้น แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งด้านจุลินทรีย์ไปผ่านการซักและการรีดร้อนกลับพบว่าผ้าสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการซักและการรีดร้อนอาจเป็นการทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อบนผ้าฝ้ายไม่ได้เป็นเพราะน้ำมันหอมระเหยเข้ามีความคงทนต่อการซักและการรีดร้อน

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตกแต่งไมโครแคปซูลของสารต้านจุลินทรีย์บนสิ่งทอ

ในปีค.ศ. 2007 Thilagavathi และคณะ[37] ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของอะคาเซีย (Acacia) บรรจุด้วยสารสกัดจากนิม (Neem) และเดซี่แมกซิกัน (Mexican daisy) ซึ่งมีสมบัติด้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation) แล้วตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัดเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการซักล้าง โดยนำมาทดสอบความคงทนต่อการซักล้างของสมบัติด้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน AATCC 124 พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลยังคงมีสมบัติด้านจุลินทรีย์ *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีแม้ภายหลังการซักล้าง 15 รอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมไมโครแคปซูลของแอลจินेट

ในปีค.ศ. 2000 Chan และคณะ [38] ศึกษาการเตรียมแคปซูลของไซเดียมแอลจินेटบรรจุด้วยน้ำมันหิวต์เจม (wheatgerm oil) และน้ำมันอีฟนิงพริมโรส (evening primrose oil) ด้วยวิธี emulsification พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหิวต์เจมจะเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดเอนแคปซูลเลขชั้นของไมโครแคปซูล แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหิวต์เจมถึงร้อยละ 250 โดยน้ำหนักจะทำให้ขนาดของไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้นมาก โดยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอยู่ในช่วง 50-120 ไมโครเมตร สำหรับไมโครแคปซูลของน้ำมันอีฟนิงพริมโรสจะให้ผลในทางเดียวกับน้ำมันหิวต์เจม ซึ่งการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหิวต์เจมด้วยวิธี emulsification จะเกิดการเอนแคปซูลเลขชั้นสูงถึงร้อยละ 88

ในปีค.ศ. 2003 Chang และ Dobashi [39] ศึกษาการเตรียมแคปซูลของไซเดียมแอลจินेटบรรจุด้วยน้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสจากปฏิกิริยา Interfacial insolubilization โดยใช้วิธีเตรียมแบบ orifice พร้อมทั้งทดสอบสมบัติการปล่อยสารของแคปซูล พบว่าเปลือกแคปซูลสามารถป้องกันการระเหยของ

น้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสได้อย่างสมบูรณ์เมื่อตัวแปรในการเตรียมมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤติคือ ความเข้มข้นของไซเตียมแอลจินตสูงกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์สูงกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และเวลาที่เกิดโครงสร้างร่างแหมากกว่า 20 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในแคปซูล (loading capacity) สูงสุดที่ร้อยละ 90-92 และพบว่าแคปซูลจะถูกทำให้แตกได้เพียงออกแรงบีบระหว่างนิ้วเท่านั้น

ในปีค.ศ. 2008 Lertsutthiwong และคณะ [2] ศึกษาการเตรียมนาโนแคปซูลของแอลจินเตบรจูด้วยน้ำมันหอมระเหยขมิ้นจาก 3 ขั้นตอนโดยขั้นตอนแรกเป็นการทำอิมัลชันฟิเคชันแบบน้ำมันในน้ำตามด้วยการทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหด้วยแคลเซียมคลอไรด์และสุดท้ายเป็นการขจัดตัวทำละลาย พบว่านาโนแคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 95 นาโนเมตร และแสดงสมบัติทางกายภาพที่ดีเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาานที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในแคปซูลที่ต่ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ในปีค.ศ. 2002 Matsunami และคณะ [40] ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรจูด้วยอนุพันธ์ฟาทาเลท (phthalate derivative) จากปฏิกิริยา Interfacial polymerization แล้วศึกษาผลของปริมาณอนุพันธ์ฟาทาเลทที่มีต่อการเกิดรูพรุนในไมโครแคปซูลและโครงสร้างของสารแกน/สารห่อหุ้มด้วย SEM ซึ่งพบว่าปริมาณของอนุพันธ์ฟาทาเลทที่เติมลงไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถการละลายของสารแกนในสารห่อหุ้ม จากเทคนิค DMA พบว่าโครงสร้างอสังฐานของสารห่อหุ้มและ T_g จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารแกนสูงขึ้นเนื่องจากผลของการเสริมสภาพพลาสติก (plasticizing effect) พื้นผิวของสารแกนที่ถูกดูดซับบนสารห่อหุ้มสามารถหาได้จากเทคนิค time of flight secondary ion spectroscopy analysis (ToF-SIMS) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารแกนพื้นผิวของสารแกนที่ถูกดูดซับบนสารห่อหุ้มจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากผลของการพองตัวของสารห่อหุ้มและความเข้ากันได้ระหว่างสารแกนและสารห่อหุ้ม นำไปสู่ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่แตกต่างกัน

ในปีค.ศ. 2009 Rodrigues และคณะ [4] ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรจูด้วยน้ำหอมจากปฏิกิริยา Interfacial polymerization แล้วตกแต่งไมโครแคปซูลลงบนผ้าด้วยวิธีการ Impregnation พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เป็นทรงกลมมีขนาดประมาณ 1-10 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลชั้นที่ร้อยละ 55 หลังจากการตกแต่งบนผ้ามีไมโครแคปซูลบางส่วนแตกออก แต่ไมโครแคปซูลที่เหลือมีแรงยึดติดที่ดีกับเส้นใย มีกลไกการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลด้วยการขจัด และมีความคงทนต่อการซักล้างที่ 5 รอบ

ในปีค.ศ. 2011 Salaüna และคณะ [41] ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรจูด้วยไซลิตอล (Xylitol) จากปฏิกิริยา Interfacial polymerization ระหว่างไดฟีนิล เมทิลีน ไดไอโซไซยาเนต (diphenyl methylene diisocyanate; MDI) กับไซลิตอล ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบใน

การกวนผสมและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้ม ที่มีผลต่อกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูล พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมต่ำไมโครแคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณไซลิทอลบรรจุในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้มไมโครแคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้มมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของสารแกนหรืออนุภาคของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเอนแคปซูลเลชันลดลง โดยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้มที่เหมาะสมต่อการเกิดการเอนแคปซูลเลชันคือ 77.0/23.0

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยข่ามีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ได้แก่ *S. aureus*, *A. flavus* และ *B. cinerea* และยังมีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ดีกว่าพืชในตระกูลเดียวกันและเครื่องเทศอื่นๆ แต่เนื่องจากการตกแตงน้ำมันหอมระเหยข่าลงบนสิ่งทอโดยตรงจะไม่มี ความคงทนต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาน้ำมันหอมระเหยข่าให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลเพื่อเพิ่มความคงทน ไม่ถูกทำลายจากภาวะการใช้งาน ไม่ปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ตลอดเวลา และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารในระหว่างการนำไปใช้งาน

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ขอบเขตการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาด้วยวิธีเตรียม 2 วิธี ได้แก่ วิธี Orifice โดยใช้แอลจีเนตเป็นสารห่อหุ้ม และวิธี Interfacial polymerization โดยใช้พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากส่วนที่ 1

3.2 วัสดุและสารเคมี

- 1) น้ำมันหอมระเหยชาทางการค้า เป็นน้ำมันหอมระเหยชาทางการค้าซึ่งสกัดด้วยการกลั่นไอน้ำ และมีสารสำคัญ ได้แก่ 1,8-cineole ร้อยละ 55, caryophyllene ร้อยละ 5, terpinene-4-ol ร้อยละ 3.5 จากบริษัทเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด
- 2) โซเดียมแอลจีเนต (Sodium alginate) ใช้เป็นสารห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูล จากบริษัท August Chem Co. Ltd. เกียรติคุณภาพเชิงทางพาณิชย์
- 3) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) ใช้เป็นสารที่เกิดปฏิกิริยา Ionic gelation กับโซเดียมแอลจีเนต จากบริษัท Ajax Fine Chem Co. Ltd. เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์
- 4) เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate, HMDI) เป็นสารไอโซไซยาเนตใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Fluka เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์
- 5) พอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol 400, PEG 400) เป็นสารพอลิแอลกอฮอล์ใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Fluka เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์
- 6) เอทิลีนไดแอมีน (Ethylenediamine, EDA) เป็นสารแอมีนใช้เป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Panreac เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์
- 7) ไดบิวทิลทินไดลาอูเรต (Dibutyltin dilaurate, DBTDL) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Sigma-Aldrich Co. Ltd. เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์
- 8) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ใช้เป็นสาร Protective colloid จากบริษัท Ajax Fine Chem Co. Ltd. เกียรติคุณภาพเชิงวิเคราะห์

9) พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinyl pyrrolidone, PVP) ใช้เป็นสาร Protective colloid ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท August Chem Co. Ltd. เกรอดคุณภาพเชิงวิเคราะห์

10) เอทานอล (ร้อยละ 95 (ethanol 95%) จากบริษัท Merck เกรอดคุณภาพเชิงทางพาณิชย์

11) ทวีน 80 (Tween 80) เป็นสารพอลิซอร์เบต 80 ใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ช่วยให้ไมโครแคปซูลกระจายตัวในน้ำได้ดี จากบริษัท Sigma-Aldrich Co. Ltd. เกรอดคุณภาพเชิงวิเคราะห์

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

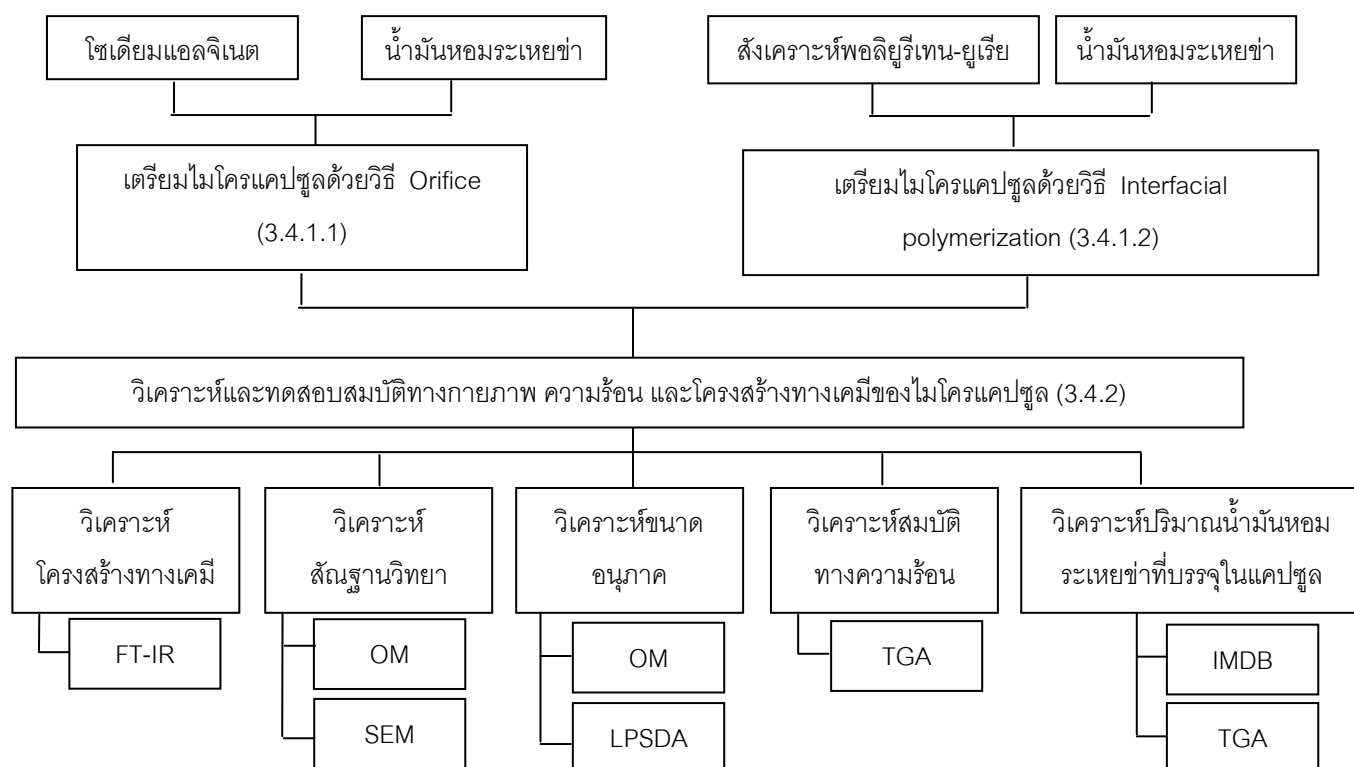
ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น / บริษัทผู้ผลิต / ประเทศ
1. ตู้อบ (Isotemperature Oven)	Thermo Fisher Scientific Inc. / United States
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	รุ่น JSM 5800 LV / JEOL., Ltd. / Japan
3. กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope, OM)	รุ่น SZ40 / Olympus America Inc. / United States
4. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)	รุ่น Bruker Tensor 27 FT-IR Spectrometer / Bruker Co., Ltd. / United States
5. เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA)	รุ่น TGA7 / PerkinElmer Inc. / United States
6. เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Infrared Moisture Determination Balance, IMDB)	รุ่น AD-4715 / A&D Weighing division / United States
7. เครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบเลเซอร์ (Laser Particle Size Distribution Analyzer, LPSDA)	รุ่น Hydro 2000 Mastersizer / Malvern Instruments / United Kingdom
8. เครื่องผสมกวนสารแบบ Homomixer	รุ่น Multi-Mixer / Magna / United States

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น / บริษัทผู้ผลิต / ประเทศ
9. เครื่องผสมกวนสารแบบ Homogenizer	รุ่น T18 basic / Ultra Turrax IKA / Malaysia
10. เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (Centrifuge)	รุ่น 2420 / Kubota Corporation / Japan
11. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)	รุ่น B-169 Brinkmann / BioSurplus Inc. / United States

3.4 การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงได้ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3.1



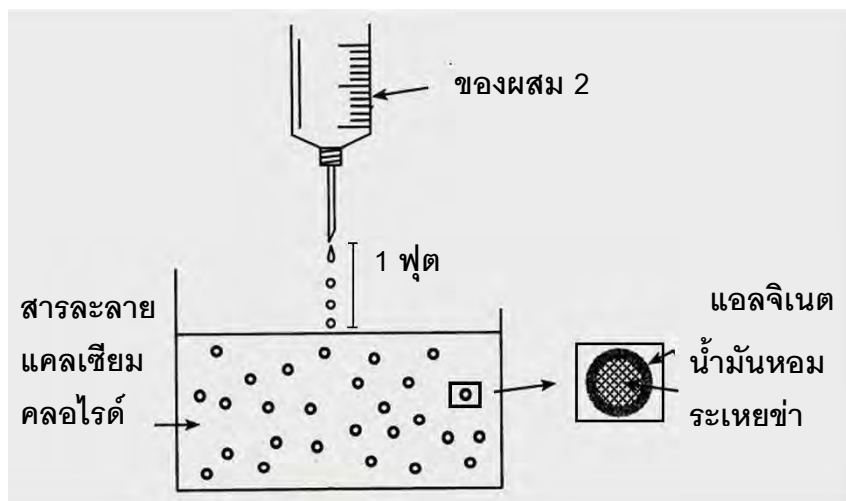
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา

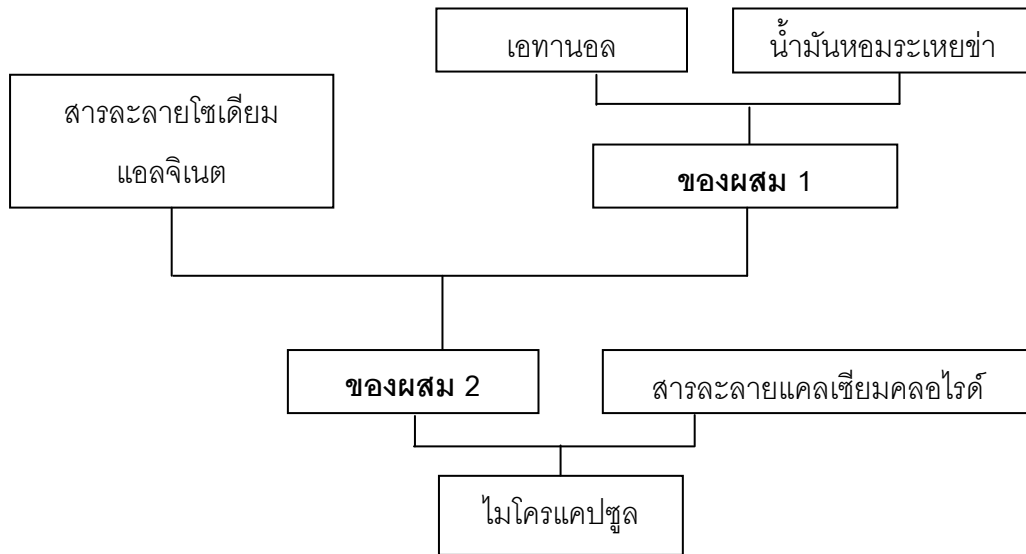
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาด้วยวิธีเตรียม 2 วิธี ได้แก่ วิธี Orifice โดยใช้แอลจินेटเป็นสารห่อหุ้ม และวิธี Interfacial polymerization โดยใช้พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1.1 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินेटด้วยวิธี Orifice โดย ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेटและปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่อัตราส่วน ต่างๆ

- 1) เตรียมสารละลายโซเดียมแอลจินेटที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ ร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ น้ำกลั่นอุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร กวนสารละลายให้กระจายตัวอย่างดีแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 2) เตรียมของผสมของน้ำมันหอมระเหยชำในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 1, 3 และ 5 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล 7.5 มิลลิลิตร กวนของผสมให้กระจายตัวอย่างดี (ของผสม 1)
- 3) ผสมของผสมที่เตรียมได้จากข้อ (2) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมแอลจินेटจากข้อ (1) ปริมาณ 25 มิลลิลิตร กวนส่วนผสมให้กระจายตัวอย่างดี (ของผสม 2)
- 4) หยดส่วนผสมที่ได้จากข้อ (3) ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร และเข็มฉีดยาเบอร์ 26 ปลายเข็มตัดตรง ได้เม็ดแคปซูลแยกตัวออกมา
- 5) แช่ไมโครแคปซูลที่ได้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.2 การเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธี Orifice



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจีเนตโดยวิธี Orifice



รูปที่ 3.4 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจีเนตที่เตรียมได้โดยวิธี Orifice

3.4.1.2 การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยวิธี Interfacial polymerization โดยใช้ความเร็วรอบในการผสม, เวลาในการผสม, ชนิดของสาร Protective colloid และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่อัตราส่วนต่างๆ

1) ผสมน้ำมันหอมระเหยชาในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 10, 30 และ 50 มิลลิลิตร กับ HMDI 15 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย 1 ซึ่งมี Protective colloid ที่แตกต่างกันคือ PVA หรือ PVP เป็นองค์ประกอบ

2) นำส่วนผสมดังกล่าวไปผสมด้วยเครื่องผสมกวนสารแบบ Homomixer โดยใช้รอบกวนผสมที่แตกต่างกันคือ 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 และเครื่องผสมกวนสารแบบ Homogenizer โดยใช้รอบกวนผสมที่ 10,000 รอบต่อนาที และใช้เวลาการกวนผสมที่แตกต่างกันคือ 3, 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ในขั้นตอนนี้จะเกิดระบบอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ

3) นำอิมัลชันที่ได้ในข้อ (2) ไปทำปฏิกิริยาต่อโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และคงรอบปั่นของเครื่องกวนผสมไว้ที่ 100 รอบต่อนาที

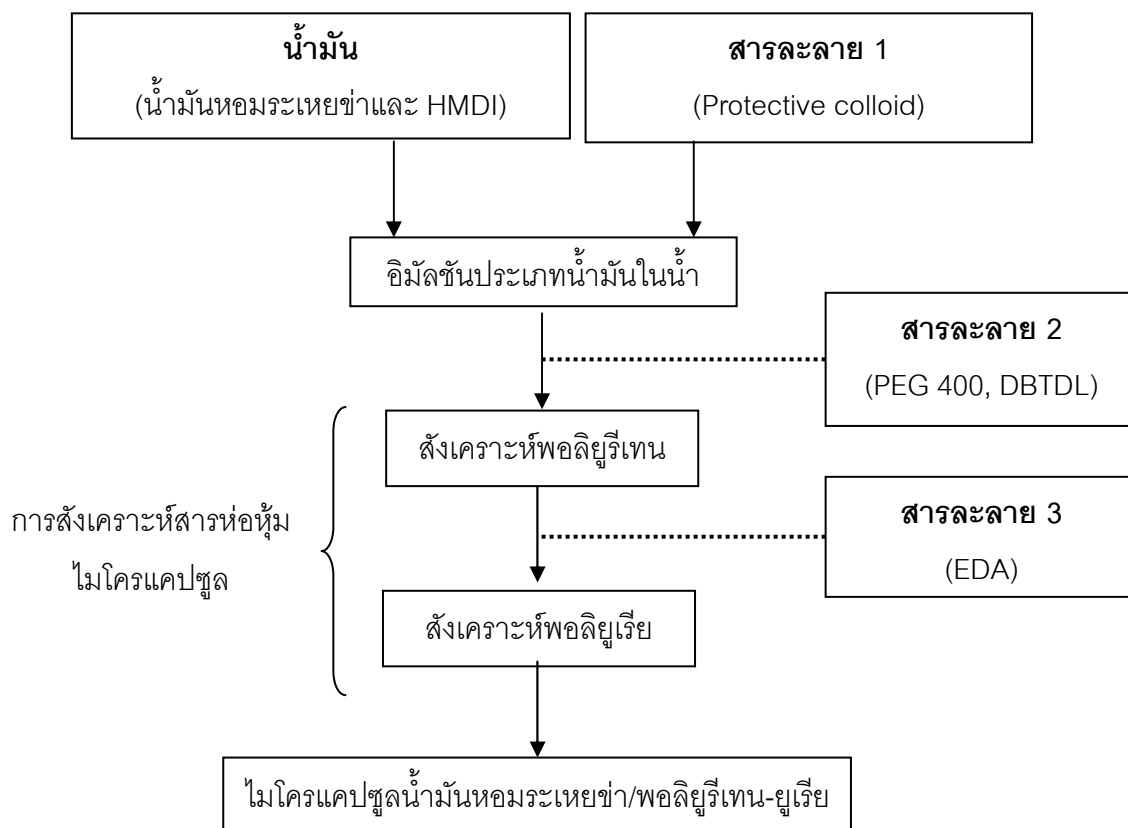
4) เติมสารละลาย 2 ส่วน ซึ่งได้แก่ ส่วนที่มี PEG 400 ผสมกับ DBTDL (สารละลาย 2) และส่วนที่มี EDA (สารละลาย 3) โดยเติมตามลำดับ และทิ้งช่วงห่างกัน 1 ชั่วโมง

5) จากนั้นนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงสาร ชะด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร และชะด้วยน้ำกลั่นอีก 2 รอบ

6) ไมโครแคปซูลที่ได้จะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มี Tween 80 เป็นอิมัลซิฟายเออร์

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบและปริมาณของสารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ						
	น้ำมันหอมระเหยชา (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	HMDI (มิลลิลิตร)	Protective colloid (กรัม)	PEG 400 (มิลลิลิตร)	DBTDL (มิลลิลิตร)	EDA (มิลลิลิตร)
น้ำมันหอมระเหยชา	10, 30, 50	-	15	-	-	-	-
สารละลาย 1	-	250	-	4.2	-	-	-
สารละลาย 2	-	100	-	-	23	0.5	-
สารละลาย 3	-	20	-	-	-	-	6



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย
โดยวิธี Interfacial polymerization

3.4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า

3.4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยซ่า เม็ดแอลจีเนต (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุอยู่) ด้วยเทคนิค ATR-FTIR และเปรียบเทียบกับเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุอยู่) ด้วยเครื่อง FT-IR ดังรูปที่ 3.6 แสดงผลในโหมดส่องผ่านตั้งแต่ wave number $600-4000\text{ cm}^{-1}$ ความละเอียด 4 cm^{-1} ใช้จำนวนครั้งในการสแกน 16 ครั้ง โดยใช้เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ 2 เทคนิคคือ

- 1) ตัวอย่างที่เป็นของแข็งได้แก่ ไมโครแคปซูลและเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุอยู่) เตรียมโดยการบดกับ KBr ในอัตราส่วนของสารตัวอย่างและ KBr เป็น 1 ต่อ 9 จากนั้นอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก
- 2) ตัวอย่างที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำมันหอมระเหยซ่า เตรียมตัวอย่างโดยการใช้เซลล์สำหรับของเหลว KBr (KBr liquid cell)



รูปที่ 3.6 เครื่อง FTIR ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา เม็ด แอลจินเตและเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

3.4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค OM และ SEM

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้เพื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยา พื้นผิวภายนอก และพื้นผิวบริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 โดยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจินเตได้วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง OM กำลังขยาย 100 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เนื่องจากไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะแก่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM แต่ได้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวภายนอก และพื้นผิวบริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองโดยใช้ sputter-coater ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ โดยทองจะถูกทำให้แตกตัวเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้าขณะตรวจสอบในภาวะที่เป็นสุญญากาศ จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจสอบพื้นผิวด้วย SEM สำหรับไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจะวิเคราะห์สัณฐานวิทยา พื้นผิวภายนอก และพื้นผิวบริเวณรอยแตกด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 500, 2000, 10000 และ 20000 เท่า



รูปที่ 3.7 เครื่อง OM (ซ้าย) และ SEM (ขวา) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูล

3.4.2.3 การวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค LPSDA และ OM

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้เพื่อหาขนาดและการกระจายขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 โดยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจินेटได้วิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่อง OM กำลังขยาย 100 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เนื่องจากไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดใหญ่และมีปริมาณน้อยไม่เหมาะแก่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LPSDA สำหรับไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียได้วิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่อง LPSDA ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยใช้ ค่า particle refractive index เป็น 1.5 ค่า absorption เป็น 0.1 ในตัวกลางน้ำ โดยอ่านค่าขนาดของไมโครแคปซูลที่จุดสูงสุดของ peak แรก ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับผลที่ได้จาก SEM



รูปที่ 3.8 เครื่อง LPSDA ที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูล

3.4.2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้เพื่อศึกษาความคงทนต่อความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจินेटและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยชา เม็ดแอลจินेट (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุอยู่) และเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุอยู่) ด้วย TGA ดังแสดงในรูป 3.9 โดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 50 – 500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน



รูปที่ 3.9 เครื่อง TGA ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

3.4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูลด้วย IMDB และเทคนิค TGA

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 โดยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจีเนตได้ทดสอบด้วยเครื่อง IMDB ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียได้ทดสอบด้วยเครื่อง TGA ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โหมดอุณหภูมิคงที่ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยปริมาณร้อยละของน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูลคำนวณได้จากสมการ 3.1

$$\text{น้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูล(\%)} = \frac{W_{m(0)} - W_0}{W_{m(0)}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

(Loading capacity)

โดยที่ $W_{m(0)}$ = น้ำหนักไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ
 W_0 = น้ำหนักไมโครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็น 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดปริมาณความชื้น (IMDB) ที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากไม้โครแคปซูล

3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไม้โครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA

การทดสอบเพื่อหาปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไม้โครแคปซูลที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส ได้ทดสอบด้วยเครื่อง TGA ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โหมดอุณหภูมิคงที่ที่ 37 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยและเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยบรรจุอยู่) โดยปริมาณร้อยละการปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุภายในไม้โครแคปซูล คำนวณได้จากสมการ 3.2

$$\text{การปล่อยน้ำมันหอมระเหย (\%)} = \left(\frac{W_{m(0)} - W_{m(t)}}{W_{m(0)} - W_0} \right) \times 100 \dots\dots\dots(3.2)$$

(Oil release content)

- โดยที่ $W_{m(0)}$ = น้ำหนักไม้โครแคปซูลก่อนทดสอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
- W_0 = น้ำหนักไม้โครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- $W_{m(t)}$ = น้ำหนักไม้โครแคปซูล ณ เวลาใดๆที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

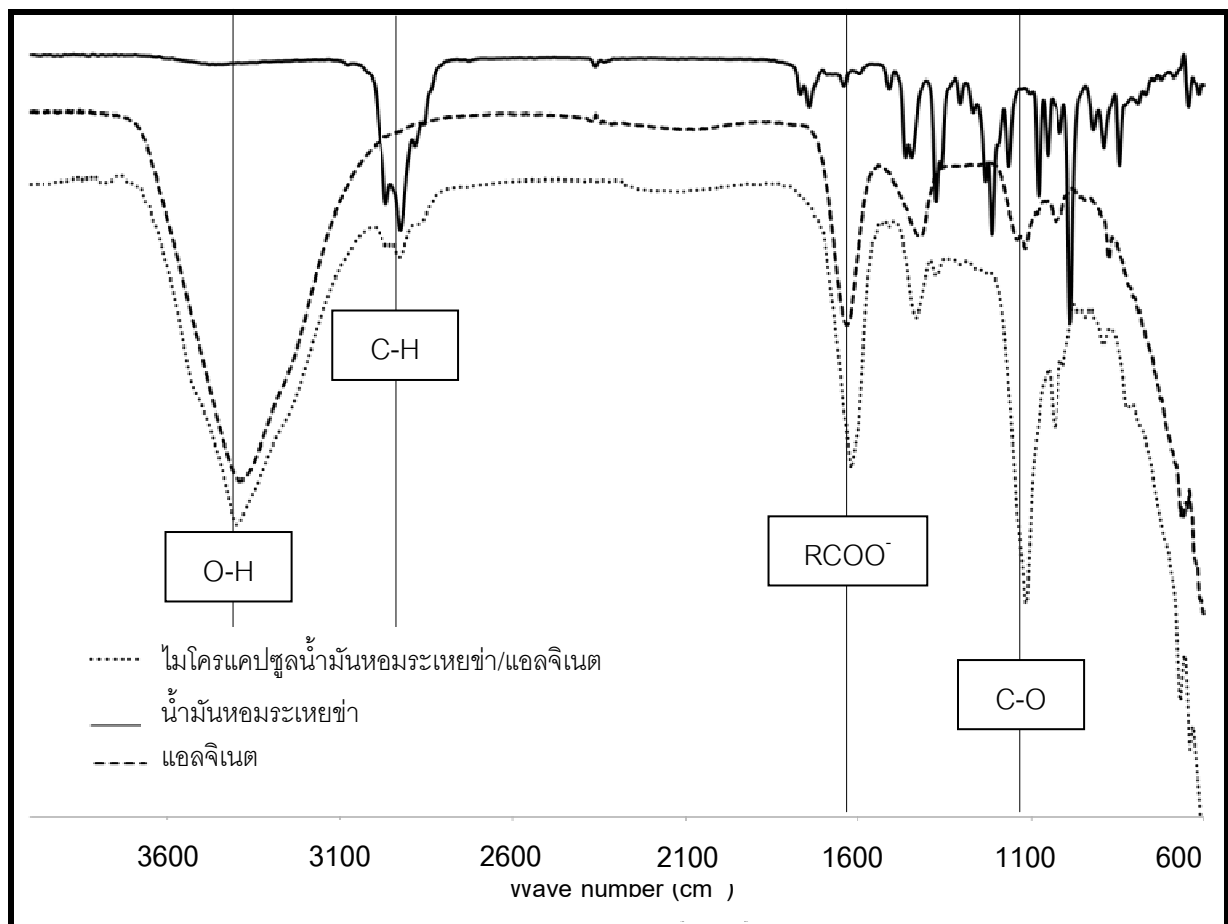
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจีเนต

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจีเนต ด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยชำ เม็ดแอลจีเนต และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจีเนตที่เตรียมได้โดยใช้โซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และน้ำมันหอมระเหยชำ 5 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชำ แอลจีเนต และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจีเนต

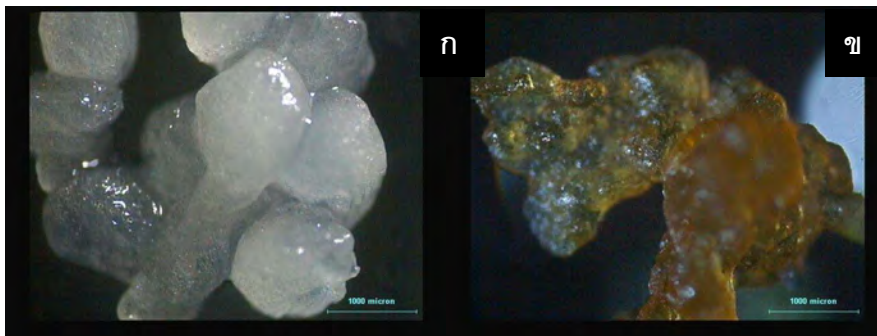
จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต แสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับที่พบในสเปกตรัมของแอลจินตคือหมู่ฟังก์ชัน O-H, RCOO⁻ และ C-O และแสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับที่พบในสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชำคือ หมู่ฟังก์ชัน C-H และ C-O ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเกิดไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินตจริง

ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันของแอลจินต น้ำมันหอมระเหยชำ และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต

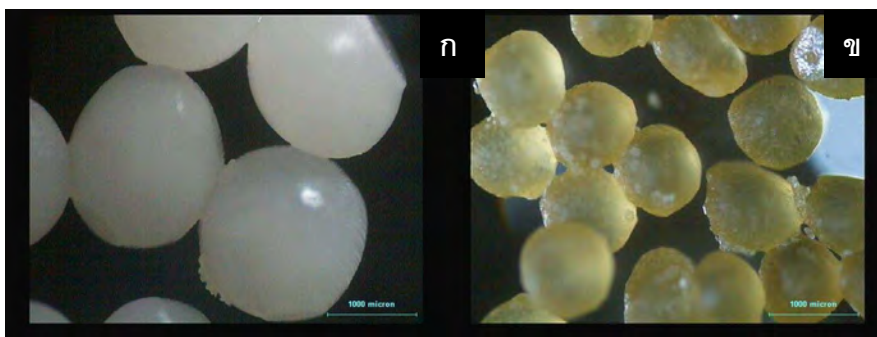
หมู่ฟังก์ชัน	Wave number (cm ⁻¹)			
	Reported[42]	แอลจินต	น้ำมันหอมระเหยชำ	ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต
C-O	1050-1300	1119	1080	1118
RCOO ⁻	1400	1422	-	1432
	1600	1633	-	1624
C-H	2800-3000	-	2924	2925
O-H	3200-3600	3391	-	3393

4.1.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต ด้วยเทคนิค OM

เมื่อนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินตที่เตรียมได้ด้วยวิธี Orifice โดยใช้สารละลายไซเดียมแอลจินตและปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ปริมาณต่างๆมาวิเคราะห์ลักษณะภายนอกและขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค OM ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2, 4.3 และตารางที่ 4.2 พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะเริ่มมีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลมเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมแอลจินตตั้งแต่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรขึ้นไป ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมแอลจินตร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะไม่เป็นเม็ดกลมแต่จะจับตัวกันเป็นก้อน (agglomerate) และเมื่อทำให้แห้งก้อนดังกล่าวก็ยังคงติดกันจะไม่สามารถแยกออกเป็นเม็ดได้ (รูปที่ 4.2(ข)) นอกจากนี้ไมโครแคปซูลขณะเปียก (รูปที่ 4.2(ก) และ 4.3(ก))จะมีสีขาวขุ่น และขนาดใหญ่กว่าไมโครแคปซูลขณะแห้งซึ่งมีสีออกเหลืองและเหลืองเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป(รูปที่ 4.2(ข) และ 4.3(ข))



รูปที่ 4.2 ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจีเนต (1% (w/v) สารละลายโซเดียมแอลจีเนต) ก) ขณะเปียก (x100) ข) ขณะแห้ง (x100)







รูปที่ 4.3 ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจีเนต (3% (w/v) สารละลายโซเดียมแอลจีเนต) ก) ขณะเปียก (x100) ข) ขณะแห้ง (x100)

สำหรับผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตต่อขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต ไมโครแคปซูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตสูงขึ้น ความหนืดจะสูงขึ้นตามไปด้วย หยดของอิมัลชันจึงต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้นเพื่อให้มีน้ำหนักมากกว่าแรงตึงผิว ส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น


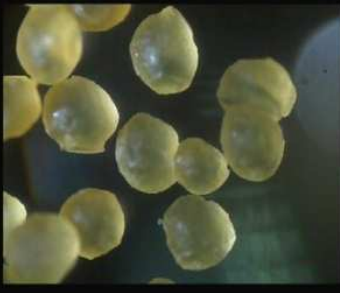



และเช่นเดียวกัน สำหรับผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใช้เตรียมไมโครแคปซูลต่อขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดใหญ่ และมีสีออกเหลืองมากขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าสูงขึ้นความหนืดของอิมัลชันจะสูงขึ้นตามไปด้วย หยดของอิมัลชันจึงต้องมีขนาดใหญ่มากขึ้นเพื่อให้มีน้ำหนักมากกว่าแรงตึงผิว ส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า 1 มิลลิลิตร จะเตรียมได้ไมโครแคปซูลขนาดเล็กที่สุดคือ 753.5

ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามขนาดที่ได้ยังเป็นขนาดที่ใหญ่เกินไปไม่เหมาะกับการนำไปตกแต่ง เคลือบ หรือใช้งานด้านสิ่งทอ จำเป็นต้องเตรียมไมโครแคปซูลวิธีอื่นที่สามารถให้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 5-20 ไมโครเมตร

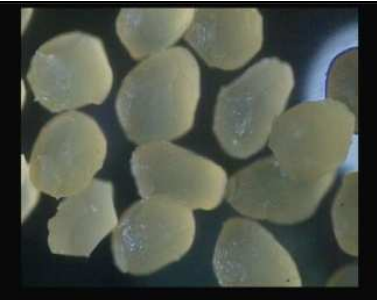



ตารางที่ 4.2 สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินेट

ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมแอลจินेट% (w/v)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า (มิลลิลิตร)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
1	1		-
	3		-
	5		-
	1		753.5

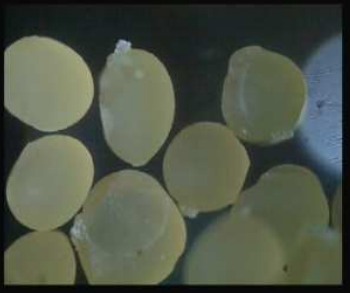

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

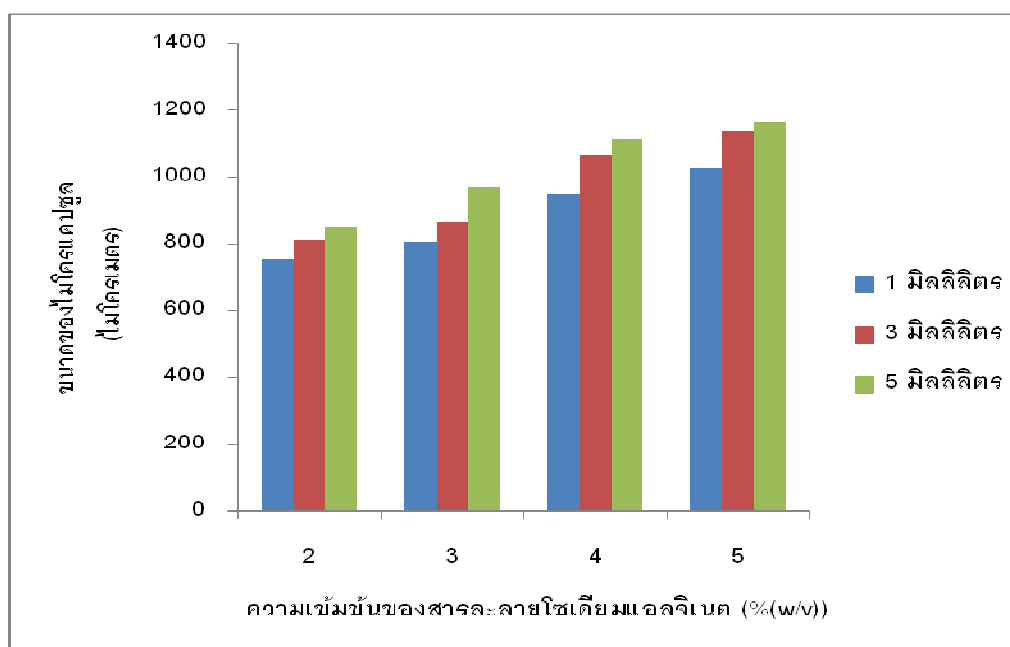
ความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียม แอลจีเนต% (w/v)	ปริมาณน้ำมัน หอมระเหยซ่า (มิลลิลิตร)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้อง จุลทรรศน์แบบแสง	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
2	3		813.8
	5		852.4
3	1		806.5
	3		868.8
	5		969.0

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ความเข้มข้นของ สารละลายไซเดียม แอลจีเนต% (w/v)	ปริมาณน้ำมัน หอมระเหยซ่า (มิลลิลิตร)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้อง จุลทรรศน์แบบแสง	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
4	1		950.3
	3		1064.3
	5		1112.9
	1		1026.3

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมแอลจีเนต% (w/v)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่า (มิลลิลิตร)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง	ขนาด (ไมโครเมตร)
5	3		1137.4
	5		1164.3



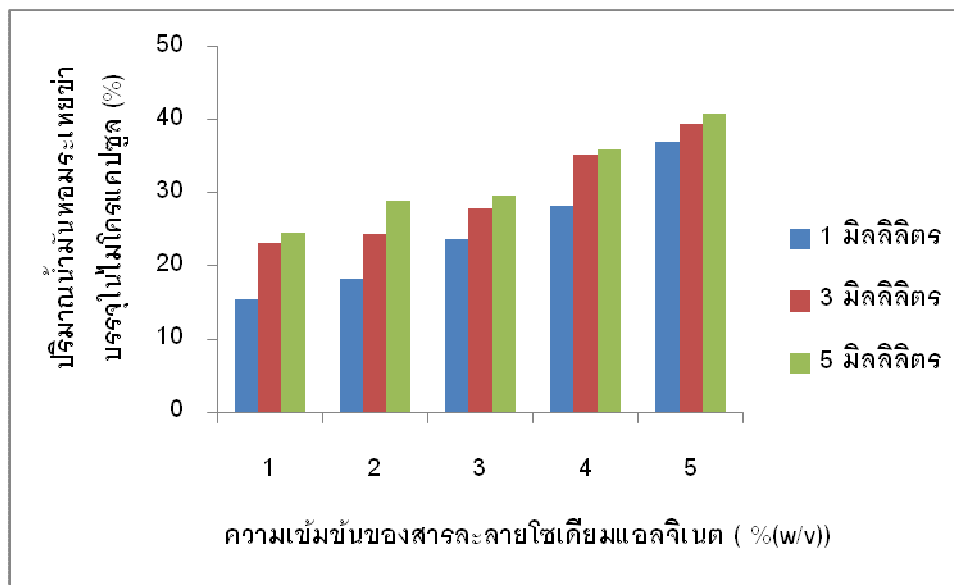
รูปที่ 4.4 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/แอลจีเนตที่ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมแอลจีเนต และปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ต่างๆกัน

4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/ แอลจินेटด้วย IMDB

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेट ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำที่บรรจุในไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากขนาดของไมโครแคปซูลที่ใหญ่ขึ้นทำให้สามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยไว้ภายในได้มากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในการเตรียมไมโครแคปซูลพบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेटร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และปริมาณน้ำมันหอมระเหย 5 มิลลิลิตร จะให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในไมโครแคปซูลสูงที่สุดคือ ร้อยละ 40.8

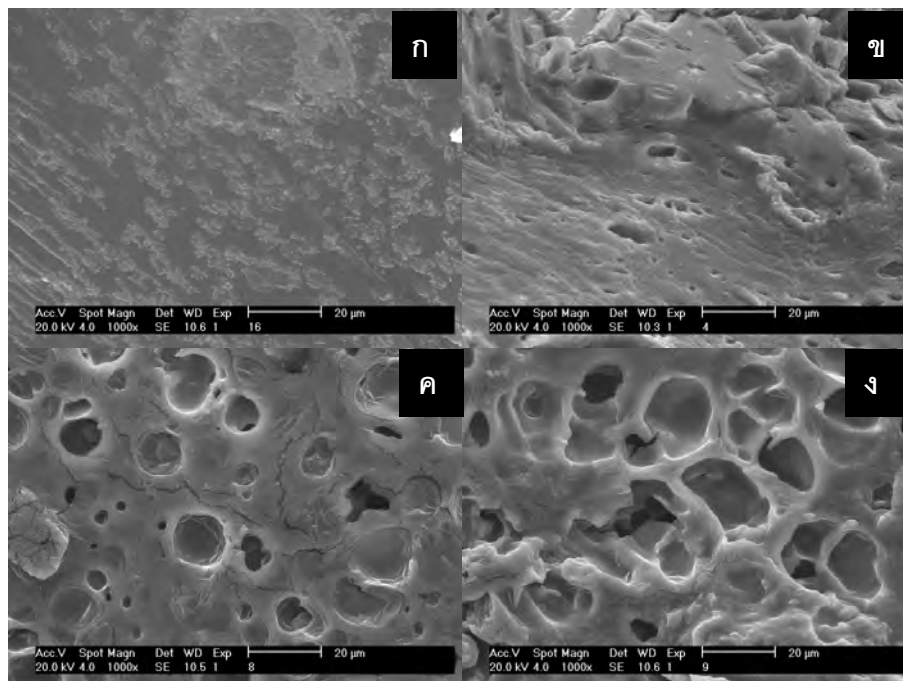
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/แอลจินेट

ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมแอลจินेट (%(w/v))	ปริมาณน้ำมันหอม ระเหย (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำ บรรจุในไมโครแคปซูล (%)
1	1	15.4
	3	23.2
	5	24.6
2	1	18.2
	3	24.4
	5	28.9
3	1	23.7
	3	27.8
	5	29.7
4	1	28.3
	3	35.3
	5	35.9
5	1	36.9
	3	39.4
	5	40.8



รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/แอลจินेट

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในไมโครแคปซูลที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ด้วย IMDB พบว่ามีค่าที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการส่องดูพื้นผิวที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/แอลจินेट แสดงดังรูปที่ 4.6 นั่นคือพื้นผิวที่บริเวณรอยแตกของแอลจินेटซึ่งไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุนั้นจะมีลักษณะค่อนข้างเรียบ ไม่มีรูพรุน ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำ ภายในเนื้อไมโครแคปซูลจะมีรูพรุนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในไมโครแคปซูลที่คำนวณได้ โดย ปริมาณรูพรุนภายในเนื้อไมโครแคปซูลแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันหอมระเหยซ้ำภายในไมโครแคปซูล ทำให้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากวิธีนี้ มีลักษณะเป็นแบบ Multi-nucleus spherical microcapsule[23]



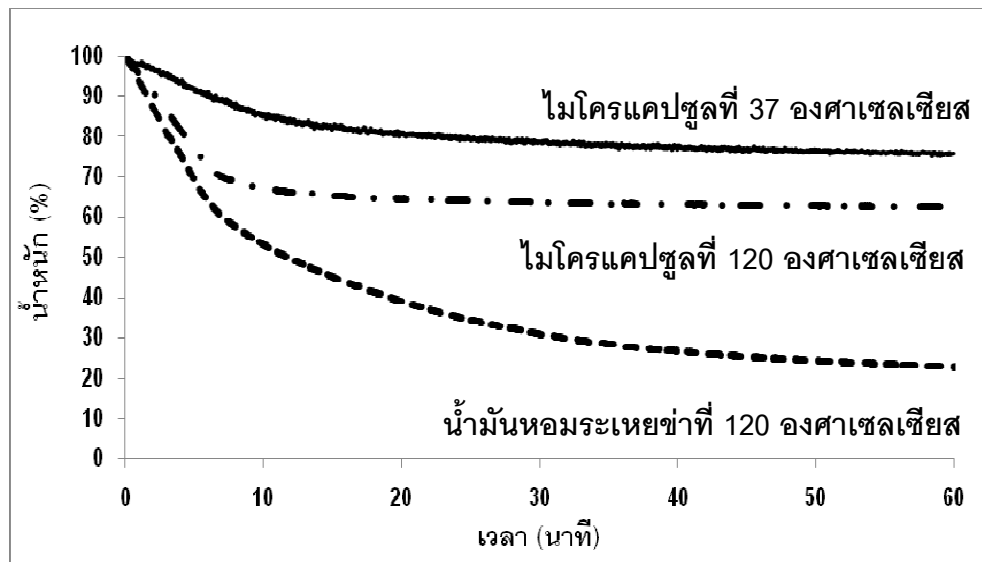
รูปที่ 4.6 พื้นผิวที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (X1000) และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชา ก) 0 มิลลิลิตร (แอลจีเนต) ข) 1 มิลลิลิตร ค) 3 มิลลิลิตร ง) 5 มิลลิลิตร

4.1.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนและการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียสด้วยเทคนิค TGA

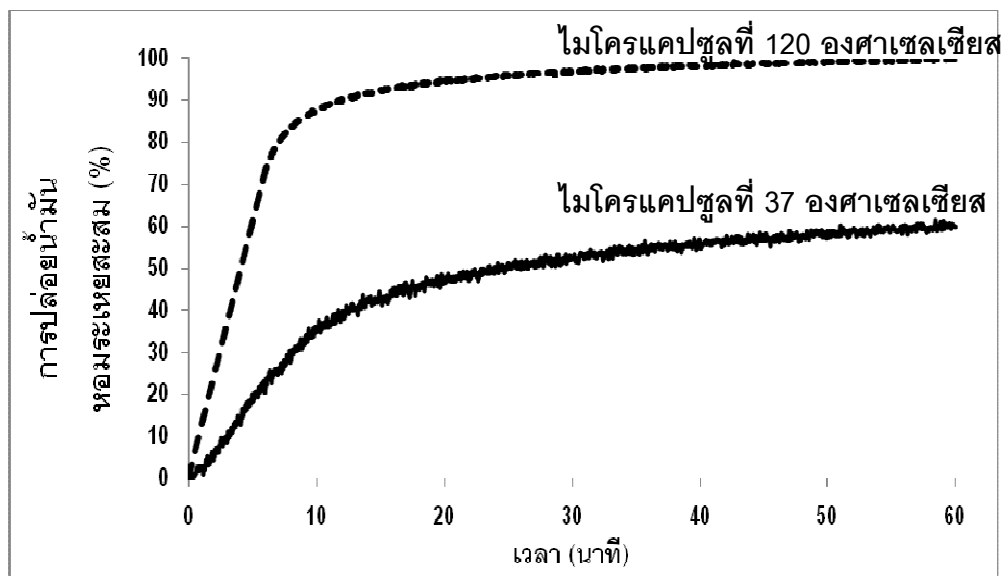
การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต ขณะนี้เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยชาที่ไม่ได้ทำการห่อหุ้มด้วยแอลจีเนต ได้เลือกไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต ที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และน้ำมันหอมระเหยชา 3 มิลลิลิตรมาใช้ในการศึกษา ด้วยเครื่อง TGA โหมดอุณหภูมิคงที่ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าน้ำมันหอมระเหยชามีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตทั้งที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันหอมระเหยชาที่มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 80 ที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ส่วนไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรกจากนั้น น้ำหนักจะเริ่มคงที่ ซึ่งจะมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 30 ที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และประมาณร้อยละ 15 ที่ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลจากการห่อหุ้มด้วยแอลจีเนต

สำหรับการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนตซึ่งเตรียมโดยใช้สารละลายโซเดียมแอลจีเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และน้ำมันหอมระเหยชา 3 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ด้วย TGA โหมดอุณหภูมิคงที่ แสดงผลใน

รูปที่ 4.8 พบว่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลจะมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก ประมาณร้อยละ 90 จากนั้นอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าจะลดลงและปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าหมดที่ 50-60 นาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลจะมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก ประมาณร้อยละ 40 จากนั้นอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าจะลดลง และมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าสะสมประมาณร้อยละ 60 ที่เวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 เติลยรภาพทางควมร้อนขของน้ำมันหอมระเหยเข้าที่ 120 องศาเซลเซียส ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยเข้า/แอลจินต ที่ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

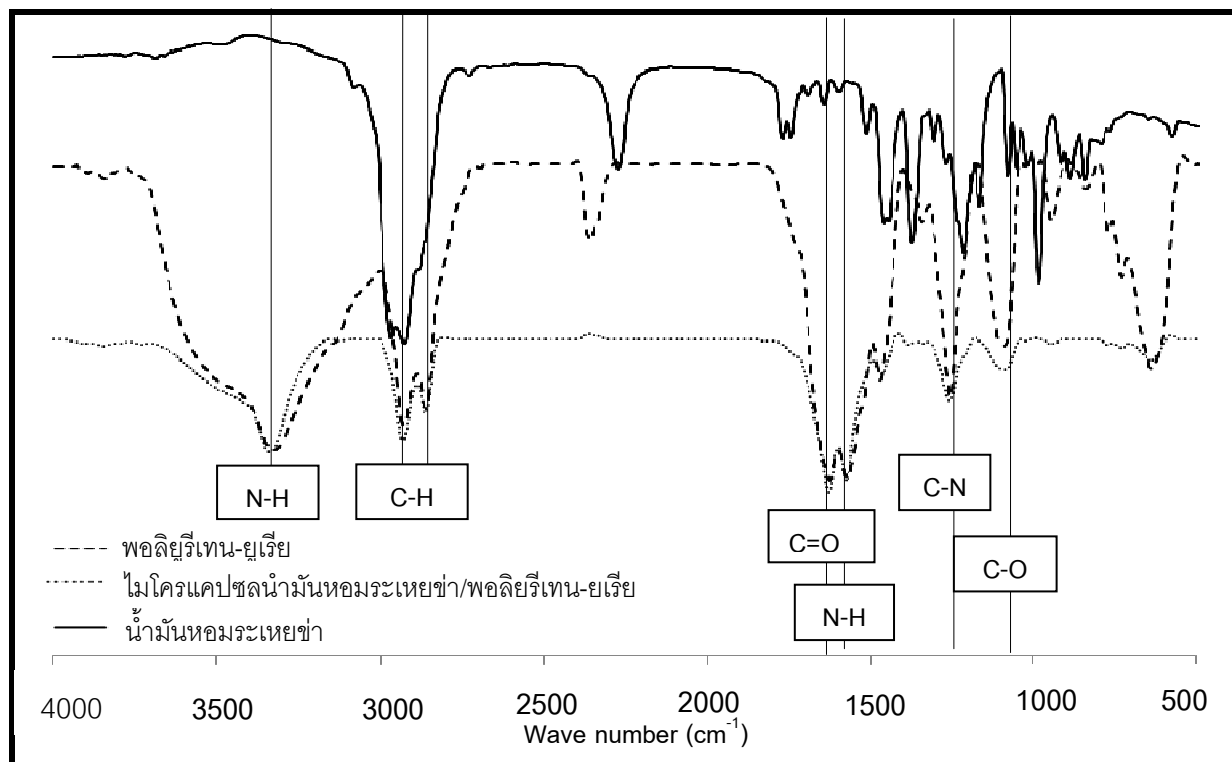


รูปที่ 4.8 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยเข้าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยเข้า/แอลจินตที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค FT-IR

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.4 พบว่า FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับที่พบในสเปกตรัมของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย คือหมู่ฟังก์ชัน N-H, C-H, C=O, C-N และ C-O นอกจากนี้ยังแสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับที่พบในสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชาคือ C-H และ C-O ซึ่งใกล้เคียงกับ FT-IR สเปกตรัมของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเลย เนื่องจากสารออกฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ที่พบในน้ำมันหอมระเหยชาเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และมีองค์ประกอบของอีเทอร์ ดังนั้นสเปกตรัมของสารออกฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์จึงมีหมู่ฟังก์ชัน C-O และ C-H เช่นเดียวกับพอลิยูรีเทน-ยูเรีย จึงอาจมีการซ้อนทับกันกับสเปกตรัมของพอลิยูรีเทนยูเรีย ดังนั้น FT-IR จึงไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยชาในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียได้ จำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่น เช่น TGA เพื่อยืนยันว่ามีน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูล



รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชา พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูล
น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ตารางที่ 4.4 หมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทน-ยูเรียน้ำมันหอมระเหยซ่า และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

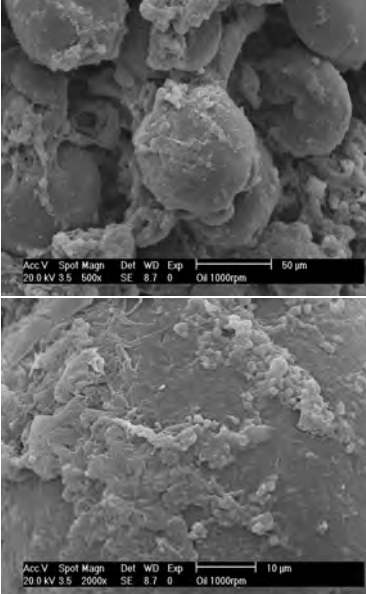
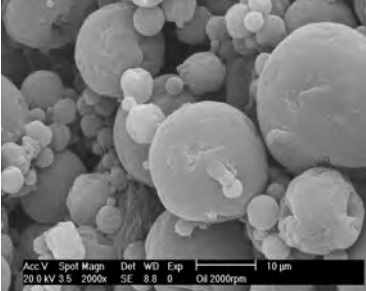

Functional group	Wave number (cm ⁻¹)			
	Reported[42]	พอลิยูรีเทน-ยูเรีย	น้ำมันหอมระเหยซ่า	ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย
C-O	1050-1300	1089	1079	1085
C-N	1250-1340	1254	-	1258
C=O	1640-1690	1625	-	1627
C-H	2925 – 2890	2859	2926	2861
		2928	2965	2931
N-H	1530-1570	1572	-	1573
	3050-3550	3323	-	3333

4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วย SEM และ LPSDA

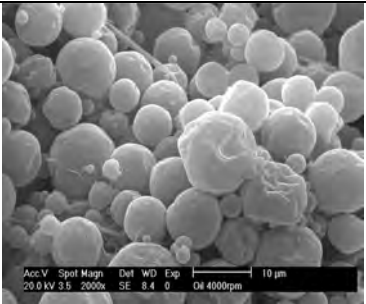
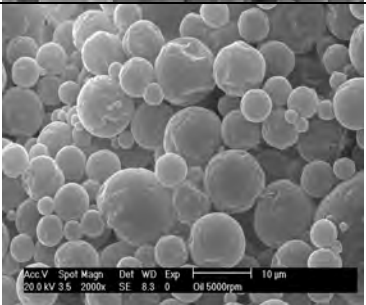
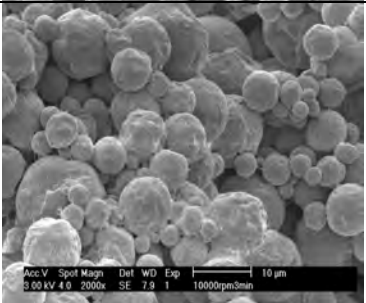
4.2.2.1 ผลของความเร็รรอบในการกวนผสม

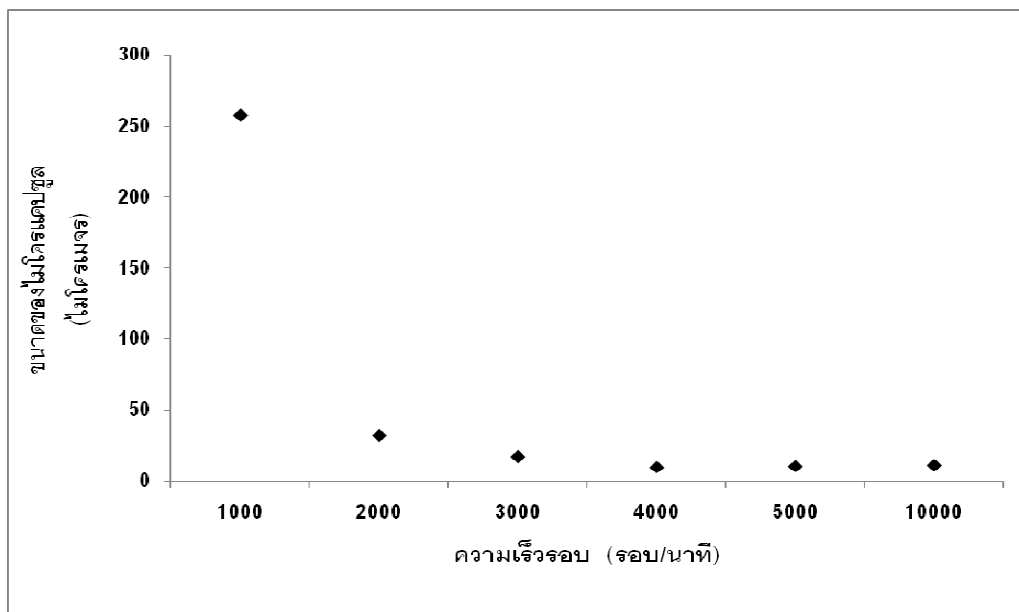
ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียซึ่งเตรียมโดยวิธี Interfacial polymerization ที่ความเร็รรอบต่างๆกันตั้งแต่ 1000 ถึง 10000 รอบ/นาที โดยใช้เวลาในการกวนผสม 3 นาที แสดงผลในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 ซึ่งพบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะเริ่มมีลักษณะเป็นเม็ดกลมโดยที่ความเร็รรอบในการกวนผสมต่ำๆคือ 1000 รอบต่อนาที จะได้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดแตกต่างกันมากทั้งขนาดใหญ่ประมาณ 200 ไมโครเมตร และขนาดเล็กประมาณ 1 ไมโครเมตร แต่เมื่อเพิ่มความเร็รรอบในการกวนผสมให้สูงขึ้นขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดเล็กลง และขนาดจะไม่แตกต่างกันมากเหมือนที่ความเร็รรอบ 1000 รอบ/นาที เนื่องจากที่ความเร็รรอบในการกวนผสมที่สูงขึ้นจะทำให้สารอิมัลชันมีความเข้ากันได้ดี และเกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็ก โดยไมโครแคปซูลจะเริ่มมีขนาดคงที่ประมาณ 10.0 ไมโครเมตรที่ความเร็รรอบ 4000 รอบต่อนาทีขึ้นไป

ตารางที่ 4.5 สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที)

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ภาพของไมโครแคปซูลจาก กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
1000		257.7
2000		32.4
3000		17.4

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ภาพของไมโครแคปซูลจาก กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
4000		10.0
5000		10.7
10000		11.5

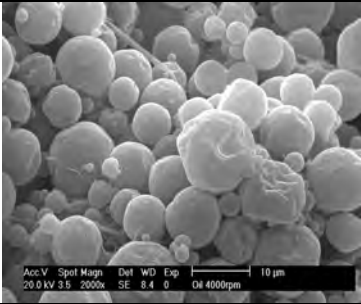
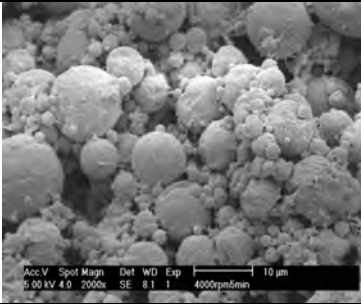



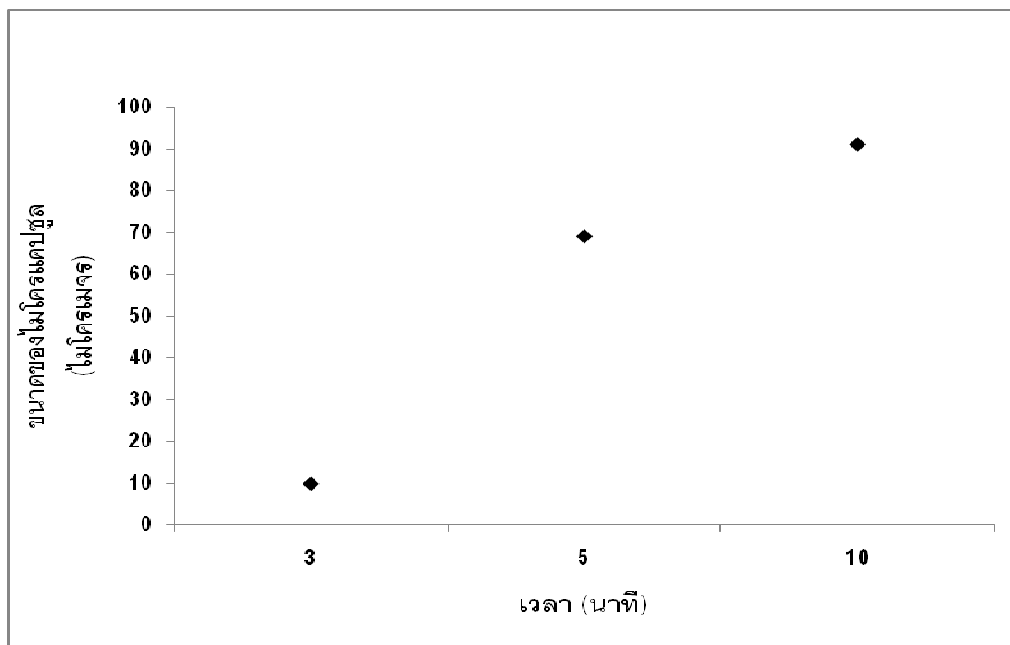
รูปที่ 4.10 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม ต่างๆกัน (เวลาในการกวนผสม 3 นาที)

4.2.2.2 ผลของเวลาในการกวนผสม

ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียซึ่งเตรียมโดยวิธี Interfacial polymerization ที่เวลาในการกวนผสมต่างๆกันตั้งแต่ 3, 5 และ 10 นาที โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที แสดงผลในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11 ซึ่งพบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งหมดมีลักษณะเป็นเม็ดกลมและจะมี โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการกวนผสมขนาดของไมโครแคปซูลจะใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่ขนาดที่ได้จะใหญ่ขึ้นด้วยขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาในการกวนผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อกวนผสมอิมัลชันไประยะหนึ่งจะทำให้เกิดอนุภาคอิมัลชันขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเพิ่มเวลากวนผสมให้นานขึ้นกลับเพิ่มโอกาสให้อนุภาคอิมัลชันกลับมารวมตัวกันอีก ทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นในการกวนผสมเป็นเวลา 3 นาที ด้วยความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาที จะได้ไมโครแคปซูลขนาดเล็กที่สุดประมาณ 10.0 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.6 สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที)

เวลาในการกวนผสม (นาที)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
3		10.00
5		69.2
10		91.2

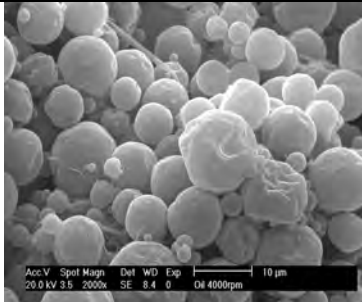
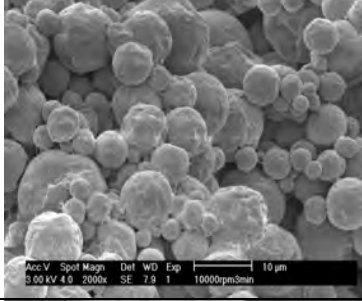

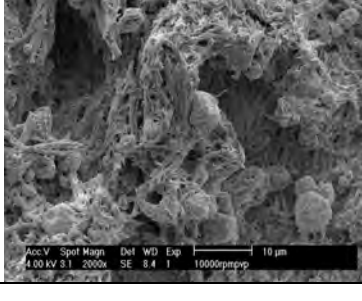


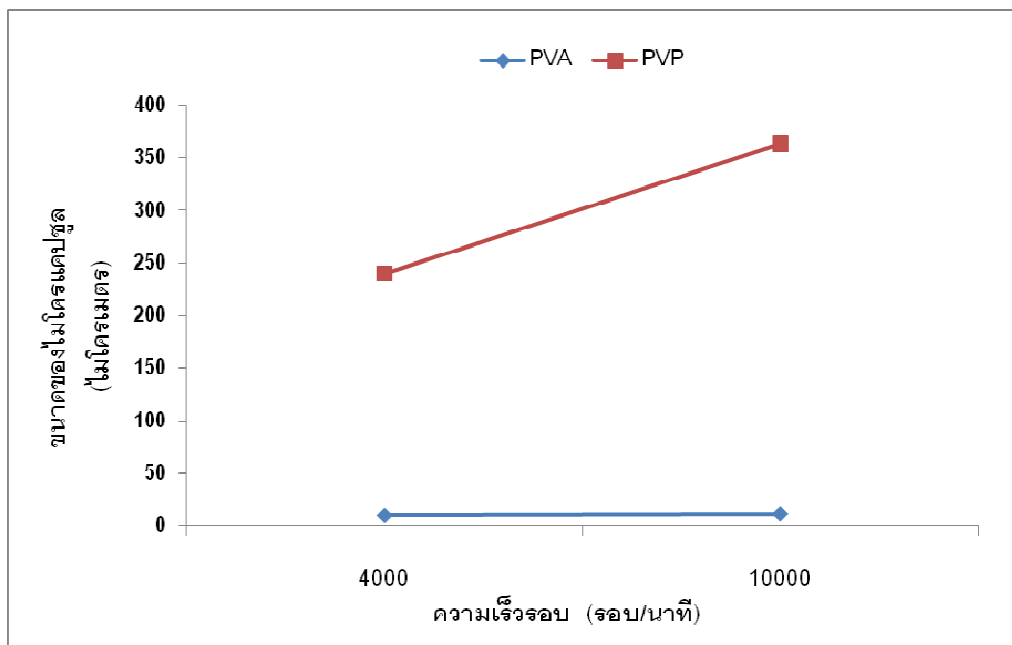
รูปที่ 4.11 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เวลาในการกวนผสม ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที)

4.2.2.3 ผลของชนิดของสาร Protective colloid

ชนิดของสาร protective colloid 2 ชนิดได้แก่ PVA และ PVP ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้โดยใช้ความเร็วรอบและเวลาในการกวนผสมเท่ากันที่ 3 นาที แสดงผลใน ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อใช้ PVA นอกจากนี้เมื่อตรวจดูลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM พบว่าที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีรูปร่างทรงกลมและพื้นผิวค่อนข้างเรียบ แต่ที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10,000 รอบต่อนาที จะให้ไมโครแคปซูลที่มีรูปร่างทรงกลมเช่นเดียวกันแต่พื้นผิวของไมโครแคปซูลจะไม่เรียบมีความขรุขระมากกว่า ในขณะที่ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้โดยใช้ PVP เป็นสาร Protective colloid จะมีขนาดใหญ่มากกว่าถึง 20-30 เท่า นอกจากนี้ยังไม่เป็นลักษณะทรงกลมโดยเฉพาะที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10,000 รอบต่อนาที จะให้ไมโครแคปซูลที่เป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ เนื่องจาก PVA มีความเข้ากันได้ดีกับสารที่ใช้สังเคราะห์เป็นพอลิยูรีเทน-ยูเรียมากกว่า PVP ดังนั้น PVA จึงเป็นสาร Protective colloid ที่มีความเหมาะสมมากกว่า PVP[31]

ตารางที่ 4.7 สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ Protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที)

ชนิดของ Protective colloid	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
PVA	4000		10.0
	10000		11.5
PVP	4000		239.8
	10000		363.1

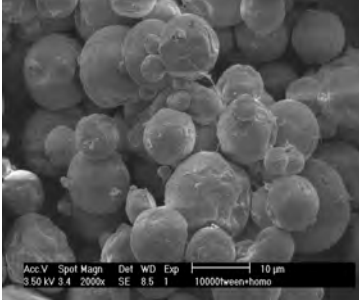
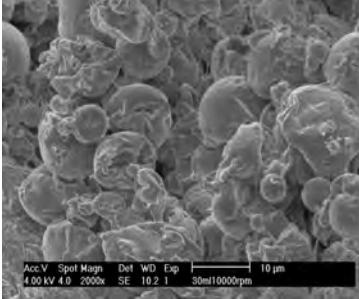
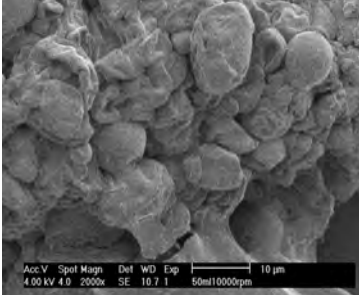


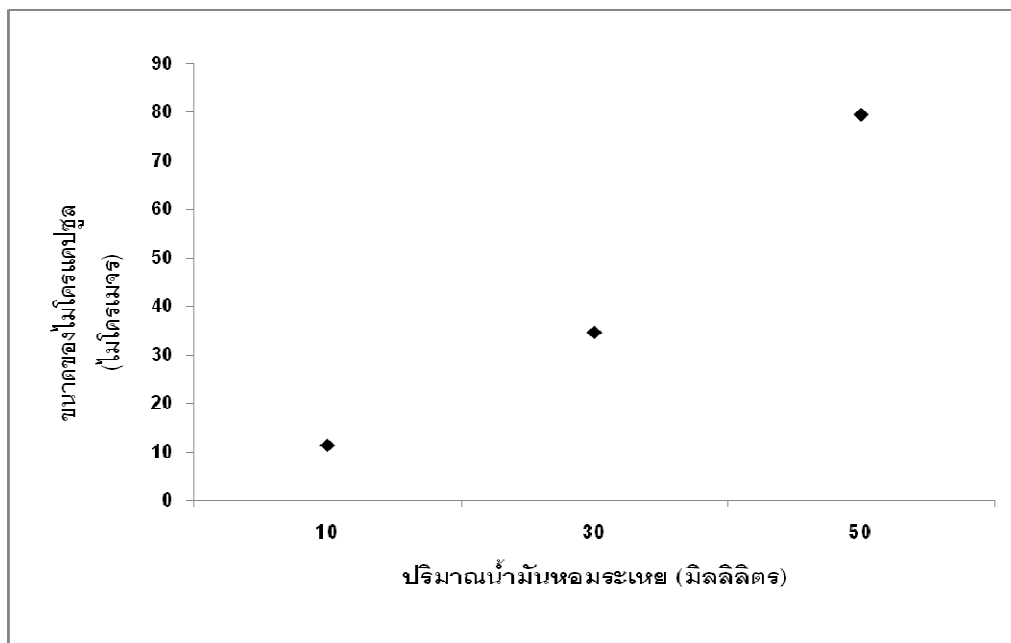
รูปที่ 4.12 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ Protective colloid ต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 และ 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที)

4.2.2.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า

ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่ใช้ต่างกัน โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสมเท่ากันที่ 3 นาที แสดงผลในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13 ซึ่งพบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่ใช้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าน้อยๆที่ 10 มิลลิลิตร มีลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลม แต่เมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าเพิ่มขึ้นอนุภาคของไมโครแคปซูลจะเกาะติดกันมากขึ้นด้วย

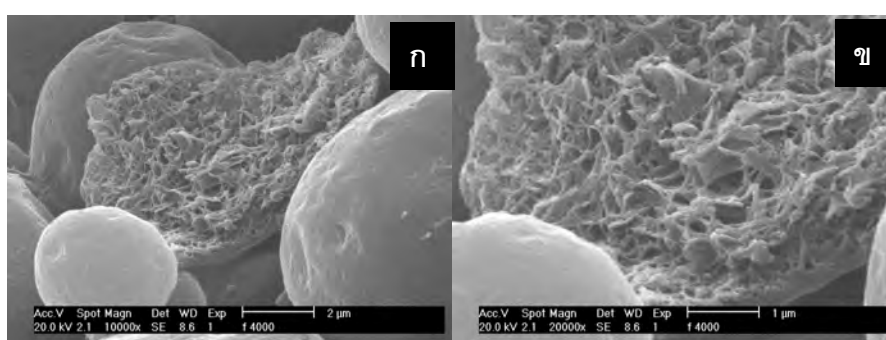
ตารางที่ 4.8 สัณฐานวิทยาและขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที)

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า (มิลลิลิตร)	ภาพของไมโครแคปซูลจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
10		11.5
30		34.7
50		79.4



รูปที่ 4.13 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาทีและเวลาในการกวนผสม 3 นาที)

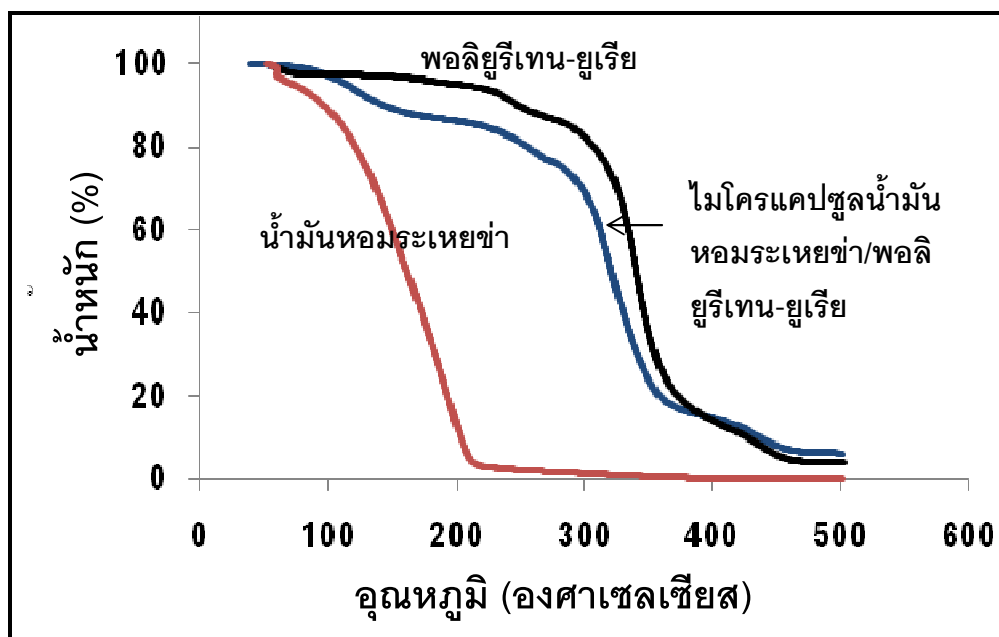
จากการส่องดูผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าภายในเนื้อไมโครแคปซูลจะเป็นรูพรุนลักษณะคล้ายฟองน้ำ ซึ่งรูพรุนดังกล่าวแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันหอมระเหยภายในไมโครแคปซูล ทำให้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นแบบ Multi-nucleus spherical microcapsule



รูปที่ 4.14 ผนังภายในที่บริเวณรอยแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบต่อนาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาที ก) กำลังขยาย 10,000 เท่า
ข) กำลังขยาย 20,000 เท่า

4.2.3 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ขณะแห้งเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยชำที่ไม่ได้ทำการห่อหุ้มด้วยพอลิยูรีเทน-ยูเรียและเม็ดพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชำบรรจุอยู่ ได้เลือกไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากวิธี interfacial polymerization ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำ 10 มิลลิลิตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10 ไมโครเมตรมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีขนาดไมโครแคปซูลที่เหมาะสมสำหรับตกแต่งบนสิ่งทอ ไม่จับตัวเป็นก้อน ผลของ TGA เทอร์โมแกรมแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงการสูญเสีย น้ำหนักเป็น 3 ชั้น โดยชั้นแรกเกิดที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส น่าจะเกิดจากการสูญเสีย น้ำและ น้ำมันหอมระเหยชำ ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสีย น้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยชำ ส่วนชั้นที่ 2 และ 3 เกิดที่ อุณหภูมิ 250-350 และ 400-450 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สอดคล้องกับการสูญเสีย น้ำหนักของพอลิ ยูรีเทน-ยูเรีย ซึ่งการทดสอบนี้เมื่อนำไปวิเคราะห์พร้อมกับการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ในข้อ 4.2.1 สามารถยืนยันได้ว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีน้ำมันหอมระเหยชำบรรจุอยู่โดยมีเปลือกของ พอลิยูรีเทน-ยูเรียห่อหุ้มอยู่ นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลมากกว่า 100 องศา เซลเซียสอาจทำให้น้ำมันหอมระเหยชำที่ถูกหุ้มอยู่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือระเหยออกมาได้แต่ก็ยังมีน้อยกว่า น้ำมันหอมระเหยชำที่ไม่ได้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูล



รูปที่ 4.15 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย
น้ำมันหอมระเหยชาและพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.2.4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

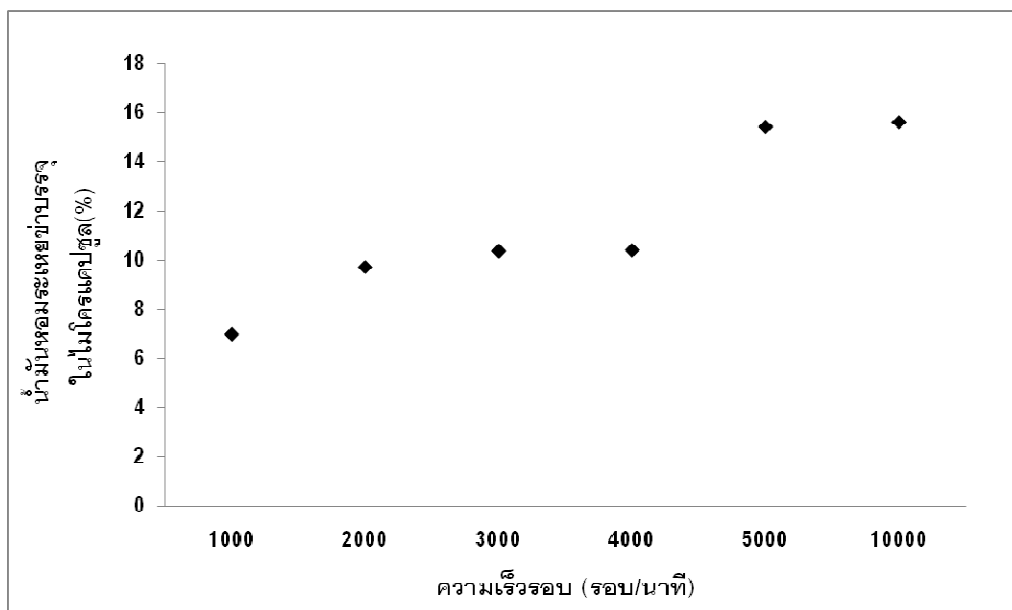
จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ เวลาในการกวนผสม ชนิดของ protective colloid และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่มีผลต่ออัตราอนุภาคนิวติกาและขนาดของไมโครแคปซูล พบว่าภาวะในการเตรียมไมโครแคปซูลที่ได้ไมโครแคปซูลรูปทรงกลมที่มีขนาดเล็กประมาณ 10 ไมโครเมตร ไม่เกาะติดกัน คือที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 4000 ถึง 10000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสม 3 นาที ใช้ PVA เป็น protective colloid และใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชา 10 มิลลิลิตร ดังนั้นในการศึกษาผลของความเร็วยุโรปในการกวนผสมที่มีต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจึงใช้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากภาวะดังกล่าว

4.2.4.1 ผลของความเร็วยุโรปในการกวนผสม

ผลของความเร็วยุโรปในการกวนผสมต่างๆกันที่เวลาในการกวนผสม 3 นาทีเท่ากันต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.16 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบในการกวนผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเร็วรอบในการกวนผสมที่สูงขึ้นจะทำให้ น้ำมันหอมระเหยชากระจายตัวในอิมัลชันได้สูงและมีความคงตัวดี โดยที่ความเร็วรอบ 5,000 และ 10,000 รอบต่อนาที จะให้ไมโครแคปซูลที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุสูงสุดและใกล้เคียงกันคือประมาณ ร้อยละ 15

ตารางที่ 4.9 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุ ในไมโครแคปซูล (%)
1000	7.0
2000	9.7
3000	10.4
4000	10.4
5000	15.4
10000	15.6



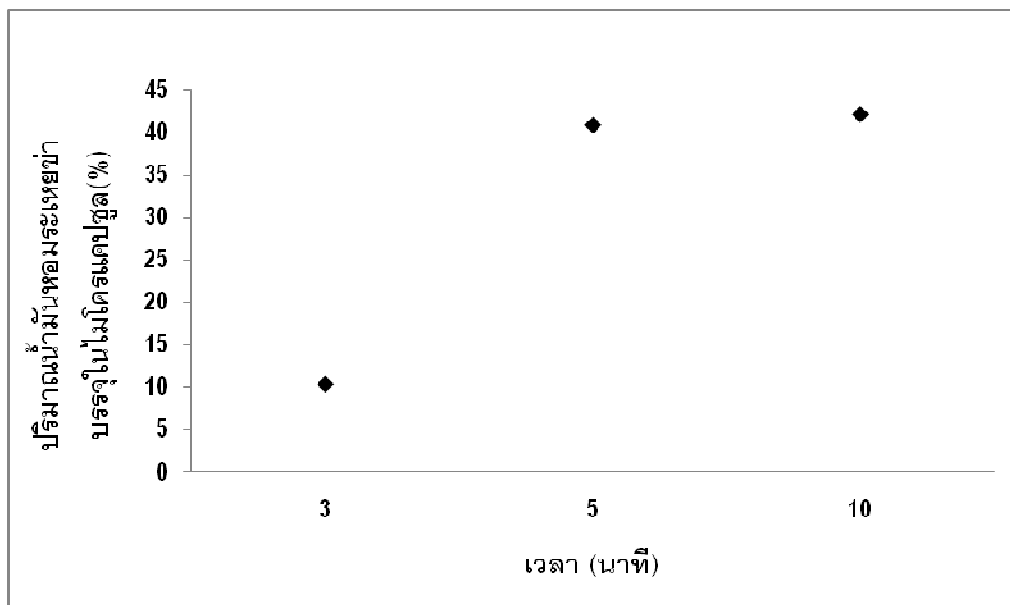
รูปที่ 4.16 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน

4.2.4.2 ผลของเวลาในการกวนผสม

ผลของเวลาในการกวนผสมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาที เท่ากันต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรจุนในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียแสดงใน ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรจุนในไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ใช้เวลาในการกวนผสมนานขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการกวนผสมนานขึ้นจะทำให้ขนาดของไมโคร แคปซูลใหญ่ขึ้นส่งผลให้สามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยชาไว้ภายในได้มากขึ้น โดยการกวนผสมนาน 5 และ 10 นาที จะให้ไมโครแคปซูลที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรจุนอยู่ในไมโครแคปซูลใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 40.9 และ 42.1 ตามลำดับ สอดคล้องกับขนาดของไมโครแคปซูลที่ใหญ่ขึ้นเมื่อใช้เวลาในการกวน ผสมนานขึ้นดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 4.2.2.2

ตารางที่ 4.10 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรจุนในของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน- ยูเรียที่เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรจุน ในไมโครแคปซูล (%)
3	10.4
5	40.9
10	42.1



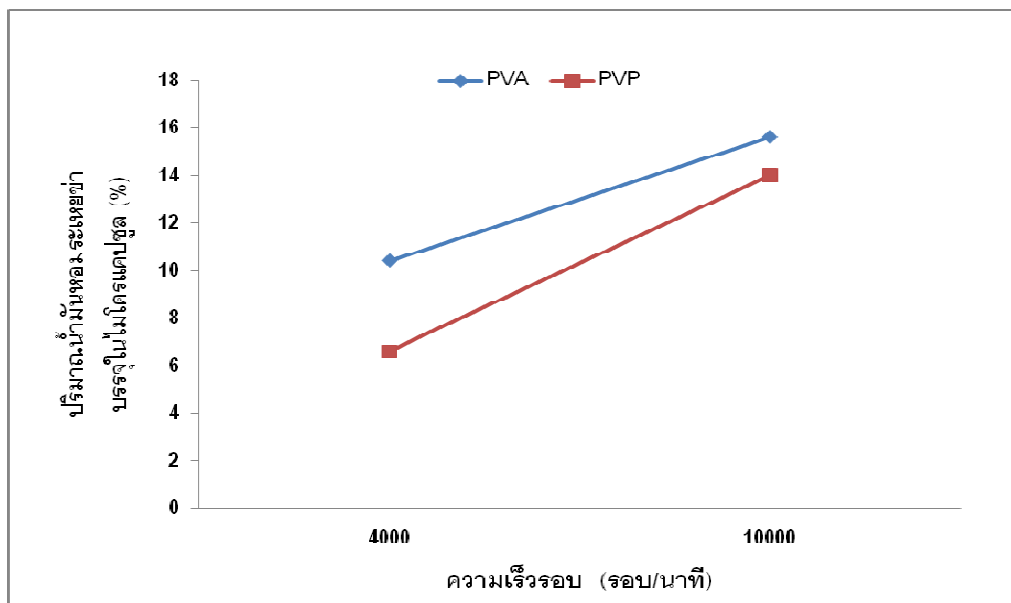
รูปที่ 4.17 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน

4.2.4.3 ผลของชนิดของสาร Protective colloid

ผลของชนิดของสาร protective colloid ระหว่าง PVA และ PVP ที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูล ต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้เวลาในการกวนผสม 4000 และ 10,000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสมนาน 3 นาที เท่ากัน แสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.18 ซึ่งจะเห็นว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ PVA จะมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลสูงกว่าเมื่อใช้ PVP เนื่องจาก PVA มีความเข้ากันได้ดีกับสารที่ใช้สังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรียมากกว่า PVP

ตารางที่ 4.11 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยในของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยใช้ สาร protective colloid ต่างๆกัน

ชนิดของ Protective colloid	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูล (%)
PVA	4000	10.4
	10000	15.6
PVP	4000	6.6
	10000	14.0



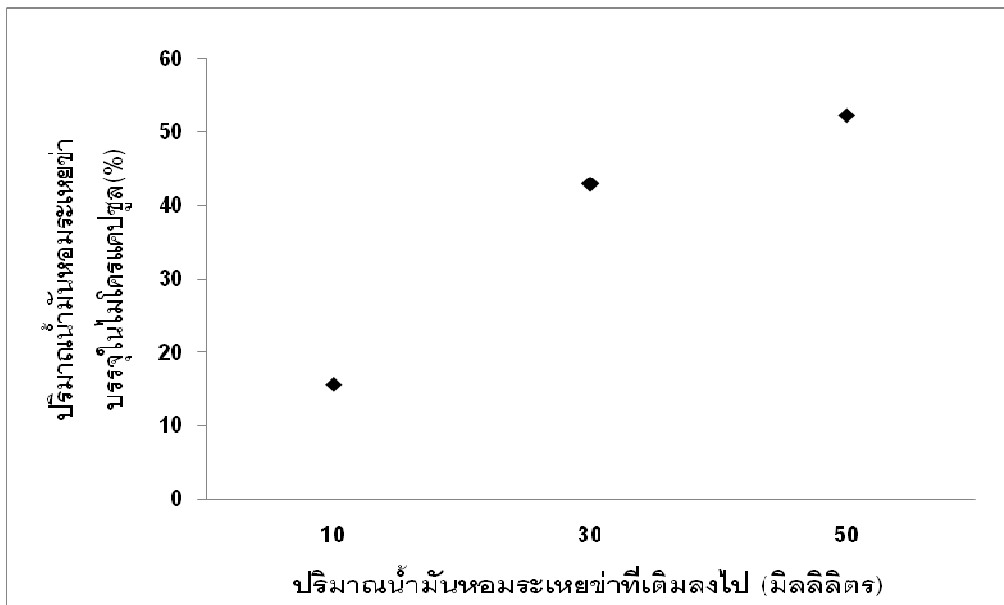
รูปที่ 4.18 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ protective colloid ต่างๆกัน

4.2.4.4 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหย

ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปเพื่อเตรียมไมโครแคปซูล (10, 30 และ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ความเร็รรอบในการกวนผสม 10,000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสมนาน 3 นาที เท่ากัน ต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.19 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มน้ำมันหอมระเหยลงไปในการเตรียมไมโครแคปซูล ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป 50 มิลลิลิตร จะให้ไมโครแคปซูลที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยบรรจุสูงสุดคือ ร้อยละ 52.24

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยบรรจุในของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยบรรจุในไมโครแคปซูล (%)
10	15.6
30	42.9
50	52.2



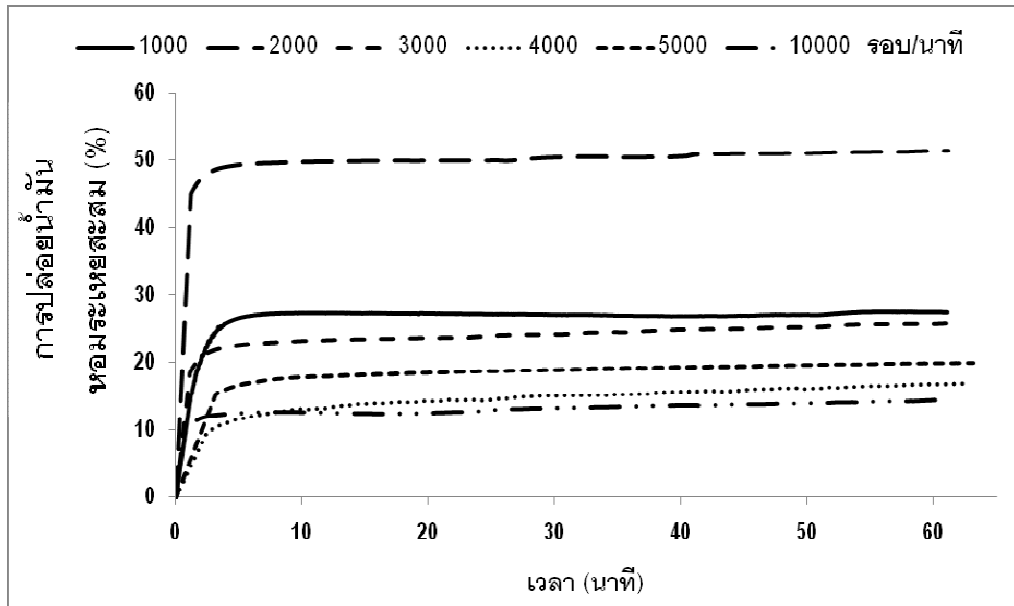
รูปที่ 4.19 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างกัน

4.2.5 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

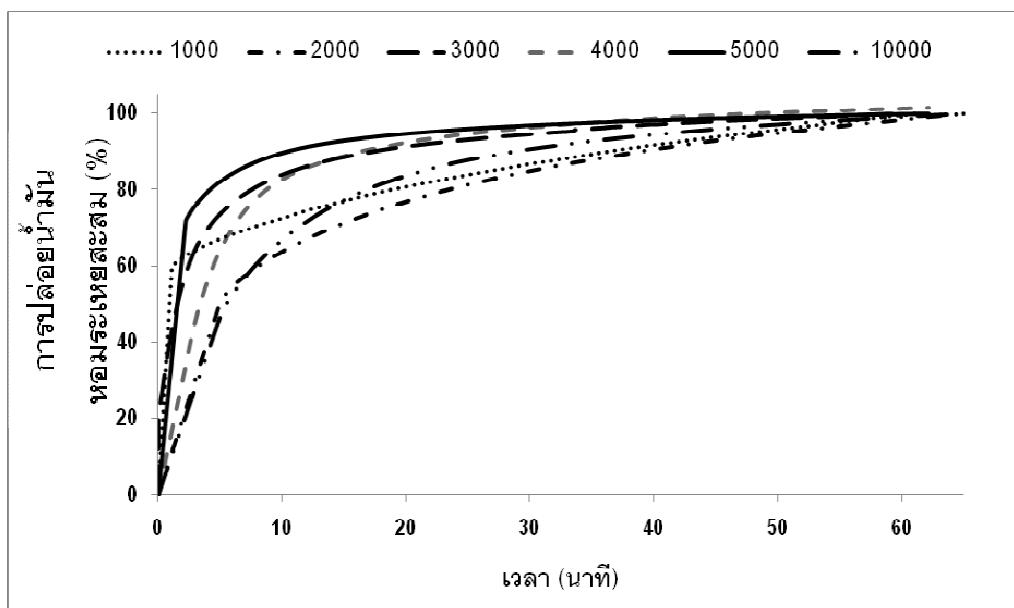
4.2.5.1 ผลของความเร็วยรอบในการกวนผสม

ผลของความเร็วยรอบในการกวนผสมต่าง ๆ กันที่เวลาในการกวนผสม 3 นาทีเท่ากันต่อการปล่อยน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แสดงผลในรูปที่ 4.20 ซึ่งพบว่าความเร็วยรอบในการกวนผสมไม่ส่งผลต่อการปล่อยน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียอย่างเป็นนัยสำคัญ โดยไมโครแคปซูลจะปล่อยน้ำมันหอมระเหยสะสมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 20 ยกเว้น ที่ความเร็วยรอบในการกวนผสม 2000 รอบต่อนาที จะปล่อยน้ำมันหอมระเหยสะสมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 50

สำหรับการปล่อยน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แสดงผลในรูปที่ 4.21 ซึ่งพบว่าความเร็วยรอบในการกวนผสมไม่ส่งผลต่อการปล่อยน้ำมันหอมระเหยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียอย่างเป็นนัยสำคัญ โดยไมโครแคปซูลจะปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วในช่วง 5-10 นาทีแรก จากนั้นอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยจะลดลงจนหมด



รูปที่ 4.20 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน

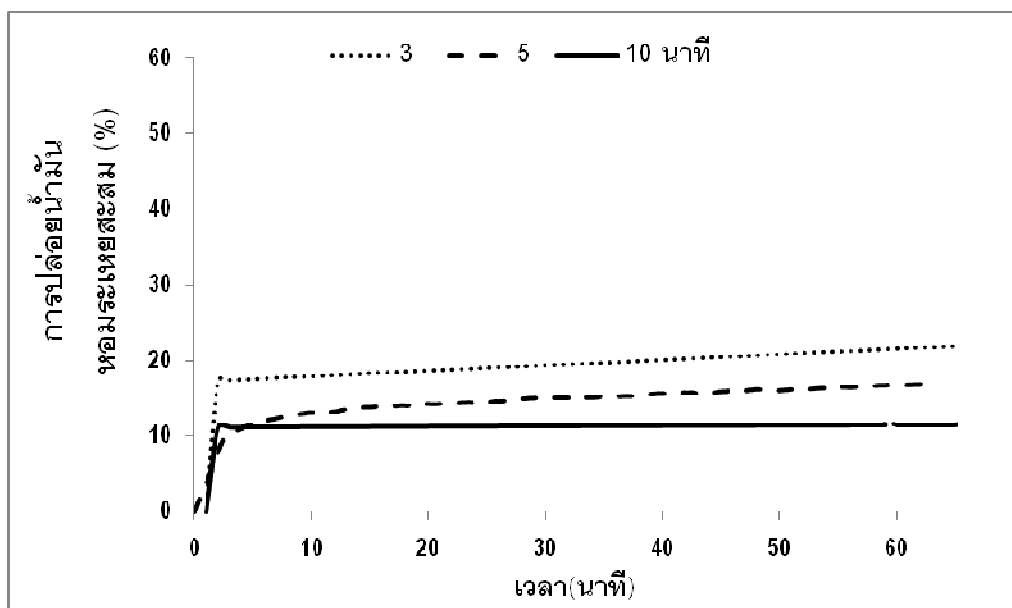


รูปที่ 4.21 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆกัน

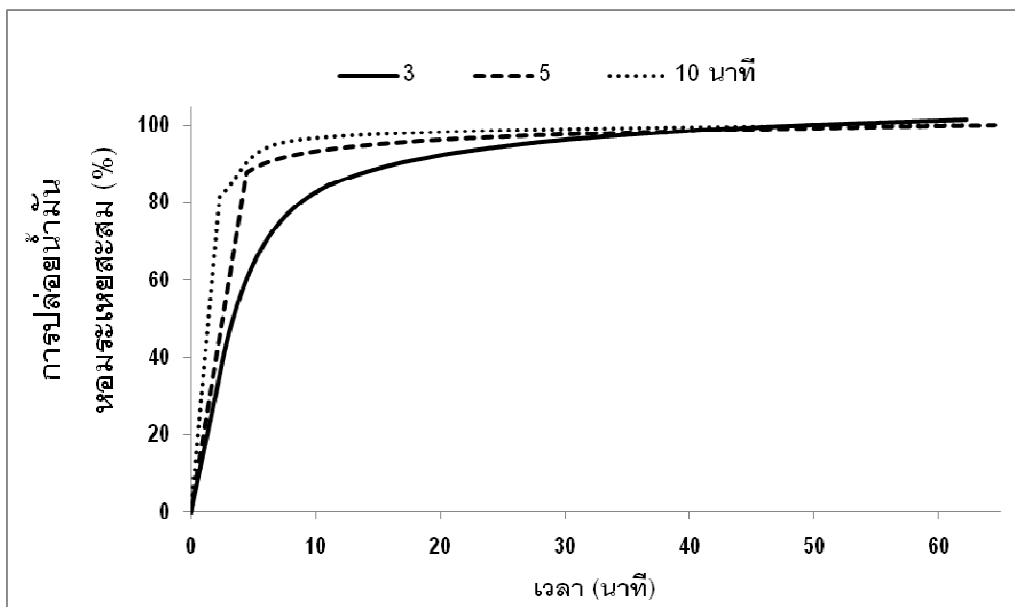
4.2.5.2 ผลของเวลาในการกวนผสม

ผลของเวลาในการกวนผสมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาที เท่ากันต่อการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำสะสมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ /พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการผสมลดลงที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาทีเท่ากัน เนื่องจากไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวในการปล่อยน้ำมันหอมระเหยมากขึ้น โดยเมื่อใช้เวลาในการกวนผสม 3 นาที ไมโครแคปซูลจะปล่อยน้ำมันหอมระเหยสะสมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 20

สำหรับการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แสดงผลในรูปที่ 4.23 พบว่าอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ในช่วง 5-10 นาทีแรกจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการกวนผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในไมโครแคปซูลมากขึ้น



รูปที่ 4.22 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่เวลาในการกวนผสมต่างๆกัน

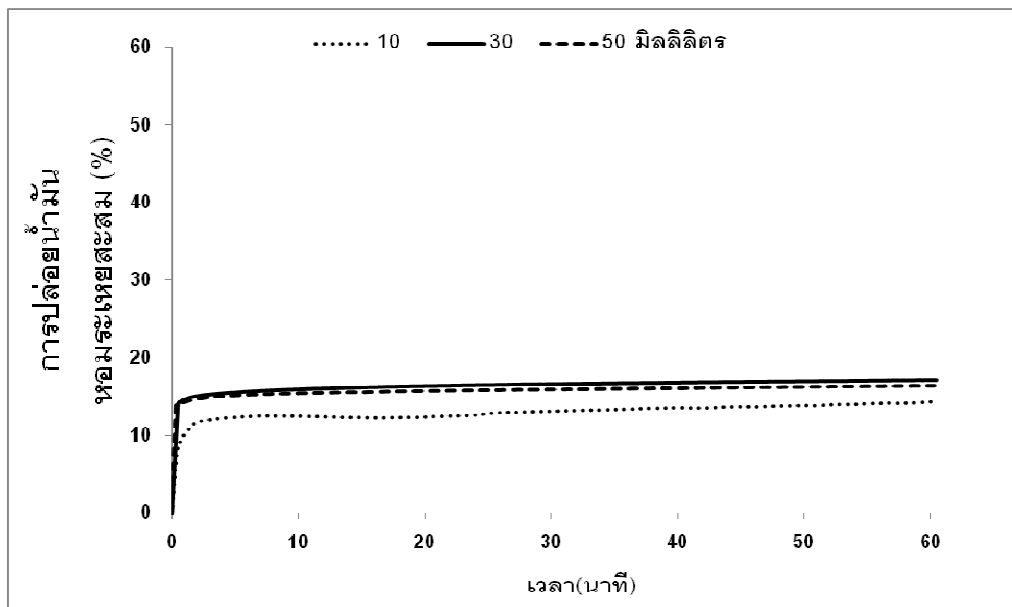


รูปที่ 4.23 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่เวลาในการกวนผสมต่างกัน

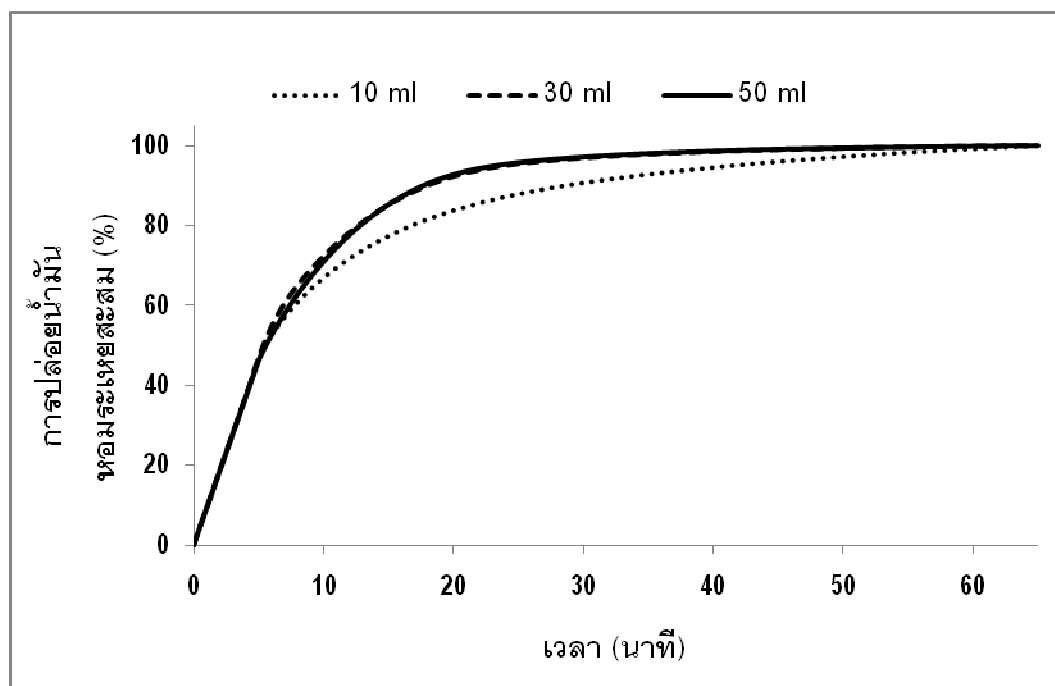
4.2.5.3 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำ

ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปเพื่อเตรียมไมโครแคปซูล (10, 30 และ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 10,000 รอบ/นาที เวลาในการกวนผสมนาน 3 นาที เท่ากันต่อการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งพบว่าที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10,000 รอบต่อ นาที เวลาในการผสม 3 นาทีเท่ากัน เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำในการเตรียมไมโครแคปซูล การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ /พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 30 และ 50 มิลลิลิตร จะมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำสะสมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 17.12 และ 16.42 ตามลำดับ

สำหรับการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แสดงผลในรูปที่ 4.25 พบว่าอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ในช่วง 5-10 นาทีแรกจะใกล้เคียงกัน หลังจาก 10 นาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้น้ำมันหอมระเหยซ้ำปริมาณมากกว่า จะมีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำสูงกว่า เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำบรรจุในไมโครแคปซูลมากขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ้ำ 30 และ 50 มิลลิลิตรจะมีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ้ำใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.24 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า /พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่างๆกัน



รูปที่ 4.25 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า /พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่างๆกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาด้วยวิธีเตรียม 2 วิธี ได้แก่ วิธี Orifice โดยใช้แอลจินเตตเป็นสารห่อหุ้ม และวิธี Interfacial polymerization โดยใช้พอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม และสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจินเตตที่เตรียมด้วยวิธีออร์ฟิช (orifice method) โดยใช้สารละลายโซเดียมแอลจินเตต ได้ผลดังนี้

1) ลักษณะอนุภาคของไมโครแคปซูลเริ่มเป็นเม็ดกลมแบบมีวัสดุแกนหลายอนุภาคอยู่ภายในไมโครแคปซูล (multi-nucleus spherical microcapsule) เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตตตั้งแต่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และมีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 700 – 1000 ไมโครเมตร รวมทั้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูลสูงที่สุดคือ ร้อยละ 40.8 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตตและเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่ใช้

2) ไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรกทั้งที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาจะลดลง โดยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาสะสมร้อยละ 60 ของน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุในไมโครแคปซูล

5.1.2 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธีอินเตอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (interfacial polymerization) โดยใช้เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยานต พอลิเอทิลีนไกลคอล และเอทิลีนไดเอมีนในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรียห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยชา ได้ผลดังนี้

1) ลักษณะอนุภาคของไมโครแคปซูลเป็นเม็ดกลมแบบมีวัสดุแกนหลายอนุภาคอยู่ภายในไมโครแคปซูล (multi-nucleus spherical microcapsule) พื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีขนาดเล็กถึงเมื่อความเร็วรอบในการกวนผสมเพิ่มขึ้นแต่เวลาในการกวนผสมลดลง ความเร็วรอบในการกวนผสมสูงกว่า 4000 รอบต่อนาที ให้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็กประมาณ 10.0 ไมโครเมตร

2) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปมีผลต่อขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลโดย เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปมากกว่า 10 มิลลิลิตร ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้นมากกว่าเดิมถึง 7 เท่า จาก 11.5 ไมโครเมตร เป็น 79.4 ไมโครเมตร เมื่อเติมลงไป 50 มิลลิลิตร

3) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยขาบรรจุในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบและเวลาในการกวนผสมเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบในการกวนผสมตั้งแต่ 5000 รอบต่อนาที ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยขาบรรจุในไมโครแคปซูลประมาณร้อยละ 15

4) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยขาบรรจุในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมันหอมระเหยขาที่เติมลงไปเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องจากขนาดของไมโครแคปซูลที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป 50 มิลลิลิตร จะให้ไมโครแคปซูลที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยบรรจุสูงที่สุดคือ ร้อยละ 52.24

5) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยขาที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล

6) ไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยขาออกมาอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรกทั้งที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยขาจะลดลง โดยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงไมโครแคปซูลมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยขาสะสมร้อยละ 20 ของน้ำมันหอมระเหยขาบรรจุในไมโครแคปซูล โดยไมโครแคปซูลจะมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยขาสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อลดเวลาในการกวนผสม และเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยขาที่เติมลงไป

5.1.3 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยขา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธี Interfacial polymerization มีขนาดเล็กที่เหมาะสมและอยู่ในรูปที่ง่ายและเหมาะสมสำหรับนำไปตกแต่งสิ่งทอมากกว่า ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยขา/แอลจินेटที่เตรียมด้วยวิธี Orifice

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยขา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้ที่มีขนาดเหมาะสมยังมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยขาบรรจุอยู่ค่อนข้างน้อย หากสามารถหาภาวะและศึกษาปริมาณการใช้เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต พอลิเอทิลีนไกลคอล และเอทิลีนไดเอมีนที่เหมาะสมเตรียมให้ผนังของเปลือกบางลงแต่ยังคงขนาดไมโครแคปซูลเล็กเท่าเดิมก็จะทำให้ไมโครแคปซูลสามารถบรรจุน้ำมันหอมระเหยขาได้มากขึ้น

5.2.2 งานวิจัยนี้เป็นเพียงการเตรียมและทดสอบสมบัติของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยขาเท่านั้น จึงควรศึกษาภาวะและปริมาณที่เหมาะสมของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ในการตกแต่งผ้าฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านจุลินทรีย์ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ และความคงทนของไมโครแคปซูลต่อภาวะการนำไปใช้งาน

5.2.3 งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันหอมระเหยฆ่าทางการค้าเท่านั้น จึงควรศึกษาการสกัดจากชาด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การสกัดด้วยเอทานอล การสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ soxhlet apparatus เพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์มากกว่านี้ นอกจากนี้ควรศึกษาในด้านปริมาณ ค่าใช้จ่าย และการเก็บรักษาสารสกัดที่ได้เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

รายการอ้างอิง

- [1] จิตต์โสภา เฉ็ยวงศ์ศักดิ์. การปรับปรุงสมบัติต้านจุลินทรีย์ของผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยชาและสารสกัดชา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [2] Lertsutthiwong, P., et al. Preparation of alginate nanocapsules containing turmeric oil. Carbohydrate Polymers 74 (2008) : 209-214.
- [3] ปรียา อาตมียะนันท์. ไมโครเอนแคปซูลเอชัน. ครั้งที่พิมพ์ 2. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525
- [4] Rodrigues, S. N., et al. Scentfashion[®]: Microencapsulated perfumes for textile application. Chemical Engineering Journal 149 (2009) : 463-472.
- [5] Holme, I. Innovative technologies for high performance textiles. Color Technology 123 (2007) : 59-73.
- [6] สิริวรรณ กิตินาวรัตน์. สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ. Colourway 8, 46 (May-June 2003) : 58-62.
- [7] Gao, Y., et al. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. Textile Research Journal (2008) : 60-72.
- [8] Oonmetta-aree, J., et al. Antimicrobial properties and action of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) on *Staphylococcus aureus*. Food Science and Technology 39 (2006) : 1214-1220.
- [9] Mayachiew, P. and Devahastin, S. Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. Food Science and Technology 41 (2007) : 1153-1159.
- [10] บริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด. Galangal oil. Certificate of analysis 2008 : 1-5.
- [11] วันดี กฤษณพันธ์. สมุนไพรสารพัดประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเภสัชวินิฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2538.
- [12] พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ และคณะ. โครงการทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2544.
- [13] Mukul, Z. Galangal. Find Me A Cure Alternative Medicine, 2007[Online]. Available from : <http://findmeacure.com/2007/07/02/galangal/> [2011, March 19].

- [14] กุศล เขียมอรุณ. ข่าว. โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.skn.ac.th/skl/project/spice87/a12.htm> [2554, มีนาคม 23].
- [15] คมสัน หุตะแพทย์. การสกัดน้ำมันหอมระเหย การใช้ประโยชน์ และการทำผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2551.
- [16] สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. ข่าว. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล[ออนไลน์].แหล่งที่มา : <http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/alpinia.html> [2554, มีนาคม 15].
- [17] อรรถชัย ภิัญญาคง. การตรวจสอบสมบัติการต้านการเจริญของจุลินทรีย์สำหรับผลิตภัณฑ์ สิ่งทอ. *Colourway* 45, 68 (January-February 2007) : 399-342.
- [18] นพัต จันทรวิสูตร และ เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์. การยับยั้งการเจริญของเชื้อราจากชาที่ผสม ในเค้ก. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T)* 3, 1 (2547/2004) : 19 - 34.
- [19] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. สาระสกัดจากสมุนไพร โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนอุตสาหกรรมเฉพาะเรื่อง,รายงานฉบับสมบูรณ์. 1-14. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2546.
- [20] รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล. การเตรียมสารสกัดสมุนไพร. *เกษตรกรรมธรรมชาติ* 11(2549) : 28-39.
- [21] สิริลักษณ์ มาลานิยม. น้ำมันหอมระเหยสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย. *สมอ สาร* 28, 325 (กรกฎาคม 2545) : 3-6.
- [22] ฉันทรา พูนศิริ. เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชัน. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 21 (2549) : 57-60.
- [23] Deasy, P.B. Microencapsulation and related drug processes. *Drugs and The Pharmaceutical Sciences*. 20. New York : Marcel Dekker, Inc., 1984.
- [24] Jyothi, N. V. N., et al. Microencapsulation Techniques, Factors Influencing Encapsulation Efficiency: A Review. *Journal of Microencapsulation-Inforna Health Care* 27 (2010) : 187-197.
- [25] เบญจา ชุตินทราศรี. บทที่ 4 เอนแคปซูลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส (Encapsulation and Control Release of Food Flavoring). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf) [2554, มีนาคม 13].
- [26] Odian, G. Principles of Polymerization. 4. New York : A John Wiley & Song, Inc., 2004.
- [27] Nelson, G. Application of microencapsulation in textile. *International Journal of Pharmaceutics* 242 (2002) : 55-62.

- [28] Mondal, S. Phase change materials for smart textiles-An overview. Applied Thermal Engineering 28 (2008) : 1536-1550.
- [29] Cheng, S.Y. Development of Cosmetic Textiles Using Microencapsulation Technology. Research Journal of Textile and Apparel 12 (2008) : 41-51.
- [30] ปัญจรัตน์ สุนทรสมิต. การเคลือบน้ำมันหอมระเหยด้วยอัลจิเนต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2541.
- [31] Patel, G. Formulation : Algae's functional excipient side. Pharmaceutical Formulation & Quality. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.pharmaquality.com/ME2/dirmod .asp>[2554, มีนาคม 12].
- [32] Fisheries and Aquaculture Department. Training manual on Gracilaria culture and seaweed processing in China. FAO CORPORATE DOCUMENT REPOSITORY[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab730e /AB730E04.htm> [2554, มีนาคม 22].
- [33] Thomson, T. Polyurethane as specialty chemicals : principles and applications. Florida : CRC Press, 2004.
- [34] Wirpsza, Z. Polyurethanes : chemistry, technology and applications. London : Ellis Horwood, 1993.
- [35] Vroman, I. and Tighzert, L. Biodegradable polymers. Materials 2 (2009) : 307-344.
- [36] Hana, S. and Yanga, Y. Antimicrobial activity of wool fabric treated with curcumin. Dye and Pigments 64 (2005) : 157-161.
- [37] Thilagavathi, G., et al. Microencapsulation of herbal extracts for microbial resistance in healthcare textiles. Indian Journal of Fibre & Textile Research 32 (2007) : 351-354.
- [38] Chan, L. W., et al. Microencapsulation of oils using sodium alginate. Journal of Microencapsulation 17 (2000) : 757-766.
- [39] Chang, C.P. and Dobashi, T. Preparation of alginate complex capsules containing eucalyptus essential oil and its controlled release. Colloids and Surfaces B: Biomaterials 32 (2003) : 257-263.
- [40] Matsunami, Y. and Ichikawa, K. Characterization of the structures of poly(urea-urethane) microcapsules. International Journal of Pharmaceutics 242 (2002) : 147-153.

- [41] Salaüna, F., et al. 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.
- [42] วิชัย รุ่งตระกูล และคณะ. การประยุกต์สเปกโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้องเรียน, 2526.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

น้ำมันหอมระเหยซ่าทางการค้า จากบริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย – จีน จำกัด

Certificate of analysis [7]

Date : 17/12/2009

Product name : Galangal oil

Product code : 3350 – 40018

Reference no. : 0004/2008

Batch no. : 5112436/1812

Production : This essential oil is obtained by steam distillation of *Alpinia galanga*

Colour and Appearance : Colourless to lemon-yellow and clear liquid

Odour : Fresh, Spicy – camphoraceous odour

Specific gravity (20/20°C) : 0.8950 – 0.9150

Refractive index (20°C) : 1.4610 – 1.4810

Principal Constituents : 1,8 – cineole 55%, caryophyllene 5%, terpinene – 4 – ol 3.5%

Solubility : Very soluble in ethanol

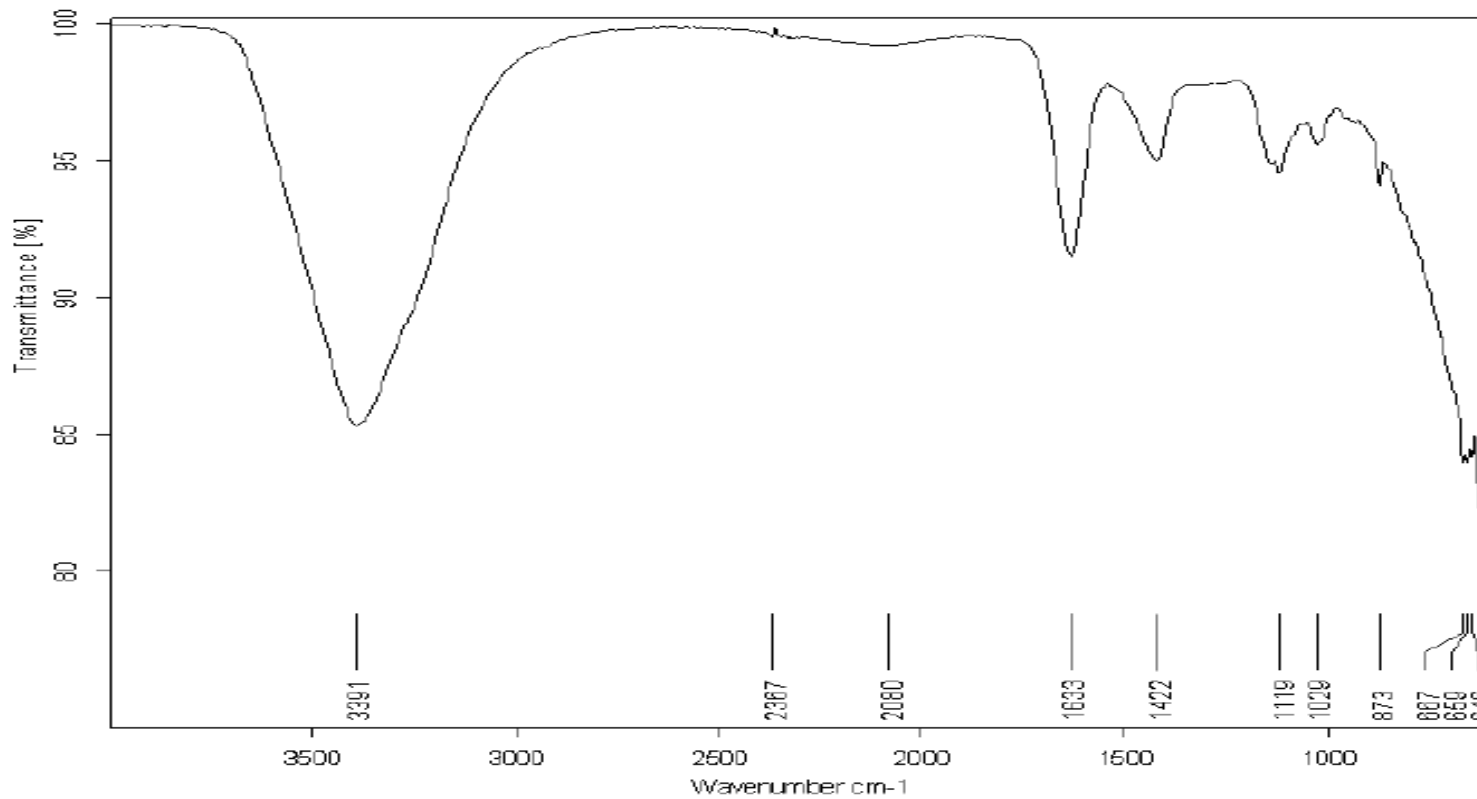
Uses : 0.5-5.0 %

Storage : Keep in cool preferably at about 20 -25°C, dry place at and protect from light. Keep containers tightly sealed.

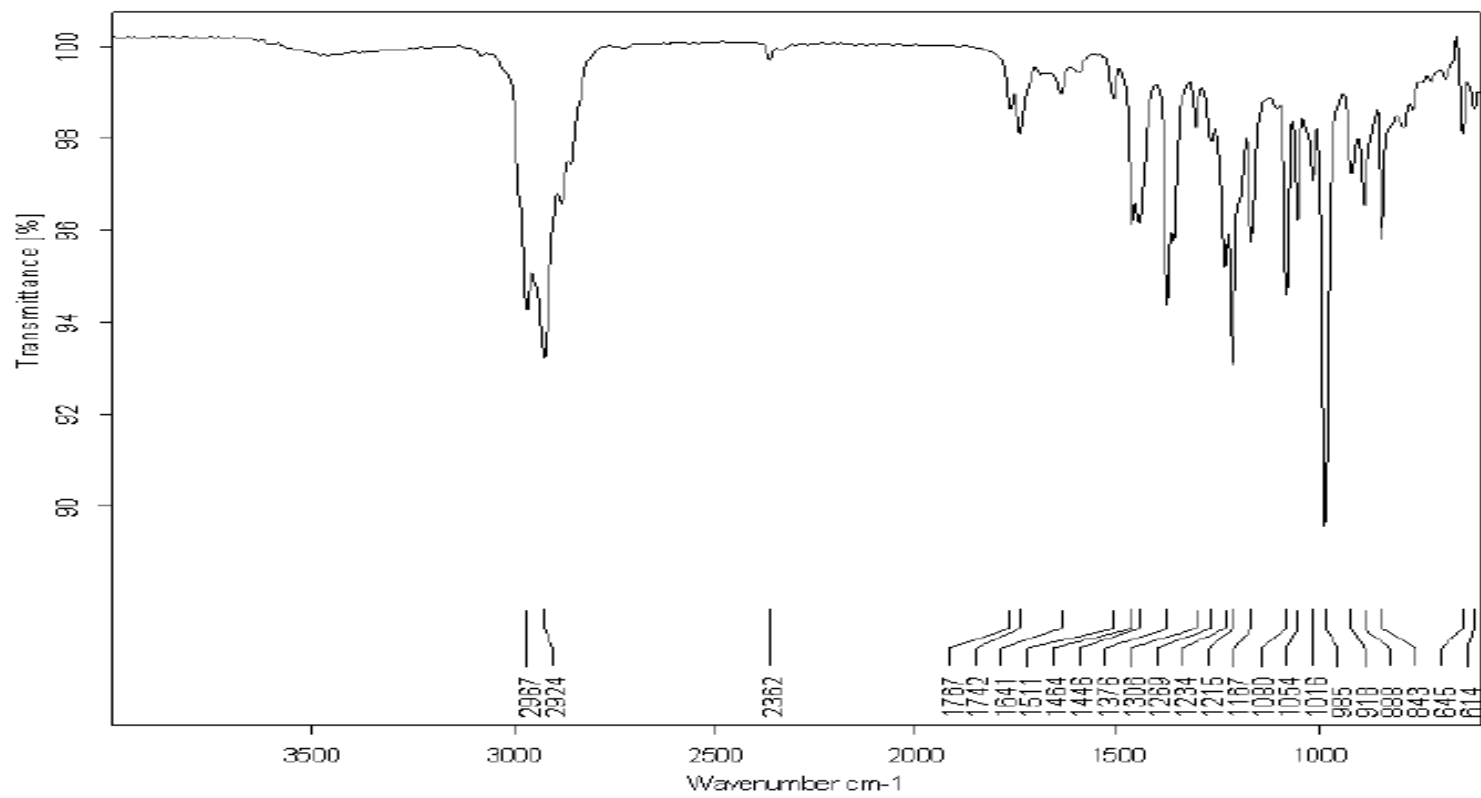
Shelf life : 24 months quality should be checked visually and olfactory before each use and fully checked after the shelf life period.

ภาคผนวก ข

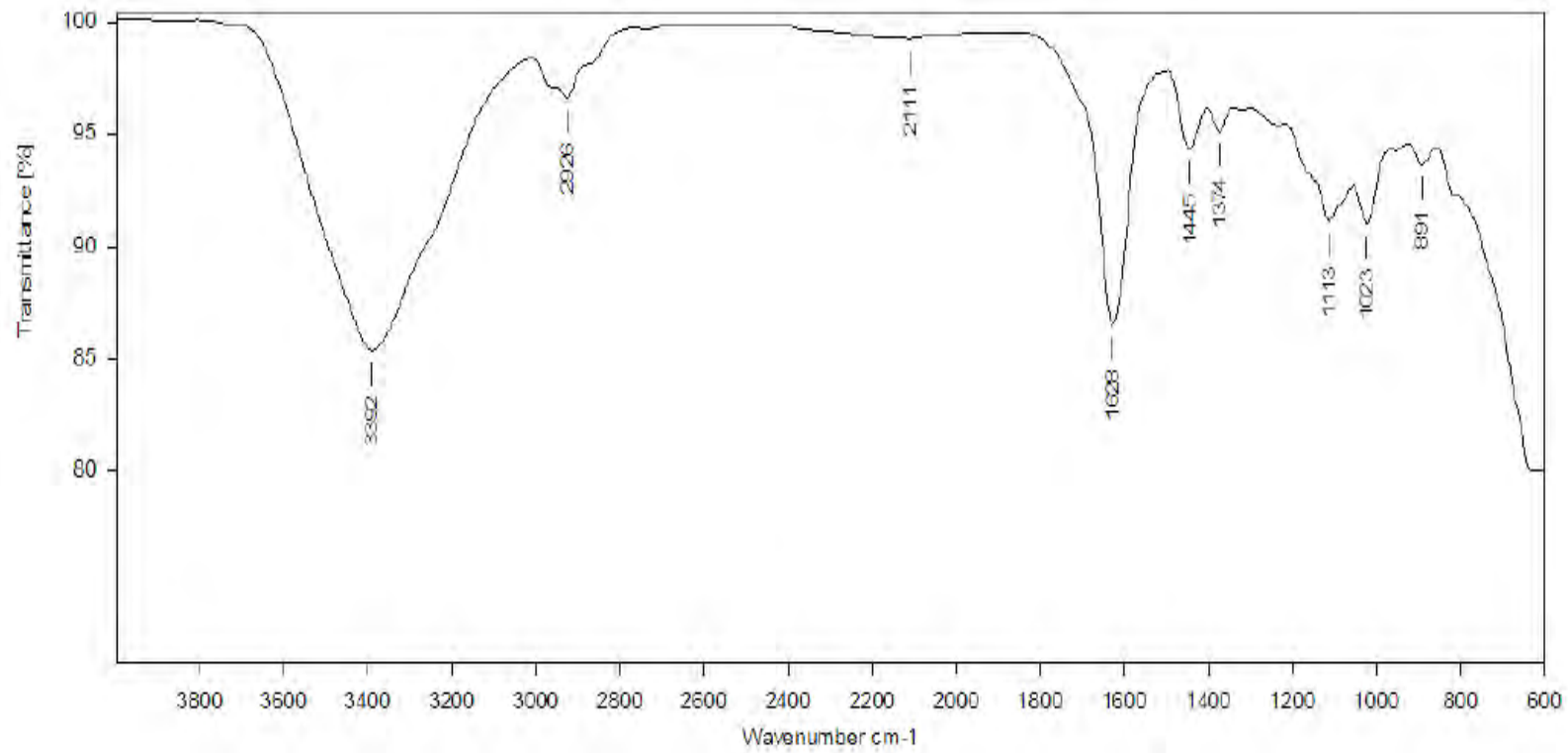
การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแอลจินต น้ำมันหอมระเหยชำ่า ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ่า/แอลจินต พอลิยูรีเทน-ยูเรียและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



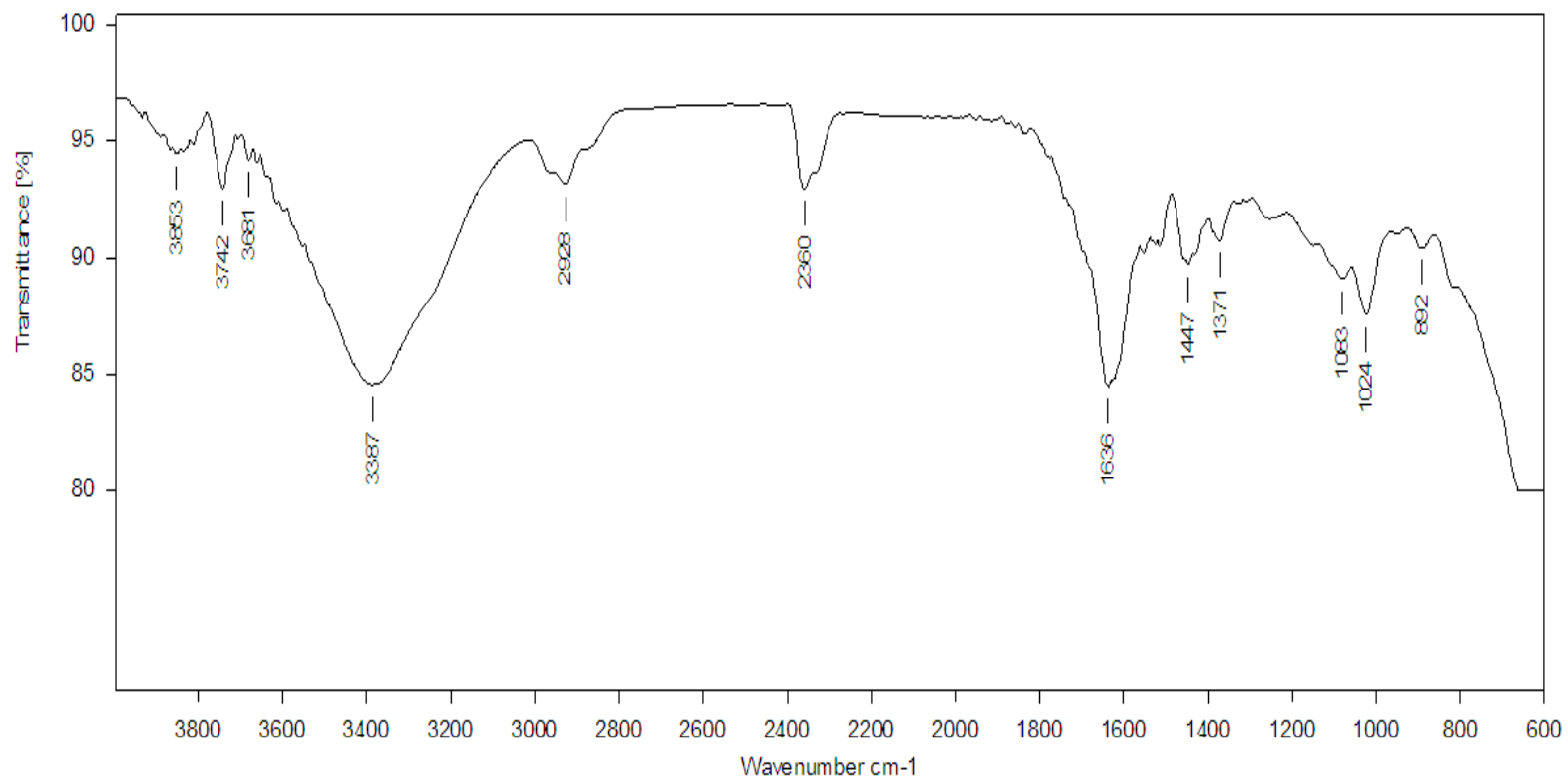
รูปที่ ข.1 FTIR สเปกตรัมของแอลจินต



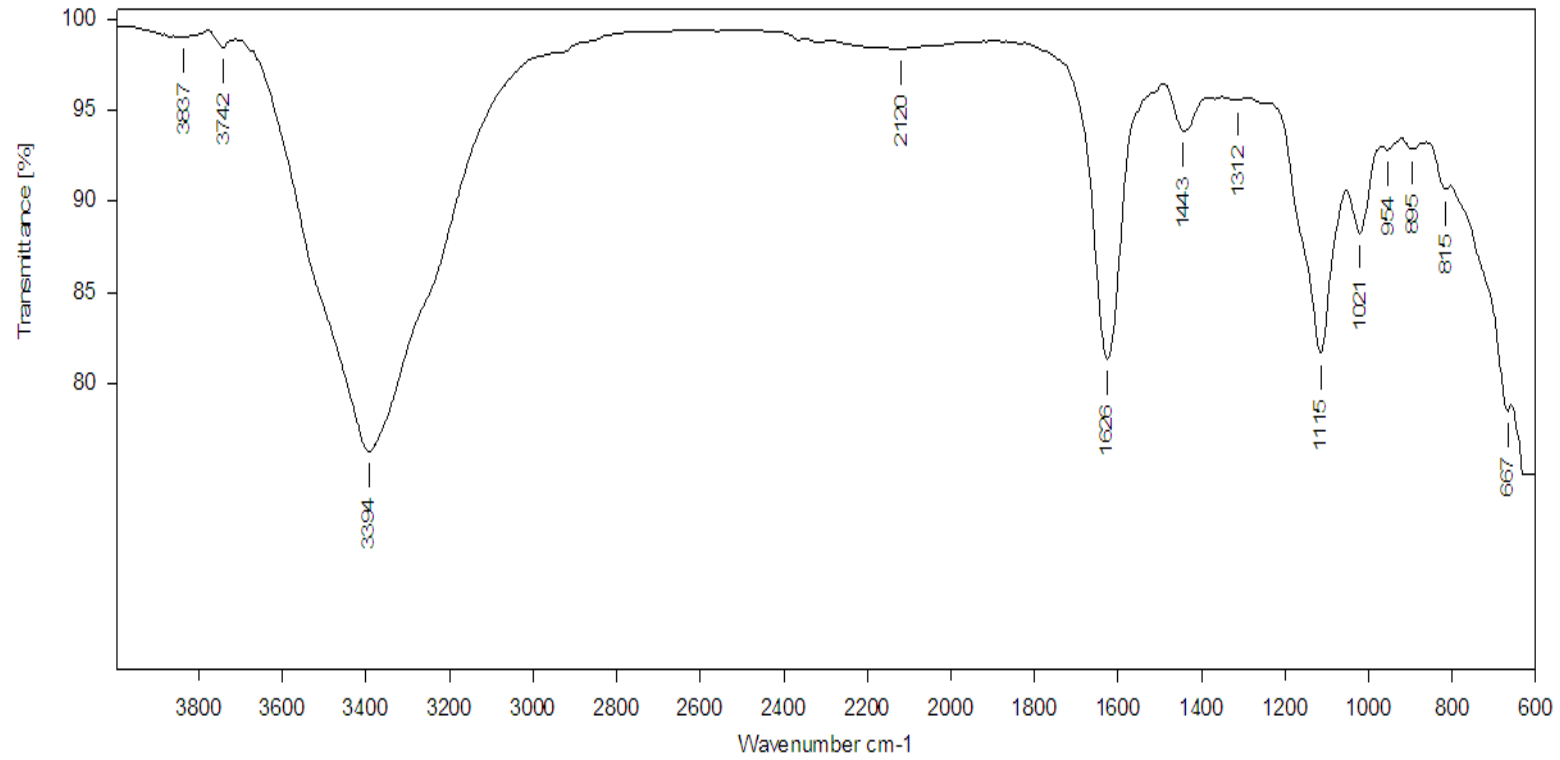
รูปที่ ข.2 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยข่า



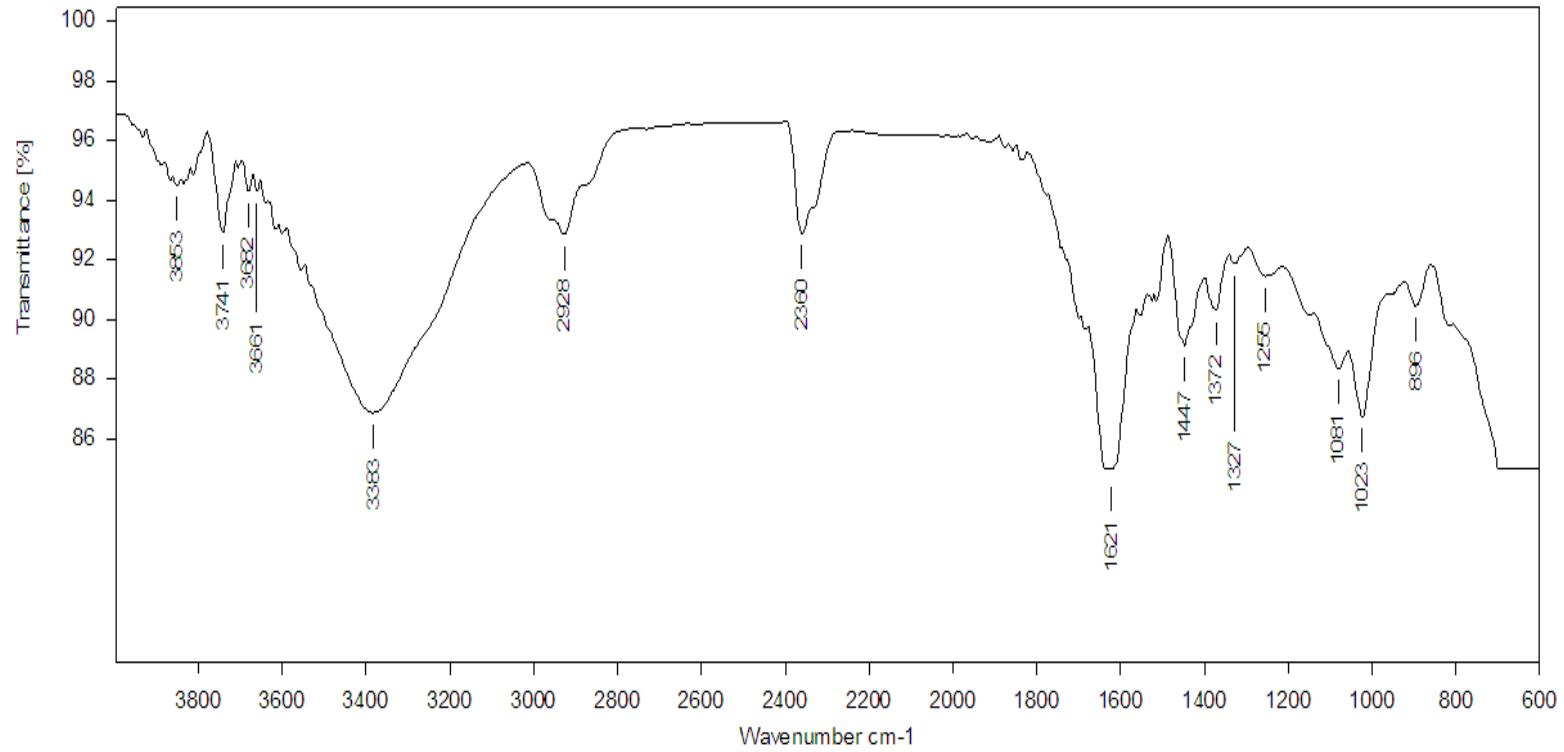
รูปที่ ข.3 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต (1% (w/v) โซเดียมแอลจินตและ 1 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยชำ)



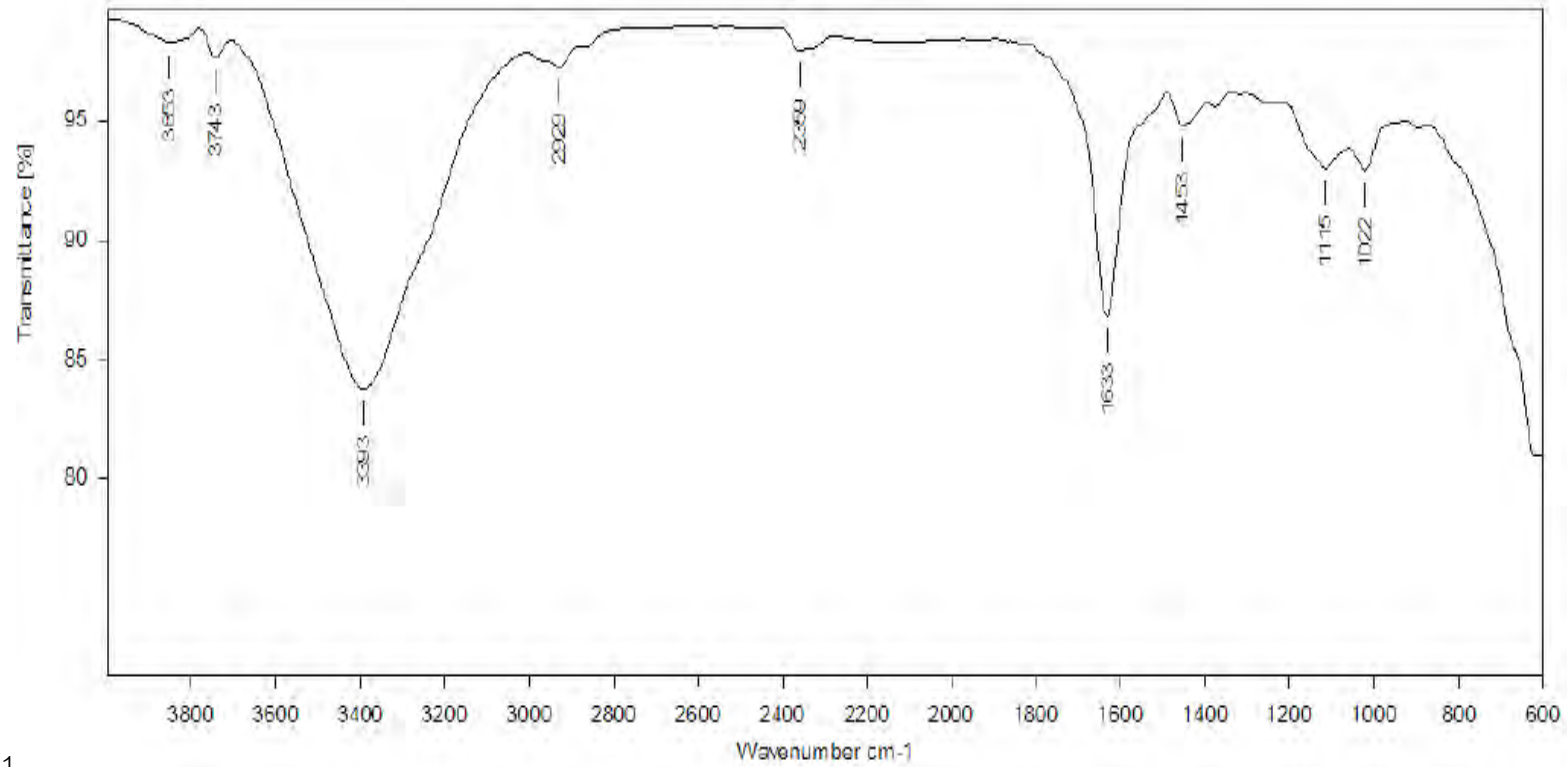
รูปที่ ข.4 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต (1% (w/v) โซเดียมแอลจินตและ 5 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยชำ)



รูปที่ ข.5 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจีเนต (2% (w/v) โซเดียมแอลจีเนตและ 1 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยชำ)

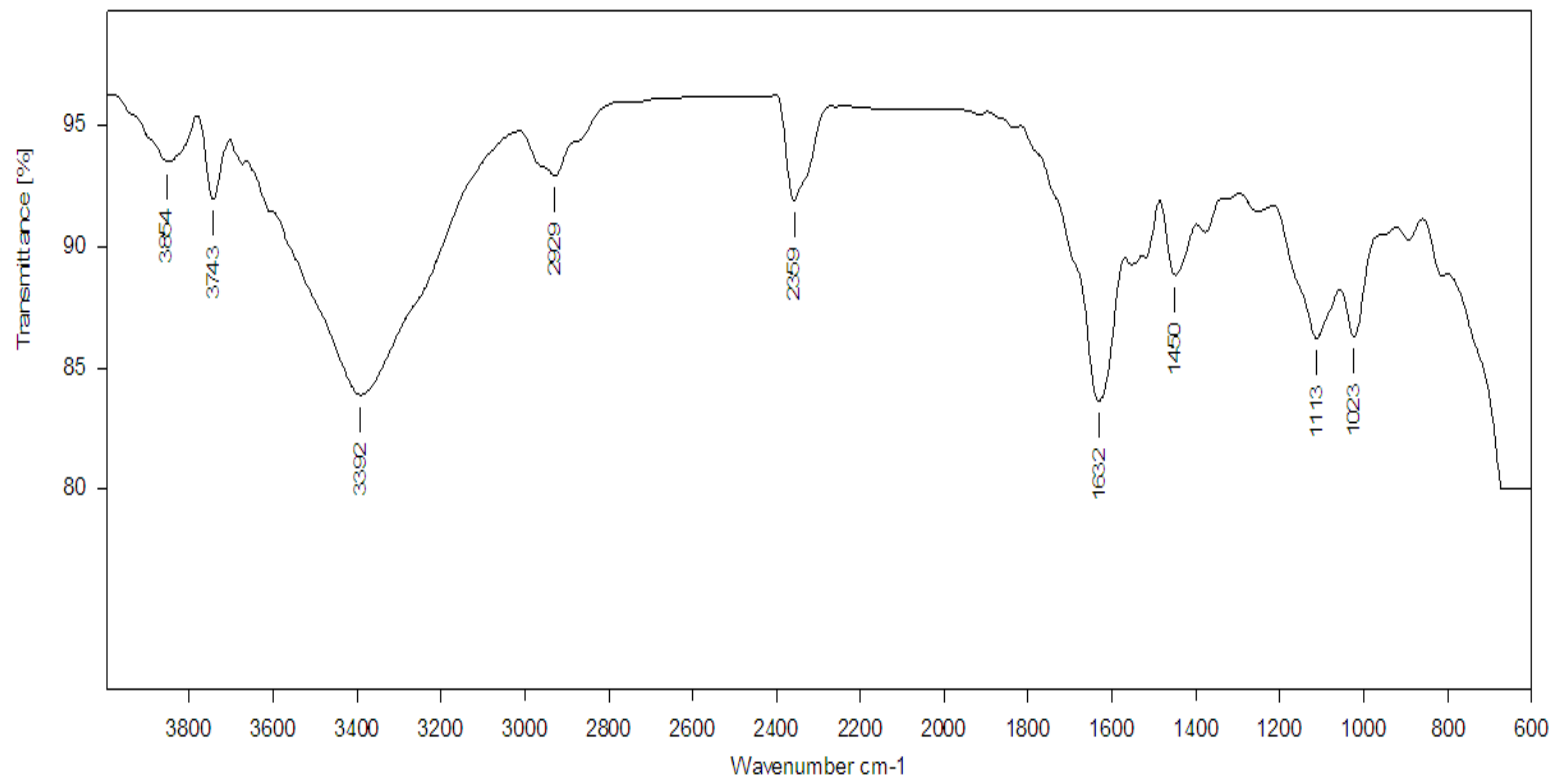


รูปที่ ข.6 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต (2% (w/v) โซเดียมแอลจินตและ 5 มิลลิตรน้ำมันหอมระเหยชำ)

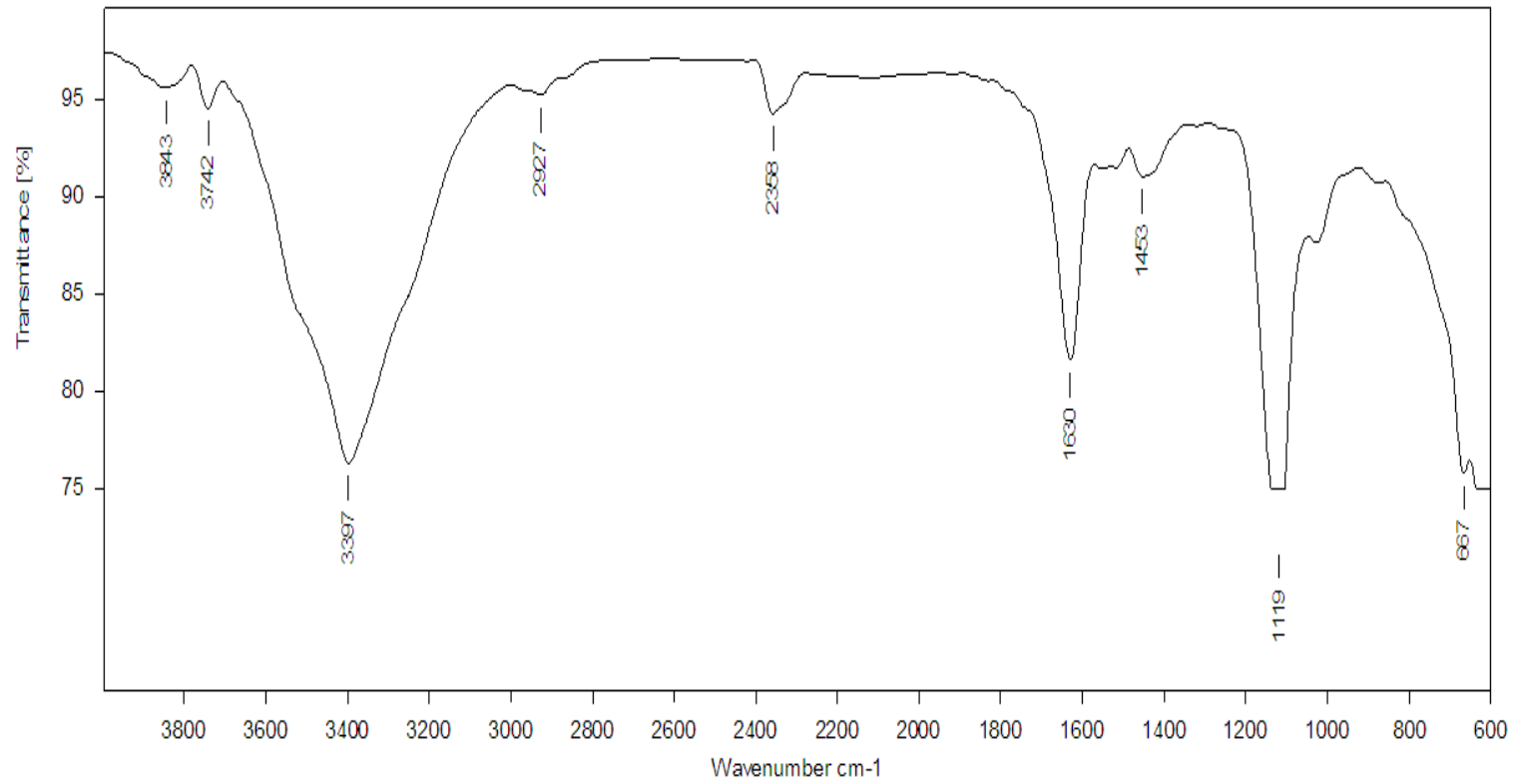


1

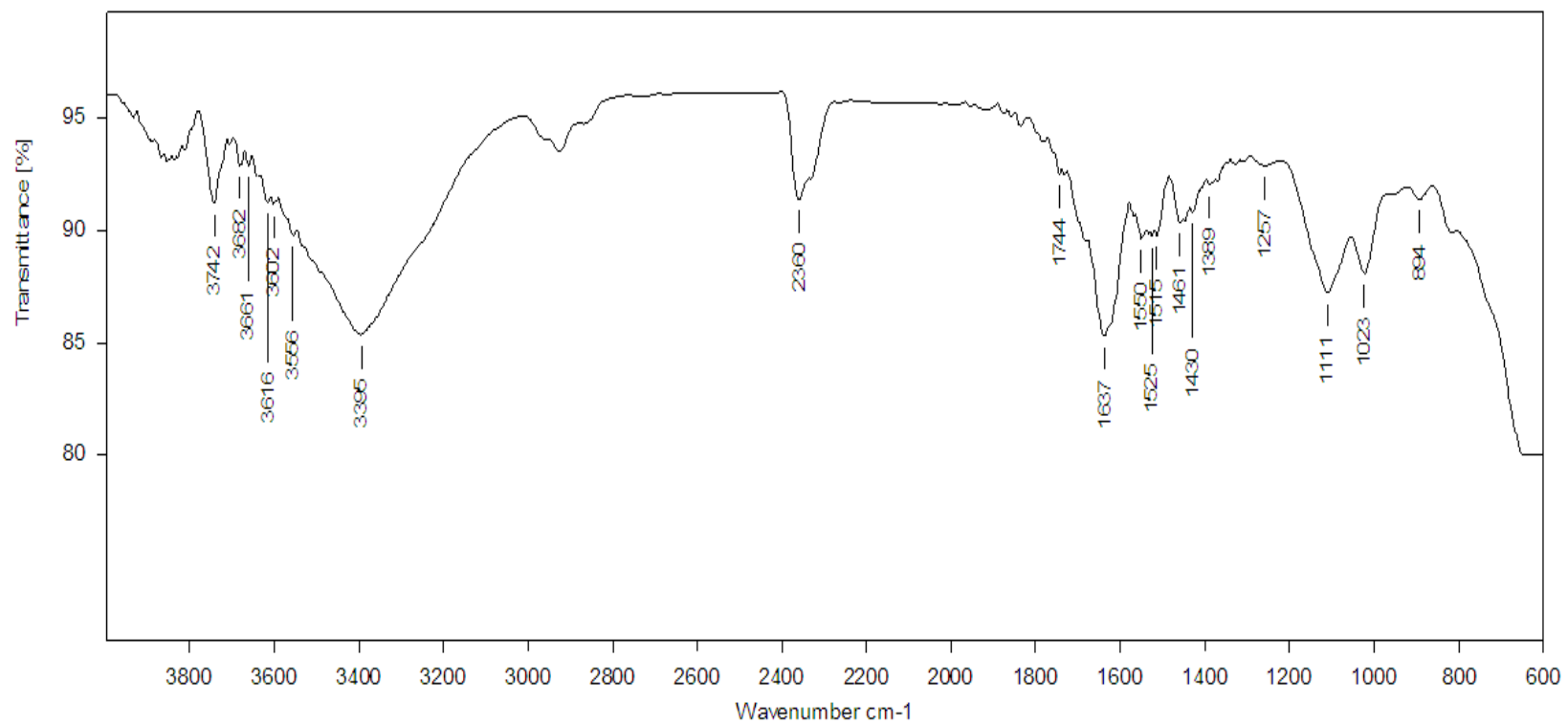
รูปที่ ข.7 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินเตต (3% (w/v) โซเดียมแอลจินเตตและ 1 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยข่า)



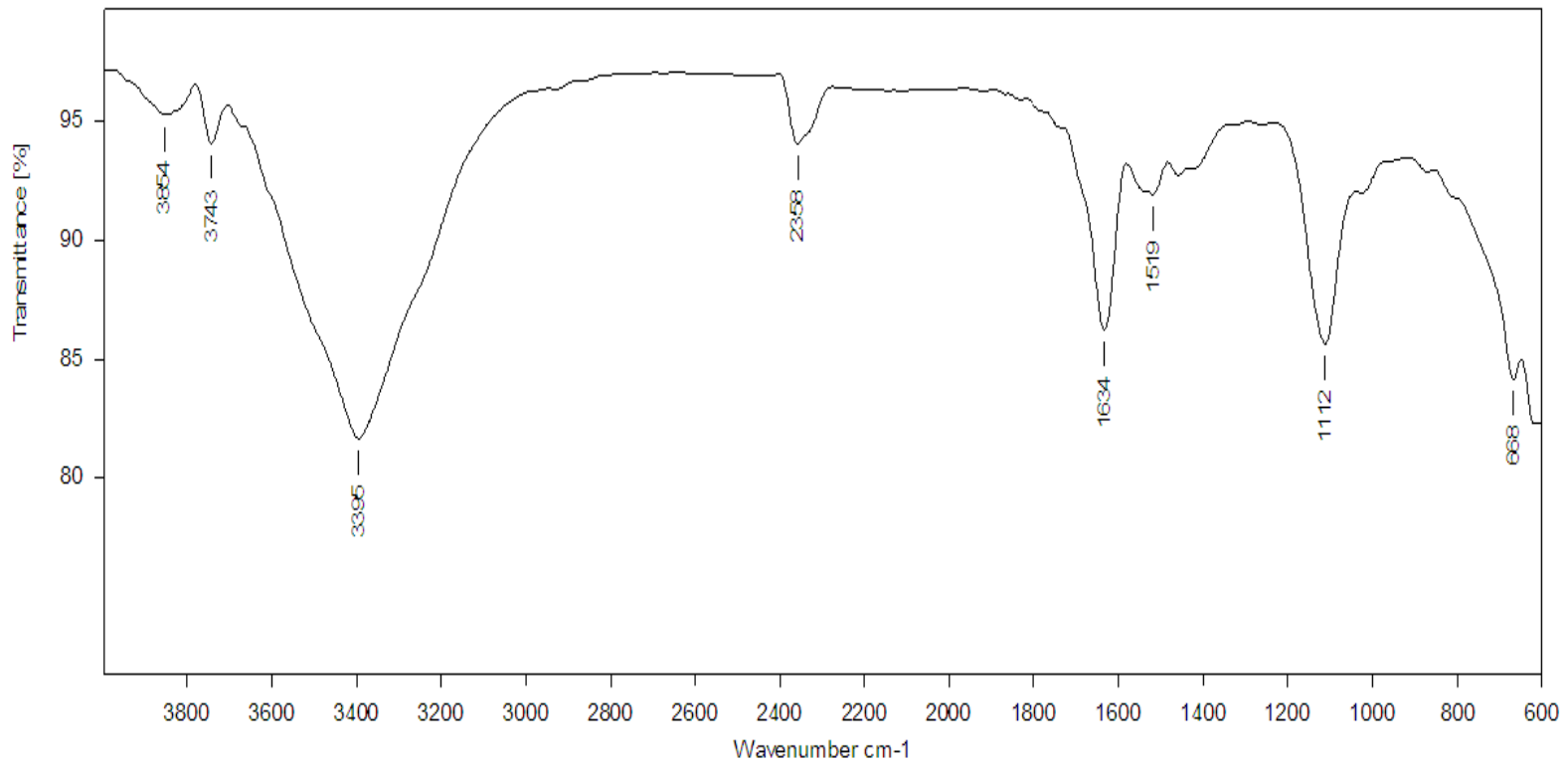
รูปที่ ข.8 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/แอลจินต (3% (w/v) โซเดียมแอลจินตและ 5 มิลลิิตรน้ำมันหอมระเหยชำ)



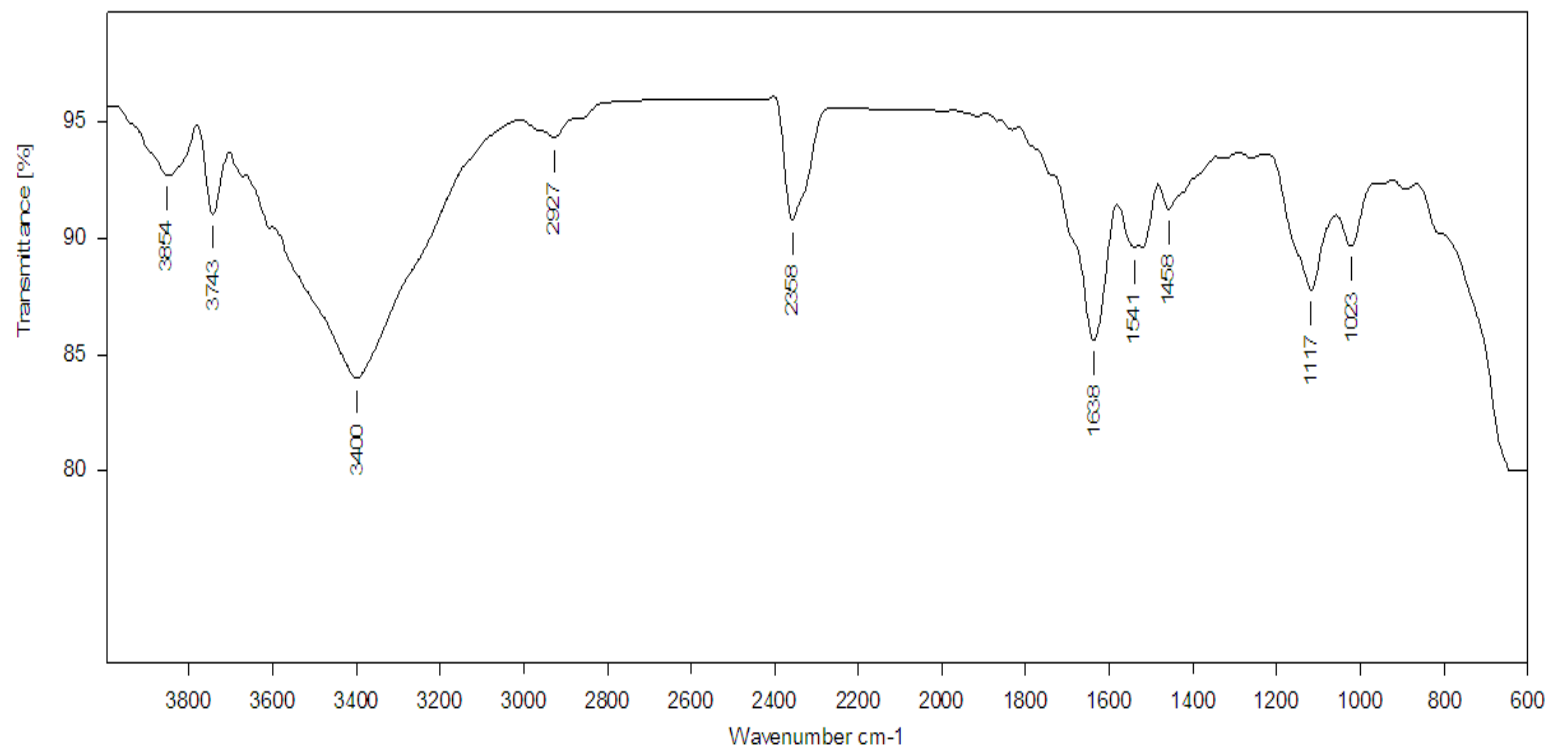
รูปที่ ข.9 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินต (4% (w/v) โซเดียมแอลจินตและ 1 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยข่า)



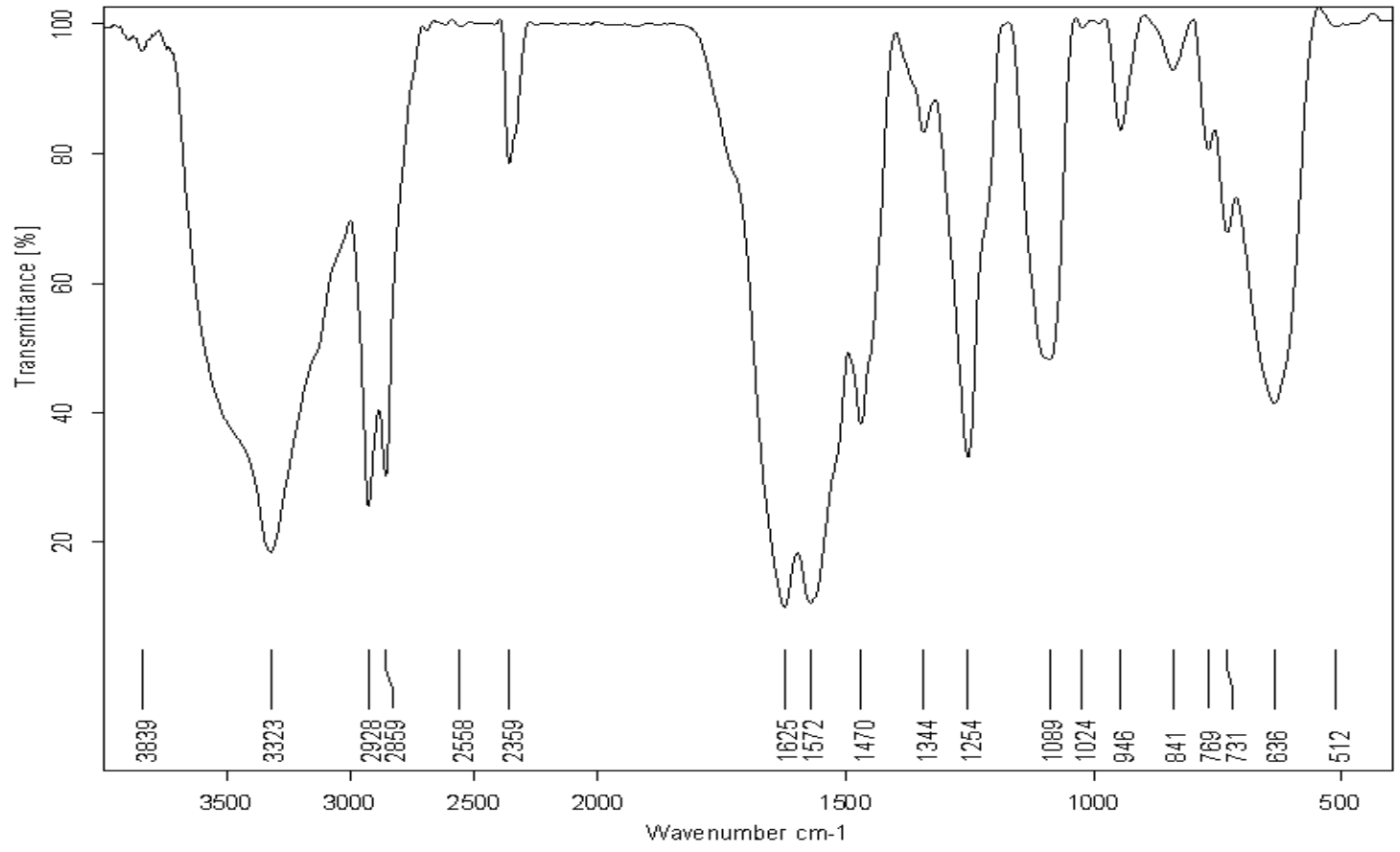
รูปที่ ข.10 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินेट (4% (w/v) โซเดียมแอลจินेटและ 5 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยข่า)



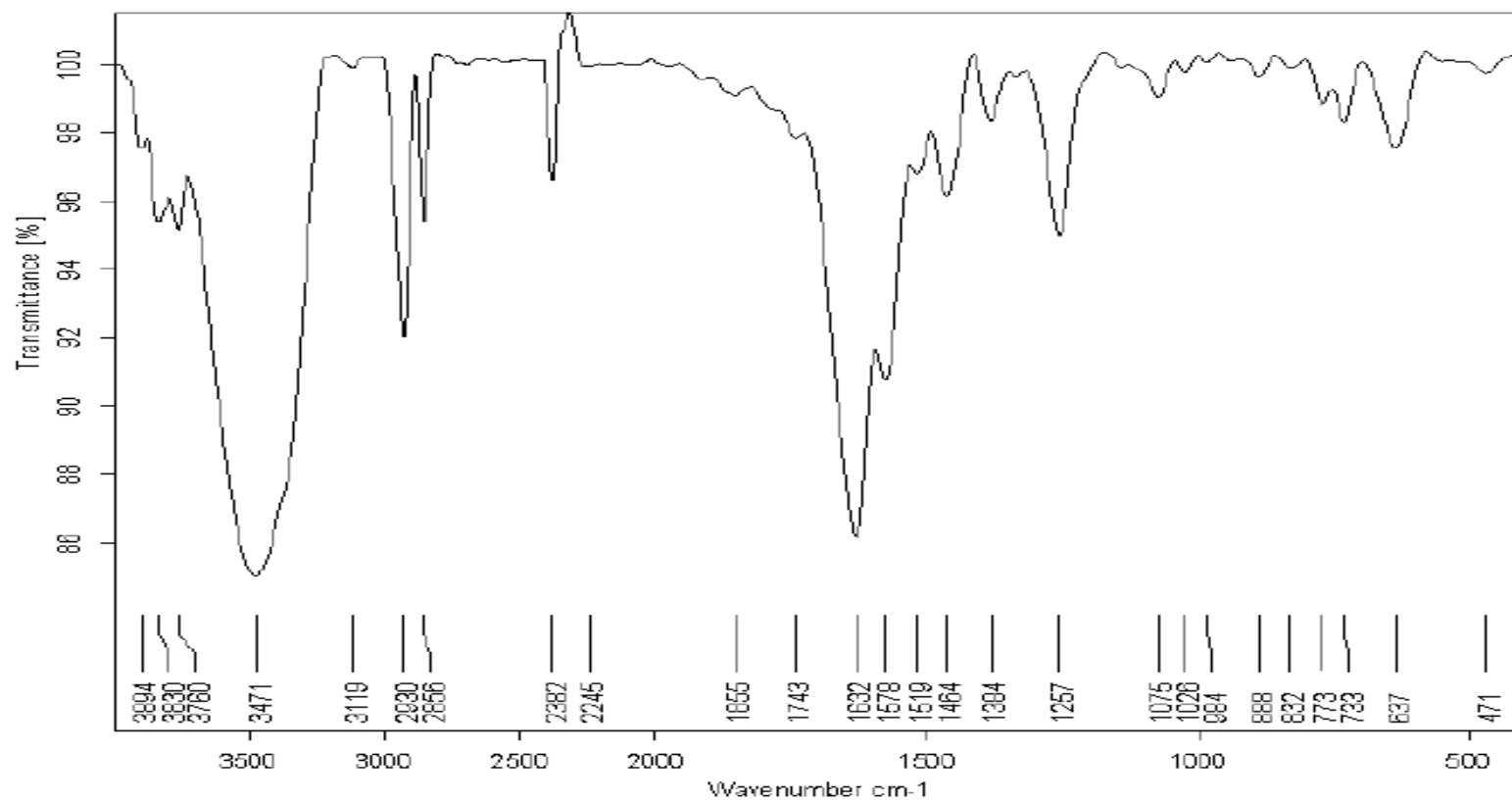
รูปที่ ข.11 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจีเนต (5% (w/v) โซเดียมแอลจีเนตและ 1 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยชา)



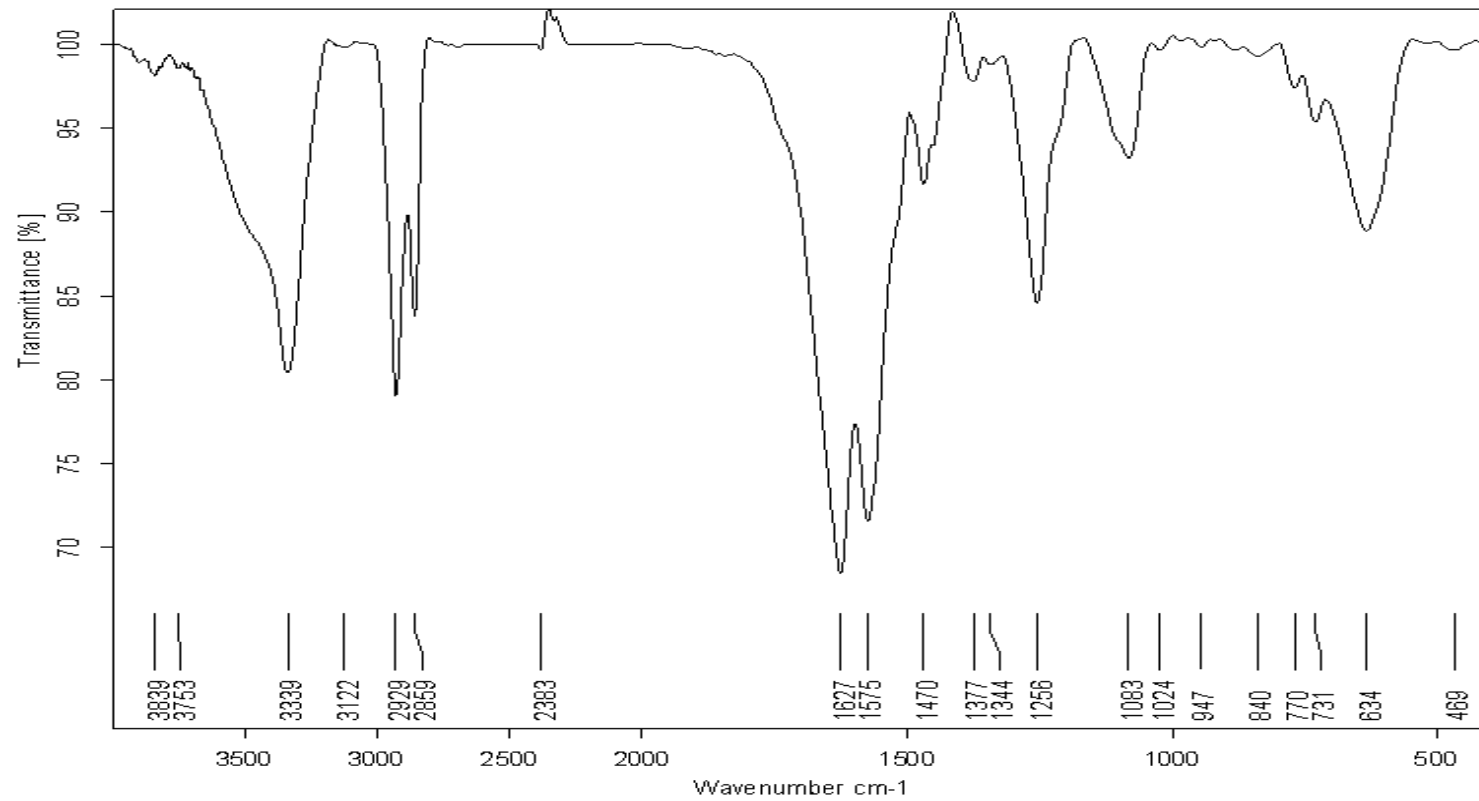
รูปที่ ข.12 FTIR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/แอลจินेट (5% (w/v) โซเดียมแอลจินेटและ 5 มิลลิลิตรน้ำมันหอมระเหยข่า)



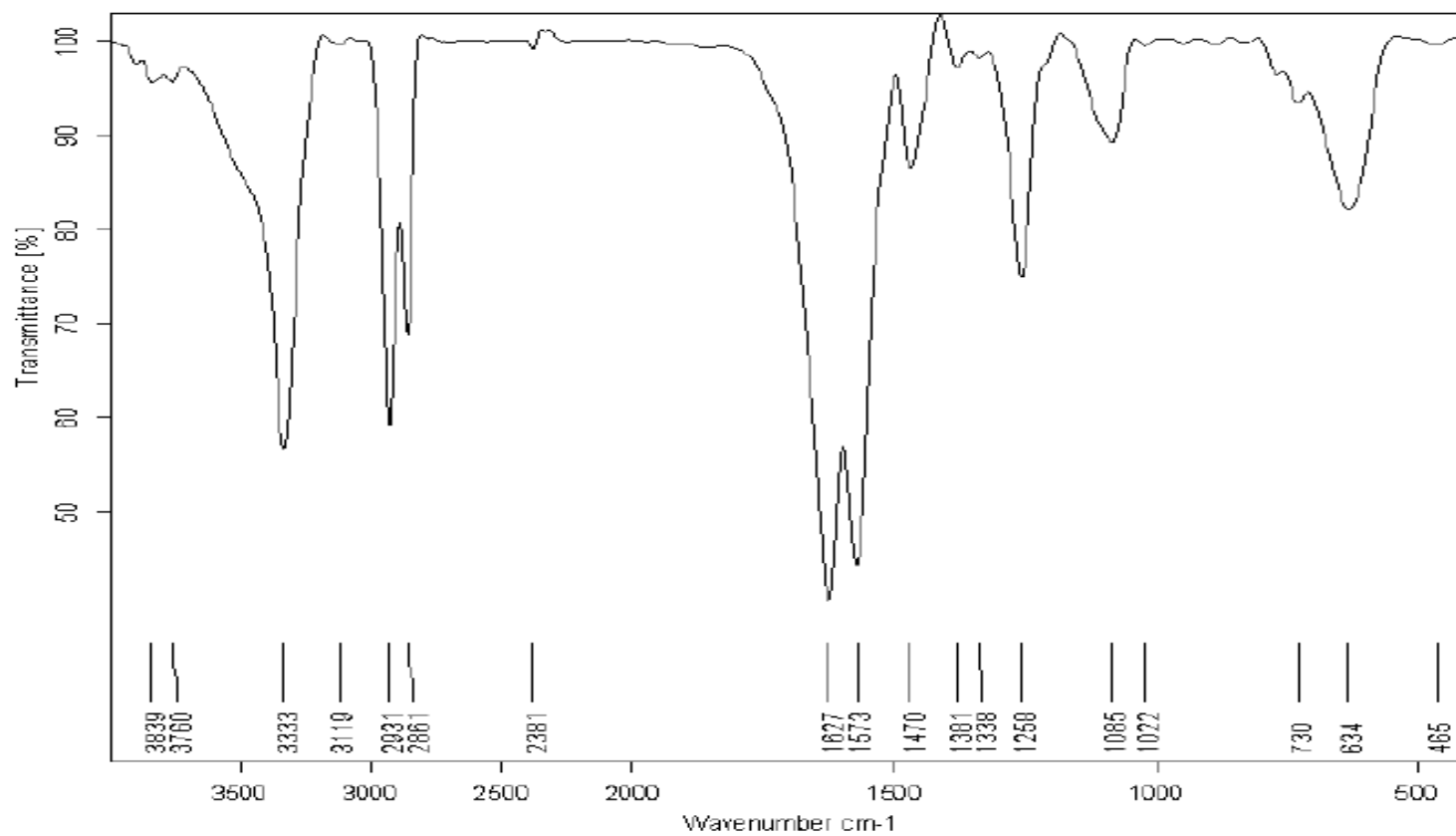
รูปที่ ๑.13 FTIR สเปกตรัมของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย



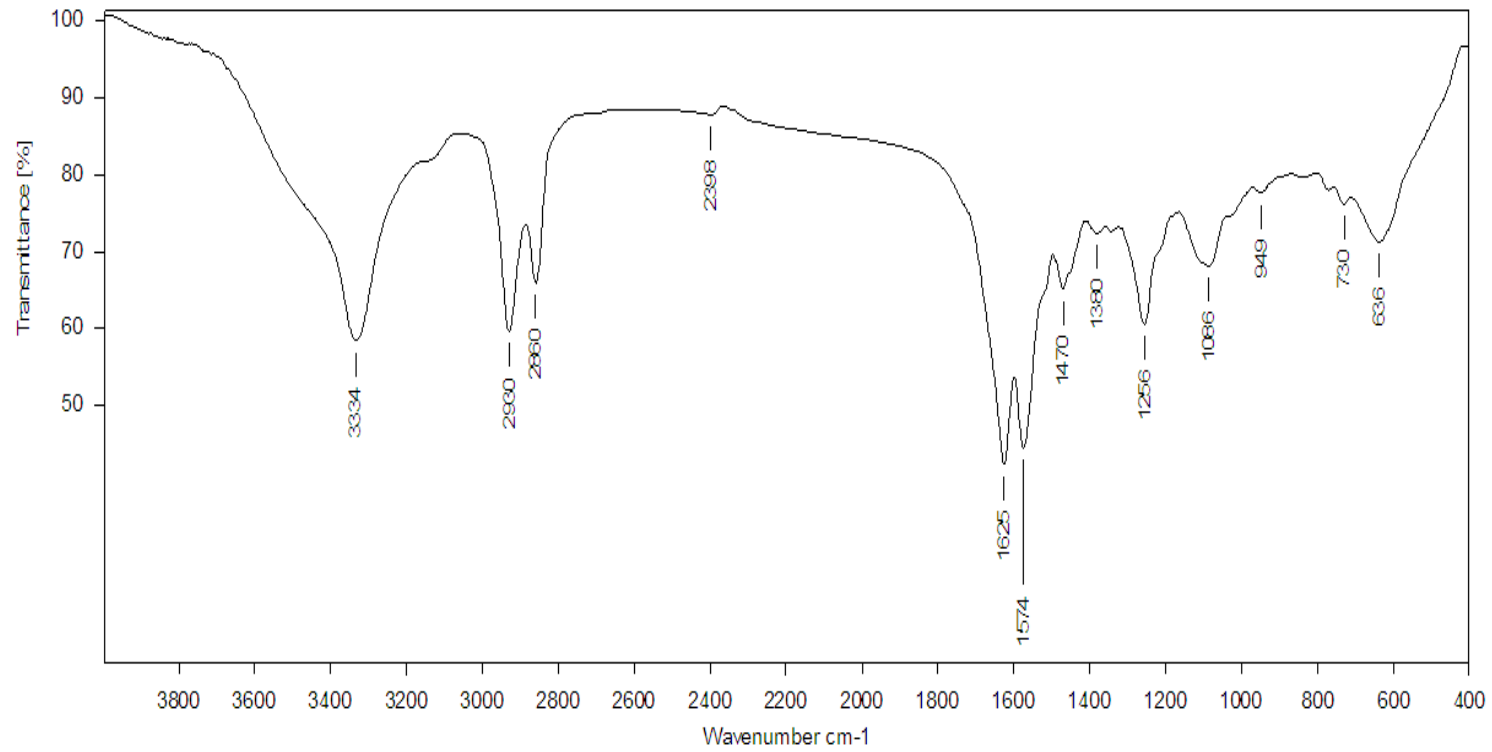
รูปที่ ข.14 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 1000 รอบ/นาที เวลาการผสม 3 นาที



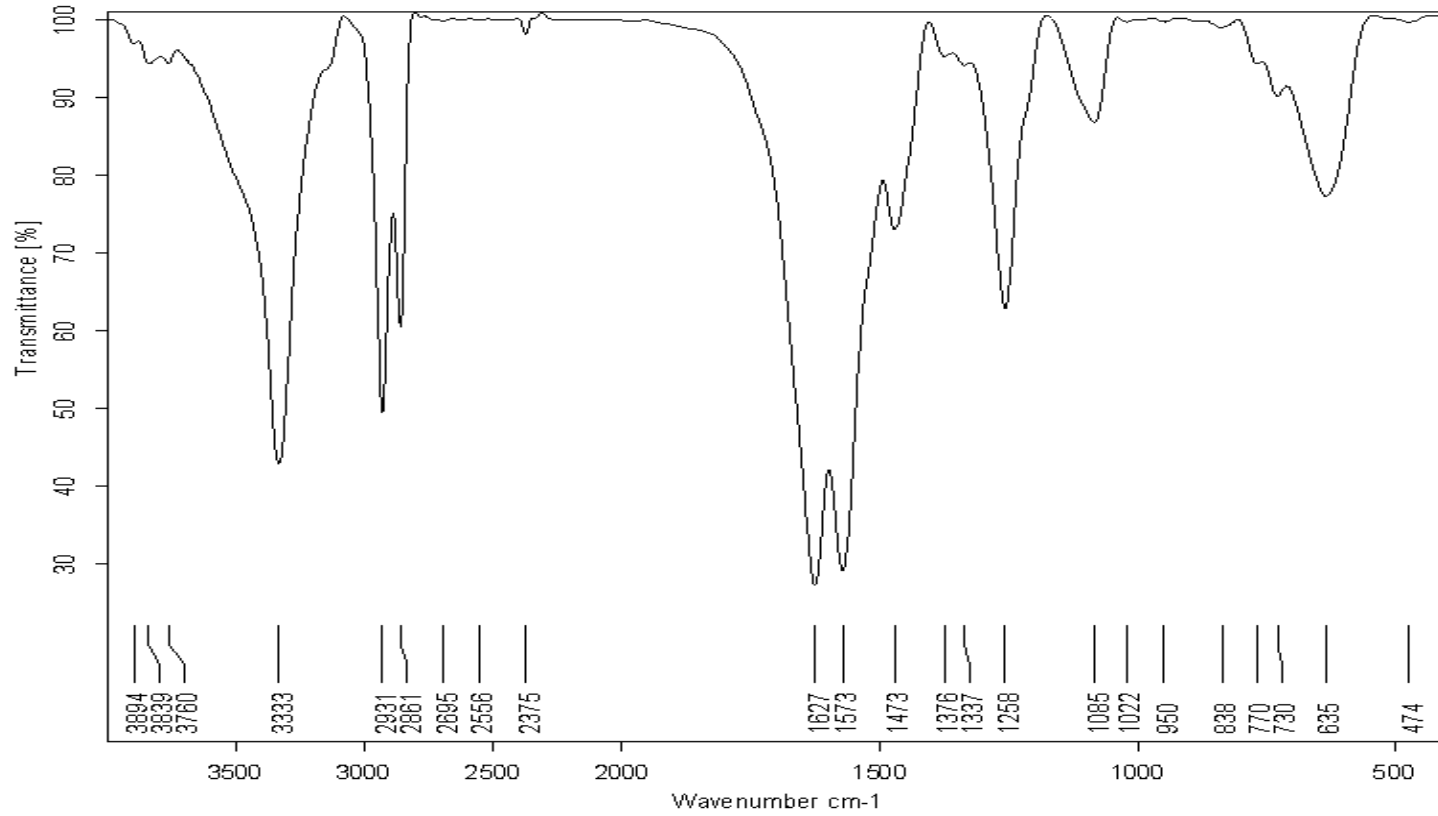
รูปที่ ข.15 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 2000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที



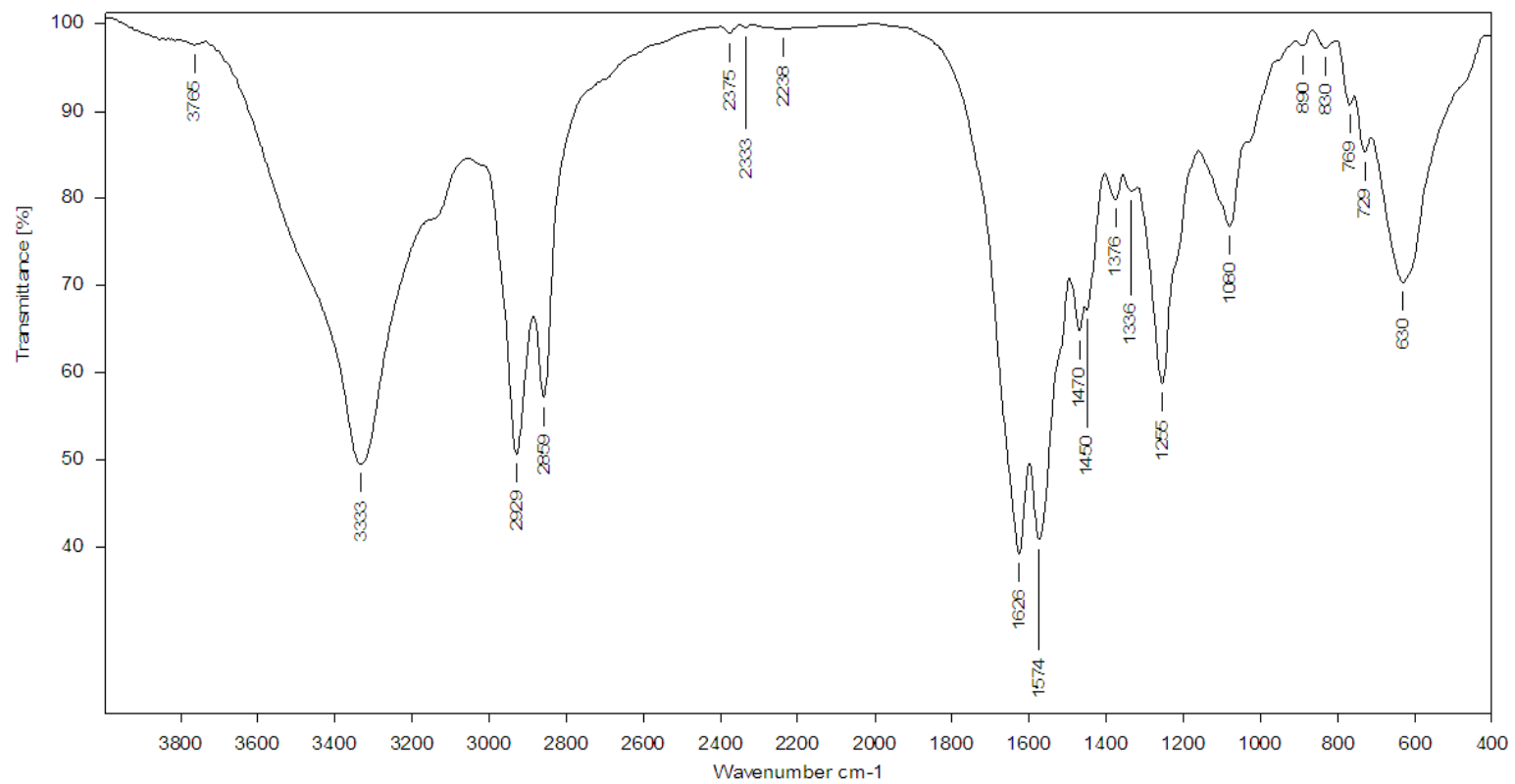
รูปที่ ข.16 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 3000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที



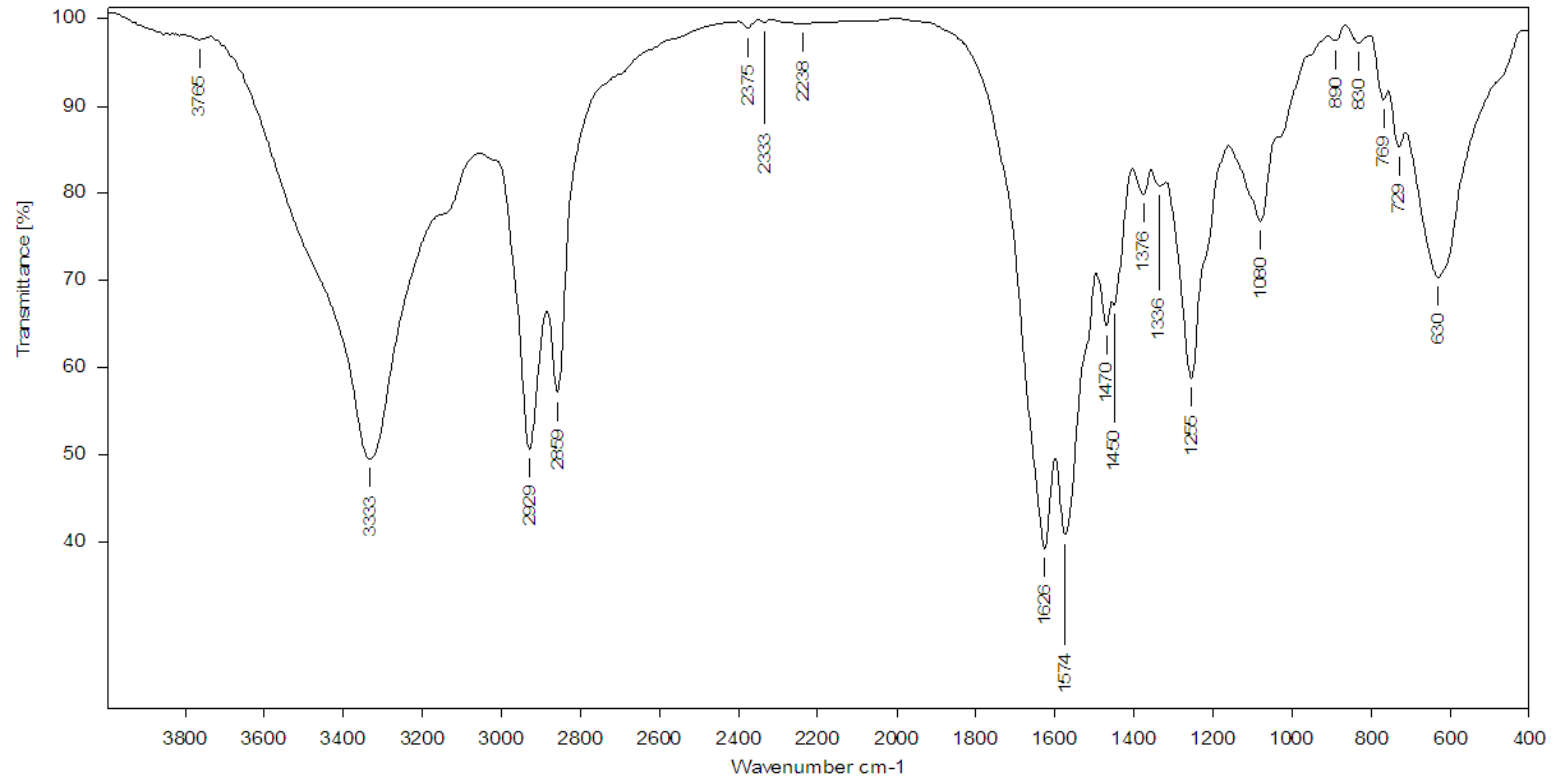
รูปที่ ข.17 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที



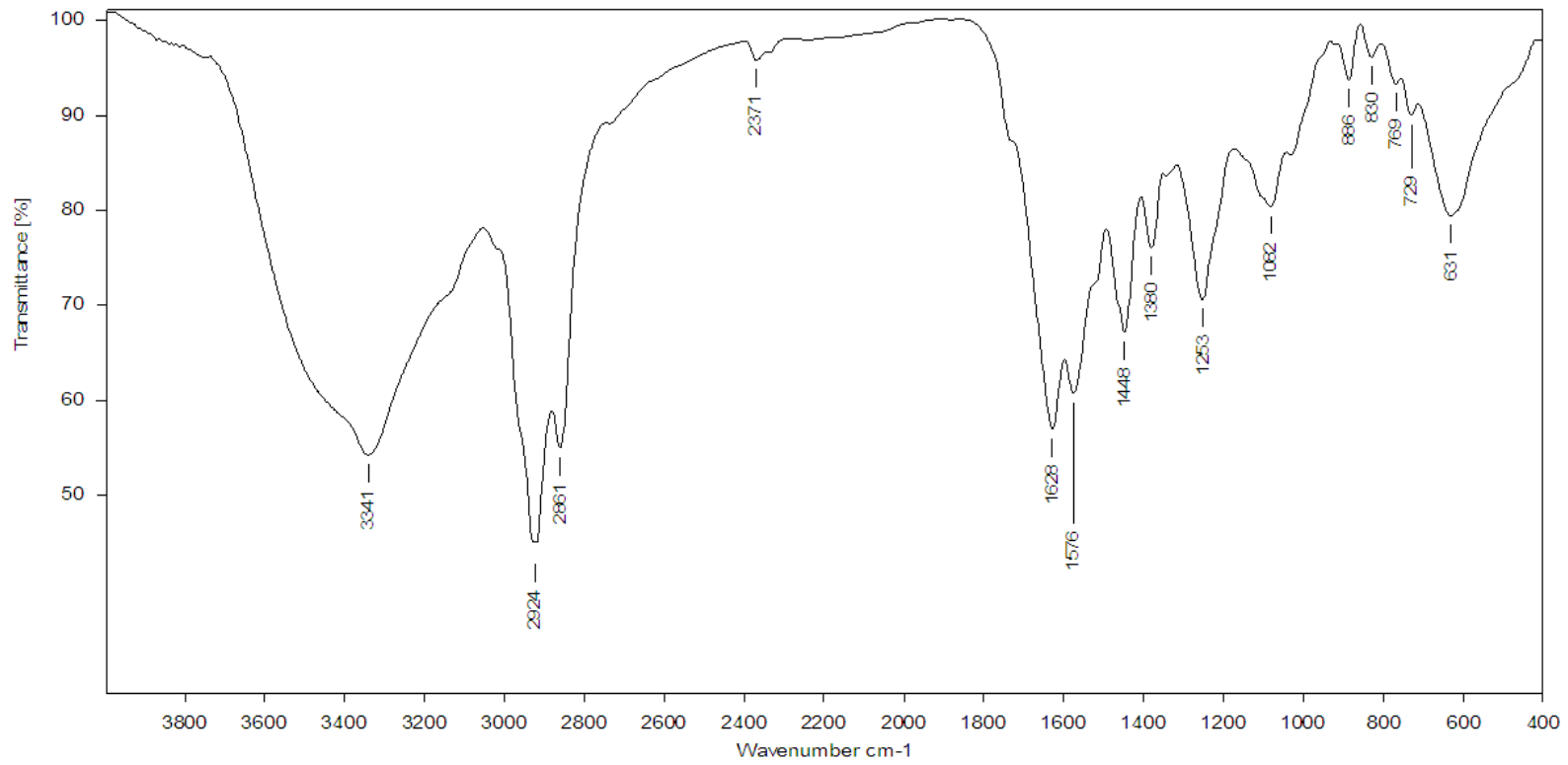
รูปที่ ข.18 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 5000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที



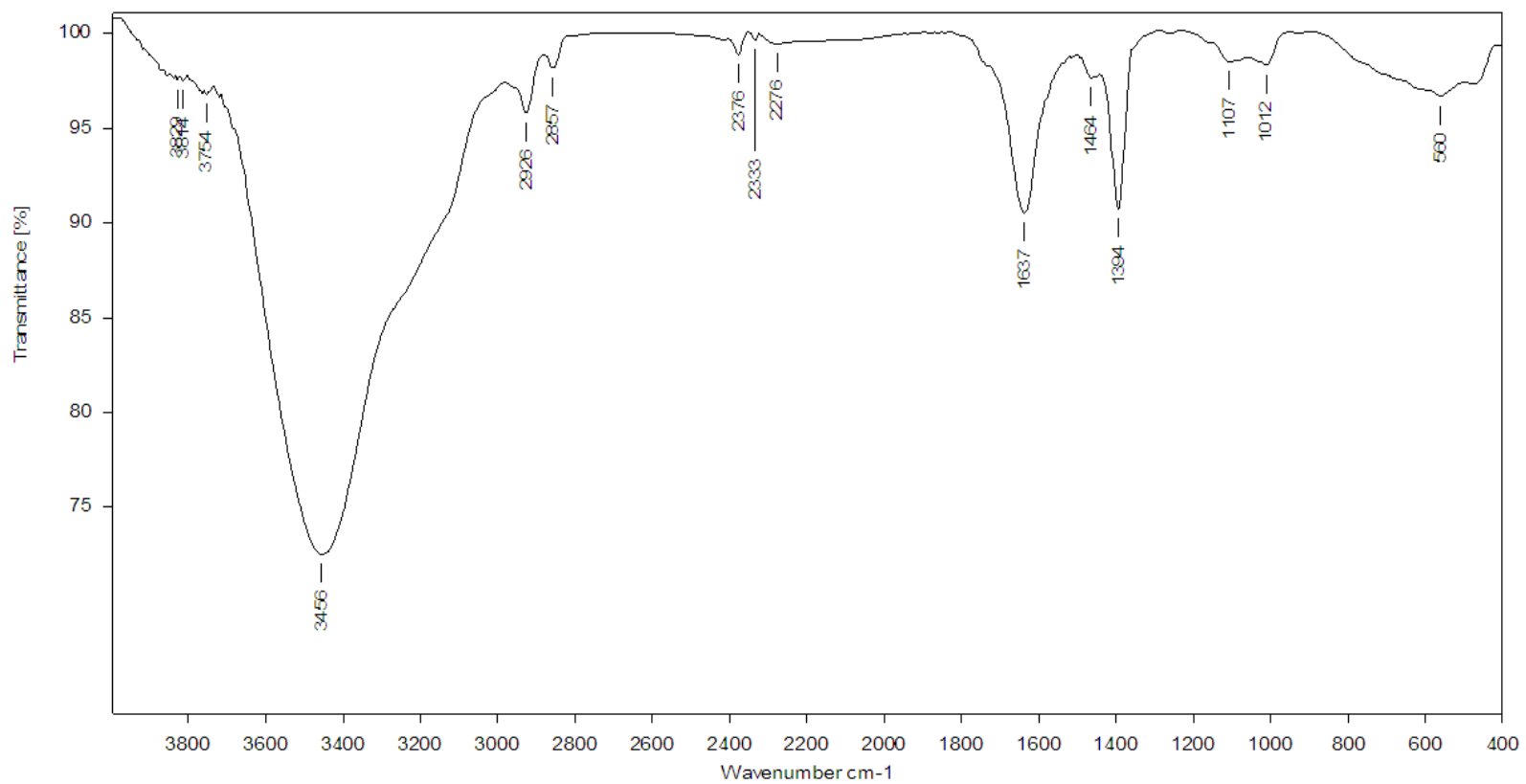
รูปที่ ข.19 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 5 นาที



รูปที่ ข.20 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวาดผล 4000 รอบ/นาที เวลากวาดผล 10 นาที



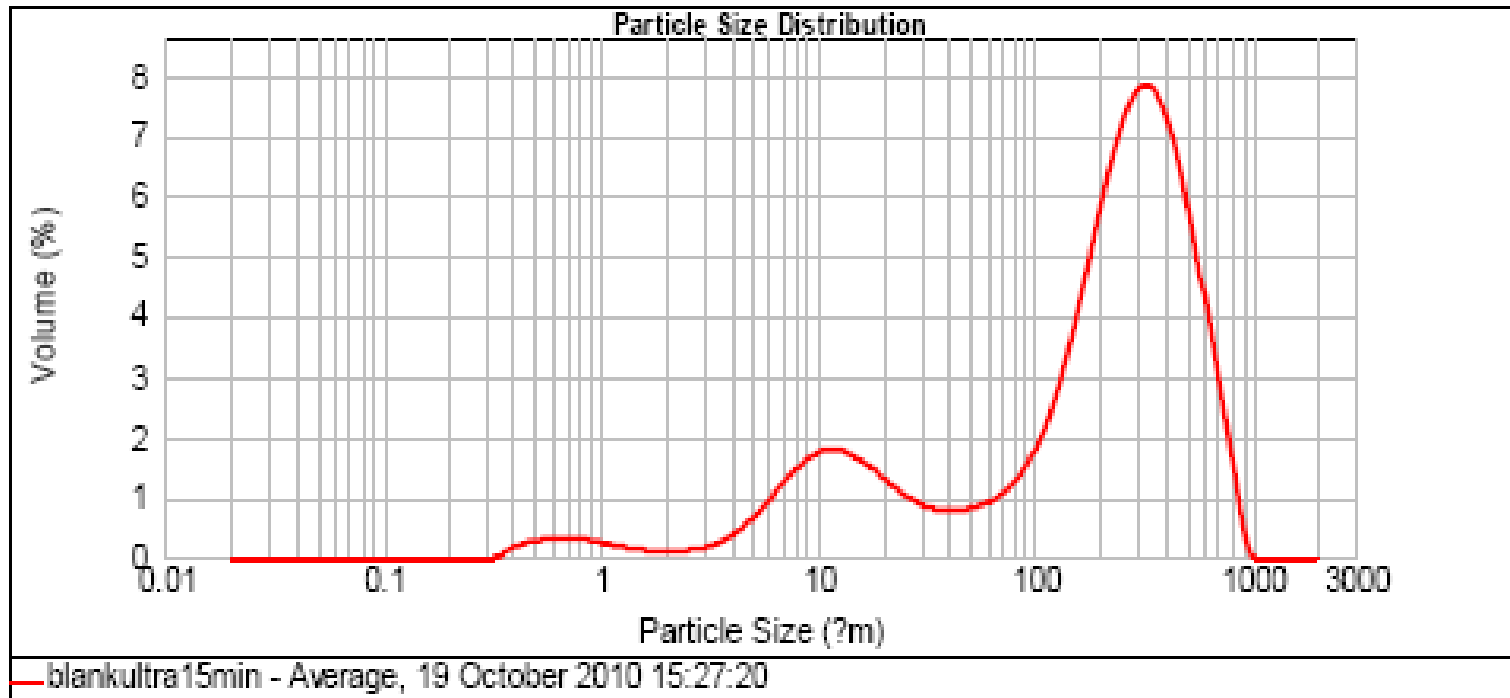
รูปที่ ข.21 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลาผสม 3 นาทีและ ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำ 30 มิลลิลิตร



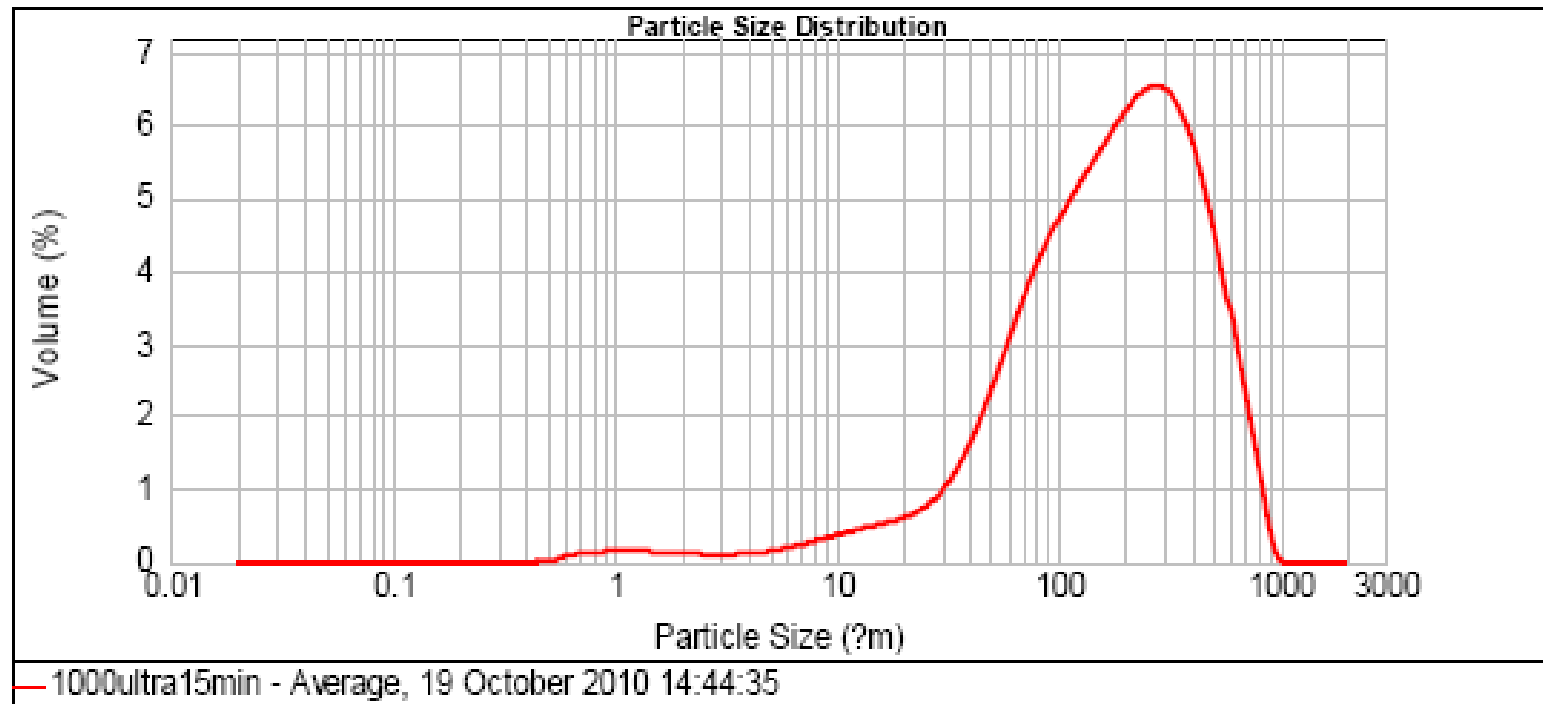
รูปที่ ข.22 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลาการผสม 3 นาทีแ
ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่า 50 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ค

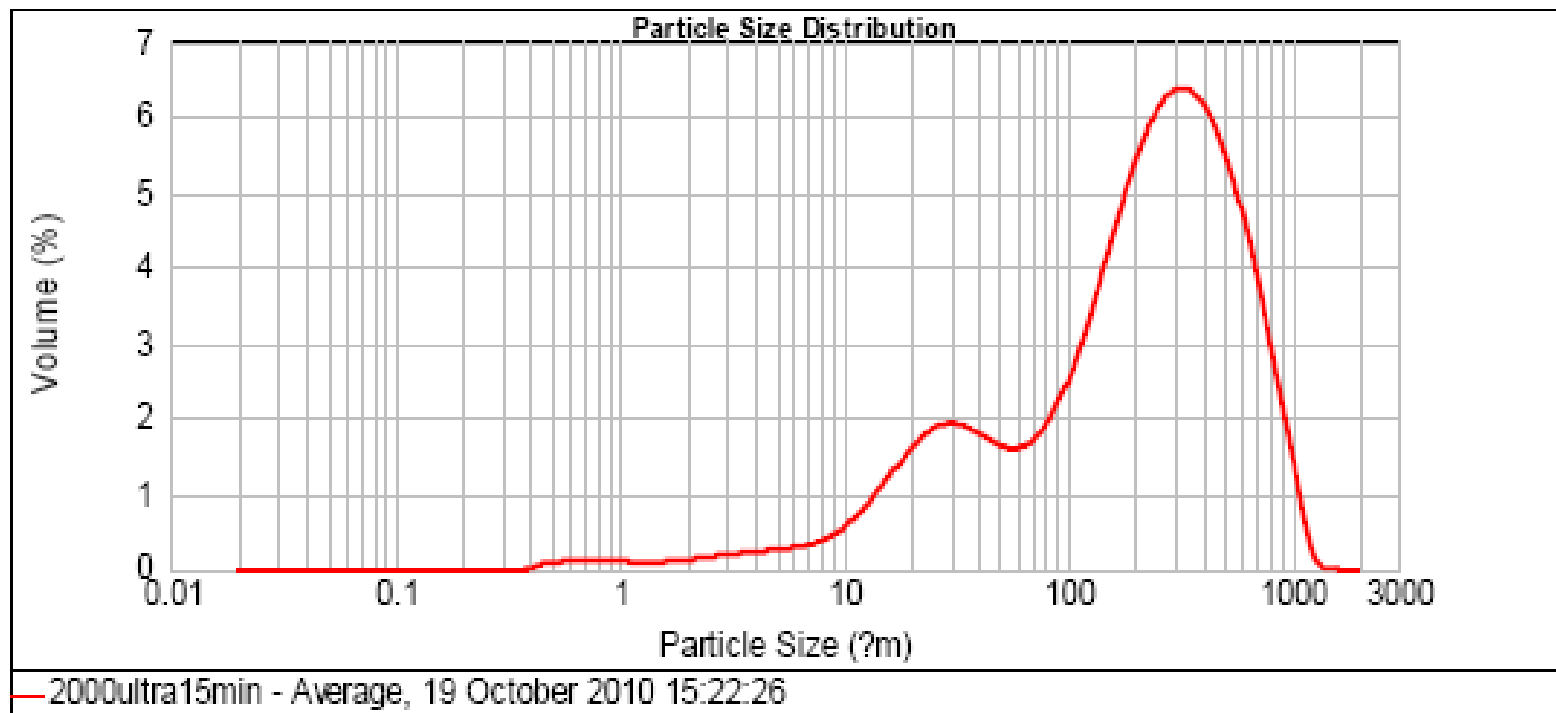
การวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค Laser Particle Size Distribution Analyzer (LPSDA)



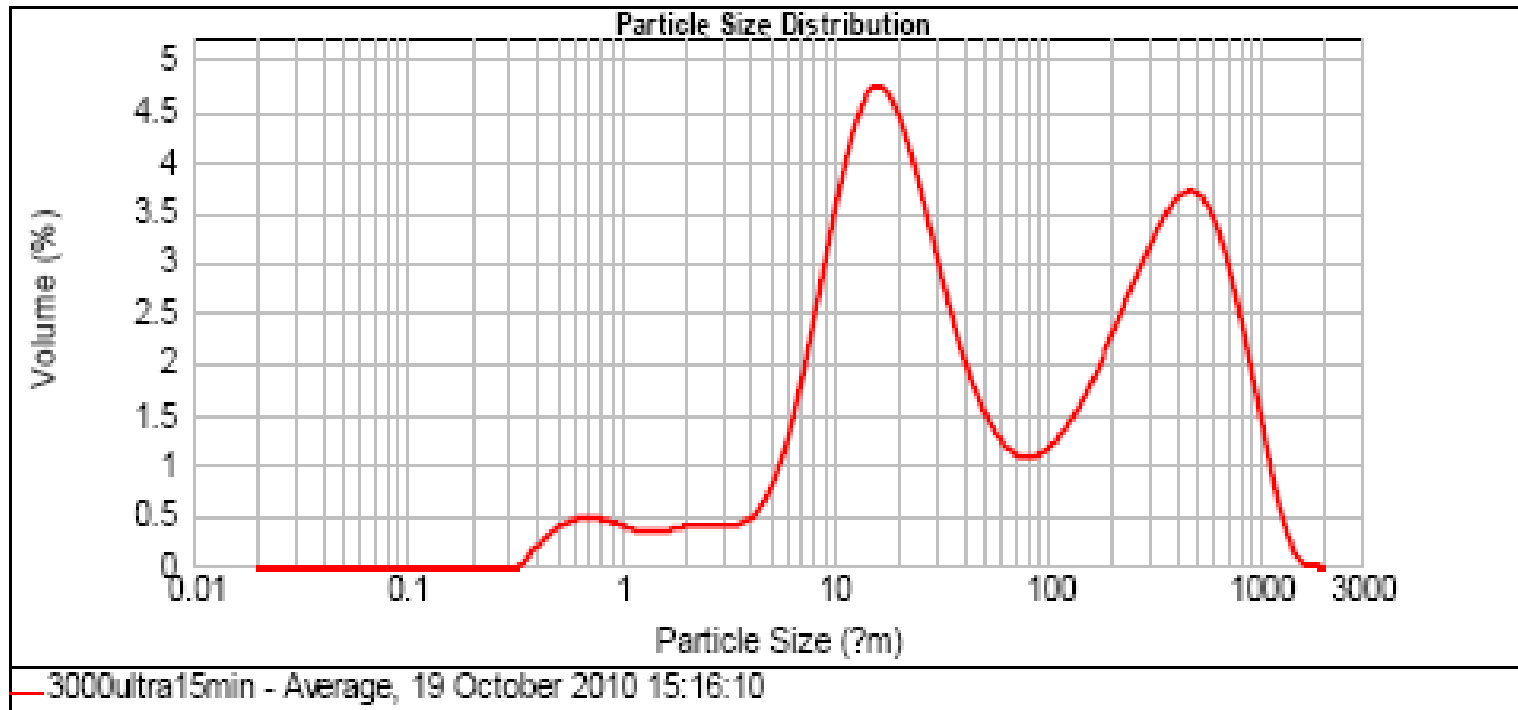
รูปที่ ค.1 ขนาดของพอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 4000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



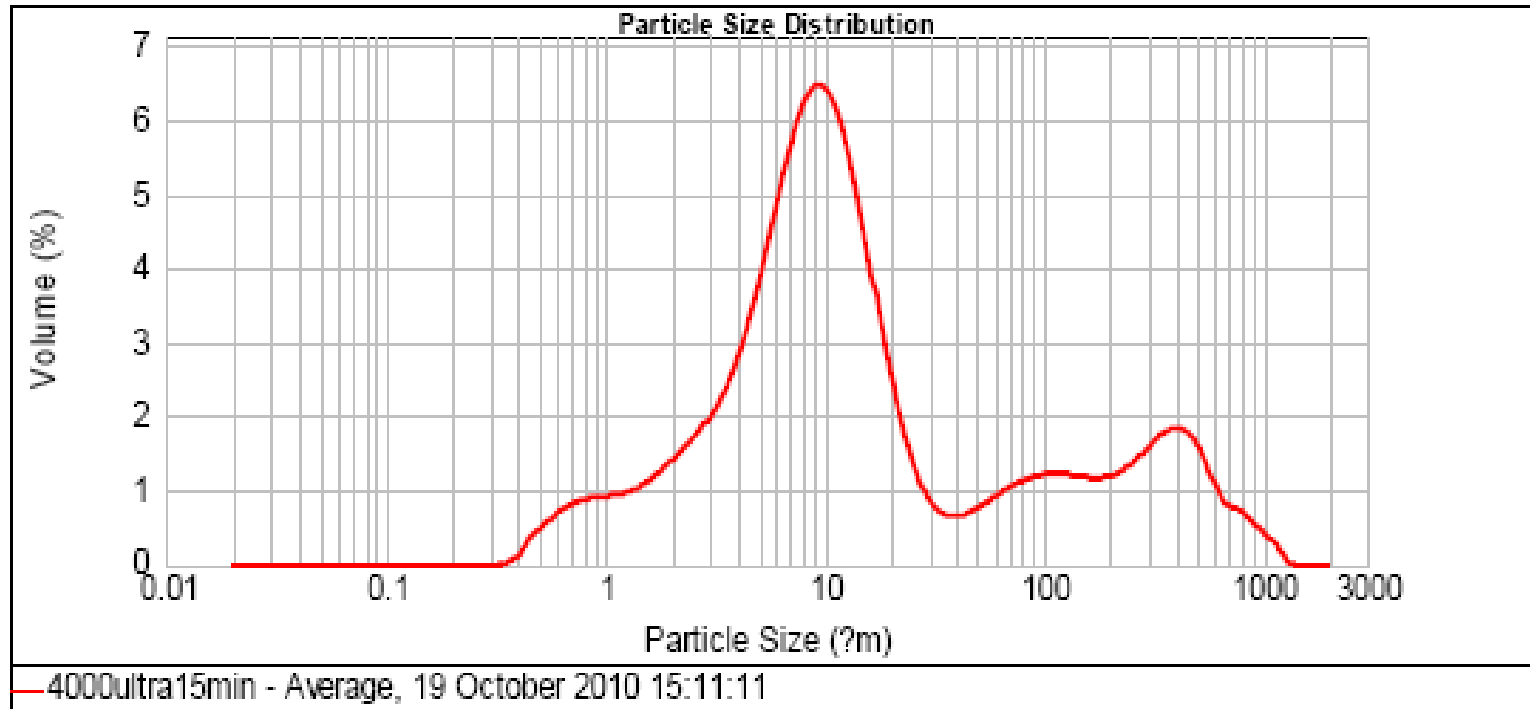
รูปที่ ค.2 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 1000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



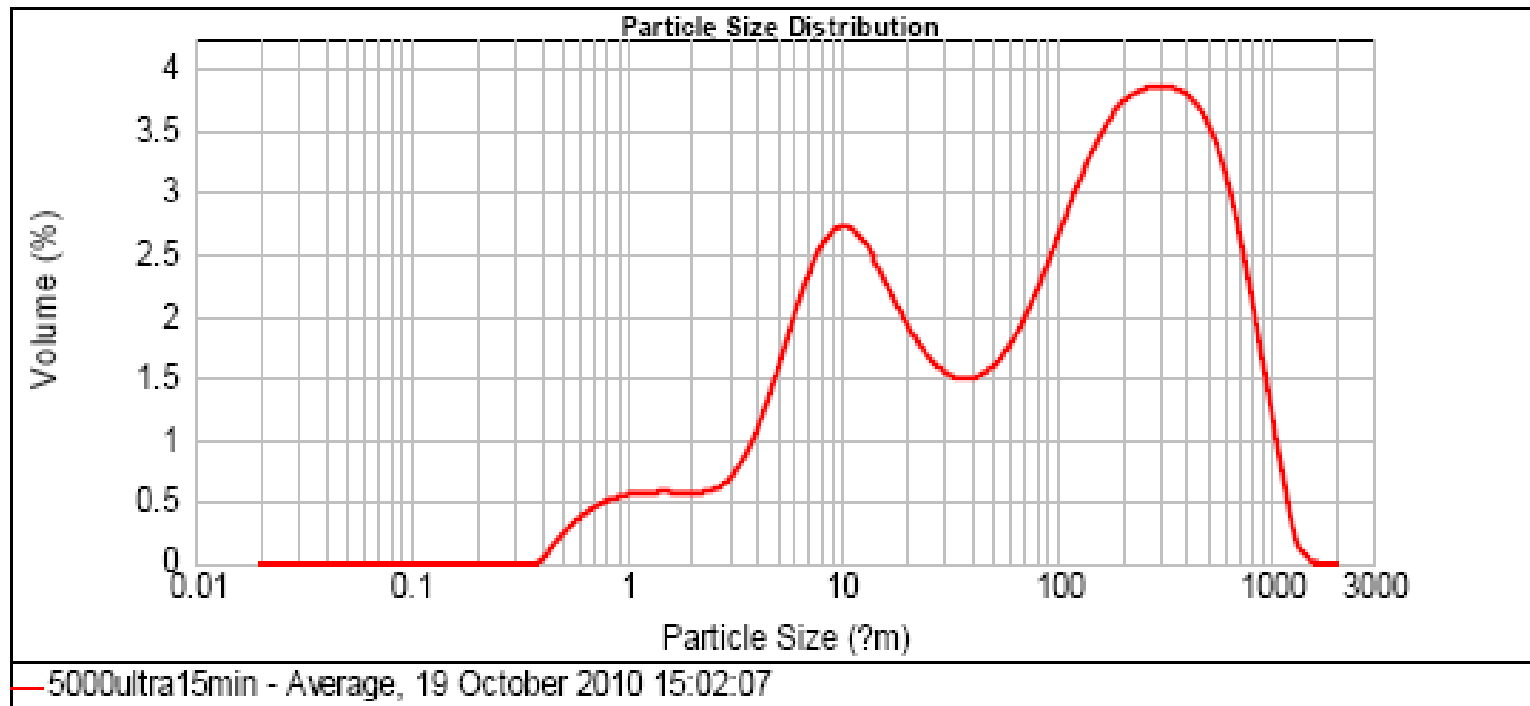
รูปที่ ค.3 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 2000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



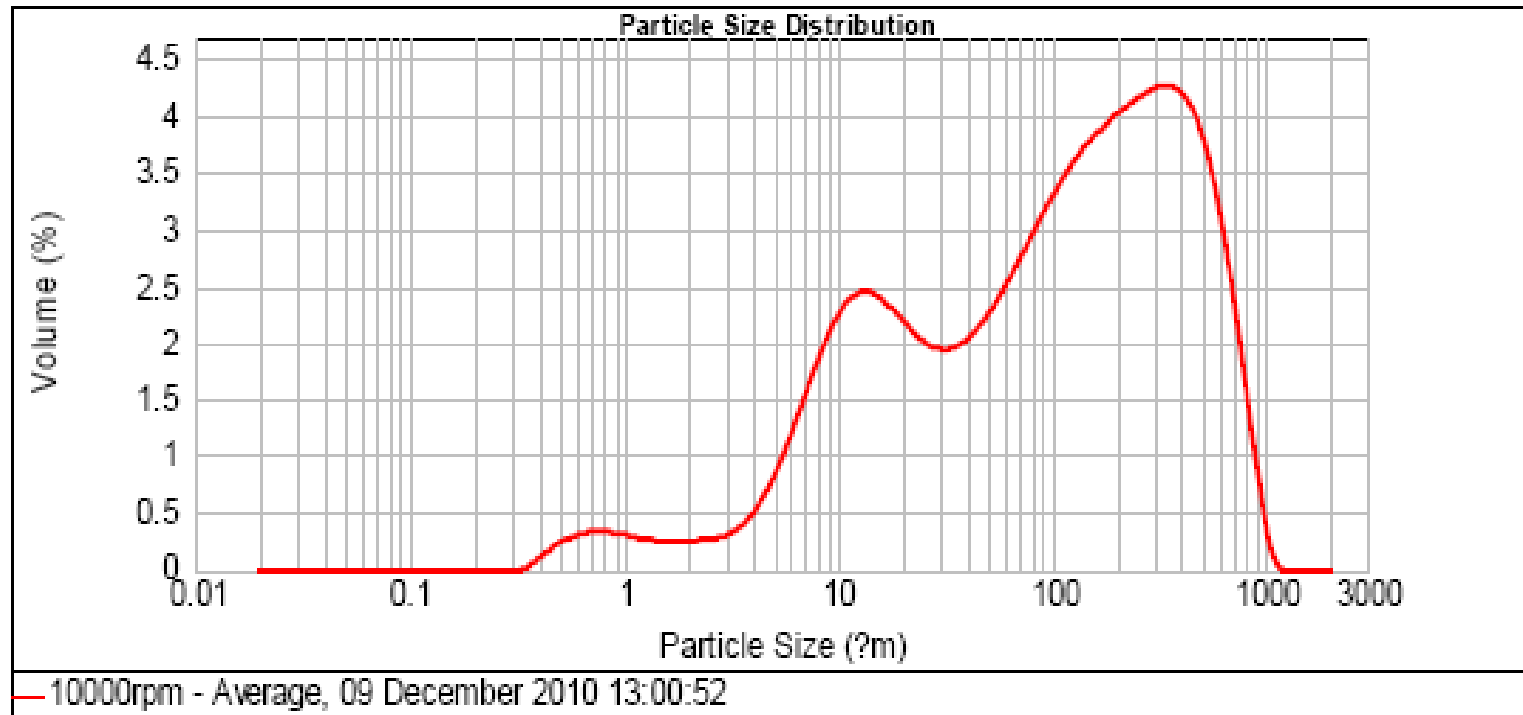
รูปที่ ค.4 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 3000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



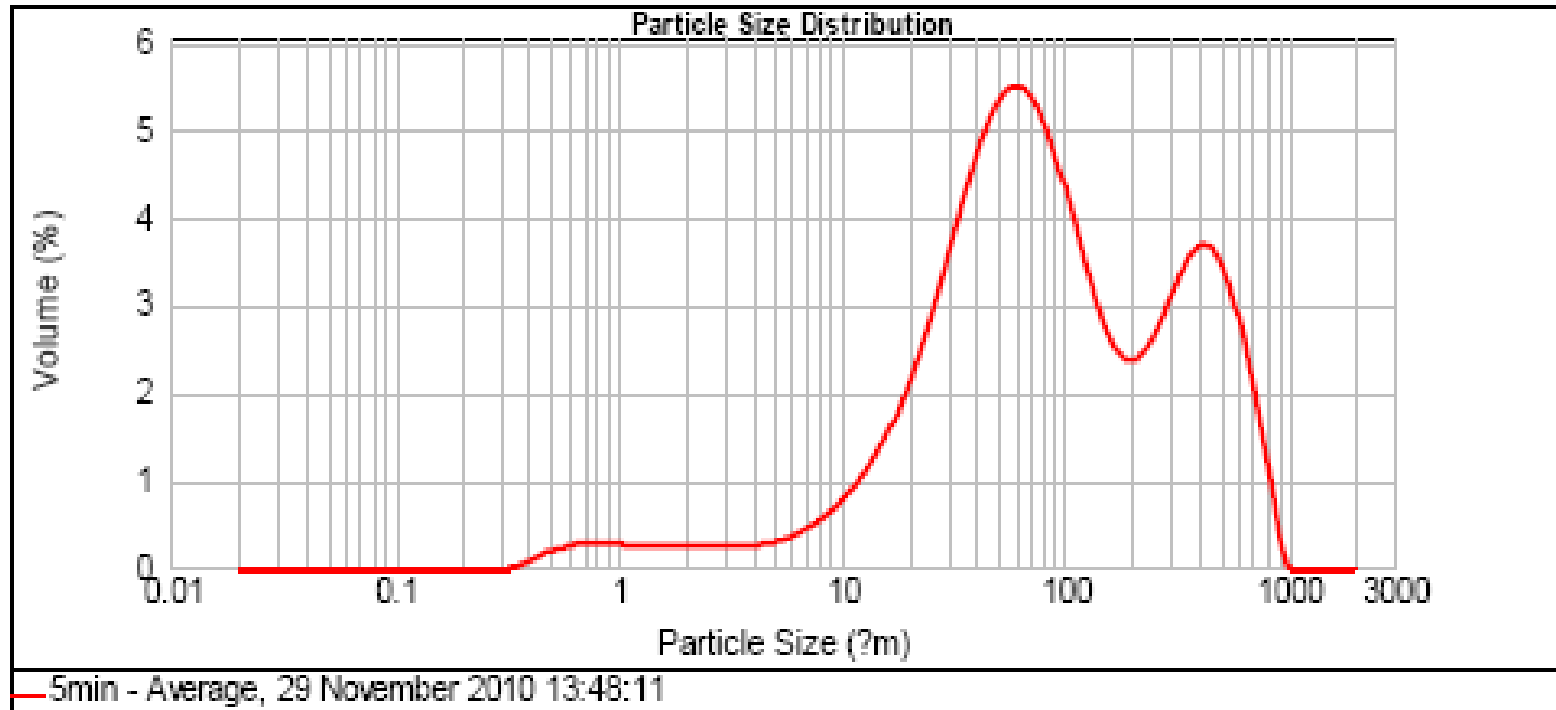
รูปที่ ค.5 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 4000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



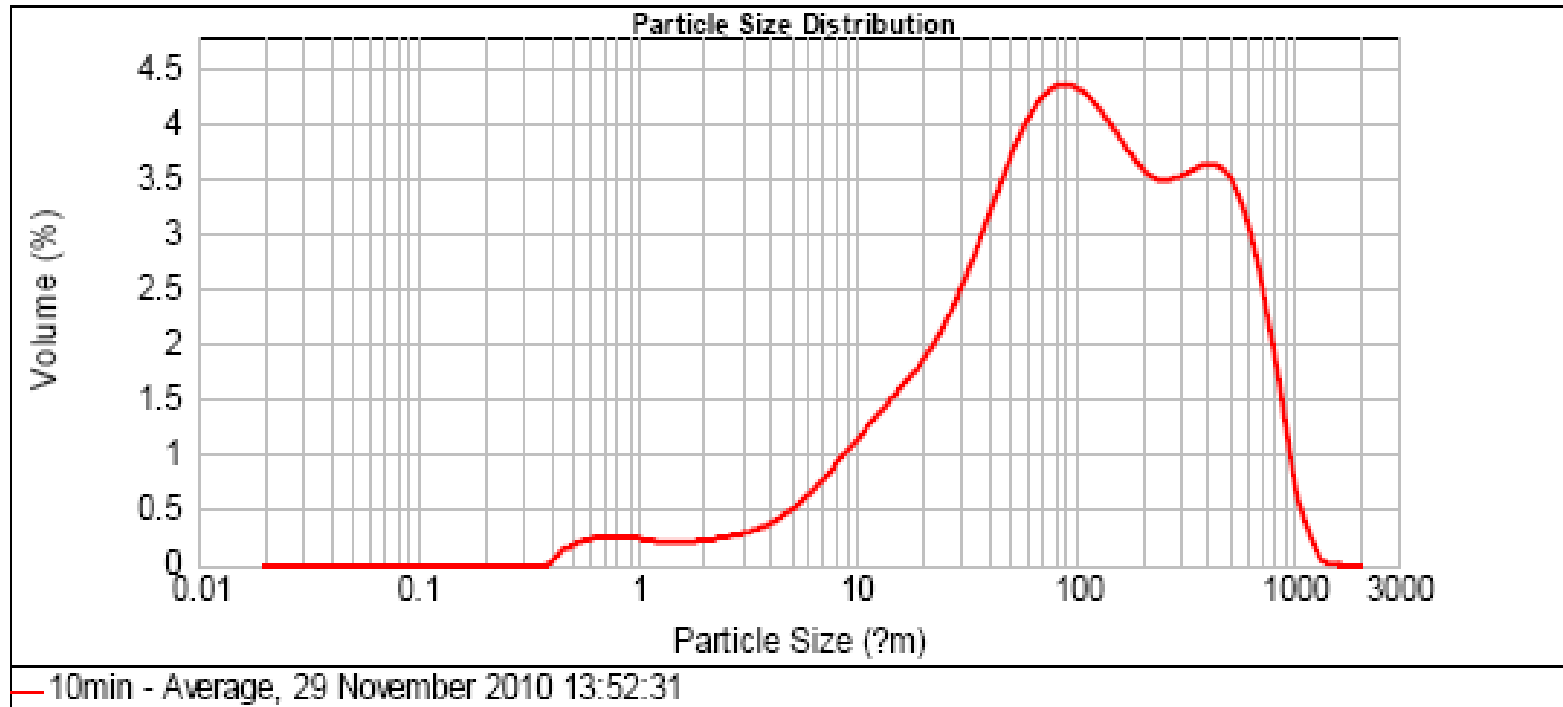
รูปที่ ค.6 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 5000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



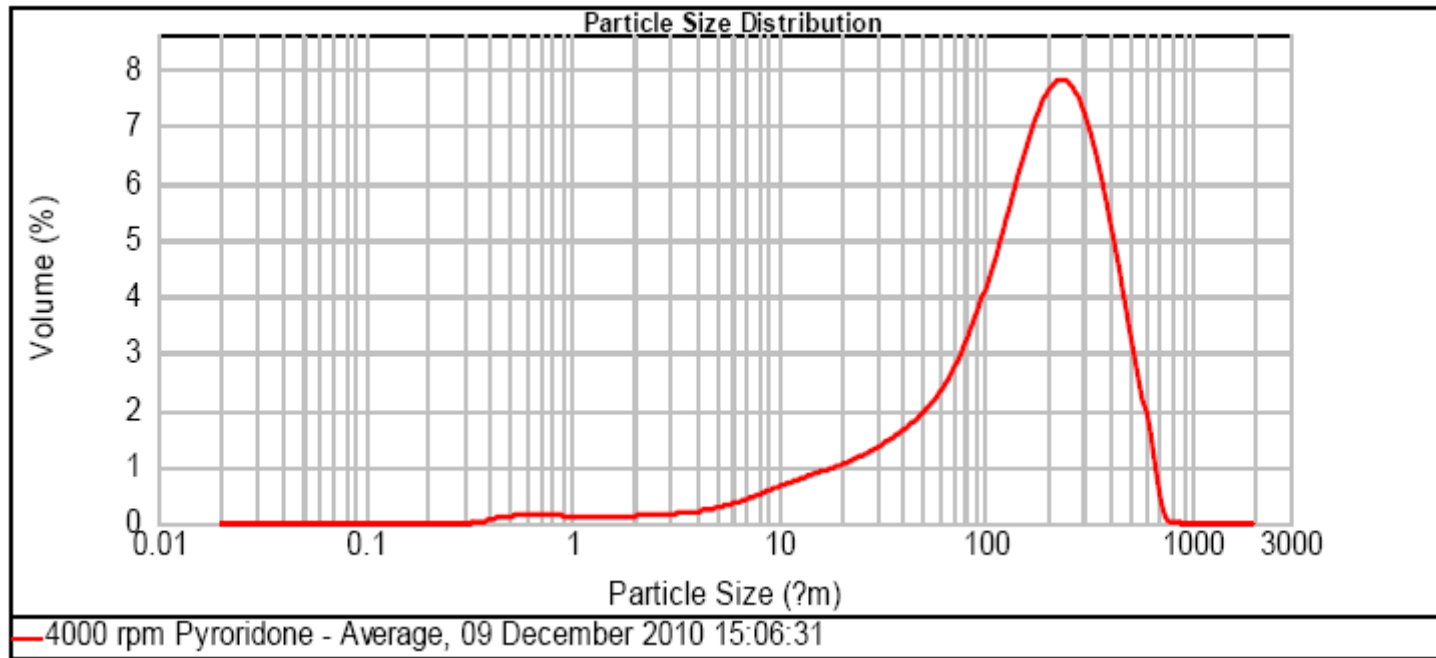
รูปที่ ค.7 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 3 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



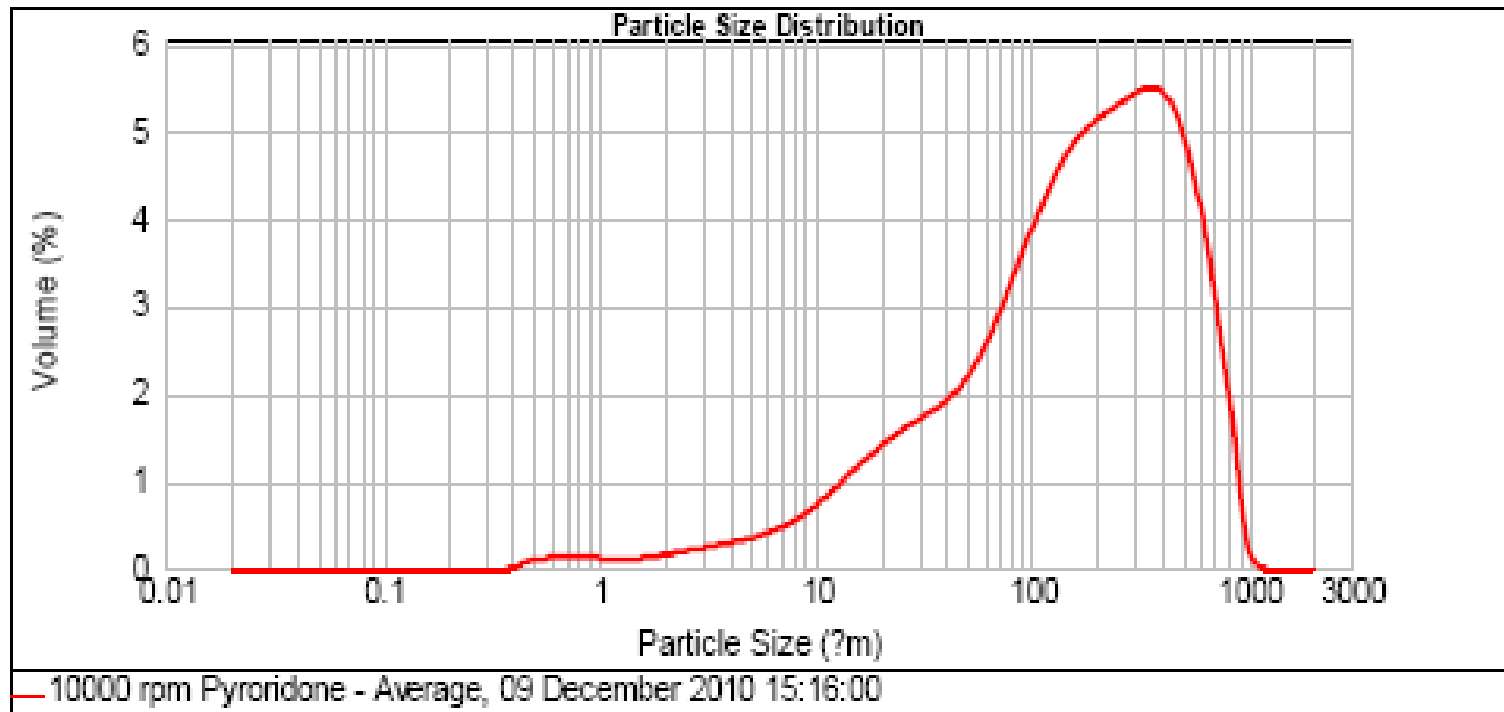
รูปที่ ค.8 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 4000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 5 นาที



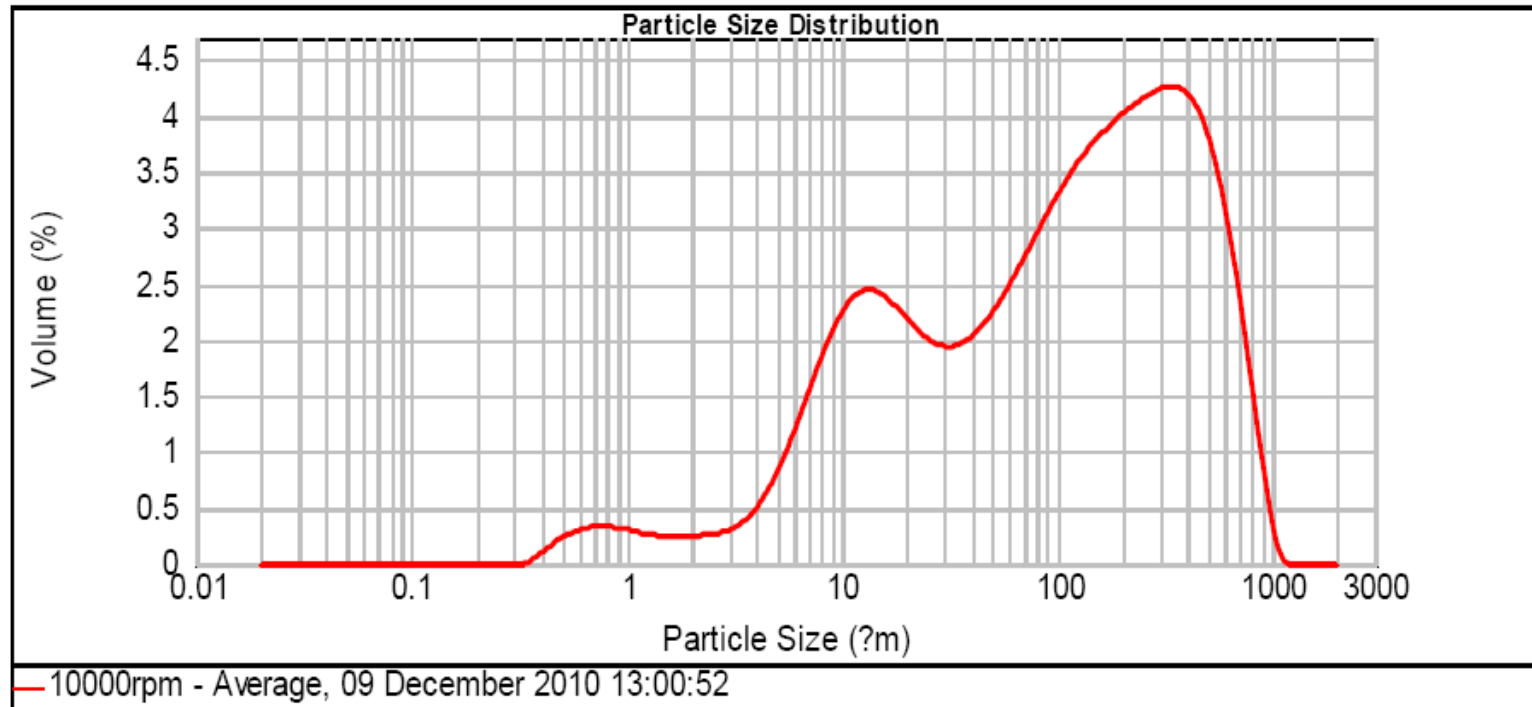
รูปที่ ค.9 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 4000 รอบ/นาที เวลาในการปั่นผสม 10 นาทีและใช้ PVA เป็น protective colloid



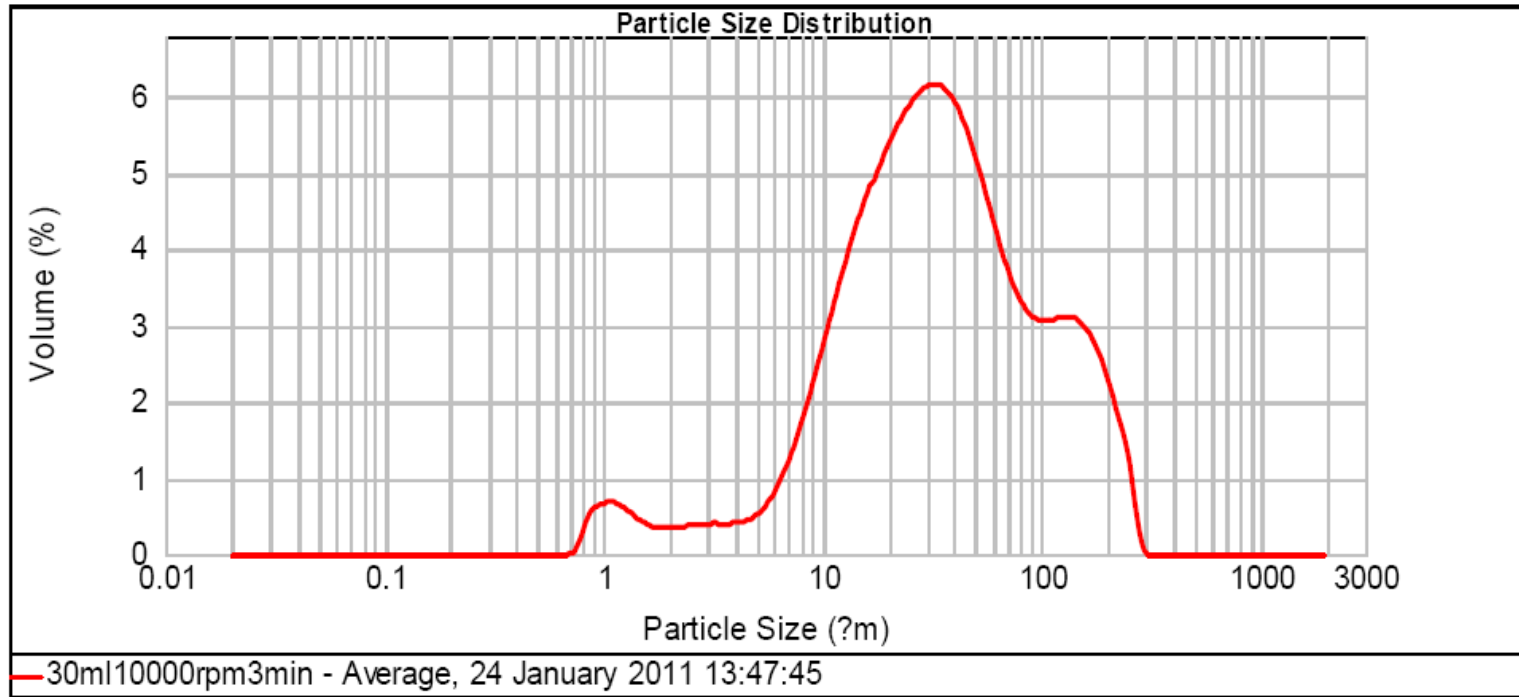
รูปที่ ค.10 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 4000 รอบ/นาที และใช้ PVP เป็น protective colloid



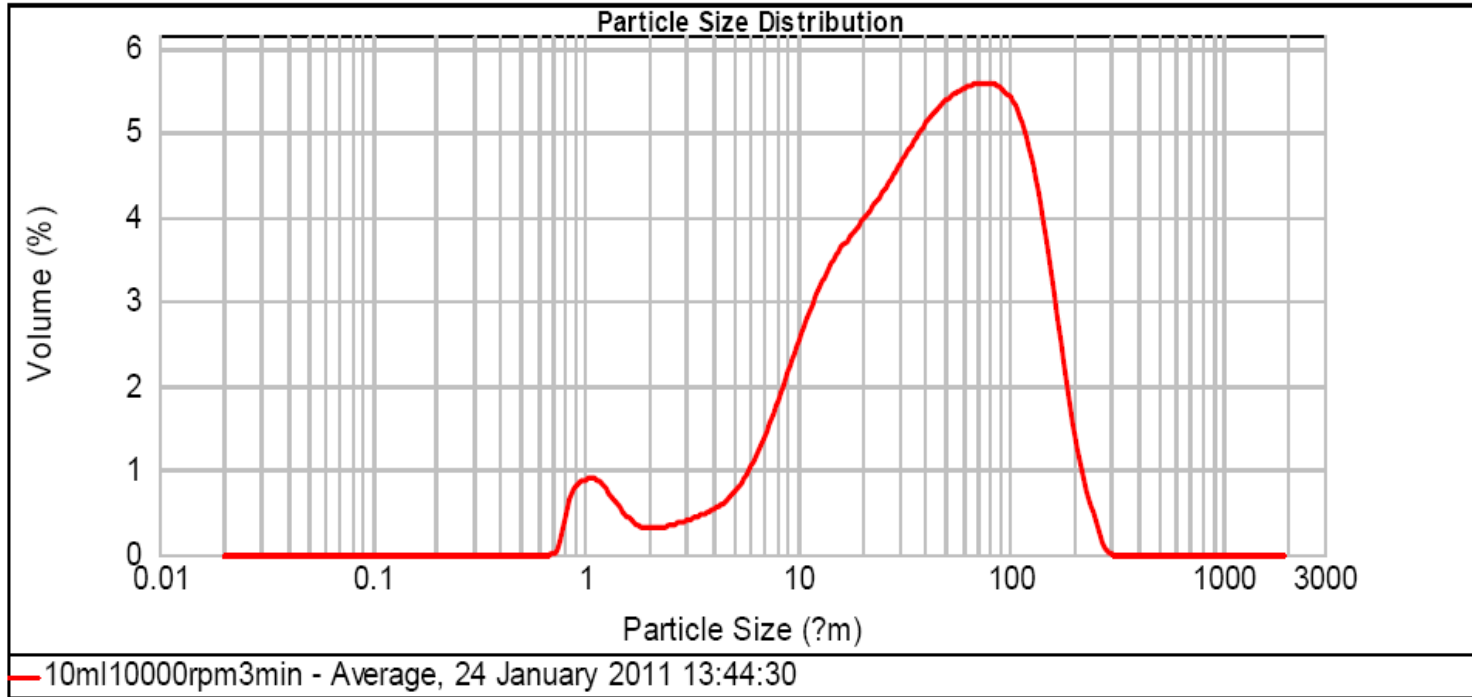
รูปที่ ค.11 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบ/นาที และใช้ PVP เป็น protective colloid



รูปที่ ค.12 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบ/นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำ 10 มิลลิลิตร



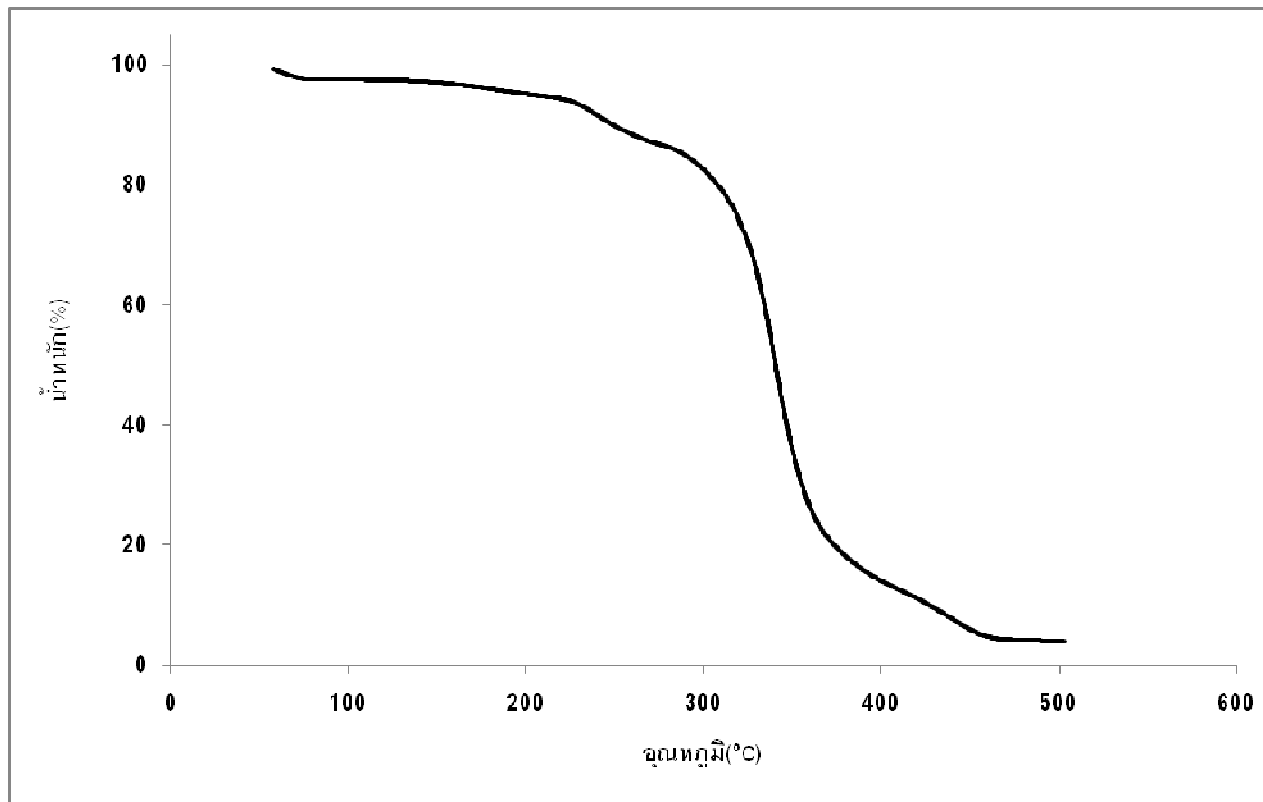
รูปที่ ค.13 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบ/นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำ 30 มิลลิลิตร



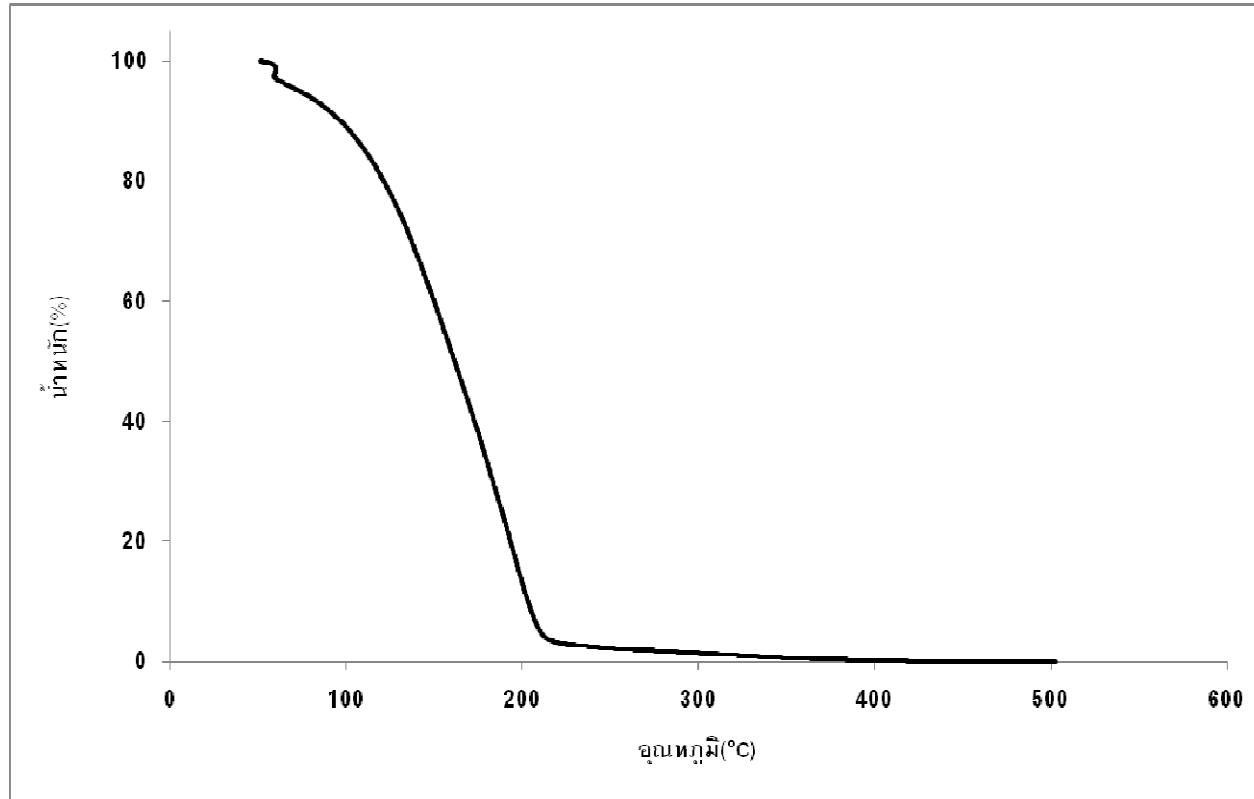
รูปที่ ค.14 ขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียจากเทคนิค LPSDA ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบ/นาที และปริมาณน้ำมันหอมระเหยชา 50 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ง

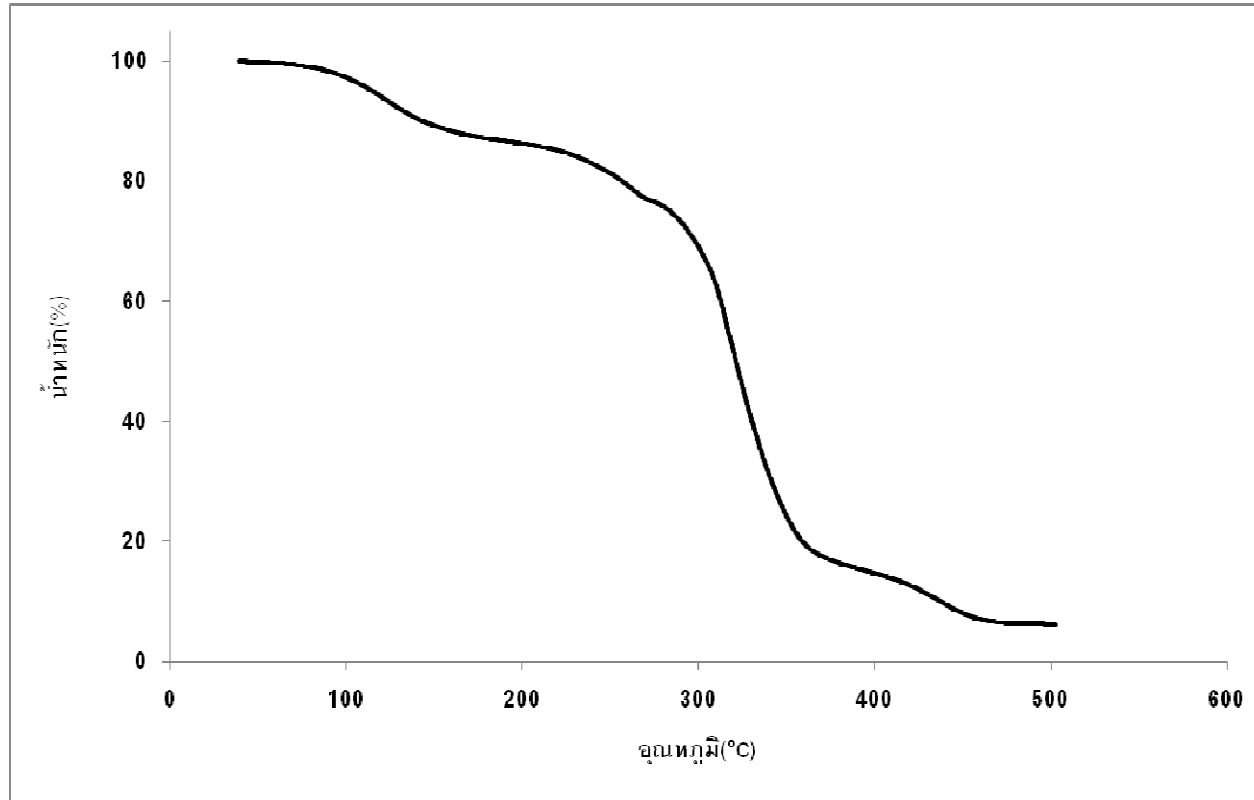
การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย น้ำมันหอมระเหยซ่าและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analyzer (TGA)



รูปที่ ง.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิยูรีเทน-ยูเรียความเร็วรอบกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที



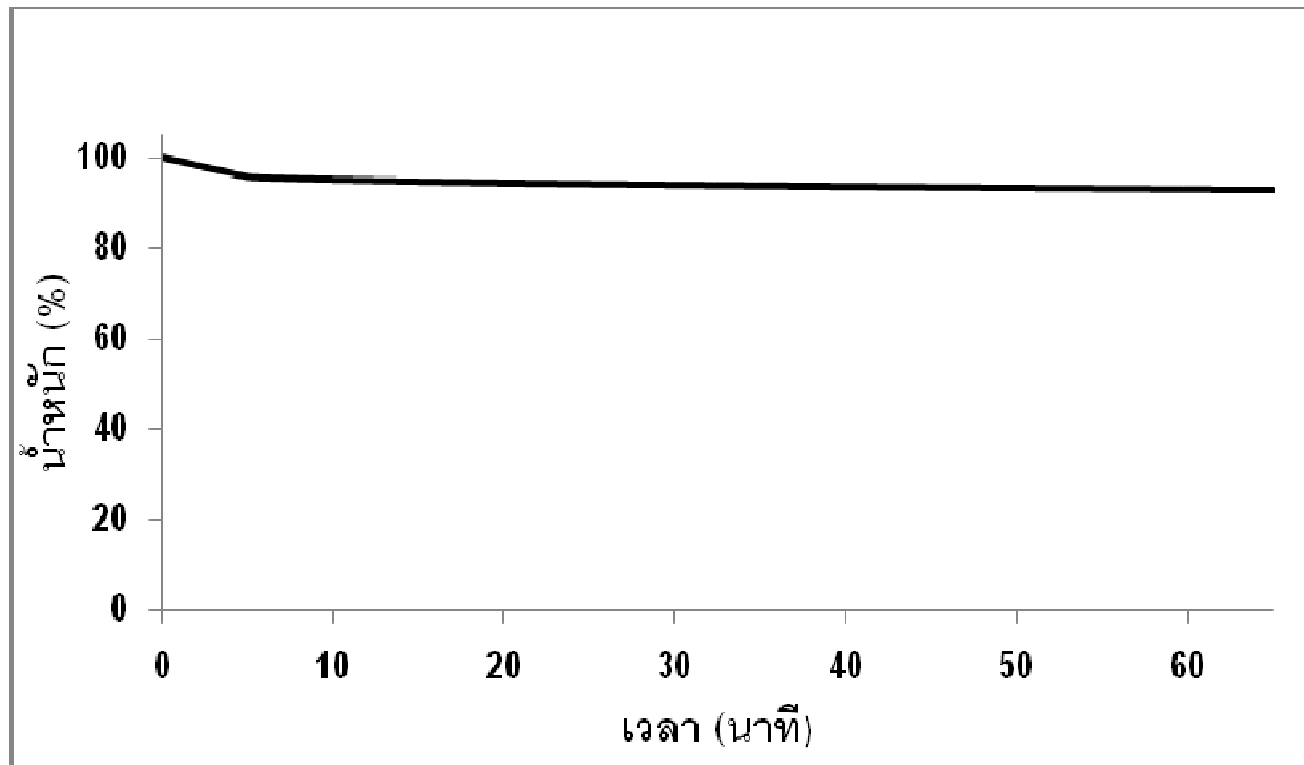
รูปที่ ง.2 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยชา



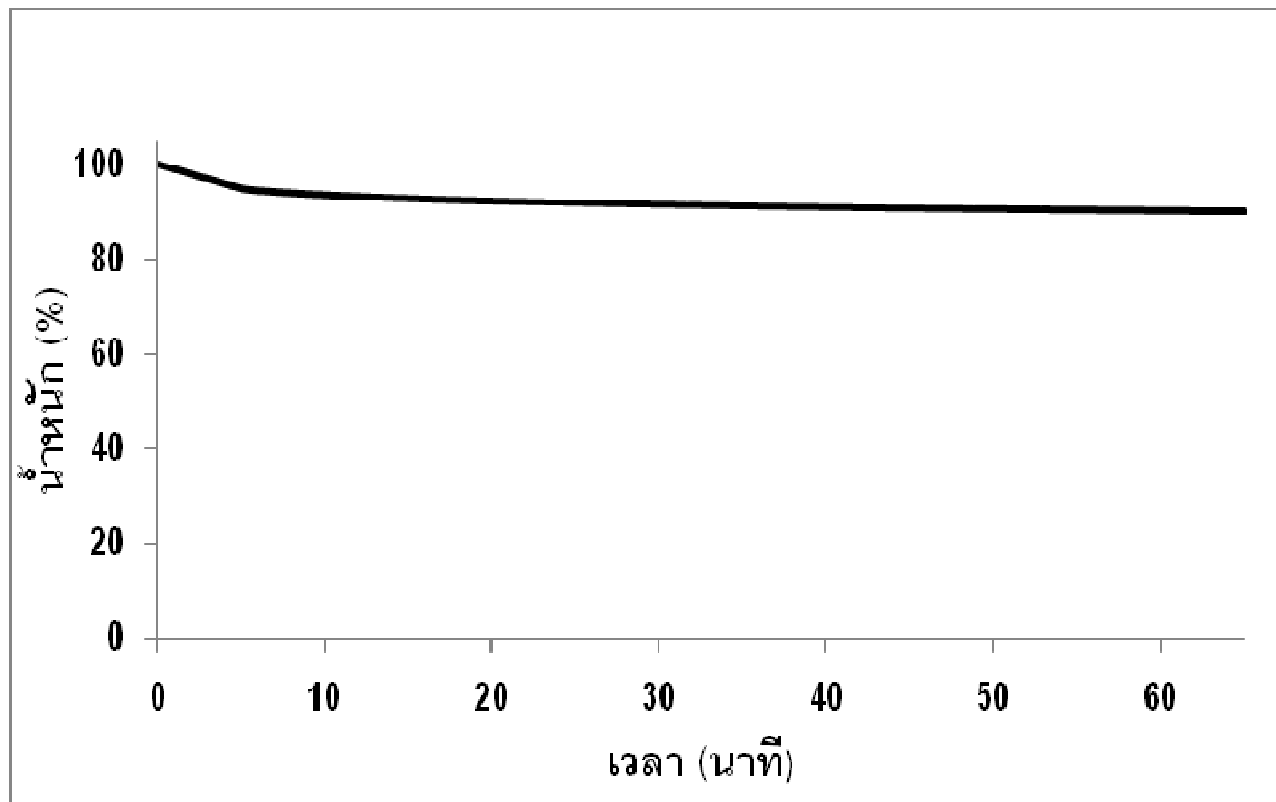
รูปที่ ง.3 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยช่ํา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาทีและน้ำมันหอมระเหยช่ํา 10 มิลลิลิตร

ตารางที่ ง.1 ตารางสมบัติทางความร้อนของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย น้ำมันหอมระเหยซ่าและไม่โครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

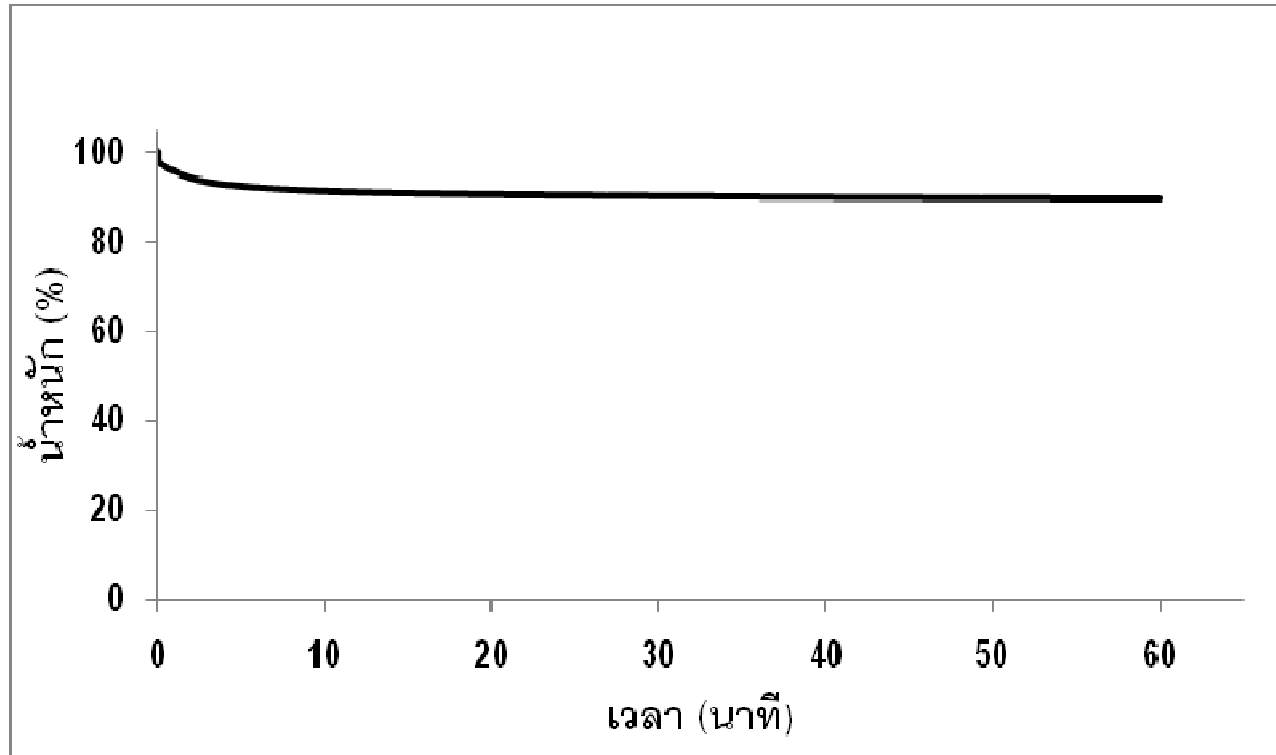
ชนิด	Step	Onset (°C)	End (°C)	Infection (°C)	Weight loss (%)
พอลิยูรีเทน-ยูเรีย	1	98.6	209.5	119.2	13.0
	2	322.9	357.8	339.4	71.0
	3	439.2	451.6	439.2	11.3
น้ำมันหอมระเหยซ่า	1	124.1	211.7	195.9	93.3
ไม่โครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย	1	107.9	142.6	123.1	12.9
	2	297.7	345.1	321.0	69.3
	3	423.8	445.9	440.4	9.4



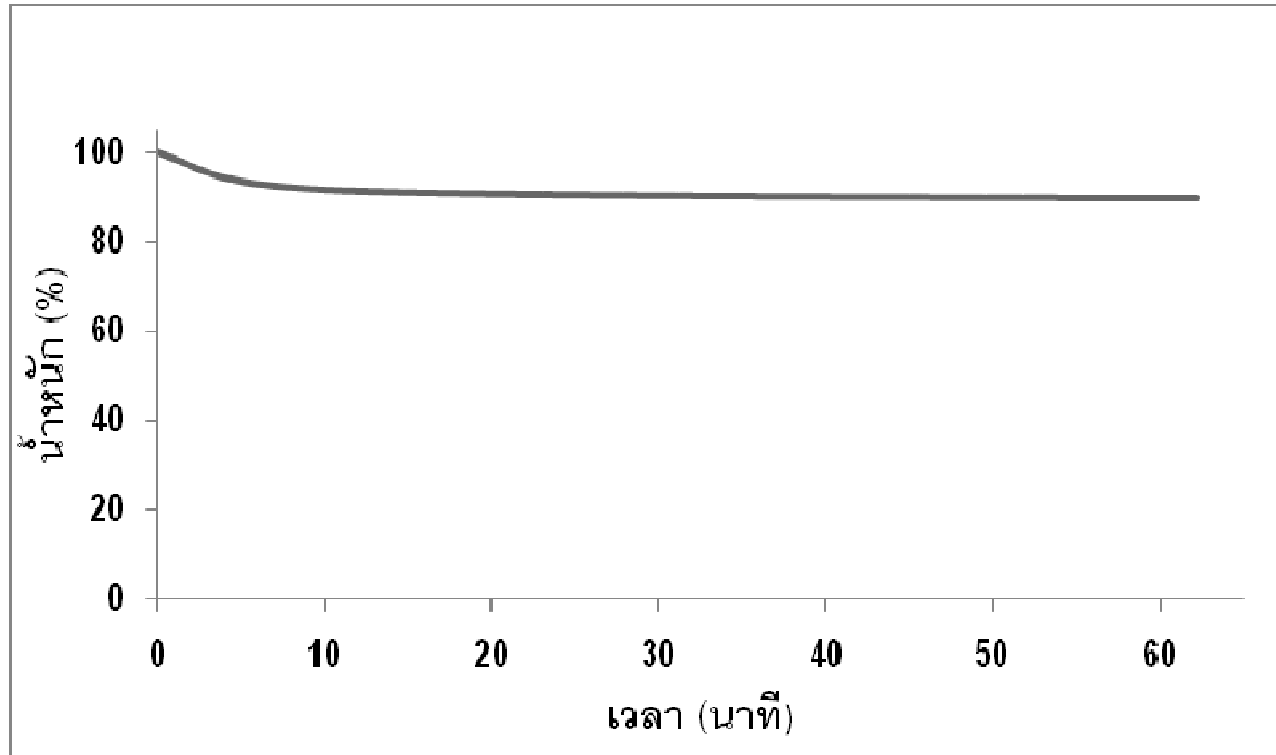
รูปที่ ง.4 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 1000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาทีและน้ำมันหอมระเหยชา 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



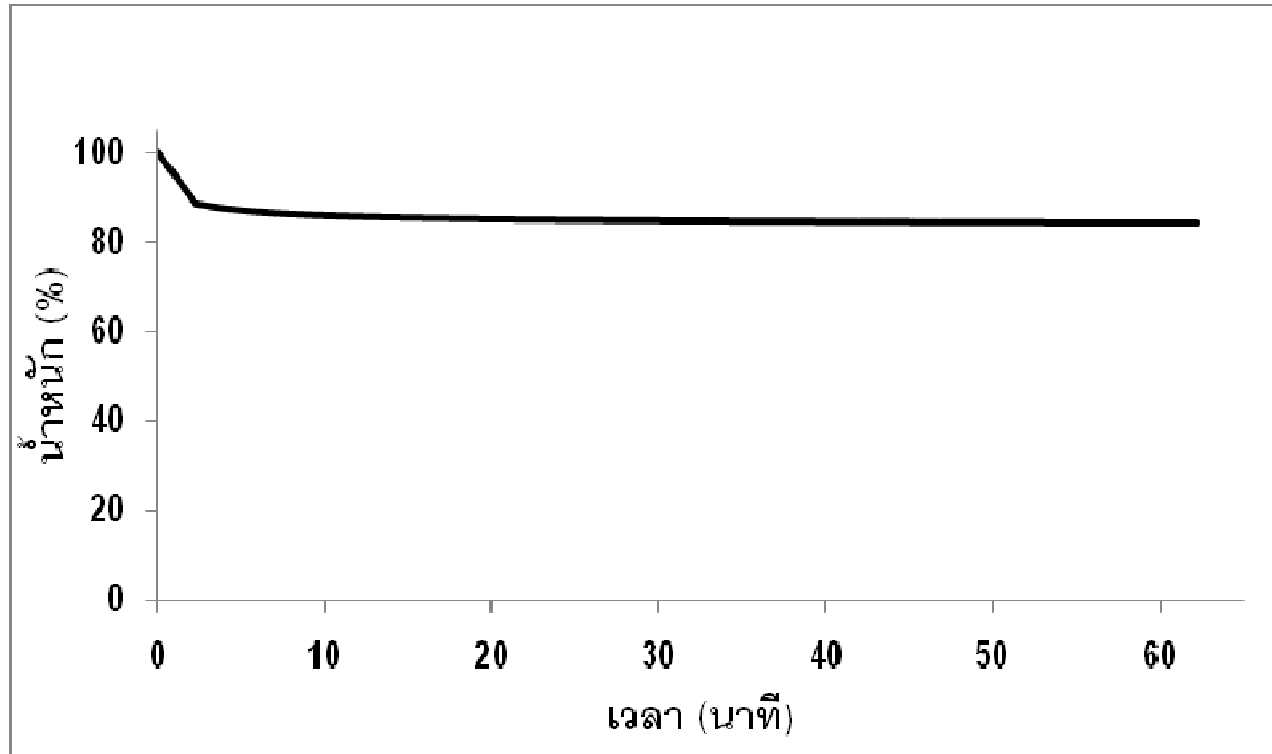
รูปที่ ๓.5 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 2000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาทีและนี้
หอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



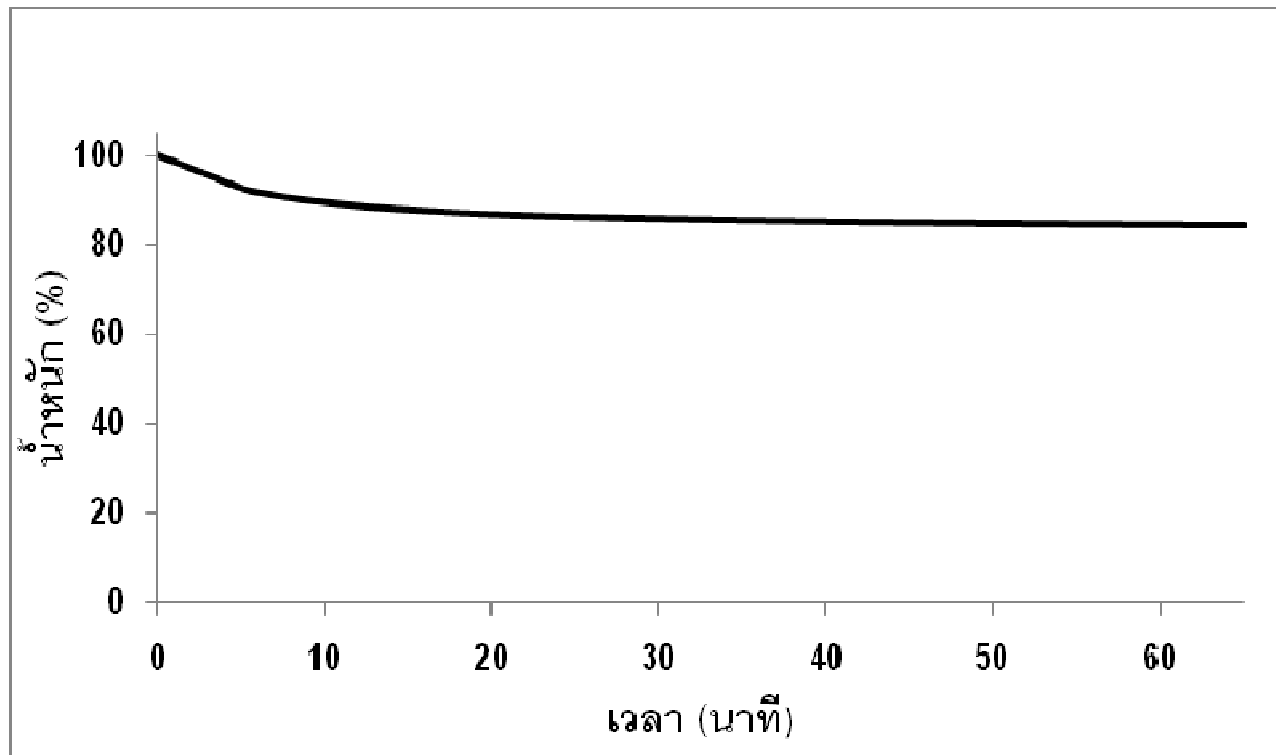
รูปที่ ง.6 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 3000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



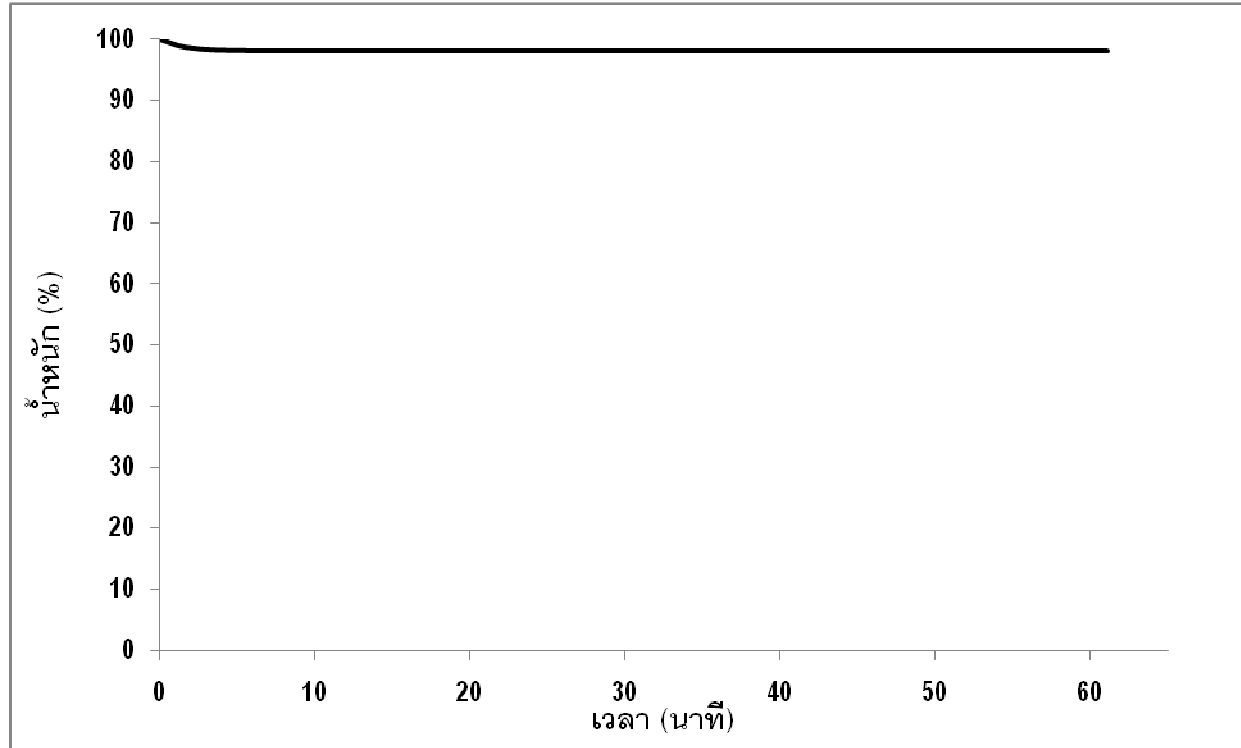
รูปที่ ง.7 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาทีและน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



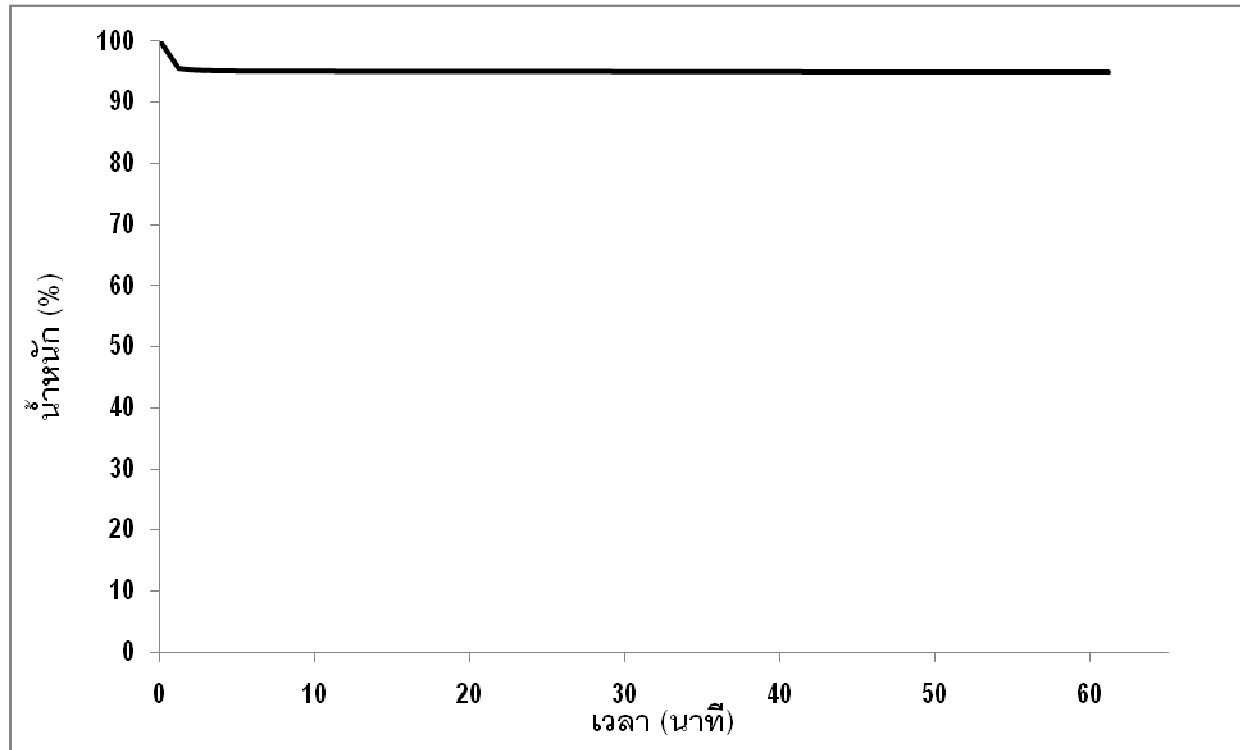
รูปที่ ง.8 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 5000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาทีและน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



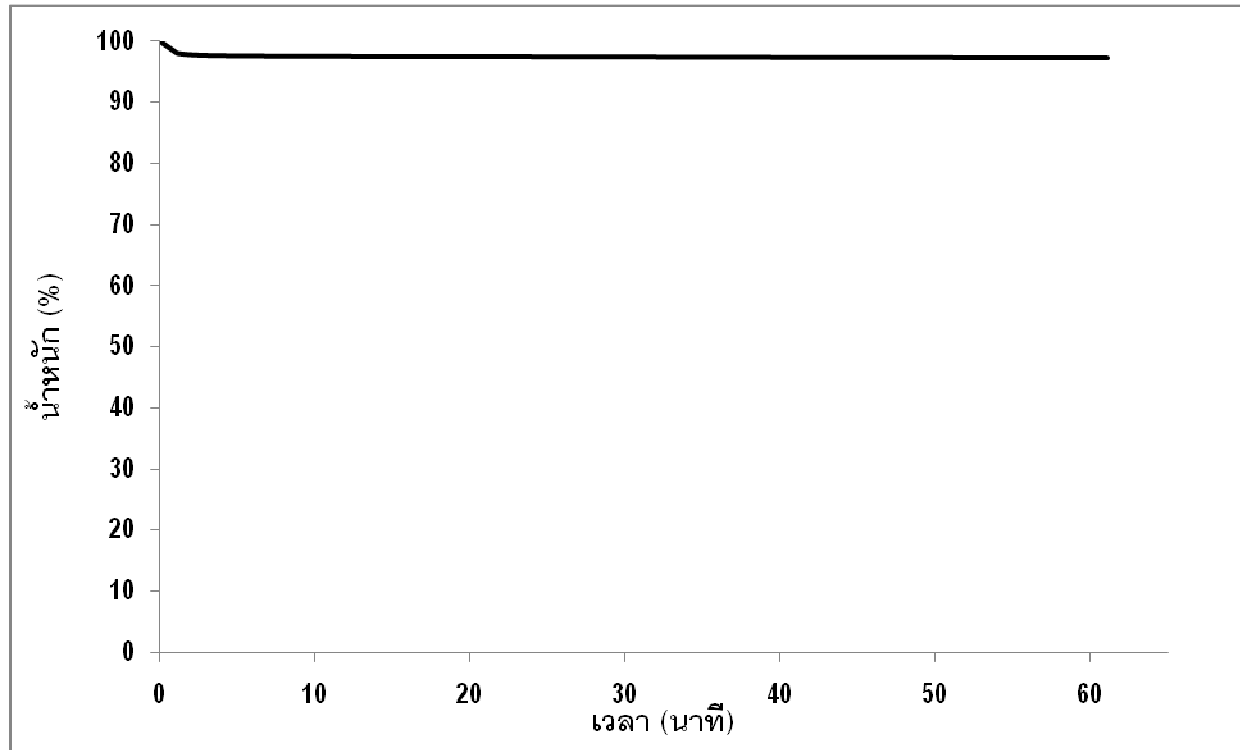
รูปที่ ง.9 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 120 องศาเซลเซียส



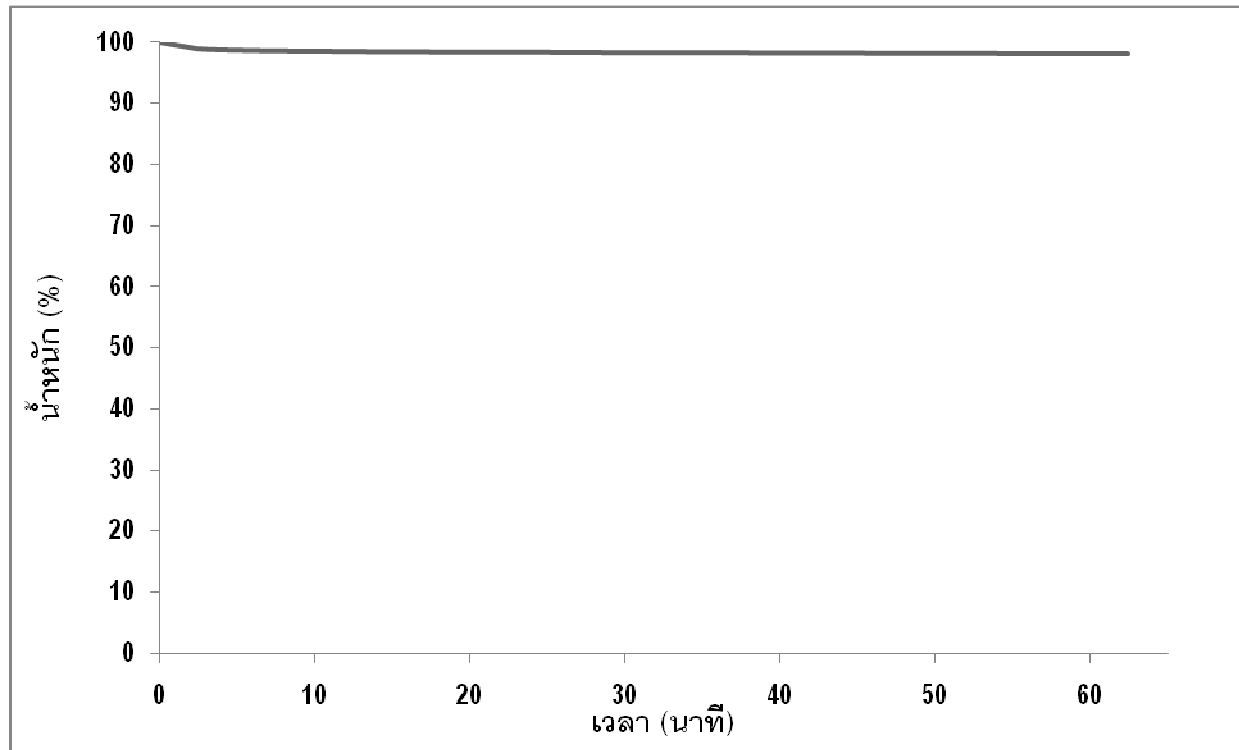
รูปที่ ง.10 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 1000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยชำ 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส



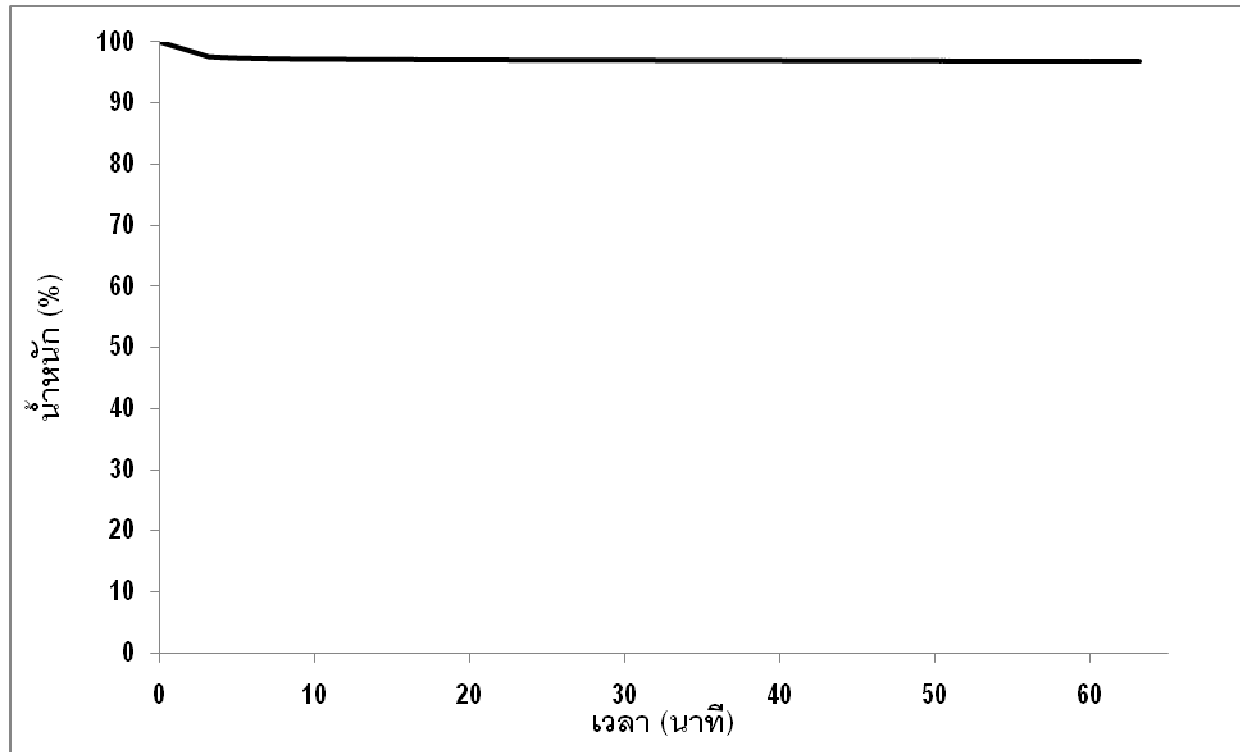
รูปที่ ง.11 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยช้ำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 2000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยช้ำ 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส



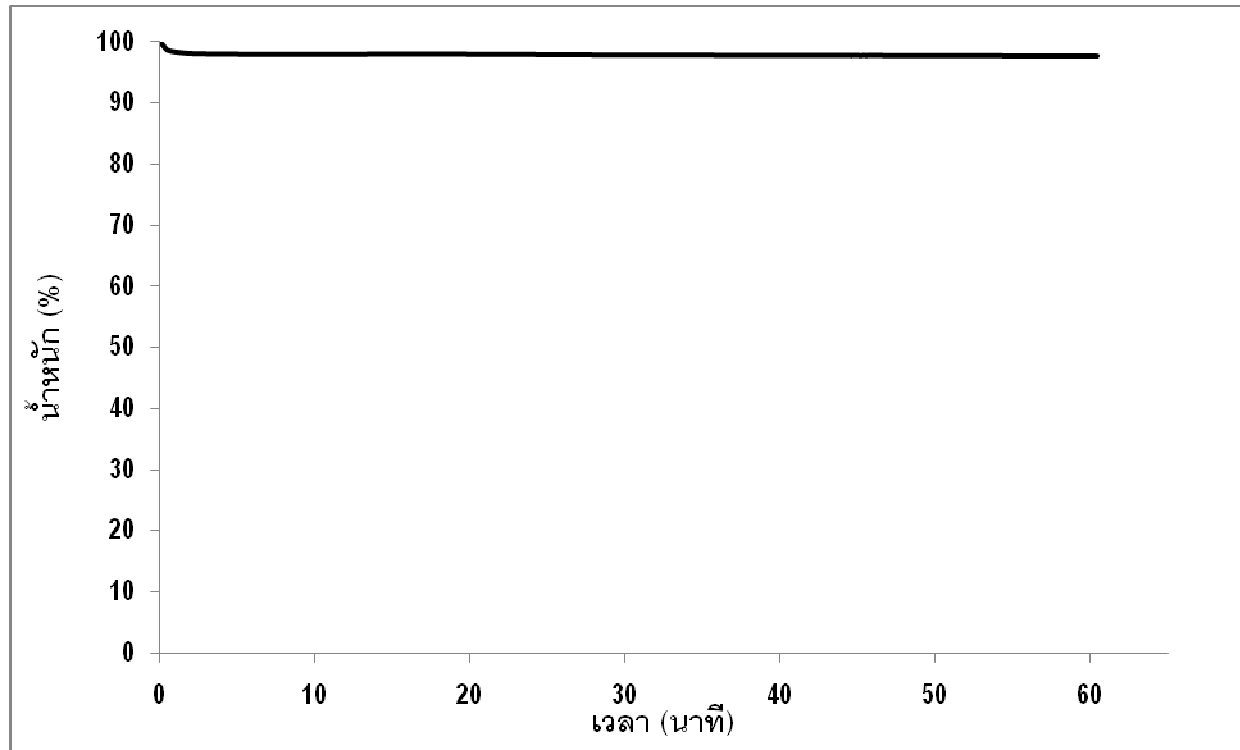
รูปที่ ง.12 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 3000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยชำ 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส



รูปที่ ง.13 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 4000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยชำ 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส



รูปที่ ง.14 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 5000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยชา 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส



รูปที่ ง.15 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ใช้ความเร็วรอบกวนผสม 10000 รอบ/นาที เวลากวนผสม 3 นาที และน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตรที่ 37 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฐิชาณีเยียมรุ่งรักษา เกิดเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2550 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2553

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

T. Jiamrungraksa and S. Charuchinda, Characterization of Galangal Essential Oil/Alginate Microcapsules , The 3rd KSDF International Conference on Dyeing and Finishing, March 12, 2010, Daegu, Korea.

T. Jiamrungraksa and S. Charuchinda, Microencapsulation of Galangal Essential Oil/Alginate by Orifice Method, The 1st National Research symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, April 22 2010, Bangkok, Thailand.

T. Jiamrungraksa and S. Charuchinda, Preparation and Characteristics of Galangal Essential Oil/Alginate Microcapsules, Thailand Textile Symposium 2010, August 26 2010, Bangkok, Thailand.

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ ดังนี้

Jiamrungraksa, T., and Charuchinda S. (2010). Preparation and Characteristics of Galangal Essential Oil/Alginate Microcapsules. Metals, Materials and Minerals, 20, 89-92.