

ไมโครเอนแคปซูลชั้นวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคเ็น-ออกตะเดกเคน
ด้วยแอลจินตที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียม

MICROENCAPSULATION OF n-OCTADECANE PHASE
CHANGE MATERIAL WITH CALCIUM CROSSLINKED
ALGINATE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROENCAPSULATION OF n-OCTADECANE PHASE
CHANGE MATERIAL WITH CALCIUM CROSSLINKED
ALGINATE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ไมโครเอนแคปซูลชันวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคเอ็น-ออกตะเดเคน
ด้วยแอลจินेटที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียม

Microencapsulation of n-Octadecane Phase Change
Material with Calcium Crosslinked Alginate

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรพรรณ วรรณกิจ รหัสนักศึกษา 58050509

นางสาวมณีนรัตน์ เดชพลับ รหัสนักศึกษา 58050529

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2561

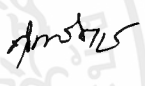



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร.ภัทธวุธ มนต์วิเศษ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการ	
ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
รศ.ดร.ภัทธวุธ มนต์วิเศษ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ไมโครเอนแคปซูลเส้นวัสดุเปลี่ยนวิภาคเอ็น-ออกตะเดกเคนด้วยแอลจินตที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียม
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพรพรรณ วรณกิจ รหัสนักศึกษา 58050509 นางสาวมณีนรัตน์ เดชพลับ รหัสนักศึกษา 58050529
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนโดยใช้โซเดียม-แอลจินตเป็นวัสดุห่อหุ้ม (O/A) โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เป็น 0.5 1.0 2.0 4.5 9.0 และ 15.0 เท่าของค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (CMC) ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินตเป็น 0.30 1.00 และ 1.67 %W/V และปริมาณของวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดกเคนเป็น 1,000 1,500 และ 2,000 μL โดยเริ่มจากการเตรียมไมเซลล์ของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว CTAB โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง จากนั้นนำไมเซลล์ที่บรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนไปผสมกับสารละลายโซเดียมแอลจินตเพื่อสร้างเปลือกไมโครแคปซูล จากนั้นนำไมโครแคปซูลไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะไอออนิก ส่งผลให้เปลือกไมโครแคปซูลคงสภาพมากขึ้น ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะถูกทำให้แห้งด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จากการตรวจวิเคราะห์ไมโครแคปซูล O/A ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย CTAB และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินตจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการหุ้มเอ็น-ออกตะเดกเคนของไมโครแคปซูล โดยไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ CTAB เข้มข้น 1 CMC และใช้สารละลายโซเดียมแอลจินตเข้มข้น 1.67 %W/V มีประสิทธิภาพในการหุ้มเอ็น-ออกตะเดกเคนสูงที่สุดเท่ากับ 40% จึงมีค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) และค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) ของเอ็น-ออกตะเดกเคนสูงที่สุด เท่ากับ 61 และ 60 J/g ตามลำดับ และเมื่อนำไมโครแคปซูล O/A ไปทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิ พบว่าไมโครแคปซูล O/A สามารถคงระดับอุณหภูมิได้ยาวนานกว่าไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนบรรจุอยู่ภายใน

คำสำคัญ : การเชื่อมโยงแบบไอออนิก การเอนแคปซูลเส้น แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ โซเดียมแอลจินต เอ็น-ออกตะเดกเคน

Title	Microencapsulation of n-Octadecane Phase Change Material with Calcium Crosslinked Alginate	
Students	Miss Pornpan Wannakit	Student ID 58050509
	Miss Maneerat Detplab	Student ID 58050529
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon	
Co-advisor	Assoc.Prof.Dr. Pathavuth Monvisade	

Abstract

This research studied on preparation of microcapsules loading n-octadecane in sodium alginate shell (O/A). The preparation conditions were varied, i.e. concentration of cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) surfactant (0.5, 1.0, 2.0, 4.5, 9.0 and 15.0-fold of critical micelle concentration (CMC)), concentration of sodium alginate solution (0.30, 1.00 and 1.67 %W/V) and amount of n-octadecane (1,000 1,500 and 2,000 μ L). The O/A microcapsules were prepared from micelles of n-octadecane surrounded by CTAB surfactant using by homogenizer. The n-octadecane micelles were mixed with sodium alginate solution, creating the shell of microcapsules. The microcapsules were then soaked in the calcium chloride dihydrate solution in order to create ionic crosslinking of stabilized capsule shell. The obtained O/A microcapsules were dried by freeze drying. The DSC technique revealed that the differences in CTAB and sodium alginate concentrations had significantly affect on the encapsulation efficiency of n-octadecane in the O/A microcapsules. The O/A microcapsules prepared by using CTAB concentration of 1 CMC and sodium alginate concentration of 1.67 %W/V showed the highest encapsulation efficiency, enthalpy of fusion (ΔH_m), enthalpy of crystallization (ΔH_c) of 40%, 61 and 60 J/g, respectively. The thermoregulating property of O/A microcapsules was investigated. It was found that the O/A microcapsules could maintain longer thermoregulation than the microcapsules without n-octadecane.

Keywords : ionic crosslink, encapsulation, calcium chloride dihydrate, cetyltrimethyl ammonium bromide, sodium alginate, n-octadecane

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุก ๆ ท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน และ รศ.ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด และให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษ และขอขอบคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่ให้ข้อคิดเห็น และคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อน ๆ และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าว ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

พรพรรณ วรรณกิจ
มณีรัตน์ เดชพลับ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วัสดุเปลี่ยนวิภาค (Phase change materials).....	3
2.2 เทคนิคการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation technique).....	5
2.3 อิมัลชัน (Emulsion).....	6
2.4 ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB).....	7
2.5 โซเดียมแอลจีเนต (Sodium alginate).....	8
2.6 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink).....	9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	18
3.3 วิธีการทดลอง.....	18
3.3.1 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB).....	18
3.3.2 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต.....	21
3.3.3 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยการปรับปริมาณของเอ็น-ออกตะเดคเคน.....	23
3.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล O/A.....	26
3.5 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไมโครแคปซูล O/A.....	26
3.6 วิธีการทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	27
4.1 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล O/A.....	27
4.2 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไมโครแคปซูล O/A.....	36
4.3 การทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	52



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางความร้อนของสารกลุ่มพาราฟินที่นิยมใช้เป็นวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค	4
3.1 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของ ความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB)	19
3.2 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेट	21
3.3 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของ ปริมาณเอ็น-ออกตะเดคเคน	24
4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน	29
4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेटต่างกัน	32
4.3 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และ ประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณเอ็น-ออกตะเดคเคนต่างกัน	34
4.4 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดคเคน	36
4.5 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของไมโครแคปซูล O/A	37
4.6 การเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A ที่เวลาต่างๆ	39

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค.....	3
2.2 โครงสร้างของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB).....	7
2.3 กลไกการเกิดไมเซลล์	8
2.4 โครงสร้างของโซเดียมแอลจีเนต	9
2.5 โครงสร้าง Egg box ของแคลเซียมแอลจีเนต	9
2.6 นาโนแคปซูลที่ถูกตรึงบนผ้าฝ้าย	15
3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล OD/SA โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ สารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB).....	20
3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล OD/SA โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมแอลจีเนต	22
3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล OD/SA โดยการปรับปริมาณของ เอ็น-ออกตะเดกเคน	25
4.1 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพีการหลอมตัวและการเกิดผลึกครั้งที่ 1 และ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) 0.0364 %W/V ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต 1.64 %W/V และปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคน 1,500 μ L.....	27
4.2 แผนภาพแสดงกลไกการเกิดไมโครแคปซูล O/A.....	28
4.3 สเปกตรัม FT-IR ของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคน.....	36
4.4 สเปกตรัม FT-IR ของไมโครแคปซูล O/A	37

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
O	เอ็น-ออกตะเดกเคน
A	โซเดียมแอลจินต
C	ซีติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์
CMC	ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์
CaCl ₂ ·2H ₂ O	แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
FT-IR	ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
mL	มิลลิลิตร
g	กรัม
J	จูล
%W/V	ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
μL	ไมโครลิตร
rpm	รอบต่อนาที
°C	องศาเซลเซียส
T _m	อุณหภูมิการหลอมเหลว
T _c	อุณหภูมิการก่อผลึก
ΔH _m	ค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะการหลอมเหลว
ΔH _c	ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก
n/a	หาค่าไม่ได้
cm ⁻¹	ส่วนกลับของเซนติเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอ็น-ออกตะเดเคน (n-Octadecane) เป็นพาราฟินชนิดหนึ่ง ที่มีสมบัติเป็นวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค (Phase change material) มีหลักการทำงาน คือ เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) เอ็น-ออกตะเดเคนจะดูดความร้อนจากบริเวณข้างเคียงเพื่อใช้ในการเปลี่ยนวัฏภาคจากของแข็งเป็นของเหลว ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) เอ็น-ออกตะเดเคนจะคายพลังงานความร้อน และเกิดการเปลี่ยนวัฏภาคจากของเหลวมาเป็นของแข็ง จากสมบัติข้างต้นจึงนิยมนำเอ็น-ออกตะเดเคนไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ในการปรับสภาพอากาศภายในอาคารโดยการผสมกับวัสดุในการก่อสร้างอาคาร เช่น อิฐ กระจกติดผนัง หรือสีทาอาคาร ใช้ในการกักเก็บพลังงาน (Heat storage) และใช้เคลือบผ้าเป็นผ้าปรับสภาพความร้อน เป็นต้น แต่ข้อจำกัดที่สำคัญของการใช้เอ็น-ออกตะเดเคนโดยตรง คือ อาจมีการปนเปื้อนจากสารอื่น ๆ เกิดการสลายตัว สูญเสียสมบัติเฉพาะในระหว่างการใช้งาน และมีค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่ค่อนข้างต่ำ [1,2]

จากข้อจำกัดในการใช้งานของเอ็น-ออกตะเดเคนที่กล่าวข้างต้น ทำให้หลายกลุ่มวิจัยมีการพัฒนาโดยนำเอ็น-ออกตะเดเคนมาเตรียมเป็นแคปซูล เพื่อป้องกันการปนเปื้อน การสูญหายและการสลายตัวในระหว่างการใช้งาน แล้วช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดและคายความร้อนของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและลดข้อด้อยเกี่ยวกับค่าการนำความร้อนของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคได้อีกทางหนึ่ง [2]

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะเตรียมแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดเคนโดยใช้โซเดียมแอลจิเนต (Sodium alginate) เป็นวัสดุห่อหุ้ม เนื่องจากโซเดียมแอลจิเนตเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ มีความสามารถในการห่อหุ้มและกักเก็บสารหลายชนิด ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารที่ถูกกักเก็บ ทำให้ในปัจจุบันมีการนำโซเดียมแอลจิเนต มาใช้อย่างหลากหลายในทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอวัยวะเทียม การทำเป็นแผ่นปิดแผล เป็นต้น สำหรับแผ่นปิดแผลที่มีส่วนประกอบของโซเดียมแอลจิเนตเจล สามารถช่วยดูดซับสารคัดหลั่งที่มาจากบาดแผล ช่วยให้แผลเกิดความชุ่มชื้น และช่วยลดการติดเชื้อแบคทีเรียของแผลได้ [3] นอกจากนี้เมื่อมีการใส่วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคลงในโซเดียมแอลจิเนต จะทำให้เกิดการรักษาระดับอุณหภูมิของแผ่นปิดแผลให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ดีขึ้น และทำให้แผลหายเร็วขึ้น [4]

ในงานวิจัยของ Bence Nemeth. *et al* [5] ได้มีการศึกษากระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดเคนโดยใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยการห่อหุ้มเอ็น-ออกตะเดเคนด้วยโซเดียมแอลจิเนต และเชื่อมโยงด้วยแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต (Calcium chloride dihydrate, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ต้องทำสลับกันระหว่างการแช่โซเดียมแอลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต เพื่อเพิ่มความหนาของเปลือกหุ้ม ซึ่งกระบวนการห่อหุ้มดังกล่าวมีหลายขั้นตอน ซับซ้อน และใช้ปริมาณสารมาก ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงสนใจที่จะพัฒนากระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดเคนที่ใช้โซเดียมแอลจิเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยการนำสารลดแรงตึงผิวซิลิโคน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) เข้ามาช่วยในการทำชั้นห่อหุ้มในรูปแบบไมเซลล์ (Micelle) แล้วทำการบรรจุไมเซลล์เอ็น-ออกตะเดคเคนไว้ภายในโครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมแอลจีเนตที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียมคลอไรด์ไฮเดรตในรูปแบบไมโครแคปซูลเพื่อให้เอ็น-ออกตะเดคเคนมีความคงตัวเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม
- 2) ศึกษาผลของสภาวะในการเตรียมต่อโครงสร้างและสมบัติของไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มด้วยเทคนิคต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มโดยมีปัจจัยการศึกษา ดังนี้
 - ความเข้มข้นของสารละลายซีติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ได้แก่ 0.0182 0.0364 0.0729 0.1640 0.3280 และ 0.5467 %W/V
 - ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต ได้แก่ 0.30 1.00 และ 1.67 %W/V
 - ปริมาณของเอ็น-ออกตะเดคเคน ได้แก่ 1,000 1,500 และ 2,000 μ L (ในระบบตัวทำละลายทั้งหมด 160 mL)
- 2) การตรวจวิเคราะห์ไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้
 - ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ดังนี้
 - ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR)
 - ตรวจวิเคราะห์สมบัติของไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ดังนี้
 1. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC)
 2. กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มได้ด้วยวิธีการที่เหมาะสม ง่าย มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- 2) สามารถพัฒนาต่อยอดไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ไปใช้ในแผ่นปิดแผลได้

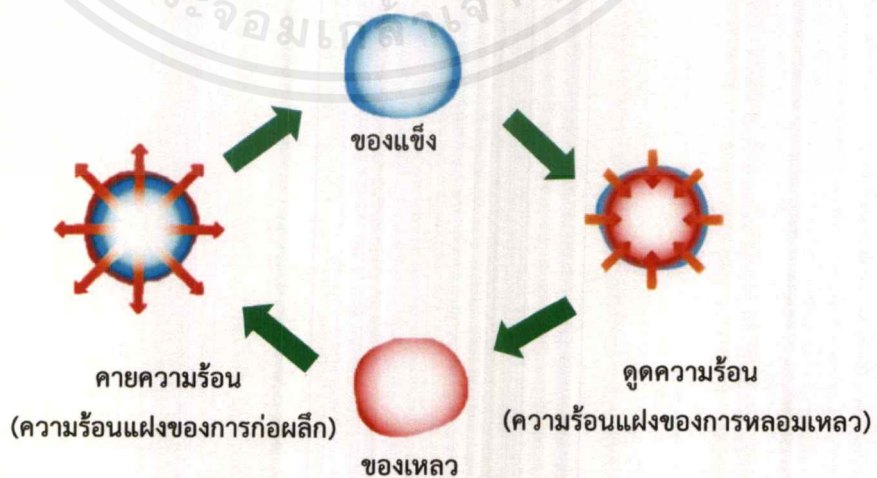
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุเปลี่ยนวัฏภาค (Phase change materials)

วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานในรูปของความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนวัฏภาคของวัสดุ เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคจะดูดความร้อนเข้าไป เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิก่อนผลึก (Crystallization temperature, T_c) วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคจะคายพลังงานความร้อนออกมา เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของแข็งอีกครั้ง และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรดังแสดงในรูปที่ 2.1 การใช้วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งในการเก็บและถ่ายโอนพลังงานความร้อน [1,2]

ในการเลือกวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคต้องคำนึงถึงสมบัติดังต่อไปนี้

- สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic properties) คือ มีจุดหลอมเหลวในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวต่อหน่วยปริมาตรสูง ค่าการนำความร้อนสูง ค่าความร้อนจำเพาะสูง ค่าความหนาแน่นสูง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะต่ำ
- สมบัติทางจลนศาสตร์ (Kinetic properties) คือ มีอัตราการเกิดนิวเคลียสสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการเย็นตัวยิ่งยวด อัตราการก่อผลึกเมื่อลดอุณหภูมิลงหลังการหลอมเหลวสูง
- สมบัติทางเคมี (Chemical properties) คือ มีวัฏจักรการแข็งตัวและการหลอมตัวที่สมบูรณ์ มีความเสถียรทางเคมีสูง ไม่เกิดการสลายตัวในระหว่างวัฏจักรการแข็งตัวและการหลอมตัว ไม่กัดกร่อน ไม่เป็นพิษ ไม่ไวไฟ และไม่เปื้อนวัสดุระเบิด
- สมบัติทางเศรษฐกิจ (Economic properties) คือ มีต้นทุนและหาซื้อได้ง่าย



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกประเภทของวัสดุเปลี่ยนวิภาคแบ่งออกเป็น 3 ประเภท [1,2] ดังนี้

1) สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compounds)

สารประกอบอนินทรีย์จะมีประสิทธิภาพในการเก็บความร้อนที่ต่ำกว่าสารประกอบอินทรีย์ แต่สารประกอบอนินทรีย์ก็มีข้อดีอยู่หลายอย่าง เช่น มีราคาค่อนข้างแพง และเกิดการเย็นตัวยิ่งยวดมาก นอกจากนี้ ยังเกิดการเกาะกันเป็นผลึกในระหว่างใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานและสมบัติการกักเก็บความร้อนลดลง สารประกอบอนินทรีย์ที่นิยมใช้ คือ เกลือที่มีน้ำ (Hydrated salts) เช่น $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ $\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เป็นต้น

2) สารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)

- พาราฟิน

พาราฟิน (Paraffin) เป็นสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนและอัลเคน เช่น เฮกซะเดคเคน (Hexadecane) และออกตะเดคเคน (Octadecane) โครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ สมบัติทางความร้อนของสารกลุ่มพาราฟินจะมีจุดหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงเพิ่มขึ้นตามความยาวของโซ่คาร์บอนดังแสดงในตารางที่ 2.1 พาราฟินได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลวและการก่อผลึกที่กว้าง มีความร้อนในการหลอมเหลวสูง (High heat of fusion) เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่กัดกร่อน ไม่ไวต่ออากาศเกิดปฏิกิริยา และราคาถูก อย่างไรก็ตาม พาราฟินมีค่าการนำความร้อนค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 0.35 W/mK) เมื่อเปรียบเทียบกับเกลือที่มีน้ำ และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการเปลี่ยนวิภาคค่อนข้างสูง ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องการพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมาก ซึ่งการหุ้มสารเหล่านี้ให้เป็นแคปซูลขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้งานโดยตรง

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของสารกลุ่มพาราฟินที่นิยมใช้เป็นวัสดุเปลี่ยนวิภาค [2]

สูตรโมเลกุล (มวลโมเลกุล)	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)	ΔH_m (kJ/kg)	ความหนาแน่น (kg/m ³) ของแข็ง/ของเหลว
n-Octane C_8H_{18} (114.23)	-57 (-56.5)	181	-/703.6
n-Decane $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ (142.28)	-30	201	-/703
n-Dodecane $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ (170.34)	-9.5 (-12)	216	-/750
n-Tetradecane $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ (198.39)	6	226	825/771
n-Hexadecane $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ (226.44)	18	237	835/776
n-Octadecane $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ (254.50)	28	243	840/778
n-Eicosane $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ (282.55)	37	247	856/780

- สารที่ไม่ใช่พาราฟิน (Non-paraffin)

วัสดุเปลี่ยนวัฏภาคที่ไม่ใช่กลุ่มพาราฟิน ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty acid) เอสเทอร์ (Ester) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) มีข้อดีคือ สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ซึ่งวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคแต่ละชนิดในกลุ่มนี้จะมีสมบัติเฉพาะตัว ต่างจากพาราฟินที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน สมบัติที่สำคัญของวัสดุเปลี่ยนวัฏภาคกลุ่มนี้ คือ ความร้อนในการหลอมเหลวสูง แต่ค่าการนำความร้อนต่ำ ติดไฟง่าย มีจุดวาบไฟต่ำ มีฤทธิ์กัดกร่อน มีความเป็นพิษ ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง และมีราคาสูง ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก

2.2 เทคนิคการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation technique)

การเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการกักเก็บสารที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สไว้ภายในวัสดุห่อหุ้ม เช่น พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเปลือก เรียกสารแกนกลาง (Core) ที่ถูกห่อหุ้ม และวัสดุห่อหุ้มที่เป็นเปลือก (Shell) ว่า แคปซูล แคปซูลส่วนใหญ่จะถูกเตรียมให้มีขนาดในระดับไมโครเมตร ประมาณ 1-1000 ไมโครเมตร เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำไปใช้งานและยังคงคุณสมบัติให้เหมือนสารที่ไม่ถูกห่อหุ้ม วัสดุที่ใช้เป็นเปลือกแคปซูลมีหลากหลายชนิด อาจเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี และจุดประสงค์ในการนำสารแกนกลางไปใช้งาน เปลือกแคปซูลจะต้องมีความแข็งแรง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ห่อหุ้ม ลักษณะของแคปซูลจะขึ้นอยู่กับสมบัติของเปลือกและแกน ลักษณะของแคปซูลสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ แบบแกนเดี่ยว (Mononuclear type) แบบหลายแกน (Polynuclear type) และแบบกระจายอยู่ในเปลือก (Matrix type) ซึ่งแบบแกนเดี่ยวจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมสารภายในได้ดีที่สุด ข้อดีของการเอนแคปซูลคือ ป้องกันสารจากสิ่งแวดล้อม เพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาและการใช้งาน โดยเปลือกแคปซูลจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สารภายในเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม และป้องกันการย่อยสลายหรือการระเหยระหว่างการใช้งาน ลักษณะของแคปซูลที่ดีจะต้องคำนึงถึงขนาดของอนุภาค ความหนา และความสามารถในการซึมผ่านของสารผ่านเปลือกแคปซูล ความแข็งแรงเชิงกลที่จะทนต่อแรงกระทำจากภายนอก ความคงทนของเปลือกต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ความชื้นและตัวทำละลาย สามารถควบคุมการเปลี่ยนสถานะภายในได้ตลอดเวลา มีค่าการนำความร้อนสูง มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้ดี และราคาถูก

เทคนิคการเอนแคปซูลชันได้รับการพัฒนามานาน ซึ่งสามารถแบ่งการเตรียมได้ 2 ประเภท คือ กระบวนการทางกายภาพ และกระบวนการทางเคมี การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลโดยกระบวนการทางกายภาพ นิยมใช้เตรียมในระดับอุตสาหกรรม เช่น เทคนิคการอบแห้งแบบฝอย (Spray drying) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed coating) และเทคนิคการระเหยตัวละลาย (Solvent evaporation) เป็นต้น การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลโดยวิธีการทางเคมี มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารแกนกลางและสารที่ใช้เป็นเปลือก เช่น เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) การสังเคราะห์จากมอนอเมอร์โดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน (Internal phase separation) และการสังเคราะห์ที่รอยต่อระหว่างผิว (Interfacial polymerization) เป็นต้น [1]

2.3 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วย ของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากัน หรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ซึ่งนำมารวมกัน ในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นตัวผสมผสานของเหลวทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้น ถ้ามองด้วยตาเปล่า จะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็น 2 ภูมิภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็ก ๆ ของของเหลวชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า ภูมิภาคภายใน (Internal or Dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า ภูมิภาคภายนอก (External or Continuous phase) โดยทั่วไปหยดของภูมิภาคภายใน อาจมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของภูมิภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน

1) ชนิดของอิมัลชัน

- อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil emulsion; W/O) อิมัลชันชนิดนี้มีภูมิภาคภายในเป็นน้ำมัน ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำ
- อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion; O/W) อิมัลชันชนิดนี้กลับกันกับชนิดแรก คือ มีภูมิภาคภายในเป็นน้ำ ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำมัน
- อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีภูมิภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้ สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งในน้ำเป็นภูมิภาคภายนอก แต่ภูมิภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆของน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาก็จะกลายเป็นชนิด O/W

2) ส่วนประกอบของอิมัลชัน

- ภูมิภาคน้ำ (Water phase) ภูมิภาคน้ำได้แก่ น้ำและสารต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารลดแรงตึงผิว สีที่ละลายน้ำ สารต้านออกซิเดชัน สารต่าง ๆ เหล่านี้ อาจเติมลงในภูมิภาคน้ำได้ทั้งสิ้น แล้วแต่องค์ประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท
- ภูมิภาคน้ำมัน (Oil Phase) ภูมิภาคน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันต่าง ๆ เช่น Olive oil Mineral oil Castor oil ไชมัน ไชแข็ง สีที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่าง ๆ สารกันหืน
- อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) อิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ ของแข็งอนุภาคละเอียด อิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้ภูมิภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

3) กลไกการเกิดอิมัลชัน

ปกติของเหลว 2 ชนิดซึ่งไม่เข้ากัน เมื่อถูกนำมารวมกันจะแยกกันอยู่เป็น 2 ภูมิภาค เนื่องจากเกิดแรงตึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่า ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลชันเกิดขึ้นชั่วคราว ตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface free energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว ซึ่งสภาวะนี้ไม่เสถียร เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดปั่นกวาน ของเหลวเหล่านั้นก็จะกลับมารวมตัวกันและแยกวัฏภาคดั้งเดิม การปรับสภาวะให้ของเหลว 2 วัฏภาคเข้าสู่จุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด กล่าวคือเกิดการกระจายตัวเป็นหยดในกันและกัน โดยที่ยังคงสภาพถาวรอยู่ ไม่กลับมาแยกชั้นดั้งเดิมได้ โดยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ลงไปก่อนการเขย่า [6]

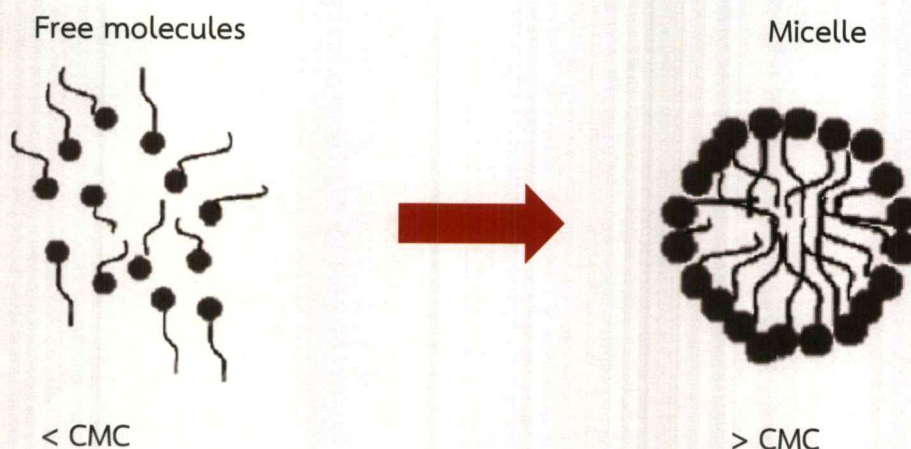
2.4 ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB)

ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก โครงสร้างของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ประกอบด้วย 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2 คือ ส่วนหัว (Hydrophilic head group) เป็นส่วนที่มีขั้วซึ่งจะมีประจุบวกสามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ และหาง (Hydrophobic tail) เป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว สามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำมัน ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Br}^-$ มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 354.35 g/mol และมีจุดหลอมเหลวประมาณ 237-243 °C ในทางปฏิบัติประจุบวกจะจับกับประจุลบบนเส้นใย เช่น ฝ้ายและผมได้แน่นมาก จึงนิยมใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับผ้าและครีมวดผม [7,8]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) [7]

เมื่อซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ละลายอยู่ในน้ำ โมเลกุลของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) จะสะสมอยู่บริเวณผิวของตัวทำละลาย และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) จะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน ด้วยแรงดึงดูดระหว่างกันในส่วนที่เหมือนกัน (Surfactant self-association) ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle) ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 เรียกความเข้มข้น ณ จุดนี้ว่า ความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) หลังจากนั้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะไม่ลดลงอีกถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ในสารละลายก็ตาม [9]



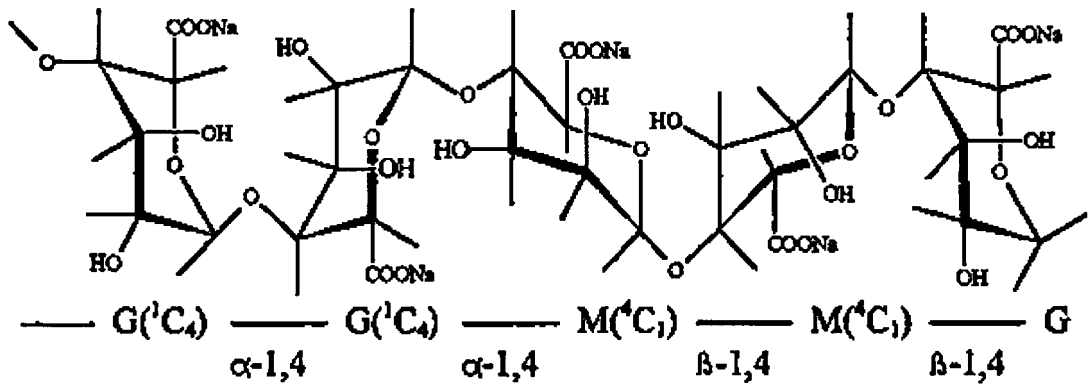
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดไมเซลล์ [19]

2.5 โซเดียมแอลจิเนต (Sodium alginate)

โซเดียมแอลจิเนตเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ มีความสามารถในการห่อหุ้มและกักเก็บสารหลายชนิด ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารที่ถูกกักเก็บ และสามารถละลายน้ำได้สารละลายมีความหนืดสูง โมเลกุลของโซเดียมแอลจิเนตจะประกอบด้วย M-block G-block และ MG-block ดังแสดงในรูป 2.4 [3,10] ประโยชน์ของโซเดียมแอลจิเนต

1. ใช้เป็นสารพิเศษในการผลิตอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ เช่น วัสดุกันน้ำ วัสดุกันไฟ เป็นต้น
2. ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารในการเพิ่มคุณสมบัติบางประการ เช่น สารที่ช่วยให้ข้น (Thickening agent) ในการผลิตเครื่องดื่มและไอศกรีม สารที่ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) ในการผลิตเจลลี่
3. ใช้เป็นวัตถุเติมในการผลิตอวัยวะเทียมและพิมพ์ฟัน
4. ใช้เป็นสารที่ช่วยให้ข้นสำหรับสีย้อมและซักทำความสะอาดง่าย ทดแทนการใช้แป้งซึ่งทำปฏิกิริยากับสีย้อม
5. ใช้เป็นวัตถุเติมในเทคนิคไมโครเอนแคปซูล เช่น โซเดียมแอลจิเนตถูกนำไปใช้ในทางเภสัชกรรม คือ การเตรียมไมโครแคปซูล โดยไมโครแคปซูลที่ได้สามารถใช้ในการนำส่งยา โดยโซเดียมแอลจิเนตสามารถปกป้องยาจากการสลายตัวในสภาวะกรดในกระเพาะอาหารได้ เนื่องจากโซเดียมแอลจิเนตไม่ละลายในสภาวะกรด อีกทั้งยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ได้
6. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตยา เช่น ยาบรรเทาอาการกรดไหลย้อน
7. ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำแผลสำหรับแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมาก ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นเจลที่ได้จากโซเดียมแอลจิเนตสามารถช่วยดูดซับสารคัดหลั่งที่มาจากบาดแผล อีกทั้งยังช่วยลดการติดเชื้อแบคทีเรียของแผลได้ [3,11]

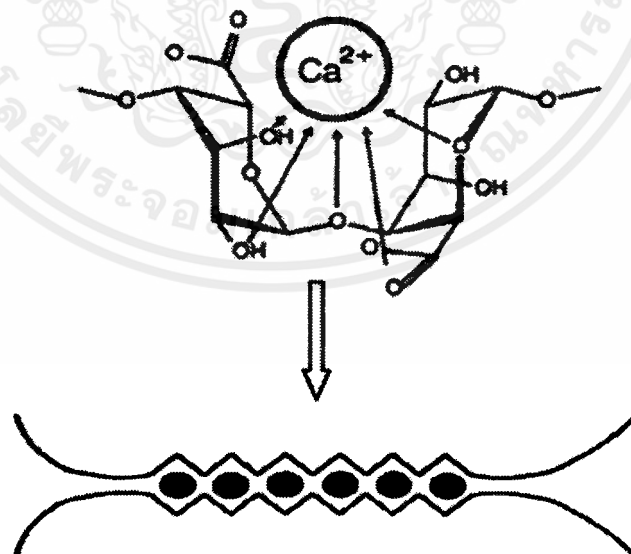
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโซเดียมแอลจิเนต [20]

2.6 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink)

การเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink) คือ การเชื่อมโยงด้วยพันธะไอออนิก โดยอาศัยหลักการแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ตรงข้ามกัน เช่น ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกสามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับไตรฟอสเฟต (Triphosphate, TPP) ที่มีประจุลบ หรือแอลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุลบสามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+} ion) จะได้โครงสร้างของเจลที่มีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (Egg box) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งไตรฟอสเฟต (Triphosphate, TPP) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+} ion) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) วิธีนี้เหมาะกับพอลิเมอร์ธรรมชาติและสารเชื่อมโยงที่มีประจุ ดังนั้นวิธีการสามารถทำได้ในน้ำซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นวิธีที่ง่ายเพียงแค่นำสารละลายชนิดใดชนิดหนึ่งลงไปใส่อีกชนิดหนึ่งโดยที่ต้องปั่นกวนอย่างสม่ำเสมอ สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง และใช้เครื่องมือที่ไม่ได้ยุ่งยาก [10,12]



รูปที่ 2.5 โครงสร้าง Egg box ของแคลเซียมแอลจิเนต [10]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Jie Lue และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนโดยใช้ไหมไฟโบริน (Silk fibroin) เป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนโดยใช้ไหมไฟโบรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม เริ่มจากการเตรียมอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยนำเอ็น-ออกตะเดกเคน เข้มข้น 99% ในสถานะของเหลว (อัตราส่วนเอ็น-ออกตะเดกเคนต่อสารเคลือบเท่ากับ 1:1) และสารลดแรงตึงผิวมาใส่ลงในสารละลายไหมไฟโบรินเข้มข้น 3 wt% ปริมาตรสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จะขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิว โดย span-80 และ tween-80 ใช้ในปริมาณ 10% ของเอ็น-ออกตะเดกเคน ส่วนโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และ Span-80 ผสมกับ CTAB ใช้ในปริมาณ 5% ของเอ็น-ออกตะเดกเคน จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยความเร็วสูง (Homogenization) เป็นเวลา 15 นาที โดย span-80 และ tween-80 ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 12,000 rpm ส่วนโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ และ Span-80 ผสมกับ CTAB ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 1,000 rpm จากนั้นเติมเอทานอลลงในอิมัลชัน ในอัตราส่วนของเอทานอลต่ออิมัลชันเป็น 3:20 พร้อมทำการปั่นกวนด้วยความเร็วสูงใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 300 rpm ที่ 25 °C เป็นเวลา 2 นาที นำอิมัลชันที่ได้ไปให้ความเย็นที่อุณหภูมิ -25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำให้แห้งด้วยการทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) หลังจากนั้นนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มาล้างด้วยเอทานอลร้อนและน้ำร้อน จากนั้นนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field emission scanning electron microscope, FE-SEM) พบว่าไมโครแคปซูลมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่สม่ำเสมอ เมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) ในช่วงอุณหภูมิ 0–50 °C มีอัตราการให้ความร้อนและอัตราการเย็นตัวเท่ากับ 5 °C/นาที ในบรรยากาศอาร์กอน พบว่าค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกของไมโครแคปซูล-CTAB = ไมโครแคปซูล-span-80 > ไมโครแคปซูล-SDS = ไมโครแคปซูล-tween-80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไมโครแคปซูล-span-80 และไมโครแคปซูล-CTAB มีสมบัติทางความร้อนที่ดี และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric analysis, TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 50-600 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที พบว่าเอ็น-ออกตะเดกเคนที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่ใช้ไหมไฟโบรินเป็นวัสดุห่อหุ้มสลายตัวช้ากว่าเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้ม

งานวิจัยของ Bence Nemeth และคณะ [14] ได้ทำการพัฒนาวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันมะพร้าวโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม เทียบกับการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ในการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม จะเตรียมอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยนำพาราฟินในสถานะของแข็ง 8.1 g เติมลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนตที่มีอุณหภูมิ 65 °C ซึ่งมีความเข้มข้น 0.5 2 และ 3.5 wt% เมื่อพาราฟินหลอมเหลว จึงนำไปโซนิเคชัน (Sonication) 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที ในการโซนิเคชันใช้ 40% ของพลังงานสูงสุด 130 W หลังจากนั้นนำสารอิมัลชันที่ได้ไปหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 1.0 4.0 และ 7.0 wt% พร้อมทำการปั่นกวนโดยใช้เวลา

ที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นแยกไมโครแคปซูลที่ได้แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 125 °C เป็นเวลา 15 นาที ในการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันมะพร้าวโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ทำโดยนำน้ำมันมะพร้าว 1 kg ใส่ลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2 wt% ที่อุณหภูมิ 50 °C จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยความเร็วสูง (Homogenization) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อสร้างอิมัลชันที่เสถียร จากนั้นนำสารอิมัลชันที่ได้ไปหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์-ไดไฮเดรตเข้มข้น 4 wt% ปริมาตร 100 L ทำการปั่นกวนและทิ้งไว้ให้เกิดเจลเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำอนุภาคเจลที่ได้ไปหยดลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 1.3 wt% ปริมาตร 17 L พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที แยกไมโครแคปซูลออกจากสารละลายและล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไมโครแคปซูลไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตเข้มข้น 4 wt% พร้อมทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการแยกและล้างไมโครแคปซูลด้วยน้ำกลั่น นำไมโครแคปซูลไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) ในช่วงอุณหภูมิ 10-45 °C มีอัตราการให้ความร้อนและอัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.2 °C/นาที ในบรรยากาศอาร์กอน พบว่าค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและความร้อนแฝงในการก่อผลึกของน้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ 115.3 และ 108.1 J/g ตามลำดับ และค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและความร้อนแฝงในการก่อผลึกของไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันมะพร้าวโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มอยู่ที่ 84.7 และ 84.5 J/g ตามลำดับ เมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric analysis, TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 30-1,000 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 15 °C/นาที พบว่าอัตราการสลายตัวของน้ำมันมะพร้าวเร็วกว่าไมโครแคปซูลบรรจุน้ำมันมะพร้าวโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มและเร็วกว่าไมโครแคปซูลที่ไม่มีโซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม ตามลำดับ และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไมโครแคปซูลมีรูปร่างกลม มีโครงสร้างสม่ำเสมอ และมีผิวเรียบ จากการตรวจวิเคราะห์ไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมแอลจีเนต ระยะเวลาในการปั่นกวน และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต มีผลต่อปริมาณพาราฟินในไมโครแคปซูล โดยที่ความเข้มข้นของโซเดียมแอลจีเนต เท่ากับ 0.5 wt% เวลาในการปั่นกวน เท่ากับ 1 นาที และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 4 wt% จะส่งผลให้มีปริมาณพาราฟินในไมโครแคปซูล เท่ากับ 81.53 wt% ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับไมโครแคปซูลที่มีขนาด 2.20 ± 0.14 mm

งานวิจัยของ Siriluck Namwong และคณะ [15] ได้ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวสามชนิด คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate, SDS) และไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Myristyl trimethylammonium bromide, TTAB) โดยศึกษาผลของความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 1.00 wt% ต่อสัณฐานวิทยาของพอลิไวนิลเบนซีนบรรจุออกตะเดคเคนที่เตรียมด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization) ขั้นตอนในการสังเคราะห์เริ่มจากผสมไดไวนิลเบนซีนมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นผสมกับออกตะเดคเคน เรียกว่า วัฏภาคน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Oil phase) เทของผสมลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแล้วปั่นกวนด้วยแรงเฉือนสูงโดยใช้ อัตราเร็วในการปั่นกวนที่ 8,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที และ 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จะได้ หยดมอนอเมอร์ (Monomer droplet) จากนั้นเทอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ลงในขวดก้นกลม แล้ว ปิดด้วยจุกยางซิลิโคน (Silicone rubber septum) ทำให้เป็นระบบสุญญากาศโดยการปั๊มอากาศออก สลับกับพ่นก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 รอบ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาโดยนำไปใส่ลงในอ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอร์แคปซูล เมื่อใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสาร ลดแรงตึงผิวจะได้ขนาดหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่มีขนาดในช่วง 1-10 ไมโครเมตร มี เปลือกพอลิเมอร์ห่อหุ้มออกตะเดกเคนอย่างสมบูรณ์ เป็นทรงกลมผิวเรียบและมีการยุบตัวที่ผิวของ แคปซูลหนึ่งตำแหน่ง ในกรณีการใช้สารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และเมทิลทรไทร- เมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ได้ขนาดหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่เล็กกว่าการใช้พอลิไวนิล- แอลกอฮอล์ อนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ความหนาของเปลือกไม่สม่ำเสมอ ไมโครแคปซูลที่ เตรียมโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีเปอร์เซ็นต์การบรรจุออกตะเดกเคนประมาณ 50 % และ ประสิทธิภาพการหุ้มประมาณ 100 % ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการก่อผลึกของออก- ตะเดกเคนเป็น 193 และ 182 J/g ตามลำดับ ต่ำกว่าของออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มเนื่องจากผล ของการหุ้มด้วยพอลิเมอร์ ดังนั้นการเตรียมพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน โดยการใช้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสารลดแรงตึงผิวจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่าการใช้โซเดียมโดเดซิล- ซัลเฟตและเมทิลทรไทรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

งานวิจัยของ Saraya Jantang [1] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิ(เมทิลอะคริเลต-อะคริลิกแอซิด- ไตไวนิลเบนซีน) ไมโครแคปซูลที่มีประสิทธิภาพสูงในการห่อหุ้มออกตะเดกเคน ซึ่งปราศจากการเย็น ตัวยิ่งยวด เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมผ้าปรับสภาพความร้อนต้นแบบ ชั้นแรกเป็นการเตรียมพอลิ- (เมทิลเมทาคริเลต-เมทิลอะคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน) ไมโครแคปซูลโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ด้วยกลไกโยกย้ายไอโอดีน (Iodine transfer polymerization, ITP) ทำการศึกษาผลของปริมาณ เมทิลอะคริเลตและไตไวนิลเบนซีนต่อลักษณะสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และความเสถียร ของแคปซูล เมื่อใช้เมทิลอะคริเลตและไตไวนิลเบนซีนเข้มข้น 30 และ 20 wt% ตามลำดับ จะได้ไม- โครแคปซูลทรงกลม ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและความร้อนแฝงในการก่อผลึกของออกตะ- เดกเคนที่ถูกห่อหุ้มมีค่าใกล้เคียงกับของออกตะเดกเคนตั้งต้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิการก่อผลึกของ ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มมีค่าลดลงอย่างมากจาก 25 เป็น 17 °C ซึ่งเนื่องจากเกิดการเย็นตัวยิ่งยวด ดังนั้นจึงได้ศึกษาการลดการเกิดการเย็นตัวยิ่งยวดโดยการเติมสารก่อผลึก ได้แก่ 1-ออกตะเดคานอล รูบิเทอร์ม-58 และกรดคลอโรอะซิติก ที่มีปริมาณต่าง ๆ จากการเติมสารก่อผลึกทั้งสามชนิด พบว่า การใช้ 1-ออกตะเดคานอล ให้ผลดีที่สุด จากการทดสอบเมื่อใช้ 1-ออกตะเดคานอล ที่ 5 wt% ของ ออกตะเดกเคน อุณหภูมิการก่อผลึกของออกตะเดคเคนที่ถูกห่อหุ้มเพิ่มขึ้นจาก 17 °C เป็น 24 °C ซึ่ง ใกล้เคียงกับออกตะเดคเคนบริสุทธิ์ ในขณะที่ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกมีค่าคงที่ จากนั้นนำไม- โครแคปซูลที่ได้ไปเคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการจุ่ม อัด อบแห้ง (Pad-dry-cure) เพื่อเตรียมผ้า ปรับสภาพความร้อน พบว่าพอลิ(เมทิลอะคริเลต-อะคริลิกแอซิด-ไตไวนิลเบนซีน) ไมโครแคปซูล มี ประสิทธิภาพในการเคลือบลงบนผ้าได้ดีกว่าพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-เมทิลอะคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน) ไมโครแคปซูล เนื่องจากอันตรกิริยาของหมู่คาร์บอกซิลบนผิวของไมโครแคปซูลกับหมู่ฟังก์ชันของผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Preeyaporn Chaiyasat และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน โดยในขั้นตอนการเตรียมหยดมอนอเมอร์ได้ศึกษาการเตรียมแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูงโดยการปั่นกวนด้วย โฮโมจีไนเซอร์เปรียบเทียบกับวิธีกลับเฟส (Phase inversion) ที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง ในกรณีเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิม พบว่าอัตราเร็วในการปั่นกวนที่ 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที และ 15,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ร่วมกับการใช้มีริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์เข้มข้น 1.0 wt% ของสารละลายทั้งหมด เป็นสภาวะที่เหมาะสม หยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-1,000 nm มีเสถียรภาพของคอลลอยด์สูงไม่จับตัวกัน เป็นก้อน ในกรณีการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงด้วยวิธีกลับเฟส พบว่าเมื่อใช้ PVA 3 g ในชั้นสารอินทรีย์แล้วเติม SDS 0.1 g ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการจับตัวกันมีเสถียรภาพของคอลลอยด์สูง แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 2-3 μm ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ เมื่อทำการเตรียมแคปซูลพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต) โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักไดไวนิลเบนซีนต่อเมทิลเมทาคริเลตเป็น 50:50 พบว่าแคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรอยยุบจำนวนมาก เนื่องจากความแข็งแรงของเปลือกแคปซูลลดลง แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 4-6 μm และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมากกว่ากรณีแคปซูลพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มในโคพอลิเมอร์แคปซูลมีค่า 237 J/g และค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกมีค่า 236 J/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มมาก ดังนั้นในการเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันหรือแบบแขวนลอย สามารถเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงได้โดยใช้วิธีกลับเฟส ถึงแม้ว่าจะยังเตรียมได้ในขนาดระดับไมโครเมตร แต่ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะสามารถนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อเตรียมหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรต่อไปได้

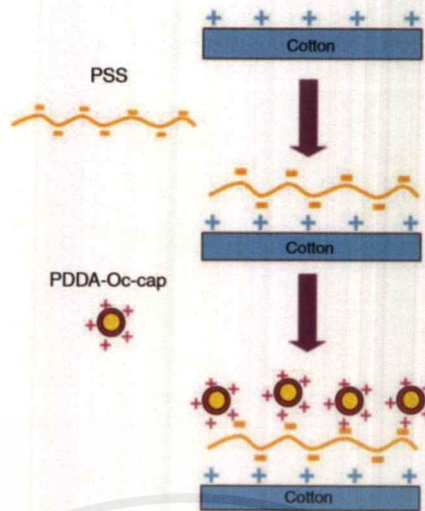
งานวิจัยของ Bence Nemeth และคณะ [5] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มสองชั้น เพื่อใช้เป็นวัสดุเก็บความร้อน ในการเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟิน แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เตรียมอนุภาคแกนกลาง โดยการหยดอิมัลชัน O/W (O คือ พาราฟิน W คือ สารละลายโซเดียมแอลจีเนต) ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) จากนั้นเทสารผสมลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต จะได้อนุภาคแกนกลางที่มีแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตมากเกินพออยู่ที่ผิวของอนุภาคแกนกลาง ขั้นตอนที่ 2 ทำการห่อหุ้มอนุภาคแกนกลาง โดยการนำอนุภาคแกนกลางที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 เทลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนต จากนั้นเทลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ก็จะได้ไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินที่มีโซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มสองชั้น ขั้นตอนที่ 3 การทำให้เปลือกไมโครแคปซูลแน่น และไม่มีรูพรุนโดยให้ความร้อน จากนั้นนำไมโครแคปซูลบรรจุพาราฟินที่มีโซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้มสองชั้น ไปหาขนาดเฉลี่ยของอนุภาค พบว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาคไมโครแคปซูลมีค่าอยู่ระหว่าง 2.16 ± 0.17 ถึง 3.04 ± 0.18 nm และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปหาปริมาณพาราฟินที่อยู่ในไมโครแคปซูล พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพาราฟินในไมโครแคปซูลมีค่าอยู่ระหว่าง 11.13 ถึง 47.99 wt% และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและสัญญาณวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) พบว่าไมโครแคปซูลมีรูปร่างกลม มีผิวเรียบ มีรูตื้นๆที่พื้นผิวเล็กน้อย ภายในของไมโครแคปซูลจะมีปริมาณพาราฟิน และมีช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ (ฟองอากาศ) และเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแคปซูลมีลักษณะแน่น ไม่มีรูพรุน มีพื้นผิวของการแตกหักที่เรียบ และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analysis, TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 30-500 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที พบว่ามีการลดลงของน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 30-184 °C ประมาณ 12% สันนิษฐานว่ายังคงมีน้ำอยู่ในโครงสร้างของไมโครแคปซูล ถึงแม้ว่าจะมีขั้นตอนการให้ความร้อนในการทำให้เปลือกของไมโครแคปซูลแน่น และไม่มีรูพรุนแล้วก็ตาม และมีการลดลงของน้ำหนักอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 185-208 °C เนื่องจากการสลายตัวของโซเดียมแอลจินेट และการสลายตัวของพาราฟิน และเมื่อนำไมโครแคปซูลไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) พบว่าค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกของพาราฟินบริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 185.0 และ 195.2 J/g ตามลำดับ ส่วนไมโครแคปซูลที่มีปริมาณพาราฟินสูงสุด 48 wt% มีค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก เท่ากับ 95.0 และ 91.7 J/g ตามลำดับ และเมื่อนำไมโครแคปซูลมาทดสอบการรั่วไหลของพาราฟิน โดยการให้ความร้อนไปที่อุณหภูมิ 85 °C และลดอุณหภูมิลงมาที่ 35 °C โดยทำซ้ำจำนวน 1,000 รอบ พบว่าไม่มีการสูญเสียพาราฟินอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีปริมาณพาราฟินลดลงเพียง 0.1 wt% และค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการก่อผลึกหลังการทดสอบ เท่ากับ 94.5 และ 91.0 J/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

งานวิจัยของ Yuwanda lamphaojeen และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมนาโนแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethylammonium chloride), PDDA) เป็นวัสดุห่อหุ้ม สำหรับตรึงบนผ้าฝ้ายที่มีประจุบวก โดยใช้พอลิ(4-สไตรีนซัลโฟนิค แอซิด) (Poly(4-styrenesulfonic acid), PSS) เป็นสารยึดเกาะบนผ้าฝ้ายที่มีประจุบวก ขั้นตอนการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีประจุบวก (Cat-cot) มีดังนี้ ละลาย 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ((3-Chloro-2-hydroxypropyl) trimethylammonium chloride, CHTAC) 50 g ที่ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) 18 g ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1000 mL จากนั้นนำผ้าฝ้ายน้ำหนัก 5 g แช่ลงในสารละลายผสมที่เตรียมได้พร้อมปั่นกวนช้าๆ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ Cat-cot จากนั้นนำ Cat-cot ไปทำให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติกเจือจาง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลาย ๆ ครั้ง และทำให้แห้ง ในขั้นตอนการเตรียมนาโนแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดคเคนโดยใช้ PDPA เป็นวัสดุห่อหุ้ม (PDPA-Oc-cap) นำเอ็น-ออกตะเดคเคน 20 mL ผสมกับสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate, SDS) 10 mM แล้วนำไปโซนิเคชัน (Sonication) ที่ความถี่ 20 kHz ใช้พลังงาน 500 W เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ได้อิมัลชัน จากนั้นนำอิมัลชันที่เตรียมได้ผสมกับสารละลาย PDPA 4 mM พร้อมกับปั่นกวนเพื่อให้ได้ PDPA-Oc-cap (อัตราส่วนปริมาณของเอ็น-ออกตะเดคเคน/SDS/PDPA คือ 0.01:1.00:1.00) ในขั้นตอนของการตรึง PDPA-Oc-cap บน Cat-cot (Cat-cot/PSS/PDPA-Oc-cap) นำ Cat-cot (4cm×4cm) แช่ลงในสารละลาย PSS 20 mL เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการล้างในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 5 นาที จะได้ผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกที่มี PSS ตรึงอยู่ (Cat-cot/PSS) จากนั้นแช่ลงในอิมัลชัน PDPA-Oc-cap เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยขั้นตอนการล้างแบบเดียวกันเพื่อให้ Cat-cot/PSS ที่เคลือบด้วย PDPA-Oc-cap-cap ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ความเข้มข้นของ PSS ที่ใช้ เช่น 1, 5, 10, 20, 30, 40 หรือ 50 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 นาโนแคปซูลที่ถูกตรึงบนผ้าฝ้าย [16]

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ PDDA-Oc-cap ได้รับการตรวจวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิล์มดราม่า (Field emission scanning electron microscopy, FE-SEM) พบว่า PDDA-Oc-cap มีรูปร่างทรงกลม และมีขนาดน้อยกว่า 100 nm ส่วนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตรึงด้วย PDDA-Oc-cap พบว่าพื้นผิวของผ้าฝ้ายและ Cat-cot นั้นเรียบ ส่วนพื้นผิวของ Cat-cot/PSS นั้นค่อนข้างขรุขระ เนื่องจากการสะสมของชั้น PSS แอนไอออนิก บนพื้นผิว Cat-cot หลังจากนำ Cat-cot/PSS แช่ในอิมัลชัน PDDA-Oc-cap จะพบอนุภาคทรงกลมของ PDDA-Oc-cap บนพื้นผิวผ้าฝ้าย ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่ามี PDDA-Oc-cap บนผ้าฝ้าย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเชิงกลซิติตา (Electrokinetic zeta potential) โดยใช้ Electrokinetic zeta potential analysis (EKA) พบว่าค่า Zeta potential ของผ้าฝ้ายอยู่ระหว่าง -4 ถึง -13 mV เนื่องจากการแยกตัวของกลุ่มคาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) ซึ่งได้จากการเกิดออกซิเดชันของ CH_2OH ในผ้าฝ้าย ส่วน Cat-cot/PSS มีค่า Zeta potential ที่ติดลบในช่วง pH ทั้งหมด เนื่องจากการมีไอออนซัลโฟเนต (Sulfonate, SO_3^-) ของ PSS ส่วนค่า Zeta potential มีค่าเป็นบวกเมื่อ Cat-cot/PSS ถูกแช่ในอิมัลชันของ PDDA-Oc-cap เนื่องจากการสะสมของ PDDA-Oc-cap ที่มีประจุบวกบนผ้าฝ้าย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PDDA-Oc-cap ถูกตรึงบน Cat-cot จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของความเข้มข้น PSS ต่อสมบัติพื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตรึงด้วย PDDA-Oc-cap ถูกกำหนดจากพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมโดยใช้สีประจุบวก Methylene blue (MB) และประจุลบ Eosin B พบว่า Cat-cot/PSS สามารถดูดซับโมเลกุลประจุบวกของ MB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นของ PSS ที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณการดูดซับ MB เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน Cat-cot/PSS/PDDA-Oc-cap ไม่มีการดูดซับ MB แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวด้านลบของ Cat-cot/PSS นั้นถูกเคลือบด้วยอนุภาค PDDA-Oc-cap ที่เป็นบวก และ Cat-cot/PSS/PDDA-Oc-cap สามารถดูดซับ Eosin B ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นของ PSS ที่สูงขึ้นส่งผลให้การดูดซับ Eosin B เพิ่มขึ้น จากนั้นทำการวัดสีของ PDDA-colOc-cap ที่ตรึงบน Cat-cot/PSS การวัดสีถูกใช้เพื่อกำหนดความเข้มของสี (K/S value) ของ Sudan red 7b บน Cat-cot/PSS/PDDA-colOc-cap ซึ่งปริมาณของ PDDA-colOc-cap ที่ตรึงบน Cat-cot/PSS สามารถกำหนด ค่า K/S ได้ จะเห็นได้ว่าค่า K/S เพิ่มขึ้นเพื่อความเข้มข้นของ PSS เพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มข้นของ PSS ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ PDDA-Oc-cap เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยในการตรึงบน Cat-cot/PSS ตัวอย่าง Cat-cot/PSS50/PDDA-colOc-cap ถูกใช้เพื่อกำหนดเสถียรภาพการตรึงของ PDDA-colOc-cap บน Cat-cot/PSS โดยใช้การทดสอบการชักล้าง 5 รอบ พบว่า ค่า K/S ของ Cat-cot/PSS50/PDDA-colOc-cap ลดลงเล็กน้อยจาก 0.0242 ± 0.0008 เป็น 0.0202 ± 0.0003 ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณ PDDA-colOc-cap ที่เหลืออยู่ในตัวอย่าง Cat-cot/PSS50/PDDA-colOc-cap สูงกว่า 80% ของปริมาณเริ่มต้นหลังจากชักล้าง 5 รอบ ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ PSS เป็นสารยึดเกาะบน Cat-cot เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตกแต่งสิ่งทอ

งานวิจัยของ Yuwanda lamphaojeen และ Punnama Siriphannon [17] ได้ทำการศึกษากการสังเคราะห์นาโนแคปซูลที่บรรจุวัสดุเปลี่ยนวิภาค คือ เอ็น-ออกตะเดเคน (n-Octadecane, Oc) ไว้ภายใน โดยมีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS) เป็นสารลดแรงตึงผิวทำให้เกิดไมเซลล์ และช่วยให้เอ็น-ออกตะเดเคนสามารถกระจายตัวเกิดเป็นอิมัลชันได้ และมีเปลือกแคปซูลซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มเอ็น-ออกตะเดเคน คือ พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethylammonium chloride), PDDA) โดยมีขั้นตอนการเตรียมนาโนแคปซูล Oc/PDDA ดังนี้ นำเอ็น-ออกตะเดเคน 99.5 %V/V ปริมาณ 10 mM ใส่ในสารละลาย SDS จากนั้นนำสารแขวนลอยไปทำโซนิเคชัน (Sonication) ที่ความถี่ 20 kHz กำลัง 500 W เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำอิมัลชัน Oc-SDS ที่ได้ไปผสมกับสารละลาย PDDA เข้มข้น 1 2 4 และ 6 mM และสารละลายมีอัตราส่วนปริมาณของ PDDA:Oc เท่ากับ 1.00:0.01 ทำการปั่นกวนเพื่อให้เกิดนาโนแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดเคนโดยใช้พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นวัสดุห่อหุ้ม (PDDA-en-Oc) โดยกำหนดชื่อสารที่ทำการสังเคราะห์ได้ตามความเข้มข้นของสารละลาย PDDA ได้เป็น PDDA1-en-Oc PDDA2-en-Oc PDDA4-en-Oc และ PDDA6-en-Oc ตามลำดับ จากนั้นนำ PDDA-en-Oc ไปตรวจวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของอิมัลชัน PDDA-en-Oc และค่า Zeta potential ด้วยเทคนิค Dynamic light scattering (DLS) พบว่า Oc-SDS PDDA1-en-Oc PDDA2-en-Oc PDDA4-en-Oc และ PDDA6-en-Oc มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 118.63 120.93 129.93 166.30 และ 203.77 nm ตามลำดับ และมีค่า Zeta potential เท่ากับ -74.87 -59.09 -47.69 -40.29 และ -43.29 mV ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของ PDDA มากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดของอิมัลชันเฉลี่ยและค่า Zeta potential มีค่าสูงขึ้น เมื่อนำนาโนแคปซูล PDDA-en-Oc ไปตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) พบว่านาโนแคปซูล PDDA4-en-Oc มีโครงสร้างเป็นทรงกลมซึ่งมีแกนกลางเป็นเอ็น-ออกตะเดเคน และมีเปลือกเป็น PDDA และเมื่อทำการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน เช่น ความร้อนแฝงและอุณหภูมิการเปลี่ยนวิภาคของนาโนแคปซูล PDDA-en-Oc ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C/นาที ในช่วงอุณหภูมิ 10-40 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่า ค่าความร้อนแฝงและประสิทธิภาพในการหุ้มจะมีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของ PDDA เท่ากับ 4mM ซึ่งทำให้มีความร้อนแฝงสูงสุดประมาณ 124.4 J/g และมีประสิทธิภาพการหุ้มสูงสุดที่ประมาณ 58% และเมื่อทำการตรวจสอบความเสถียรทางความร้อนของนาโนแคปซูล PDDA-en-Oc ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analysis; TGA) โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ในช่วงอุณหภูมิ 50-500 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่า เอ็น-ออกตะเดเคนสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณช่วง 153.7-180 °C ส่วนเอ็น-ออกตะเดเคนที่ถูกห่อหุ้มด้วย PDDA จะเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัว 2 ช่วงอุณหภูมิ ช่วงแรกที่พบประมาณ 163-180 °C ซึ่งสอดคล้องกับการสลายตัวของวัสดุหลัก คือ เอ็น-ออกตะเดคเคน เนื่องจากเกิดการแตกตัวของเปลือก คือ PDDA และเกิดการสลายตัว ช่วงที่สองที่อุณหภูมิประมาณ 250-330 °C เนื่องจากเกิดการสลายตัวของเปลือก คือ PDDA ดังนั้น การหุ้มเอ็น-ออกตะเดคเคนด้วย PDDA จะส่งผลให้เอ็น-ออกตะเดคเคนมีความเสถียรทางความร้อนสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) บริษัท Ajax Finechem เกรดการค้า
2. แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต (Calcium chloride dihydrate, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) บริษัทวี-อาร์ไบโอซายน์ เอ็นซ์ จำกัด เกรดวิเคราะห์
3. เอ็น-ออกตะเดเคน (n-Octadecane) บริษัท Acros Organics เกรดวิเคราะห์
4. โซเดียมแอลจินेट (Sodium alginate) บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด เกรดการค้า
5. น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Mettler Toledo รุ่น ML204/01
2. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) บริษัท IKA รุ่น RO 5
3. เครื่องปั่นกวนความเร็วสูง (Homogenizer) บริษัท DAIHAN Scientific (Thailand) Co., Ltd. รุ่น HG-15D
4. เครื่องทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) บริษัท LaboGene ApS รุ่น Coolsafe 110-4
5. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) บริษัท Perkin Elmer รุ่น PYRIS Diamond DSC
6. ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum
7. กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera) บริษัท Thermoscan Co.,Ltd. รุ่น FLIR C2
8. ปีกเกอร์ขนาด 150 mL และ 250 mL
9. กระบอกตวงขนาด 100 mL
10. ไมโครปิเปต ขนาด 1000 μL

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB)

1. เตรียมสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เข้มข้น 0.0182 0.0364 0.0729 0.1640 0.3280 และ 0.5467 %W/V โดยละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ปริมาณ 0.0182 0.0364 0.0729 0.1640 0.3280 และ 0.5467 g ในน้ำกลั่น 100 mL ทำการผสมเป็นเนื้อกัน
2. นำเอ็น-ออกตะเดเคนปริมาตร 1,500 μL เติมลงในสารละลายในข้อ 1.

3. นำสารแขวนลอยในข้อ 2. ไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนความเร็วสูง (Homogenizer) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ทำซ้ำ 5 รอบ)
4. เตรียมสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 1 %W/V โดยละลายโซเดียมแอลจีเนตปริมาณ 0.3 g ในน้ำกลั่น 30 mL
5. นำสารแขวนลอยในข้อ 3. เทลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
6. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตเข้มข้น 10 %W/V โดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ปริมาณ 3.0 g ในน้ำกลั่น 30 mL
7. นำสารแขวนลอยในข้อ 5. เทใส่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
8. นำสารผลิตภัณฑ์ไปเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้ไมโครแคปซูล O/A แล้วนำไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งวิธีการทดลองและสารตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

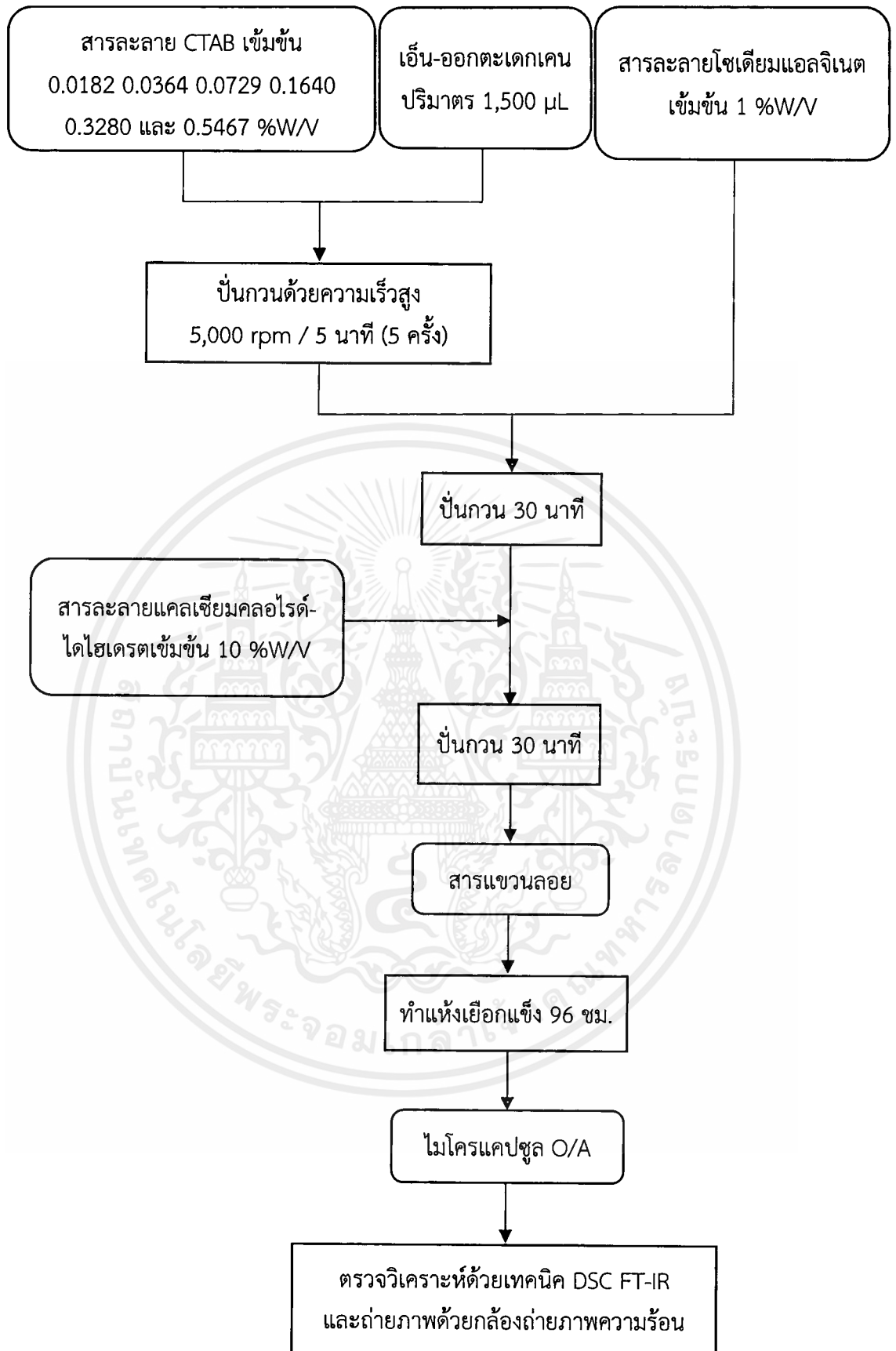
ตารางที่ 3.1 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษามลของความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB)

สารตัวอย่าง	เอ็น-ออกตะเดเคน (μL)	CTAB (g)	โซเดียมแอลจีเนต (g)
O1.5/A0.3/C0.01	1,500	0.0182	0.3
O1.5/A0.3/C0.03	1,500	0.0364	0.3
O1.5/A0.3/C0.07	1,500	0.0729	0.3
O1.5/A0.3/C0.16	1,500	0.1640	0.3
O1.5/A0.3/C0.32	1,500	0.3280	0.3
O1.5/A0.3/C0.54	1,500	0.5467	0.3

* หมายเหตุ : O หมายถึง เอ็น-ออกตะเดเคน

A หมายถึง โซเดียมแอลจีเนต

C หมายถึง ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

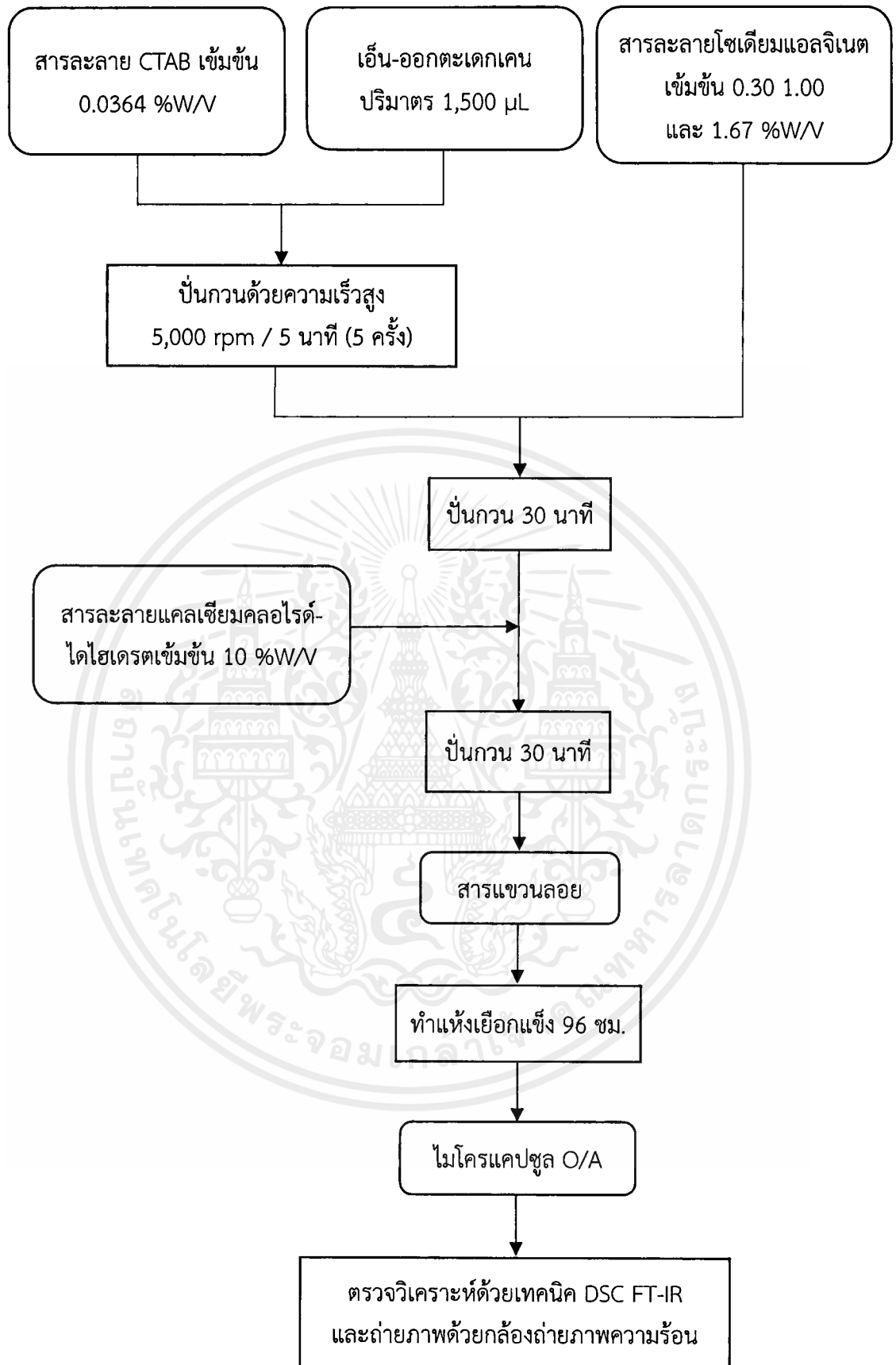
3.3.2 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต

1. เตรียมสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เข้มข้น 0.0364 % W/V โดยละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ปริมาณ 0.0364 g ในน้ำกลั่น 100 mL ทำการผสมเป็นเนื้อกัน
2. นำเอ็น-ออกตะเดคเคนปริมาตร 1,500 μ L เติมลงในสารละลายในข้อ 1.
3. นำสารแขวนลอยในข้อ 2. ไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนความเร็วสูง (Homogenizer) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ทำซ้ำ 5 รอบ)
4. เตรียมสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 0.30 1.00 และ 1.67 %W/V โดยละลายโซเดียมแอลจีเนตปริมาณ 0.1 0.3 และ 0.5 g ในน้ำกลั่น 30 mL
5. นำสารแขวนลอยในข้อ 3. เทลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
6. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตเข้มข้น 10 %W/V โดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตปริมาณ 3.0 g ในน้ำกลั่น 30 mL
7. นำสารแขวนลอยในข้อ 5. เทใส่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
8. นำสารผลิตภัณฑ์ไปเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้ไมโครแคปซูล O/A แล้วนำไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งวิธีการทดลองและสารตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต

สารตัวอย่าง	เอ็น-ออกตะเดคเคน (μ L)	CTAB (g)	โซเดียมแอลจีเนต (g)
O1.5/A0.1/C0.03	1,500	0.0364	0.1
O1.5/A0.3/C0.03	1,500	0.0364	0.3
O1.5/A0.5/C0.03	1,500	0.0364	0.5

- *หมายเหตุ : O หมายถึง เอ็น-ออกตะเดคเคน
A หมายถึง โซเดียมแอลจีเนต
C หมายถึง ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

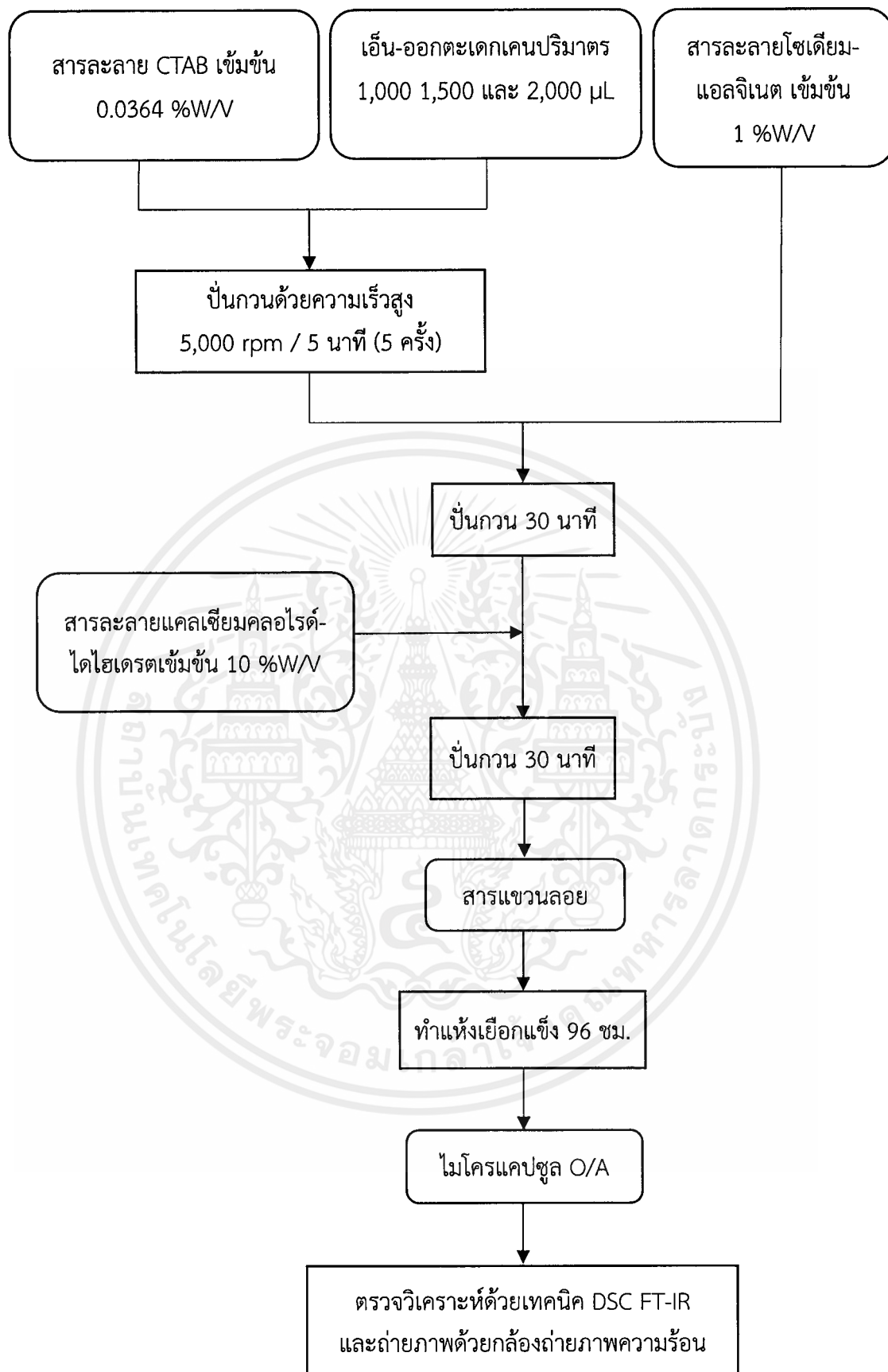
3.3.3 การเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยการปรับปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคน

1. เตรียมสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เข้มข้น 0.0364 %W/V โดยละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ปริมาณ 0.0364 g ในน้ำกลั่น 100 mL ทำการผสมเป็นเนื้อกัน
2. นำเอ็น-ออกตะเดกเคนปริมาณ 1,000 1,500 และ 2,000 μ L เติมลงในสารละลายในข้อ 1.
3. นำสารแขวนลอยในข้อ 2. ไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนความเร็วสูง (Homogenizer) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 5,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที (ทำซ้ำ 5 รอบ)
4. เตรียมสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 1 %W/V โดยละลายโซเดียมแอลจีเนตปริมาณ 0.3 g ในน้ำกลั่น 30 mL
5. นำสารแขวนลอยในข้อ 3. เทลงในสารละลายโซเดียมแอลจีเนต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
6. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตเข้มข้น 10 %W/V โดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตปริมาณ 3.0 g ในน้ำกลั่น 30 mL
7. นำสารแขวนลอยในข้อ 5. เทใส่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต พร้อมทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที
8. นำสารผลิตภัณฑ์ไปเข้าเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze dry) เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้ไมโครแคปซูล O/A แล้วนำไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC FT-IR และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งวิธีการทดลองและสารตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของปริมาณเอ็น-ออกตะ-
เดกเคน

สารตัวอย่าง	เอ็น-ออกตะเดกเคน (μL)	CTAB (g)	โซเดียมแอลจินต (g)
O1.0/A0.3/C0.03	1000	0.0364	0.3
O1.5/A0.3/C0.03	1,500	0.0364	0.3
O2.0/A0.3/C0.03	2,000	0.0364	0.3

*หมายเหตุ : O หมายถึง เอ็น-ออกตะเดกเคน
A หมายถึง โซเดียมแอลจินต
C หมายถึง ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมไมโครแคปซูล O/A โดยการปรับปริมาณของเอ็น-ออกตะเดคเคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล O/A

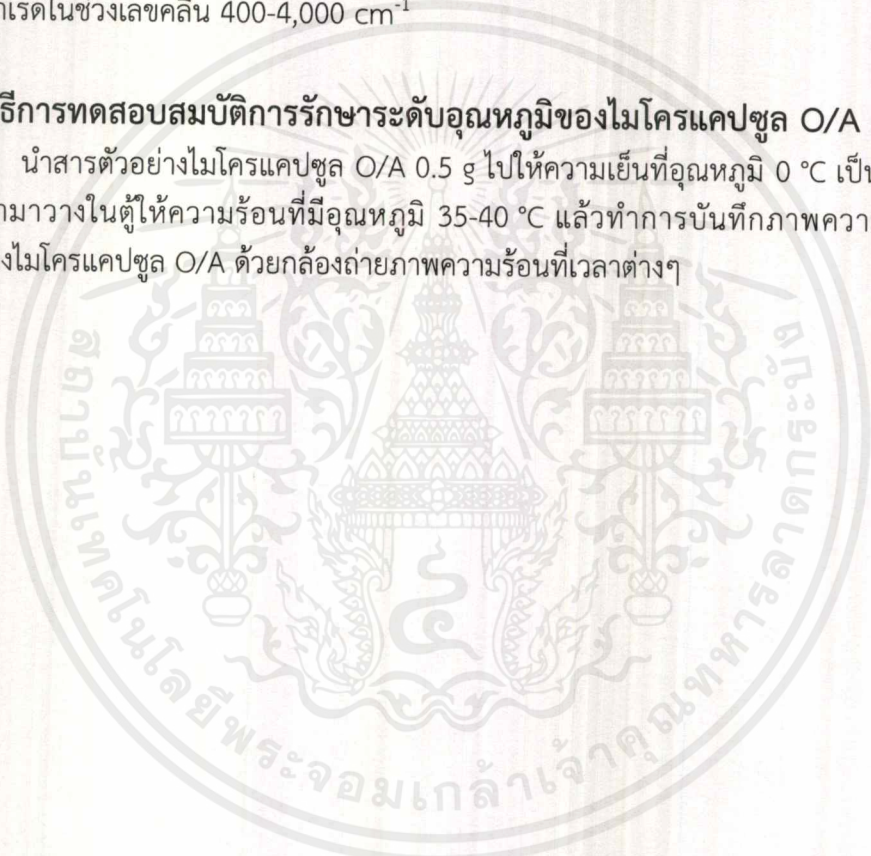
นำตัวอย่างไมโครแคปซูล O/A ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimetry, DSC) โดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 0–50 °C ใช้อัตราการให้ความร้อนและอัตราการเย็นตัว 10 °C/นาที ในบรรยากาศไนโตรเจน

3.5 วิธีการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไมโครแคปซูล O/A

นำตัวอย่างไมโครแคปซูล O/A ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR) โดยนำไมโครแคปซูล O/A ผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นแผ่น จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนอินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น 400-4,000 cm^{-1}

3.6 วิธีการทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A

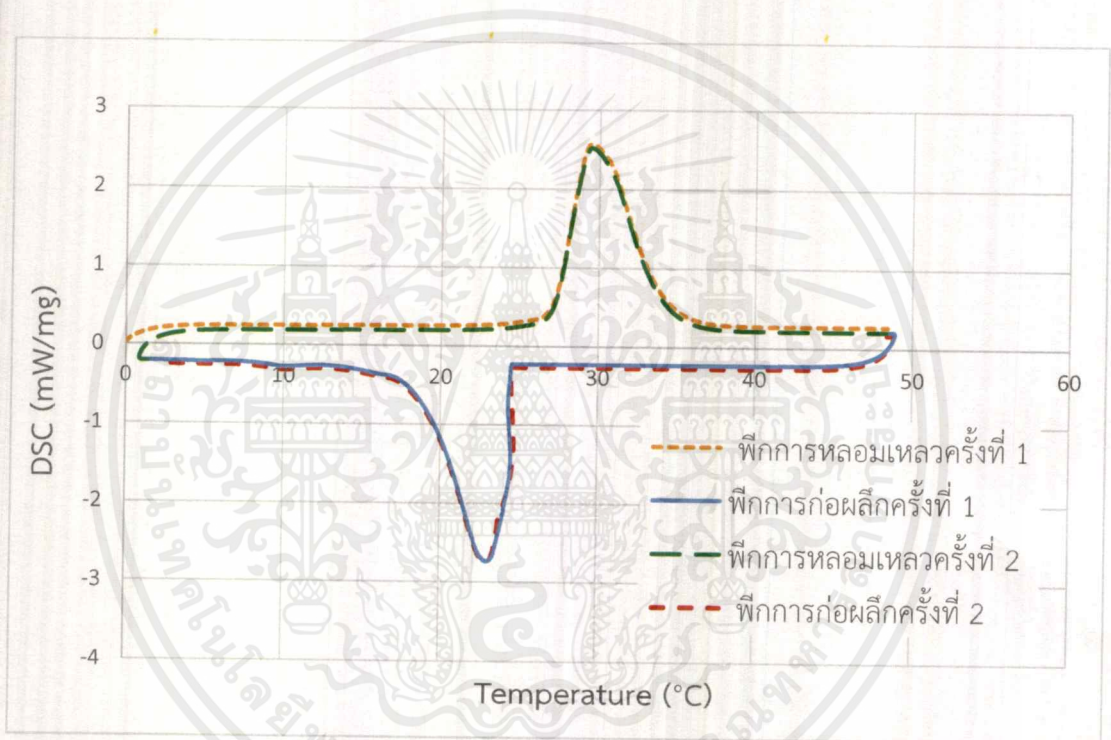
นำสารตัวอย่างไมโครแคปซูล O/A 0.5 g ไปให้ความเย็นที่อุณหภูมิ 0 °C เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมาวางในตู้ให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิ 35-40 °C แล้วทำการบันทึกภาพความร้อนของสารตัวอย่างไมโครแคปซูล O/A ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนที่เวลาต่างๆ



ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

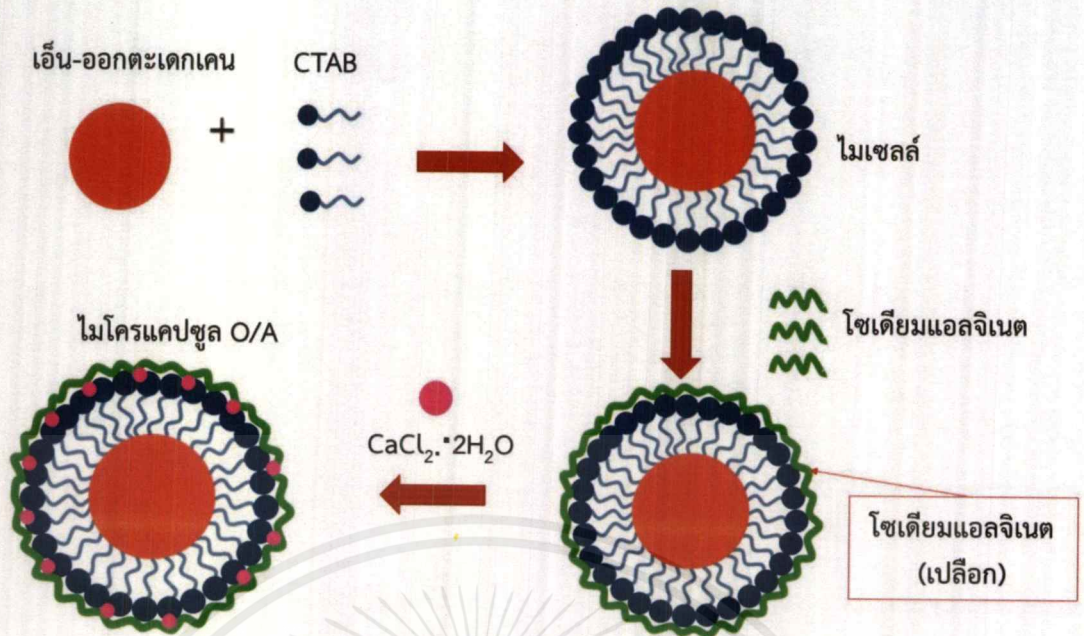
4.1 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล O/A

เมื่อนำไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนโดยใช้โซเดียมแอลจินेटเป็นวัสดุห่อหุ้ม (O/A) ที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) 0.0364 %W/V ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेट 1.67 %W/V และปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคน 1,500 μL มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการหลอมตัวและการก่อผลึกครั้งที่ 1 และ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB 0.0364 %W/V ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินेट 1.67 %W/V และปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคน 1,500 μL

จากรูปที่ 4.1 พบว่าพิกการหลอมเหลวและพิกการก่อผลึกครั้งที่ 1 และ 2 ของไมโครแคปซูล O/A มีตำแหน่งของพิกและรูปลักษณะของพิกที่ใกล้เคียงกัน ทำให้กราฟเกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเอ็น-ออกตะเดกเคนถูกห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลจึงมีเสถียรภาพเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นเมื่อเกิดการหลอมเหลวในครั้งที่ 1 เอ็น-ออกตะเดกเคนจึงไม่เกิดการสูญหายไป และสามารถแสดงพฤติกรรมทางความร้อนในลักษณะเดิมเมื่อเกิดการหลอมเหลวครั้งที่ 2 ทั้งนี้สันนิษฐานว่าลักษณะของไมโครแคปซูล O/A ที่เกิดขึ้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงกลไกการเกิดไมโครแคปซูล O/A

จากรูปที่ 4.2 เอ็น-ออกตะเดกเคนซึ่งเป็นวัสดุเปลี่ยนวฏภาคที่ไม่มีขั้วถูกห่อหุ้มภายในไมเซลล์ที่ใช้ CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้าง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่มีขั้วซึ่งมีประจุบวก และส่วนที่ไม่มีขั้ว ซึ่ง CTAB จะหันส่วนที่มีขั้วออกด้านนอก และหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาเอ็น-ออกตะเดกเคน จากนั้นใช้โซเดียมแอลจิเนตที่มีประจุลบทำการห่อหุ้มไมเซลล์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกระหว่างประจุบวกของ CTAB และประจุลบของโซเดียมแอลจิเนต จากนั้นแช่ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะไอออนิกระหว่างประจุลบของโซเดียมแอลจิเนต และประจุบวกของแคลเซียมไอออน ส่งผลให้เปลือกไมโครแคปซูล O/A คงสภาพมากขึ้น

เมื่อนำไมโครแคปซูล O/A ที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจิเนต และปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่แตกต่างกัน มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ซึ่งได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิลิโคไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน

สารตัวอย่าง	CTAB (%W/V)	ความเข้มข้นของ CTAB	T_m , peak (°C)	T_m , onset (°C)	ΔH_m (J/g)	T_c , peak (°C)	T_c , onset (°C)	ΔH_c (J/g)	Encapsulation efficiency (%)
n-Octadecane	n/a**	n/a**	31	27	150	22	25	152	n/a**
O1.5/A0.3/C0.01	0.0182	0.5 CMC	30	27	19	21	24	14	11
O1.5/A0.3/C0.03	0.0364	1.0 CMC	30	27	38	22	24	37	25
O1.5/A0.3/C0.07	0.0729	2.0 CMC	30	26	17	21	23	7	8
O1.5/A0.3/C0.16	0.1640	4.5 CMC	30	27	18	n/a**	n/a**	n/a**	n/a**
O1.5/A0.3/C0.32	0.3280	9.0 CMC	30	27	16	n/a**	n/a**	n/a**	n/a**
O1.5/A0.3/C0.54	0.5467	15.0 CMC	29	28	4	n/a**	n/a**	n/a**	n/a**

* หมายถึง : O หมายถึง เอ็น-ออกตะเดเคน S หมายถึง โซเดียมแอลจีเนต C หมายถึง ซิลิโคไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

** หมายถึง : n/a หมายถึง ทาค่าไม่ได้เนื่องจากกราฟยังไม่สมบูรณ์

ในการคำนวณค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกของเอ็น-ออกตะเดเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลมีค่าต่ำกว่าค่าจริง เนื่องจากค่าน้ำหนักของสารตัวอย่างประกอบด้วยวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดเคนและวัสดุเปลือกโซเดียมแอลจีเนต

● ผลของความเข้มข้นของสารละลาย CTAB

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB ต่างกัน พบว่า อุณหภูมิการหลอมเหลวของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลที่ตำแหน่งเริ่มต้นพีก (T_m , onset) มีอุณหภูมิมอยู่ในช่วง 26-28 °C และอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ตำแหน่งกึ่งกลางพีก (T_m , peak) มีอุณหภูมิมอยู่ในช่วง 29-30 °C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มที่มี T_m , onset เท่ากับ 27 °C และมี T_m , peak เท่ากับ 31 °C และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการก่อผลึกของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลที่ตำแหน่งเริ่มต้นพีก (T_c , onset) มีอุณหภูมิมอยู่ในช่วง 23-24 °C และอุณหภูมิการก่อผลึกที่ตำแหน่งกึ่งกลางพีก (T_c , peak) มีอุณหภูมิมอยู่ในช่วง 21-22 °C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มที่มี T_c , onset เท่ากับ 25 °C และมี T_c , peak เท่ากับ 22 °C พฤติกรรมดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากแคปซูล O/A ที่เกิดขึ้นมีขนาดอยู่ในระดับไมครอน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณระหว่างวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดกเคนเทียบกับปริมาณวัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มโซเดียมแอลจีเนต สันนิษฐานว่าเอ็น-ออกตะเดกเคนมีสัดส่วนปริมาณมากกว่าโซเดียมแอลจีเนต ดังนั้นเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลจึงมีพฤติกรรมทางความร้อนใกล้เคียงกับเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้ม

ในตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้สารละลาย CTAB ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลจะมีค่าต่ำกว่าเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูล สารตัวอย่างที่นำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC มีทั้งวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดกเคน และวัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มโซเดียมแอลจีเนต สัดส่วนของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกตรวจวิเคราะห์จึงมีปริมาณน้อยกว่าการตรวจวิเคราะห์เอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้ม

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.01 ซึ่งใช้ CTAB ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 เท่า ของความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (Critical micelle concentration, CMC) พบว่าค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของสารตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 ซึ่งใช้ CTAB ที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า CMC ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.01 มีปริมาณไมเซลล์ที่บรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคน (CTAB-O) น้อยกว่าสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) มีค่าน้อย จึงมีปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำกว่า

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CTAB ที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลสูงกว่าค่า CMC เป็น 2.0 4.5 9.0 และ 15.0 เท่า ในสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 O1.5/A0.3/C0.16 O1.5/A0.3/C0.32 และ O1.5/A0.3/C0.54 ตามลำดับ จะพบว่าแนวโน้มของค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย CTAB เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากปริมาณ CTAB ที่สูงกว่าค่า CMC ในสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 O1.5/A0.3/C0.16 O1.5/A0.3/C0.32 และ O1.5/A0.3/C0.54 อาจเกิดการก่อตัวของไมเซลล์ที่ภายในไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนบรรจุอยู่ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการหุ้มลดลง จึงมีปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะที่ลดต่ำกว่าสาร

ตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 ดังนั้นสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB เท่ากับค่า CMC จึงเป็นสารตัวอย่างที่ดีที่สุด

- ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ CTAB เข้มข้น 0.0364 %W/V และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตที่แตกต่างกัน



ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตต่างกัน

สารตัวอย่าง	โซเดียมแอลจินเต (%W/V)	T_m , peak (°C)	T_m , onset (°C)	ΔH_m (J/g)	T_c , peak (°C)	T_c , onset (°C)	ΔH_c (J/g)	Encapsulation efficiency (%)
n-Octadecane	n/a	31	27	150	22	25	152	n/a**
O1.5/A0.1/C0.03	0.30	30	28	34	22	23	33	22
O1.5/A0.3/C0.03	1.00	30	27	38	22	24	37	25
O1.5/A0.5/C0.03	1.67	30	27	61	21	24	60	40

* หมายถึง เอ็น-ออกตะเดเคน A หมายถึง โซเดียมแอลจินเต C หมายถึง ซิติลไตรเมทิลเอมโมเนียมโบรไมด์

** หมายถึง n/a หมายถึง หากไม่ได้เนื่องจากกราฟยังไม่สมบูรณ์

ในการคำนวณค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกของเอ็น-ออกตะเดเคนที่ถูกรักษาภายในไมโครแคปซูลมีค่าต่ำกว่าค่าจริง เนื่องจากค่านักของสารตัวอย่างประกอบด้วยวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดเคนและวัสดุเปลือกโซเดียมแอลจินเต

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตต่างกัน พบว่า T_m , onset T_m , peak T_c , onset และ T_c , peak มีอุณหภูมิอยู่ใกล้เคียงกับค่า T_m , onset T_m , peak T_c , onset และ T_c , peak ของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้ม ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนปริมาณระหว่างวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดกเคนมีปริมาณมากกว่าเทียบกับปริมาณวัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มโซเดียม-แอลจีเนตดังกล่าวข้างต้น แม้จะใช้ปริมาณโซเดียมแอลจีเนตแตกต่างกัน และในส่วนของค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลก็มีค่าต่ำกว่ากับเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มเช่นกัน เนื่องจากสารตัวอย่างที่นำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC มีทั้งวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเดกเคน และวัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มโซเดียมแอลจีเนตดังกล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสารตัวอย่าง O1.5/A0.1/C0.03 O1.5/A0.3/C0.03 และ O1.5/A0.5/C0.03 ซึ่งมีการปรับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ พบว่าค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของไมโครแคปซูล O/A มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตจะส่งผลให้เกิดการห่อหุ้มไมเซลล์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพในการหุ้มที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสารตัวอย่าง O1.5/A0.5/C0.03 เกิดการห่อหุ้มของไมเซลล์มากที่สุด ค่าประสิทธิภาพในการหุ้มจึงมากที่สุด

- ผลของปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ CTAB เข้มข้น 0.0364 %W/V และปรับเปลี่ยนปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) อุณหภูมิการก่อผลึก (T_c) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ของไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณเอ็น-ออกตะเตกเคนต่างกัน

สารตัวอย่าง	เอ็น-ออกตะเตกเคน (μL)	T_m , peak ($^{\circ}\text{C}$)	T_m , onset ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_m (J/g)	T_c , peak ($^{\circ}\text{C}$)	T_c , onset ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_c (J/g)	Encapsulation efficiency (%)
n-Octa decane	n/a	31	27	150	22	25	152	n/a**
O1.0/A0.3/ C0.03	1,000	30	27	43	22	23	38	27
O1.5/A0.3/ C0.03	1,500	30	27	38	22	24	37	25
O2.0/A0.3/ C0.03	2,000	30	28	31	21	23	29	20

* หมายถึง : O หมายถึง เอ็น-ออกตะเตกเคน S หมายถึง โซเดียมแอลจิเนต C หมายถึง ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโพรไมด์

** หมายถึง : n/a หมายถึง หาค่าไม่ได้เนื่องจากกราฟยังไม่สมบูรณ์

ในการคำนวณค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึกของเอ็น-ออกตะเตกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลมีค่าต่ำกว่าค่าจริง เนื่องจากค่าน้ำหนักของสารตัวอย่างประกอบด้วยวัสดุแกนกลางเอ็น-ออกตะเตกเคนและวัสดุเปลือกโซเดียมแอลจิเนต

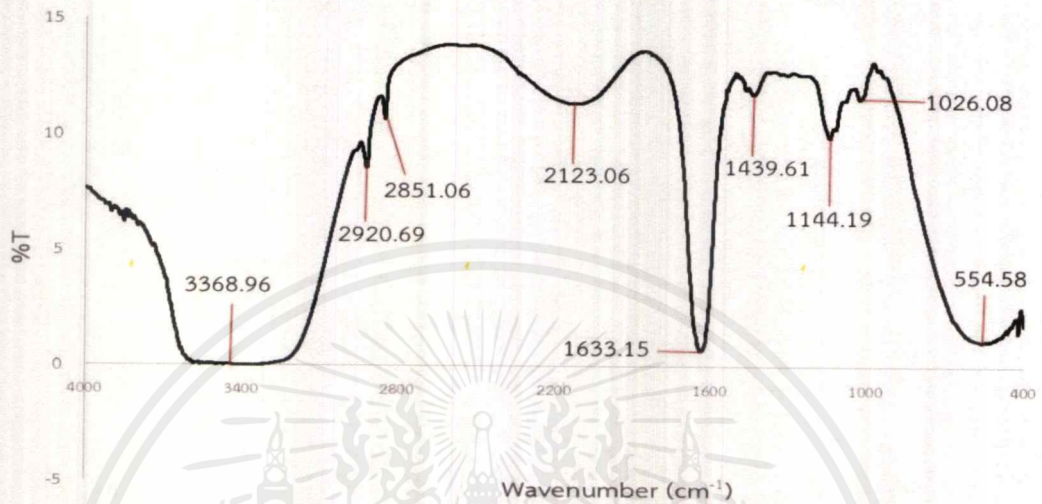
จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนต่างกัน พบว่า T_m , onset T_m , peak T_c , onset และ T_c , peak มีค่าเช่นเดียวกับสารตัวอย่างในปัจจัยศึกษาอื่น ๆ อยู่ในวงใกล้เคียงกับเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้ม และในส่วนของค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของไมโครแคปซูลก็มีค่าต่ำกว่าของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มเช่นกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสารตัวอย่าง O1.0/A0.3/C0.03 O1.5/A0.3/C0.03 และ O2.0/A0.3/C0.03 ซึ่งมีการปรับปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนเพิ่มขึ้นตามลำดับ พบว่าค่า ΔH_m และค่า ΔH_c ของไมโครแคปซูล O/A มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนจะส่งผลให้มีปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพในการหุ้มที่มีค่าลดลง ซึ่งสารตัวอย่าง O1.0/A0.3/C0.03 มีปริมาณเอ็น-ออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลน้อยที่สุด ค่าประสิทธิภาพในการหุ้มจึงมากที่สุด



4.2 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของไมโครแคปซูล O/A

การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันสำคัญของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนและไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.4 และตารางที่ 4.4-4.5



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคน

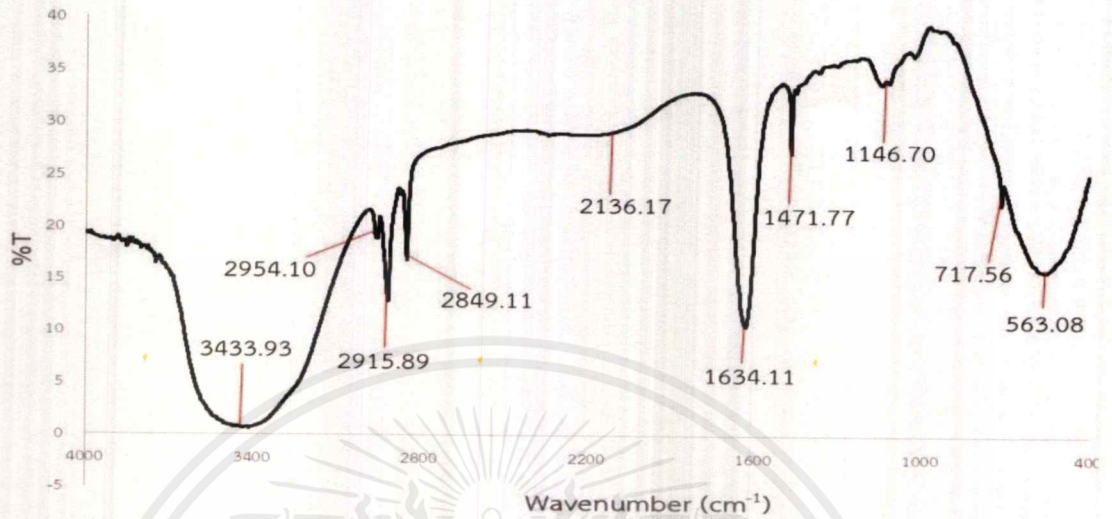
ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคน

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	
	โซเดียมแอลจีเนต	CTAB
O-H stretching	3200-3400	-
C-H stretching	2921, 2851	2921, 2851
C=O stretching	1633	-
C-N stretching	-	1440
C-H bending	1440	1440
C-O stretching	1144	-

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่าสเปกตรัม FT-IR ของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนจะปรากฏพีกที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสารตั้งต้นแต่ละตัว โดยสารตั้งต้นโซเดียมแอลจีเนตมีโครงสร้างสำคัญที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันอัลเคนและคาร์บอนิล (C=O) โดยที่สัญญาณของหมู่ C-H stretching และ C-H bending ปรากฏที่เลขคลื่น 2921 2851 และ 1440 cm⁻¹ ตามลำดับ สัญญาณของหมู่ O-H stretching ปรากฏที่เลขคลื่นในช่วง 3200-3400 cm⁻¹ ส่วนสัญญาณของ C=O stretching และ C-O stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 1633 และ 1144 cm⁻¹ ตามลำดับ และในส่วนของสารตั้งต้น CTAB มีโครงสร้างสำคัญที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันอัลเคนและเอมีน (-NH₂) โดยที่สัญญาณของหมู่ C-H stretching และ C-H bending ปรากฏที่เลขคลื่น 2921

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2851 และ 1440 cm^{-1} ตามลำดับ ส่วนสัญญาณของหมู่ C-N stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 1440 cm^{-1}



รูปที่ 4.4 สเปกตรัม FT-IR ของไมโครแคปซูล O/A

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญของไมโครแคปซูล O/A

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})		
	เอ็น-ออกตะ- เดกเคน	โซเดียม- แอลจีเนต	CTAB
O-H stretching	-	3200-3400	-
C-H stretching	2916, 2849	2915, 2849	2916, 2849
C=O stretching	-	1634	-
C-N stretching	-	-	1472
C-H bending	1472	1472	1472
C-O stretching	-	1147	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3-4.4 และตารางที่ 4.4-4.5 พบว่าสเปกตรัมของส่วนเปลือกไมโครแคปซูลที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคน และไมโครแคปซูล O/A มีตำแหน่งพีกของหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเอ็น-ออกตะเดกเคนและ CTAB มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว ส่งผลให้พีกของหมู่ฟังก์ชันอัลเคนของเอ็น-ออกตะเดกเคน และ CTAB เกิดการซ้อนทับกัน


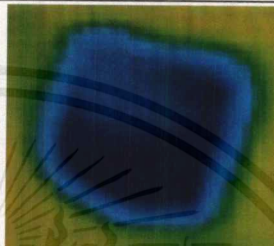
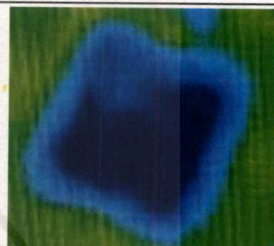


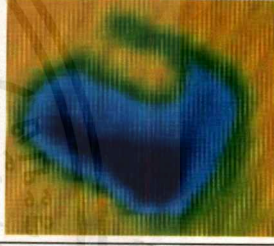
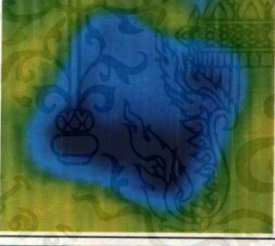
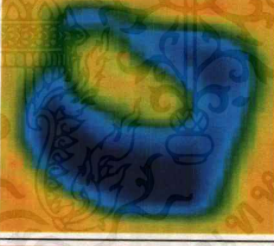
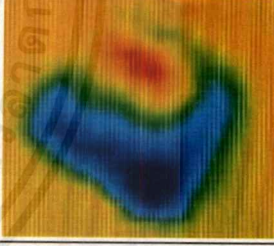

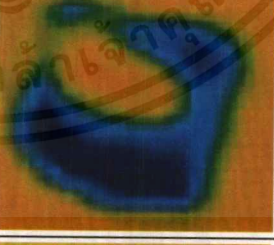
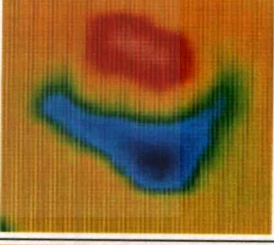
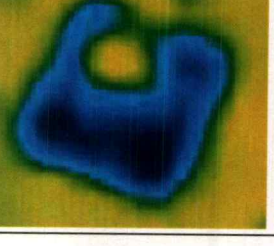
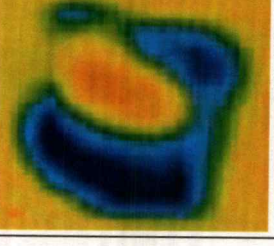
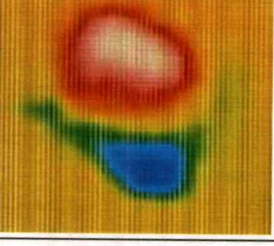


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A

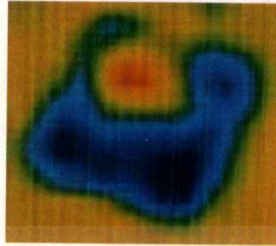
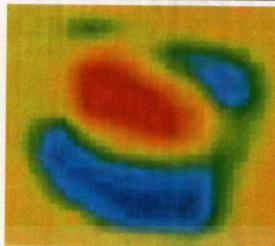
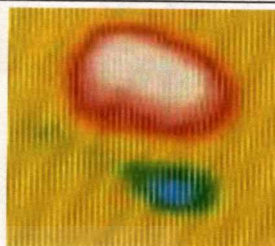
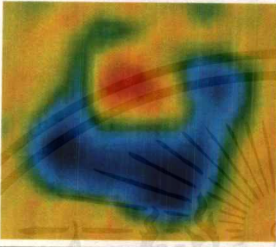
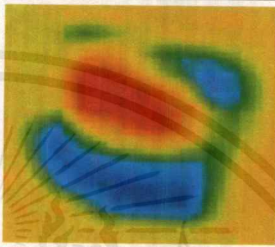
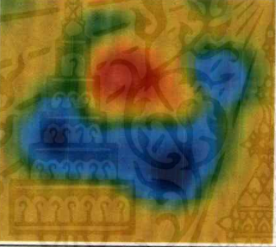

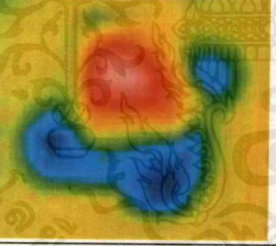
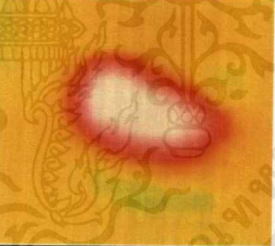
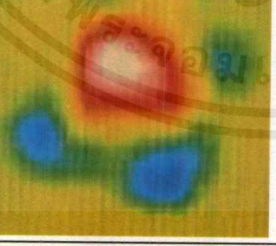
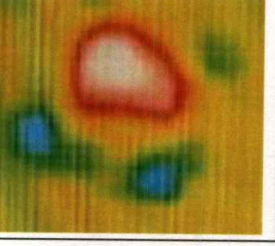
ในการศึกษาผลของการทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A เมื่อนำไมโครแคปซูล O/A ที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB ที่ต่างกัน ไปทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิ ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของไมโครแคปซูล O/A ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาท)	สารตัวอย่าง		
	O1.5/A0.3/C0.03	O1.5/A0.3/C0.07	O1.5/A0.3/C0.07 (Blank)
0			
1			
2			
3			
4			

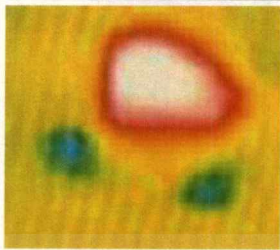
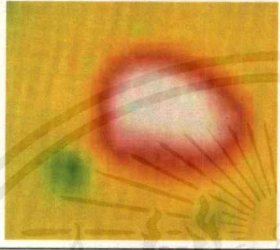
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	สารตัวอย่าง		
	O1.5/A0.3/C0.03	O1.5/A0.3/C0.07	O1.5/A0.3/C0.07 (Blank)
5			
6			
7			
8			
9			
10			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

เวลา (นาที)	สารตัวอย่าง		
	O1.5/A0.3/C0.03	O1.5/A0.3/C0.07	O1.5/A0.3/C0.07 (Blank)
11			
12			

เมื่อนำไมโครแคปซูล O/A ไปให้ความเย็น จะส่งผลให้เอ็น-ออกตะเดกเคนที่บรรจุภายในไมโครแคปซูล เกิดการคายความร้อนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมแล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง จากนั้นเมื่อนำไมโครแคปซูล O/A มาทดสอบสมบัติการรักษาระดับอุณหภูมิ โดยการนำไปใส่ในตู้ให้ความร้อน เอ็น-ออกตะเดกเคนก็จะดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อมแล้วเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ส่งผลให้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมลดต่ำลง ซึ่งไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย CTAB ที่ต่างกัน สามารถคงระดับอุณหภูมิได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีปริมาณไมโครแคปซูลที่บรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนในสัดส่วนปริมาณที่แตกต่างกัน

สารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 ที่เตรียมโดยใช้ CTAB ความเข้มข้นเท่ากับค่า CMC สามารถคงระดับอุณหภูมิได้ยาวนานกว่าสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 ที่เตรียมโดยใช้ CTAB ความเข้มข้น 2 เท่าของค่า CMC เนื่องจากสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 มีปริมาณไมโครแคปซูลที่บรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนในสัดส่วนที่มีปริมาณมากกว่า และเกิดการก่อกวนของไมเซลล์ที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนบรรจุอยู่ในน้อยกว่าสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 ซึ่งสอดคล้องกับค่า ΔH_m ค่า ΔH_c และประสิทธิภาพในการหุ้ม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ที่สารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.03 มีค่า ΔH_m ค่า ΔH_c และประสิทธิภาพในการหุ้มมากกว่าสารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 จึงส่งผลให้คงระดับอุณหภูมิได้ยาวนานกว่า

สารตัวอย่าง O1.5/A0.3/C0.07 (Blank) เป็นสารตัวอย่างที่ไม่มีเอ็น-ออกตะเดกเคนบรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูล อุณหภูมิของสารตัวอย่างจึงเปลี่ยนตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็ว ซึ่งใช้เวลา 5 นาที จะมีอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถเตรียมไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ในการเตรียมไมเซลล์ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต และปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคนในการเตรียมไมโครแคปซูล ซึ่งสภาวะในการเตรียมทั้งสามปัจจัยส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนที่เตรียมได้

ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดไมเซลล์ของเอ็น-ออกตะเดกเคน และการบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคนในไมโครแคปซูลที่มีโซเดียมแอลจีเนตเป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เท่ากับค่า CMC จะก่อให้เกิดไมโครแคปซูลของเอ็น-ออกตะเดกเคนที่มีค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และค่าประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) ที่สูงที่สุด และไมโครแคปซูลดังกล่าวมีความสามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานที่สุด

ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนตที่ใช้ในการสร้างเปลือกไมโครแคปซูล ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติและพฤติกรรมทางความร้อนของไมโครแคปซูลบรรจุเอ็น-ออกตะเดกเคน โดยในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต เท่ากับ 1.67 %W/V จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลที่มีค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และค่าประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) สูงที่สุด

ผลของปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคนเริ่มต้นที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูล โดยในกรณีที่ใช้ปริมาณของเอ็น-ออกตะเดกเคนเริ่มต้นเป็น 1,000 μL จะได้ไมโครแคปซูลที่มีค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (ΔH_m) ค่าความร้อนแฝงในการก่อผลึก (ΔH_c) และค่าประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency) สูงที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เกิดขึ้น

2) โซเดียมแอลจีเนตที่เป็นวัสดุเปลือกมีเสถียรภาพค่อนข้างต่ำ จึงควรปรับเปลี่ยนวัสดุเป็นชนิดอื่นที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น เพื่อความคงตัวของไมโครแคปซูล เช่น เป็นพอลิเมอร์ร่วมของโซเดียมแอลจีเนตกับพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดอื่น

3) ควรมีการทดสอบสมบัติความเป็นพิษต่อร่างกาย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในแผ่นปิดแผล

เอกสารอ้างอิง

- [1] สรัญญา จันทร์แดง. 2560. “การพัฒนาผ้าปรับสภาพความร้อนต้นแบบด้วยพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อน.” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์ และคณะ. 2556. “การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มด้วยวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ.” ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.).
- [3] กัมปนาท ทวลบุตรตา และธนิกานต์ แสงน้อม. 2556. “การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ที่ได้จากทรัพยากรทางทะเลในทางเภสัชกรรม.” วิทยาศาสตร์บูรพา. 18 (2) : 263-273.
- [4] Ben Welte. 2018. **Patent application: Prosthesis cooling system.** [Online]. Available : <http://www.puretemp.com/pcmatters/calendar/2018/2/page/3/>.
- [5] Bence Nemeth. *et al.* 2015. “Consolidated microcapsules with double alginate shell containing paraffin for latent heat storage.” *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 143(2015) : 397-405.
- [6] นิรนาม. 2557. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอิมัลชัน.** [Online]. Available : <http://ratiratbeautyandslim.weebly.com/blog/-emulsion>.
- [7] คณาจารย์ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2562. **สารเคมีในชีวิตประจำวัน.** [Online]. Available : <http://oldweb.pharm.su.ac.th/chemistry-in-life/d030.htm>.
- [8] วาสนา แยมเพ็ชร. 2559. “การกำจัดไพลีนอกจากดินปนเปื้อนด้วยสารละลายสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ.” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [9] อรรถพล มณีแดง. 2555. “อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมต่อสัณฐานวิทยาของนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอล.” ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [10] วรินดา วราพันธ์. 2553. “การเตรียมและศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิดโคโตซาน/อัลจิเนต-ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเป็นเจลสมานแผล.” วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [11] นิรนาม. 2560. **โซเดียม อัลจิเนต (Sodium alginate).** [Online]. Available : <http://www.tcs-mart.com/product/sodium-alginate/>.
- [12] วรายุทธ สะโงมแสง. 2558. **การเตรียมอนุภาคนาโนจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ.** [Online]. Available : <http://wsajomsang.blogspot.com/>.
- [13] Jie Luo. *et al.* 2016. “Emulsifying ability and cross-linking of silk fibroin microcapsules containing phase change materials.” *Solar Energy Materials and Solar cells.* 147(2016) : 144-149.

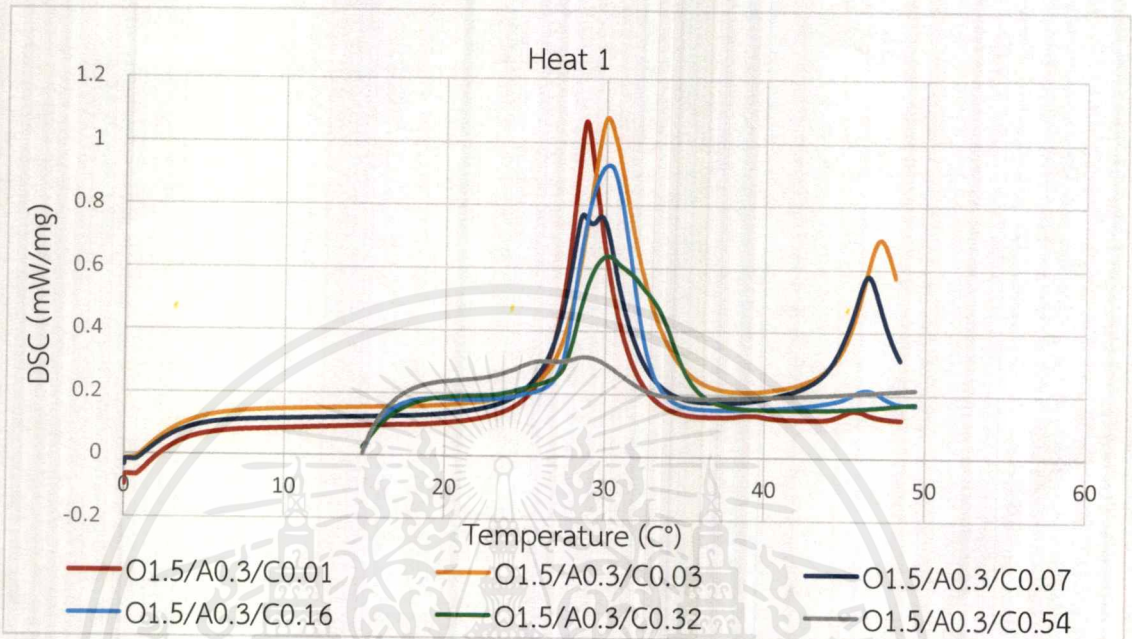
- [14] Bence Nemeth. *et al.* 2018. "Fully bio-originated latent heat storing calcium alginate microcapsules with high coconut oil loading." *Solar Energy*. 170(2018) : 314-322.
- [15] ศิริลักษณ์ นามวงศ์ และคณะ. 2557. "ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสัณฐานวิทยาของพอลิไดโวนิลเบนซีน ไมโครแคปซูลหุ้มออกตะเดเคน." *ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*.
- [16] Yuwanda lamphaojeen. *et al.* 2016. "Polyelectrolyte-Assisted Immobilization of Oil-Based Nanocapsules on Cotton Fabric." *Australian Journal of Chemistry*. 69(7) : 811-816.
- [17] Yuwanda lamphaojeen and Punnama Siriphannon. 2014. "Nanoencapsulation of n-Octadecane Phase Change Material in Self-Assembled Polyelectrolyte by Soft Solution Technique." *Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 63(2014) : 918-922.
- [18] นรินาม. 2012. **Phase-Change Materials for Hydronic Systems Update.** [Online]. Available : <https://wcec.ucdavis.edu/wcec-2012-affiliates-forum-exploring-the-barriers-and-solutions-for-hvac-energy-efficiency-acceptance-11/>.
- [19] Svajus Asadauskas and Henrikas Cesiulis. 2010. "Influence of Surfactants on Wetting and Colloidal Processes of Lubricant Emulsions on Metal Surfaces." *Surfactants in Tribology*. 2010(2) : 149-172.
- [20] Asif Matin. *et al.* 2016. "Reverse osmosis membranes surface-modified using an initiated chemical vapor deposition technique show resistance to alginate fouling under cross-flow conditions: Filtration & subsequent characterization." *Desalination*. 379(2016) : 108-117.



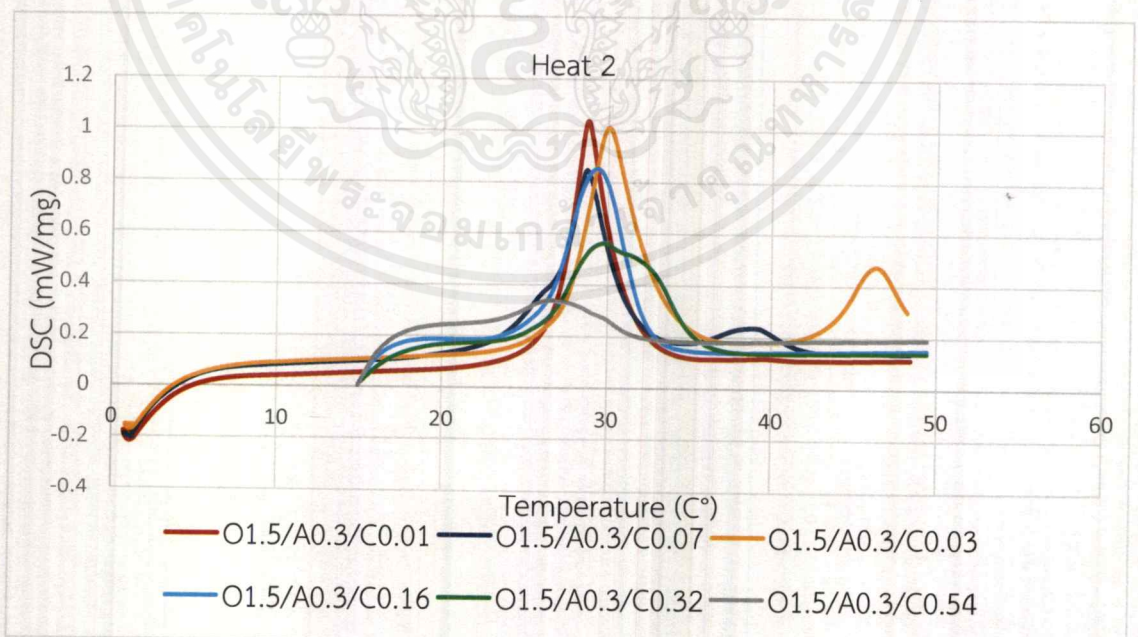
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เทอร์โมแกรม DSC ของไมโครแคปซูล OD/SA

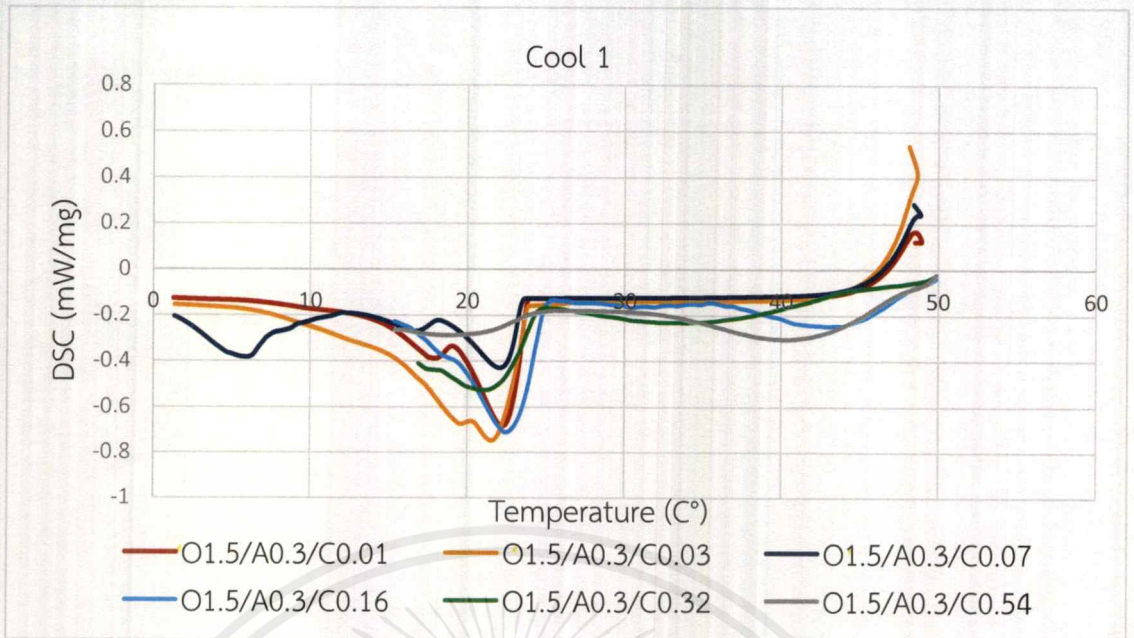


รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการหลอมเหลวครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน

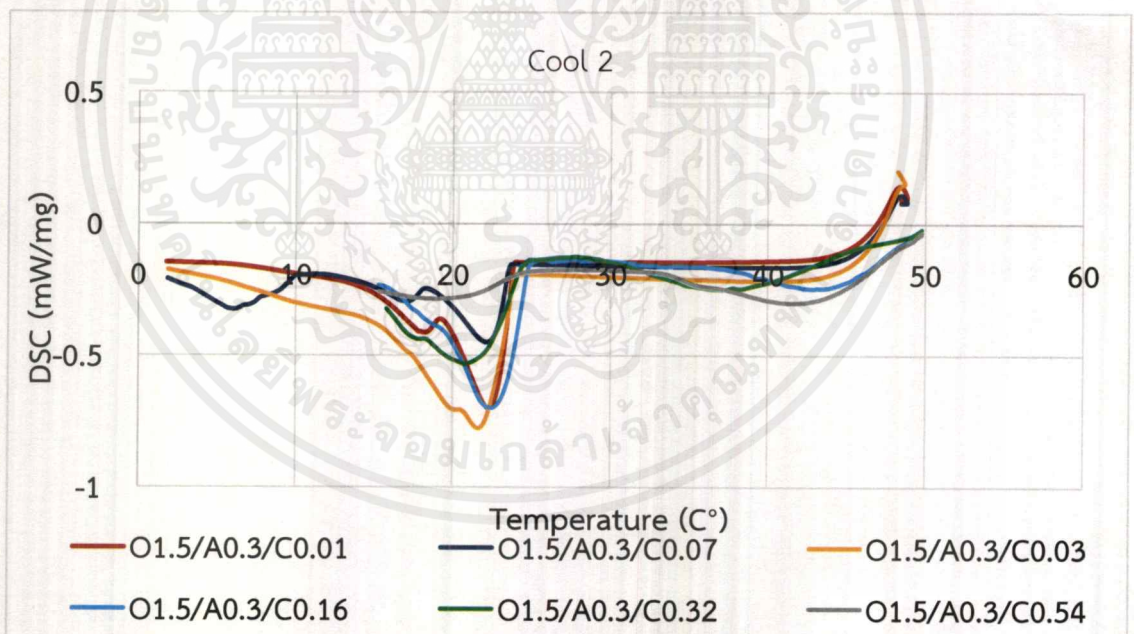


รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการหลอมเหลวครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

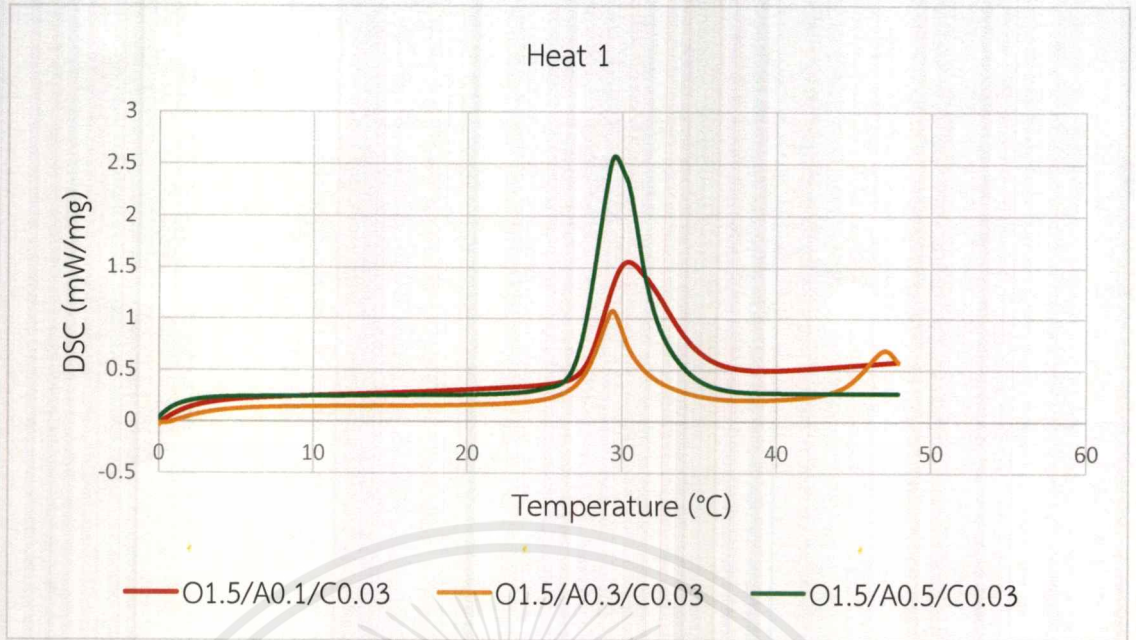


รูปที่ ก.3 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อผลึกครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายซิลิโคนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน

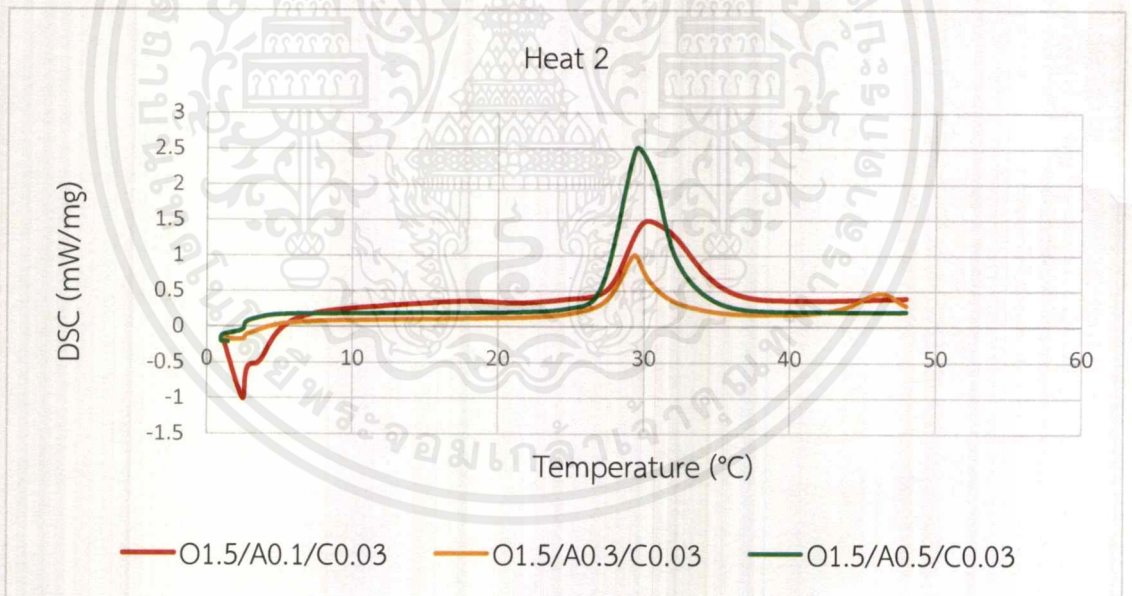


รูปที่ ก.4 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อผลึกครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายซิลิโคนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

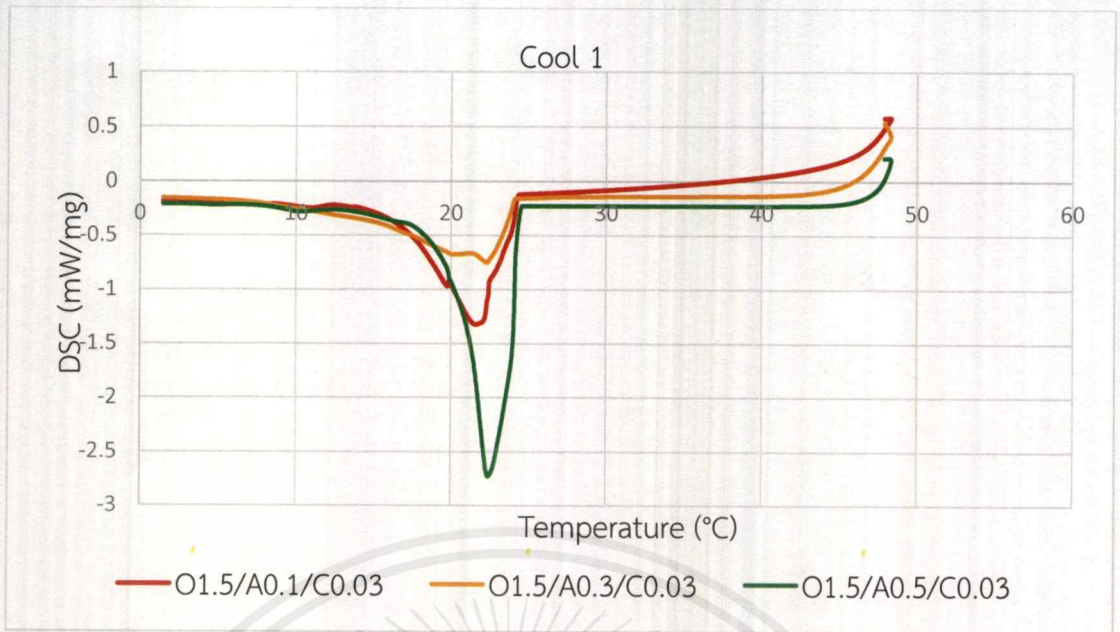


รูปที่ ก.5 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพีการหลอมเหลวครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเนตต่างกัน

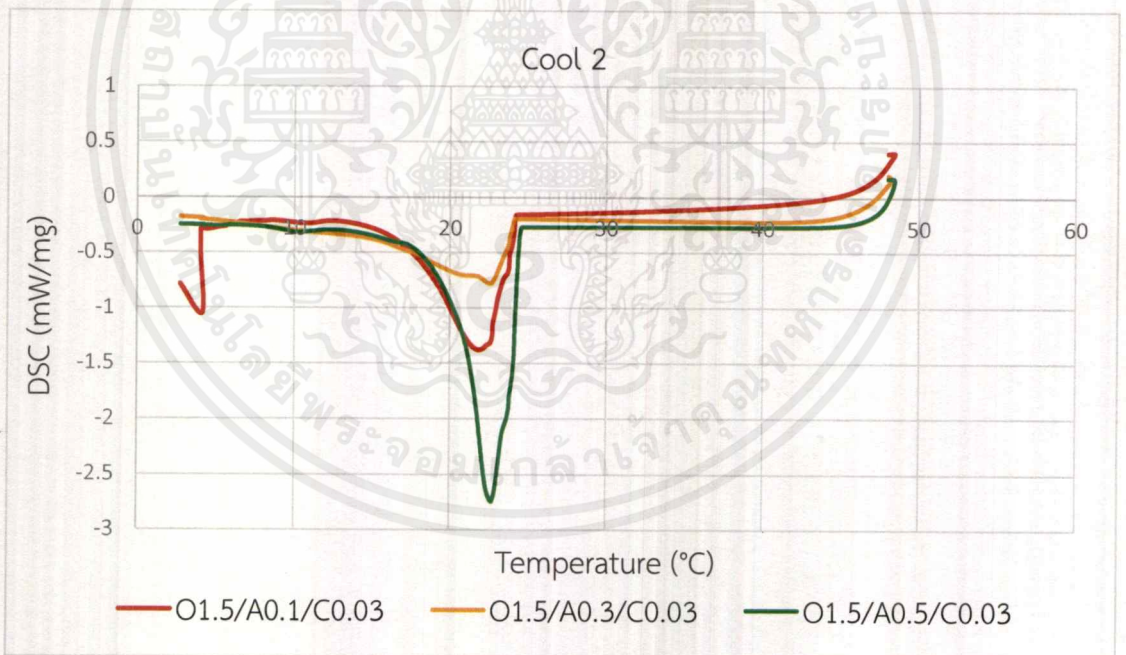


รูปที่ ก.6 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพีการหลอมเหลวครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเนตต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

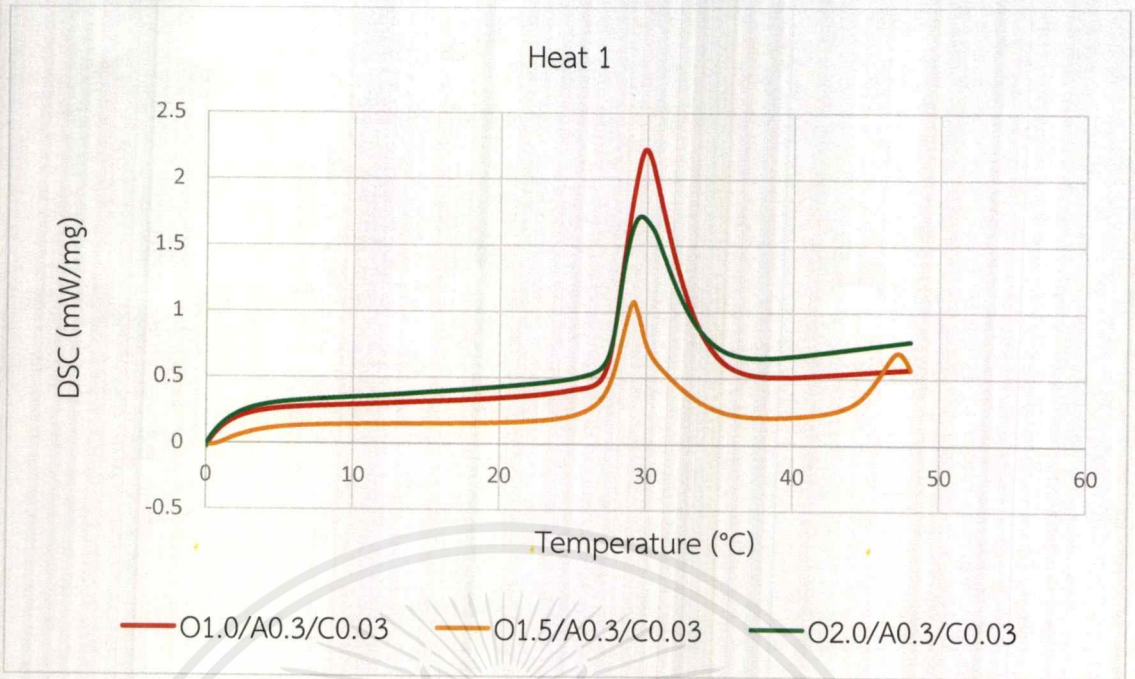


รูปที่ ก.7 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อกผลึกครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตต่างกัน

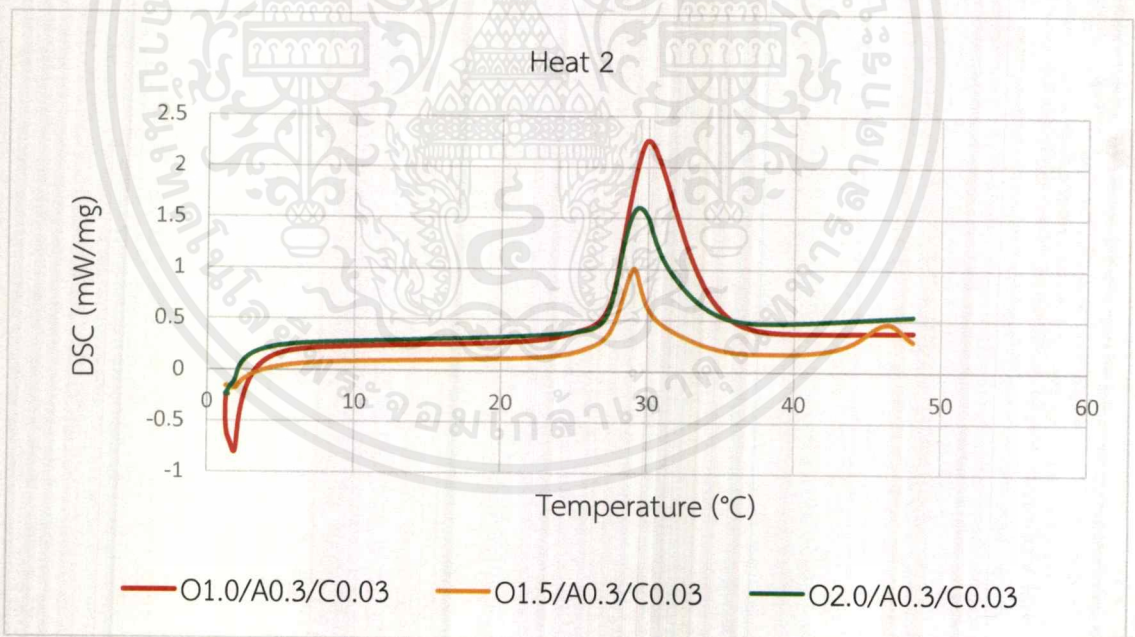


รูปที่ ก.8 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อกผลึกครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจินเตต่างกัน

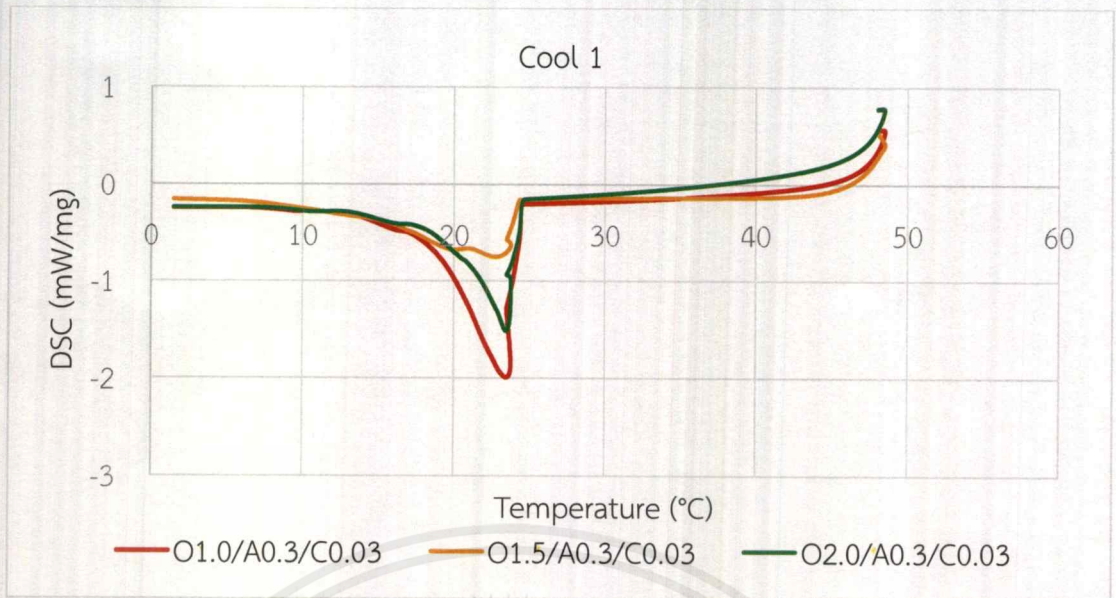
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



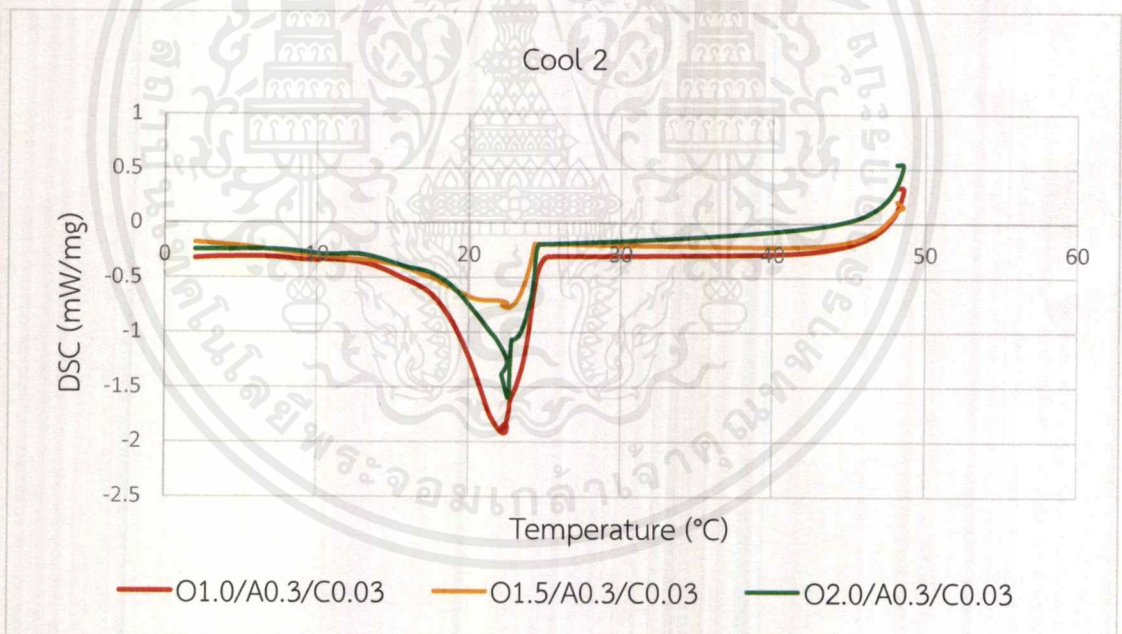
รูปที่ ก.9 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการหลอมเหลวครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีปริมาณ เอ็น-ออกตะเดคเคนต่างกัน



รูปที่ ก.10 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการหลอมเหลวครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มี ปริมาณเอ็น-ออกตะเดคเคนต่างกัน



รูปที่ ก.11 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อกผลึกครั้งที่ 1 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีปริมาณ เอ็น-ออกตะเดกเคนต่างกัน



รูปที่ ก.12 เทอร์โมแกรม DSC แสดงค่าพิกการก่อกผลึกครั้งที่ 2 ของไมโครแคปซูล O/A ที่มีปริมาณ เอ็น-ออกตะเดกเคนต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการหุ้ม (Encapsulation efficiency)

$$\text{Encapsulation efficiency (\%)} = \frac{\Delta H_{m\text{capsules}} + \Delta H_{c\text{capsules}}}{\Delta H_{m\text{PCM}} + \Delta H_{c\text{PCM}}} \times 100$$





งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2562

ข้าพเจ้า นางสาว พรพรรณ วรรณกิจ รหัสประจำตัว 58050509

นางสาว มณีรัตน์ เดชพลับ รหัสประจำตัว 58050529

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย ไมโครเอนแคปซูลเลขชั้นวัสดุเปลี่ยนวิญภาคเอน-ออกตะเดกเคนด้วยแอลจินตที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียม

ชื่อภาษาอังกฤษ MICROENCAPSULATION OF n-OCTADECANE PHASE CHANGE MATERIAL WITH CALCIUM CROSSLINKED ALGINATE

ปีการศึกษา 2561

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.72 %

ลงชื่อ.....นางพรพรรณ วรรณกิจ

ลงชื่อ.....มณีรัตน์ เดชพลับ

(นางสาวนางพรพรรณ วรรณกิจ)

(นางสาวมณีรัตน์ เดชพลับ)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้