

การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิ

PREPARATION OF POLYMER CAPSULE ENCAPSULATED  
JASMINE OIL

ปวีณา ตีกา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีนวัตกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะติ

ปวีณา ตีกา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีนวัตกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลีนาะลิ Preparation of Polymer Capsule Encapsulated Jasmine Oil
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวปวีณา ตีกา
สาขาวิชา	เคมีนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ, D.Eng.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัฐวรรณ กุปพิทยานันท์, วท.ค.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแฉ พงษ์สวัสดิ์, วท.ค.)

วันที่ 3 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2557

<b>Thesis Title</b>	Preparation of Polymer Capsule Encapsulated Jasmine Oil
<b>Name– Surname</b>	Miss Paweena Teeka
<b>Program</b>	Innovative Chemistry
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Preeyaporn Chaiyasat, Ph.D.
<b>Thesis Co-advisor</b>	Assistant Professor Amorn Chaiyasat, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2014

## ABSTRACT

In this research, the preparation of polymer capsules encapsulated methyl anthranilate (MA), a main component of jasmine essential oil, was studied. The capsules were prepared by the solvent evaporation technique for linear polymer shell and suspension polymerization for crosslink polymer shell for the different applications.

In the first part, the linear polymer capsule of polycarbonate (PC) encapsulated MA was prepared by the solvent evaporation technique using both conventional and phase inversion emulsification (PIE) techniques for the preparation of the oil droplets. It was found that using the conventional method for oil droplet generation at PC:MA of 2:1, the capsules were in micrometer size with broad particle size distribution (PSD) and approximately 26.66 % loading of MA. In the case of PIE, the prepared polymer capsule size was smaller closed to nanometer size with narrower PSD than that of the conventional. The loading percentage was slightly decreased to about 19.34. Then, PIE was selected for polymer capsule preparation. However, the obtained polymer capsules produced by this technique have low strength which suitable only for low strength application. In the Second part, the preparation of crosslinked poly(methylmethacrylate-co-ethyleneglycol dimethacrylate) (P(MMA-EGDMA)) capsule was carried out to enhance the polymer shell strength by the suspension polymerization for high shell strength application. The results showed that using P(MMA-EGDMA):MA at 1:1, the obtained capsules have spherical shape with 23.41 % encapsulation. After that, the control release of the encapsulated MA in polymer capsules at various times was studied for the fundamental data of the application. It was found that the amount of the encapsulated MA gradually decreased with time in 2 months.

Therefore, it can be concluded that the polymer capsules encapsulated MA were successfully prepared by both techniques for the different applications. The prepared capsules are able to control the release of MA.

**Keywords:** polymer capsule, methyl anthranilate, solvent evaporation, suspension polymerization



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิ
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปวีณา ตีกา
สาขาวิชา	เคมีนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายสำหรับเปลือกแคปซูลของพอลิเมอร์สายโซ่ตรง และการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขนวงลอยสำหรับเปลือกพอลิเมอร์แบบร่างแหเพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่แตกต่างกัน

ในส่วนที่หนึ่ง เป็นการเตรียมแคปซูลของเปลือกพอลิเมอร์สายโซ่ตรง คือ พอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยใช้วิธีการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมและแบบกลับวัฏภาค พบว่า การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมโดยใช้อัตราส่วนพอลิคาร์บอนเนตต่อเมทิลแอนทรานิเลท 2:1 ได้แคปซูลขนาดระดับไมโครเมตร มีการกระจายตัวที่กว้างและมีเปอร์เซ็นต์การบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทประมาณ 26.66 เปอร์เซ็นต์ ในการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดที่เล็กลงและใกล้เคียงระดับนาโนเมตร รวมทั้งมีการกระจายตัวที่แคบกว่าแบบดั้งเดิม โดยมีเปอร์เซ็นต์การบรรจุลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 19.34 เปอร์เซ็นต์ จึงเลือกเทคนิคการเตรียมหยดแบบกลับวัฏภาคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายนี้ เปลือกจะมีความแข็งแรงต่ำ จึงเหมาะกับงานที่ไม่ใช้ความแข็งแรงสูงมากนัก สำหรับงานที่สองเป็นการเตรียมพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต) แคปซูล ซึ่งเป็นพอลิเมอร์โครงร่างแห เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเปลือกของพอลิเมอร์โดยการสังเคราะห์แบบแขนวงลอยเพื่อนำไปใช้ในงานที่ต้องใช้ความแข็งแรงสูง จากผลการทดลองเมื่อใช้อัตราส่วนพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต) ต่อเมทิลแอนทรานิเลท เป็น 1:1 แคปซูลที่เตรียมได้มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีเปอร์เซ็นต์การบรรจุประมาณ 23.41 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการนำไป

ประยุกต์ใช้งานจริง พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเมทิลแอนทรานิเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลมีแนวโน้มค่อยๆลดลงในระยะเวลาสองเดือน

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทได้ทั้งสองเทคนิคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้สามารถควบคุมการปลดปล่อยเมทิลแอนทรานิเลทได้

**คำสำคัญ:** พอลิเมอร์แคปซูล เมทิลแอนทรานิเลท การระเหยตัวทำละลาย การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ปรีชาภรณ์ ไชยสัจย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ณัฐวรรณ คุปพิทยานันท์ กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปรีชาภรณ์ ไชยสัจย์และ ผศ.ดร. อมร ไชยสัจย์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการศึกษาและขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์คอลลอยด์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเรื่องสารเคมี อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่าง และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย จนกระทั่งมีวันนี้และขอบคุณเพื่อน ๆ กลุ่มพอลิเมอร์คอลลอยด์ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจจนประสบผลสำเร็จตามที่ได้หวังไว้



ปวีณา ตีกา



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	(5)
กิตติกรรมประกาศ .....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(11)
สารบัญภาพ.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	21
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	21
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	22
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	23
1.4 กรอบแนวความคิดของวิทยานิพนธ์ .....	23
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	25
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.1 น้ำมันหอมระเหย .....	26
2.2 เทคนิคการเอนแคปซูเลชัน .....	27
2.2.1 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันทางเคมี .....	28
2.2.2 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันทางกายภาพ .....	35
2.3 การควบคุมการปลดปล่อย .....	37
2.4 กระประยุกต์ใช้งานพอลิเมอร์แคปซูล.....	38
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	42
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	42
3.1.1 สารเคมี .....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	44
3.2 แผนผังของงานวิจัย.....	45
3.3 การทดลอง.....	47
3.3.1 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิคการระเหย ตัวทำละลาย.....	47
3.3.1.1 การเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม.....	47
3.3.1.2 การเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค.....	50
3.3.2 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิค การสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน.....	54
3.3.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลท.....	58
3.3.4 การศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูล.....	60
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	61
4.1 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิคการระเหย ตัวทำละลาย.....	61
4.1.1 การเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม.....	61
4.1.2 การเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค.....	74
4.2 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิคการ การสังเคราะห์แบบแขวนลอย.....	87
4.3 การปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูล.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
บรรณานุกรม.....	106
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานและโปสเตอร์.....	115
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูล.....	129

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค คำย่อ.....	138
ประวัติผู้เขียน.....	142



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท 2:1 โดยใช้ชนิดของตัวทำละลายที่แตกต่างกัน.....	49
ตารางที่ 3.2	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท 2:1 ใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน.....	49
ตารางที่ 3.3	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท.....	50
ตารางที่ 3.4	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นต่างๆของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นของสารละลายอินทรีย์โดยใช้น้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง.....	52
ตารางที่ 3.5	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นต่างๆของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นของสารละลายอินทรีย์โดยใช้ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง.....	52
ตารางที่ 3.6	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในชั้นของสารละลายอินทรีย์และที่ความเข้มข้นต่างๆของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต.....	53
ตารางที่ 3.7	สถานะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในชั้นของสารละลายอินทรีย์และโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณของแข็งที่แตกต่างกัน.....	54

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.8	สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ แขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่ม ปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน.....	56
ตารางที่ 3.9	สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ แขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอ- เมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน.....	57
ตารางที่ 3.10	สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ แขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่ม ปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ใช้เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต แตกต่างกัน.....	57
ตารางที่ 4.1	ปริมาณเมทิลแอนทราโนเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ประสิทธิภาพในการหุ้มและ ปริมาณการบรรจุเมทิลแอนทราโนเลทที่อัตราส่วนต่างๆ.....	73
ตารางที่ 4.2	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและ โดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์ แคปซูลที่เตรียมหดยสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและที่ความเข้มข้นของโซเดียม โดเดซิลซัลเฟตในชั้น น้ำที่แตกต่างกัน.....	81
ตารางที่ 4.3	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและ โดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์ แคปซูลที่เตรียมหดยสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่ปริมาณของแข็งที่แตกต่างกัน.....	83
ตารางที่ 4.4	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและ โดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์ แคปซูลที่เตรียมหดยสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่อัตราในการหดยสารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกัน.....	86
ตารางที่ 4.5	ปริมาณเมทิลแอนทราโนเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ประสิทธิภาพในการหุ้มและการ บรรจุเมทิลแอนทราโนเลท ที่อัตราในการหดยสารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต ลงใน ชั้นของสารละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกัน.....	87

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน.....	91
ตารางที่ 4.7	เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	93
ตารางที่ 4.8	เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆในการสังเคราะห์.....	95
ตารางที่ 4.9	ปริมาณและขนาดของอนุภาคพอลิเมอร์ในชั้นน้ำของการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน.....	96
ตารางที่ 4.10	ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท ต่างๆ โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง.....	97
ตารางที่ 4.11	การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์ในชั้นน้ำด้วยการสังเคราะห์แบบแวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ที่ปริมาณเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตที่แตกต่างกัน.....	101

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	ลักษณะของพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหย.....	22
ภาพที่ 2.1	เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันด้วยการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบง่าย.....	29
ภาพที่ 2.2	เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันโดยการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบเชิงซ้อน.....	29
ภาพที่ 2.3	เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยวิธีการเตรียมหดยด สารอินทรีย์แบบดั้งเดิม.....	31
ภาพที่ 2.4	เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยวิธีการเตรียมหดยด สารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค.....	31
ภาพที่ 2.5	การเอนแคปซูลเลชันด้วยการสังเคราะห์แบบควบแน่น.....	33
ภาพที่ 2.6	การเอนแคปซูลเลชันด้วยการสังเคราะห์แบบอินซิทู.....	33
ภาพที่ 2.7	การเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย.....	35
ภาพที่ 2.8	การเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชัน.....	35
ภาพที่ 2.9	การเอนแคปซูลเลชันด้วยเทคนิคการพ่นแห้ง.....	36
ภาพที่ 2.10	SEM micrograph ของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนที่เคลือบบนผ้าฝ้าย.....	39
ภาพที่ 3.1	การเตรียมพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์ แบบดั้งเดิม.....	48
ภาพที่ 3.2	การเตรียมพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์ แบบกลับวัฏภาค.....	51
ภาพที่ 3.3	การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบแขวนลอย .....	55
ภาพที่ 3.4	การหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูล.....	59
ภาพที่ 3.5	การศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูล.....	60
ภาพที่ 4.1	การทดสอบการละลายของพอลิคาร์บอนเนตและเมทิลแอนทรานิเลทใน (a) ทูโลอิน (b) เท- ตระไฮโครฟูแรน (c) ไดคลอโรมีเทนและ (d) คลอโรฟอร์ม.....	62
ภาพที่ 4.2	สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียม หดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม โดยใช้ตัวทำละลาย (a) ไดคลอโรมีเทนและ (b) คลอโรฟอร์ม .....	63

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.3 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ก่อน (a และ b) และหลัง (a' และ b') ระเหยตัวทำละลายโดยใช้ไดคลอโรมีเทน (a และ a') และคลอโรฟอร์ม (b และ b') .....63
- ภาพที่ 4.4 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (b) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และ (c) ไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์.....64
- ภาพที่ 4.5 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม โดยใช้ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และ (b) ไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์.....65
- ภาพที่ 4.6 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ที่มวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัมต่อโมล) (a) 50,000 (b) 100,000 และ (c) 120,000.....65
- ภาพที่ 4.7 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมก่อน (a -c) และหลัง (a' -c) ระเหยตัวทำละลาย โดยใช้มวลโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัมต่อโมล) (a และ a') 50,000 (b และ b') 100,000 และ (c และ c') 120,000.....66
- ภาพที่ 4.8 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ใช้มวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50,000 กรัมต่อโมล ที่เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์) (a) 70 (b) 80 (c) 90 และ (d)100.....68
- ภาพที่ 4.9 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ก่อน (a-b) และหลัง (a' - b') ระเหยตัวทำละลาย โดยใช้มวลโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 50,000 กรัมต่อโมล ที่เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์) (a และ a') 80 และ (b และ b') 90.....68



## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.10 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียม  
หยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท  
(a) 1:1 (b) 2:1 และ (c) 3:1.....69
- ภาพที่ 4.11 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการ  
เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมก่อน (a-c) และหลัง (a' - c') ระเหยไดคลอโรมีเทนที่  
อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท (a และ a') 1:1 (b และ b') 2:1  
และ (c และ c') 3:1.....70
- ภาพที่ 4.12 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการ  
เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรา-  
นิเลท (a) 1:1 (b) 2:1 และ (c) 3:1.....71
- ภาพที่ 4.13 TGA thermogram แสดงการสลายตัวของ (a) เมทิลแอนทรานิเลท (b) พอลิคาร์บอเนต  
และ (c) พอลิคาร์บอเนตแคปซูล ที่เตรียมด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายโดยการ  
เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม.....72
- ภาพที่ 4.14 การดูดกลืนแสงของ (—) ไดคลอโรมีเทน(—) พอลิคาร์บอเนต (—) สารละลาย  
มาตรฐานของเมทิลแอนทรานิเลทและ (—) พอลิเมอร์แคปซูล.....73
- ภาพที่ 4.15 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียม  
หยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้น  
น้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 5 (b) 9 และ (c) 16.....76
- ภาพที่ 4.16 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการ  
เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a -c) และหลัง (a' -c') ระเหยตัวทำละลาย  
ที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a  
และ a') 5 (b และ b') 9 และ (c และ c') 16.....76
- ภาพที่ 4.17 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียม  
หยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้น  
น้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 5 (b) 9 และ (c) 16 โดยใช้ไซเคียมโคเคซิลซิลเฟต  
0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....77

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.18 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'-c') ระเหยตัวทำละลายที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 9 และ (b และ b') 16 โดยใช้โซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....77
- ภาพที่ 4.19 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์ในชั้นน้ำมันและโซเดียมโคเดซิล 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำ.....78
- ภาพที่ 4.20 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและที่ความเข้มข้นของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 0.2 (b) 0.5 และ (c) 1.....79
- ภาพที่ 4.21 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'-c') ระเหยไดคโลโรมีเทนโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและความเข้มข้นของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 0.2 (b และ b') 0.5 และ (c และ c') 1 .....80
- ภาพที่ 4.22 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 6 (b) 11 และ (c) 18.....82
- ภาพที่ 4.23 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'-c') ระเหยไดคโลโรมีเทน ที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 6 (b และ b') 11 และ (c และ c') 18.....82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.24 อิสรโทแกรมแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยน้ำหนักและโดยจำนวนและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคหลังระเหยตัวทำละลาย ที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 6 (b) 11 และ (c) 18.....83
- ภาพที่ 4.25 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ (มิลลิลิตรต่ออนาที) (a) 2 (b) 5 และ (c) 8.....84
- ภาพที่ 4.26 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'- c') ระเหยไดคicloโรมีเทน ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ (มิลลิลิตรต่ออนาที) (a และ a') 2 (b และ b') 5 และ (c และ c') 8.....85
- ภาพที่ 4.27 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่อัตราเร็ว 8 มิลลิลิตรต่ออนาที ในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์.....86
- ภาพที่ 4.28 กลไกการเกิดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (a) 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาดีโรไนไทรล์) (b) เมทิลเมทาคริเลต และ (c) พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....88
- ภาพที่ 4.29 กลไกการเกิดพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต) (a) 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาดีโรไนไทรล์) (b) เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต และ (c) พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต).....89
- ภาพที่ 4.30 สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) (a) 1 (b) 3 และ (c) 5.....90

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.31 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลข 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) (a) 1 (b) 3 และ (c) 5.....91
- ภาพที่ 4.32 สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิต่างกัน (องศาเซลเซียส) (a) 40 และ (b) 60.....92
- ภาพที่ 4.33 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิต่างกัน (องศาเซลเซียส): (a) 40 และ (b) 60.....93
- ภาพที่ 4.34 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ (ชั่วโมง) (a) 4 (b) 6 และ (c) 8.....94
- ภาพที่ 4.35 สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ (ชั่วโมง) (a) 4 (b) 6 และ (c) 8.....96
- ภาพที่ 4.36 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมงที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลข (a) 1:1 และ (b) 2:1.....97
- ภาพที่ 4.37 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอนแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลข 1:1.....98

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.38	SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราณีเลขที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยที่ล้างด้วยเอทานอล อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราณีเลขที่ 1:1 หลังจากบดและล้างด้วยเอทานอล.....	98
ภาพที่ 4.39	Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราณีเลขที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราณีเลขที่ 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (เปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์) (a) 0 (b) 5 และ (c) 10.....	100
ภาพที่ 4.40	SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราณีเลขที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต 10 เปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์.....	100
ภาพที่ 4.41	TGA thermogram แสดงการสลายตัวของ (a) เมทิลแอนทราณีเลขที่ (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตและ (c) พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย.....	101
ภาพที่ 4.42	การปลดปล่อยของเมทิลแอนทราณีเลขที่ในพอลิเมอร์แคปซูล.....	103

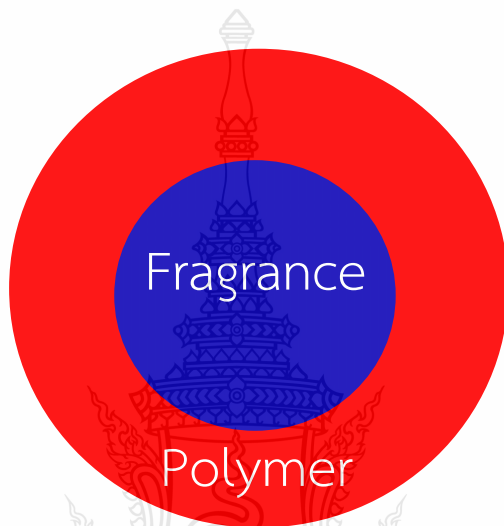
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน น้ำมันหอมระเหย (Essentials oil) ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สิ่งทอ [1, 2] เครื่องสำอาง [3] อาหาร [4, 5] และการทำสுகนธบำบัด [6] (Aromatherapy) โดยน้ำมันหอมระเหยเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเองโดยธรรมชาติมีส่วนประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ เทอปีน (Terpens) และ โพรพานอยด์ (Propanoids) [3] มีสมบัติเด่น คือ มีกลิ่นหอม โดยแต่ละกลิ่นจะมีสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสรรพคุณของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด เช่น น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากมะลิจะให้ความรู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่า ส่วนลาเวนเดอร์จะให้ความรู้สึกผ่อนคลายความตึงเครียดของร่างกายและจิตใจ แต่การใช้น้ำมันหอมระเหยโดยตรงมีข้อจำกัด คือ ระเหยง่าย ทำปฏิกิริยาต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ความร้อน (Heat) แสงแดด (Sunlight) และอากาศ (Air) [7] ได้รวดเร็วส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยสลายตัวได้เร็ว มีการเก็บกักกลิ่นหอมได้น้อย จึงไม่เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานโดยตรง วิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวคือ การนำพอลิเมอร์มาหุ้มน้ำมันหอมระเหย (Encapsulation) เป็นพอลิเมอร์แคปซูล ดังภาพที่ 1.1 เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันหอมระเหยแพร่สู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเร็วเกินไป เป็นการเพิ่มเวลากักเก็บกลิ่นและควบคุมการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหยได้ดียิ่งขึ้น โดยมีพอลิเมอร์เป็นเปลือก (Shell) และน้ำมันหอมระเหยเป็นแกน (Core) ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมน้อยมากในปัจจุบัน การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลมีหลายเทคนิคด้วยกันเช่น การพ่นแห้ง (Spray-drying) [8, 9] การตกตะกอนแบบกลับเฟส (Phase inversion precipitation) [10, 11] การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coacervation) [12-14] และการพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างรอยต่อพื้นผิว (Interfacial polymerization) โดยแต่ละเทคนิคมีความยากง่ายที่แตกต่างกัน บางเทคนิคมีค่าใช้จ่ายที่สูงและมีวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก พัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมได้ยาก นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการหุ้มน้ำมันหอมระเหยค่อนข้างต่ำ เทคนิคหนึ่งที่ยังสะดวกและต้นทุนต่ำคือ เทคนิคการระเหยตัวทำละลาย (Solvent evaporation) ซึ่งเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคนี้ เปลือกของพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากจะสามารถเตรียมได้เฉพาะกับพอลิเมอร์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เท่านั้น คือ พอลิเมอร์สายโซ่ตรง (Linear polymer) และพอลิเมอร์แบบกิ่งก้าน (Branch

polymer) ซึ่งแคปซูลที่เตรียมจากพอลิเมอร์เหล่านี้จะเหมาะกับการประยุกต์ใช้ในงานบางประเภทที่ไม่ต้องมีความแข็งแรงมาก หากต้องการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อใช้งานเฉพาะทาง เช่น พอลิเมอร์แคปซูลที่ใช้พอลิเมอร์ร่างแห (Crosslinked polymer) เป็นเปลือก จำเป็นต้องใช้เทคนิคการสังเคราะห์ เช่นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย (Suspension polymerization)



ภาพที่ 1.1 ลักษณะของพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลให้มีประสิทธิภาพในการหุ้มน้ำมันหอมระเหยได้สูงที่สุดสองวิธี วิธีที่หนึ่งเป็นการเตรียมที่ง่าย สะดวก ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์สายโซ่ตรงและวิธีที่สองเป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยสำหรับพอลิเมอร์ร่างแห เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ต่อการนำไปพัฒนาสู่อุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้ในงานที่หลากหลาย โดยจะเลือกใช้เมทิลแอนทรานิลเลท (Methyl anthranilate: MA) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิเป็นแกน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิลเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายและการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลแบบแขวนลอย

1.2.2 ศึกษาสมบัติของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

1.2.3 ศึกษาการปลดปล่อยของเมทิลแอนทรานิลเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้

### 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม (Conventional emulsification method) และแบบกลับวัฏภาค (Phase inversion emulsification method)

1.3.2 ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน (Internal phase separation) หยดพอลิเมอร์

1.3.3 ศึกษาสมบัติต่างๆของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ เช่น รูปร่างและพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM) ขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการวัดการกระเจิงแสง (Dynamic light scattering; DLS) องค์ประกอบของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric analysis: TGA) และประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer)

1.3.4 ศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูลโดยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### 1.4 กรอบแนวความคิดของวิทยานิพนธ์

เทคนิคการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลโดยที่มีพอลิเมอร์เป็นเปลือกหุ้มน้ำมันหอมระเหยที่อยู่แกนกลางมีอยู่หลายวิธี เทคนิคหนึ่งที่มีความนิยมคือ เทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยจะมีการเตรียมหยดสารอินทรีย์อยู่สองวิธี วิธีแรกเป็นการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม คือนำพอลิเมอร์และน้ำมันหอมระเหยมาละลายเป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสม จากนั้นนำไปเติมลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแล้วปั่นด้วยใบพัดก็จะได้อิมัลชันของหยดสารอินทรีย์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อระเหยตัวทำละลายออกจะได้พอลิเมอร์แคปซูล โดยที่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่มาที่ผิวหยดกลายเป็นเปลือกหุ้มน้ำมันหอมระเหยเอาไว้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก แต่พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ไม่เป็นระเบียบ มีรูพรุน ขนาดอนุภาคอยู่ในระดับไมโครเมตร และมีการกระจายตัวที่กว้าง (Broad particles size distribution) ส่วนวิธีการที่สองเป็นการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ซึ่งวิธีการนี้สามารถปรับปรุงให้มีการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลที่แคบลงได้ โดยนำพอลิเมอร์ น้ำมันหอมระเหยและสารลดแรงตึงผิวมาละลายเป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วนำไปปั่นด้วยใบพัด ในขณะที่ปั่น ค่อยๆหยดน้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวอีกชนิด



หนึ่งด้วยอัตราการผลิตที่ลงในชั้นน้ำมัน ในช่วงแรกจะได้มีลชั้นของหยดน้ำที่กระจายตัวอยู่ในน้ำมัน (Water in oil; W/O) หลังจากนั้นเมื่อปริมาณของสารละลายสารลดแรงตึงผิวมากกว่าชั้นน้ำมัน จะเกิดการกลับวัฏภาคกลายเป็นอิมัลชันของหยดน้ำมันในน้ำ (Oil in water; O/W) เมื่อนำไปประเหตต์ ทำละลายจะได้พอลิเมอร์แคปซูลที่มีขนาดลดลง อนุภาคมีการกระจายตัวที่แคบ เนื่องจากการที่ละลายสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นของสารอินทรีย์ทำให้สารลดแรงตึงผิวใช้เวลาน้อยในการเคลื่อนที่มาอยู่ระหว่างผิวเทียบกับการละลายสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นน้ำ นอกจากนี้การที่ค่อยๆเติมเฟสต่อเนื่องลงไปชั้นของสารละลายอินทรีย์ ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีเวลามากพอในการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบสูงที่รอยต่อระหว่างผิว แต่พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในบางงานเท่านั้น เนื่องจากจะสามารถเตรียมได้เฉพาะกับพอลิเมอร์ที่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เท่านั้น คือ พอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรงและแบบกิ่งก้าน จึงทำให้เปลือกของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงมากนัก หากต้องการเพิ่มความแข็งแรงของเปลือกแคปซูลโดยใช้พอลิเมอร์ร่างแหเป็นเปลือก จะต้องใช้เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลในระบบกระจายในน้ำซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เทคนิคที่นิยมใช้เตรียมพอลิเมอร์แคปซูล คือ เทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่มีกลไกการสังเคราะห์เกิดภายในหยดมอนอเมอร์ (Droplet nucleation) พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรแต่ต้องใช้แรงเฉือนสูงในการทำให้เกิดหยดมอนอเมอร์ เริ่มต้นนำมอนอเมอร์ผสมกับน้ำมันหอมระเหยและตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) เรียกว่า วัฏภาคอินทรีย์ (Organic phase) นำไปกระจายในสารละลายของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) เพื่อที่จะเตรียมหยดมอนอเมอร์ จากนั้นนำไปสังเคราะห์ระหว่างการสังเคราะห์ (มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์) ความยาวสายโซ่พอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆภายในหยดมอนอเมอร์ทำให้ความสามารถในการเข้ากัน (Miscibility) ของพอลิเมอร์กับน้ำมันหอมระเหยค่อยๆลดลงจนถึงค่าความยาววิกฤต (Critical chain length) พอลิเมอร์ไม่สามารถละลายเข้ากันกับน้ำมันหอมระเหยได้อีก จึงทำให้เกิดการแยกวัฏภาคภายใน โดยที่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกของหยดมอนอเมอร์เกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูล เทคนิคนี้จะเป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลในขั้นตอนเดียว ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก ใช้เวลาน้อยในการเกิดเปลือกแคปซูลน่าจะทำให้การสูญเสียน้ำมันหอมระเหยในระหว่างขั้นตอนการทดลองน้อยจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการหุ้มสูง และสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบทำให้เก็บกักกลิ่นได้นาน โดยพอลิเมอร์ที่จะนำมาใช้เป็นเปลือกหุ้มน้ำมันหอมระเหยจะต้องมีความเป็นขี้มากกว่าน้ำมันหอมระเหย เพื่อที่จะให้เกิดการแยกวัฏภาคที่สมบูรณ์และพอลิเมอร์ควรมีอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะที่สูงเพื่อป้องกันการสูญเสียของ

น้ำมันหอมระเหยระหว่างการนำไปขึ้นรูป ซึ่งพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยเทคนิคนี้จะสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงๆได้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลทั้งสองเทคนิค คือ เทคนิคการระเหยตัวทำละลายและการสังเคราะห์แบบแขวนลอยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน

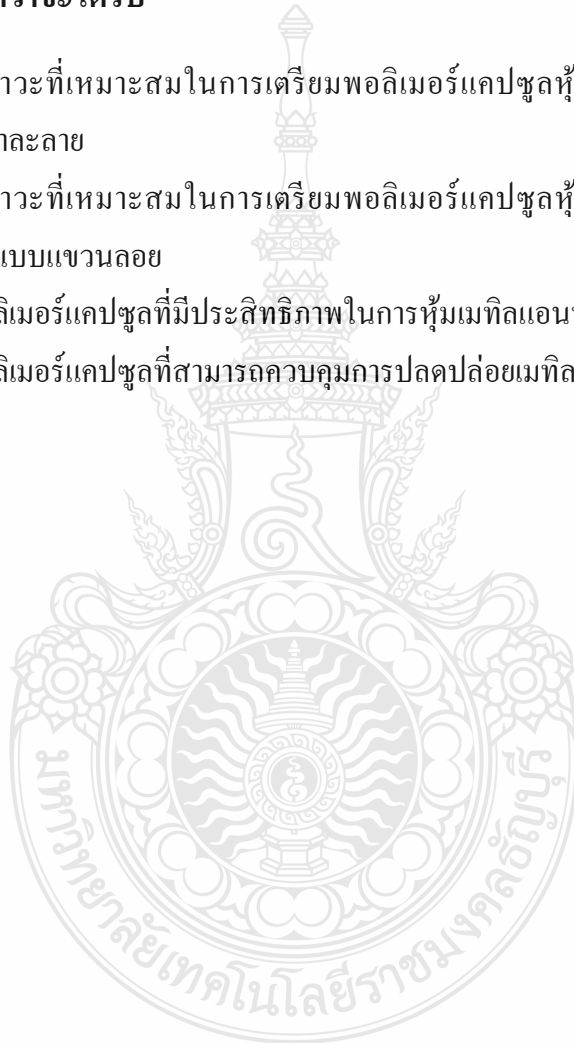
## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

1.5.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย

1.5.3 ได้พอลิเมอร์แคปซูลที่มีประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทสูง

1.5.4 ได้พอลิเมอร์แคปซูลที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยเมทิลแอนทรานิเลทได้



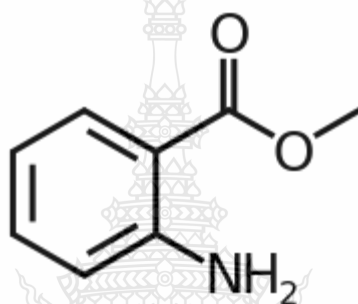
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเองโดยธรรมชาติสามารถพบได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่น ดอก ใบ ลำต้น และราก เป็นต้น มีลักษณะเป็นของเหลว กลิ่นหอมและระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง โดยน้ำมันหอมระเหยจะมีองค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ เทอปีนและ โพรพานอยด์ น้ำมันหอมระเหยแต่ละกลิ่นจะมีคุณสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น น้ำมันหอมระเหยกลิ่นตะไคร้จะมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและช่วยป้องกันอันตรายจากยุง น้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิจะให้ความรู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่าและให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท [2] ตามความสามารถในการระเหยของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบ คือ ท็อปโน้ต (Top note) มิดเดิลโน้ต (Middle note) และเบสิคโน้ต (Basic note) ซึ่งท็อปโน้ตจะเป็นสารประกอบที่ระเหยง่ายให้กลิ่นที่สดชื่น เช่น เบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) และเบนซิลอะซิเตท (benzyl acetate) ส่วนมิดเดิลโน้ตจะเป็นกลิ่นหลักของน้ำมันหอมระเหยชนิดนั้นๆและจะเป็นตัวประสานกลิ่นระหว่างท็อปโน้ตและเบสิคโน้ตซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ช้ากว่าประเภทท็อปโน้ต เช่น ซินนามิลอะซิเตท (Cinnamyl acetate) และซิโตรเนลลา (citronella) และสุดท้ายคือ เบสิคโน้ต จะเป็นสารที่ระเหยได้ช้าและมีกลิ่นที่ติดทนนาน เรียกอีกชื่อว่า ฟิกเซทิฟ (Fixative) เช่น เอมีลฟีนิลอะซิเตท (amyl phenyl acetate) ไฮดรอกซิลซิโตรเนลลา (hydroxyl citronella) มัสก์ (musk) แอมบรีท (ambrette) และเอมีลซินนามิลอัลดีไฮด์ (amyl cinnamic aldehyde) เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยนิยมนำไปเคลือบผ้าเพื่อให้ผ้ามีกลิ่นหอม ช่วยกลบกลิ่นอันไม่พึงประสงค์และช่วยฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางก็จะนำน้ำมันหอมระเหยมาแต่งกลิ่น [15, 16] เช่นในผลิตภัณฑ์อาบน้ำจะมีการผสมน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณสมบัติที่ทำให้สดชื่น กระปรี้กระเปร่า มีชีวิตชีวา อาจจะเป็นกลิ่นส้ม ตะไคร้หอม ส่วนอุตสาหกรรมอาหารนิยมนำมาผสมกับหมากฝรั่ง ลูกกวาด ในอุตสาหกรรมยาสามารถนำน้ำมันหอมระเหยกลิ่นยูคาลิปตัสไปใช้ในการแก้หวัด น้ำมันกานพลูใช้ในการฆ่าเชื้อโรค และมีการนำมาใช้ผสมในน้ำยาบ้วนปาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการทำสுகอนธบำบัด หรือสปา เป็นการฟื้นฟูร่างกายโดยวิธีการต่างๆ เช่น นวด อบ ประคบ เป็นต้น แต่น้ำมันหอมระเหยก็ยังมีข้อจำกัดคือ ระเหยง่าย ทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม อากาศ แสงแดด และความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีอายุ

การใช้งานสั้น คือ สามารถกักเก็บกลิ่นหอมได้ไม่นานเท่าที่ควร จึงทำให้ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานโดยตรง ซึ่งสามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวด้วยการนำพอลิเมอร์มาหุ้มน้ำมันหอมระเหยเอาไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันหอมระเหยสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง เป็นการเพิ่มเวลาในการกักเก็บกลิ่น และควบคุมการปลดปล่อย สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และผสมกับสารอื่น ที่สำคัญเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เมทิลแอนทราโนเลทซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหลักของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิ ซึ่งเป็นกลิ่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมและที่สำคัญเป็นกลิ่นที่มีความหมายสำหรับคนไทย โดยมีโครงสร้างดังนี้



เมทิลแอนทราโนเลทมีลักษณะเป็นสารสีเหลืองใส ไร้ต่อการทำปฏิกิริยากับแสง มีสูตร โมเลกุล คือ  $C_9H_9NO_2$  มีน้ำหนัก โมเลกุล 151.16 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลว 24 องศาเซลเซียส จุดเดือด 256 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.1680 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าการละลายน้ำ 2.85 กรัมต่อลิตร [17-19]

## 2.2 เทคนิคการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

การเอนแคปซูลชัน หมายถึง การนำวัสดุต่างๆมาหุ้มสารที่ต้องการเอาไว้โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ เปลือก (เช่น พอลิเมอร์) และแกนกลาง (สารที่ต้องการหุ้ม) หรือที่เรียกกันว่า พอลิเมอร์แคปซูล ซึ่งมีข้อดีคือ ป้องกันไม่ให้สารแกนกลางทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด อากาศ และความชื้น เป็นต้น สามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารที่ถูกหุ้มไว้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้โดยตรง เทคนิคในการเอนแคปซูลชันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การเอนแคปซูลชันโดยวิธีทางเคมี (Chemical method) และวิธีทางกายภาพ (Physical method) [20, 21] ซึ่งการเลือกเทคนิคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลขึ้นอยู่กับสารแกนกลาง พอลิเมอร์ และการนำไปประยุกต์ใช้งาน

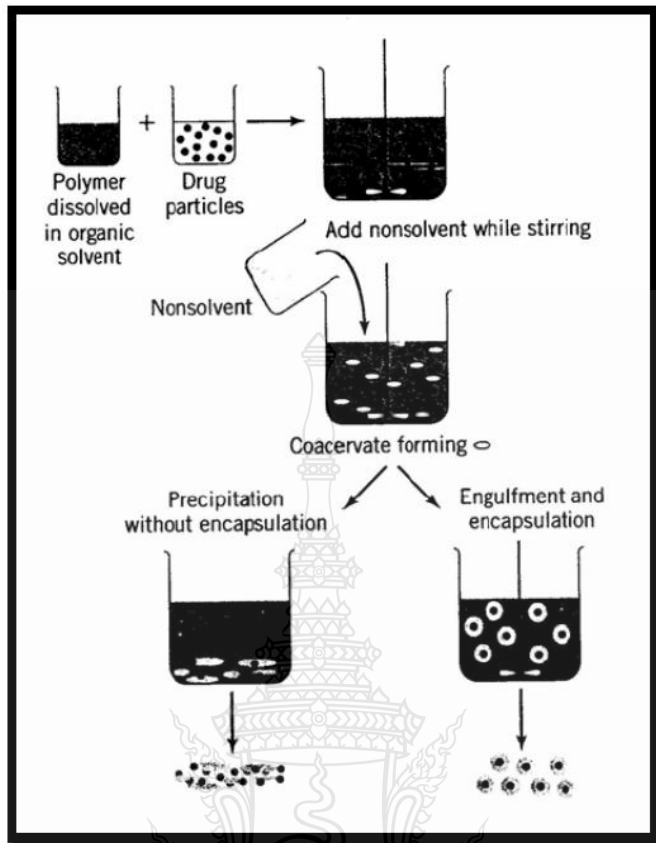
## 2.2.1 เทคนิคการเอนแคปซูลเส้นทางเคมี

เทคนิคที่นิยมใช้ คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมี การระเหยตัวทำละลาย การพอลิ-  
เมอร์ไรเซชันที่รอยต่อระหว่างผิวและการสังเคราะห์มอนอเมอร์โดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน

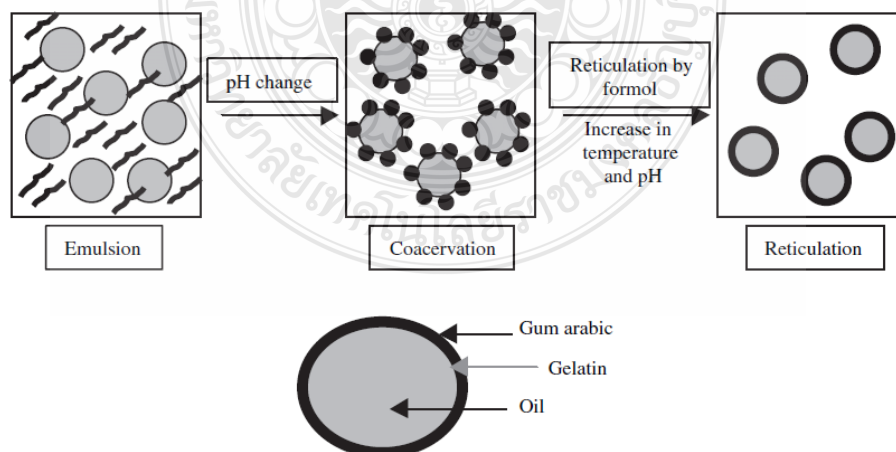
### 2.2.1.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี [22]

เป็นเทคนิคแรกที่ใช้ในการเอนแคปซูลเส้น พอลิเมอร์และสารที่จะหุ้มต้อง  
สามารถเข้ากันได้และไม่ละลายในวัฏภาคต่อเนื่องโดยวิธีการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคนี้  
สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบง่าย (Simple coacervation) และการ  
ตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบเชิงซ้อน (Complex coacervation) ซึ่งจะมีขั้นตอนในการเกิดเป็นพอลิเมอร์  
แคปซูลอยู่ 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการเกิดหยดสารอินทรีย์ 2) การเกิดเปลือก และ 3) การแยกพอลิ-  
เมอร์แคปซูลออกจากสารละลาย ในขั้นตอนที่ 2 ของวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบง่าย จะเกิดขึ้น  
ได้ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบ เช่น อุณหภูมิ พีเอช การเติมเกลือ ไอออนิกและตัวทำ  
ละลายที่ไม่ละลายพอลิเมอร์ โดยจะใช้พอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว ส่วนวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี  
แบบเชิงซ้อน จะเกิดแคปซูลเมื่อพอลิเมอร์ที่อยู่ในสารละลายอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุด้วยพี-  
เอชแล้วนำไปสู่การแยกวัฏภาคด้วยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกและประจุลบ โดยใช้พอลิเมอร์  
ตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่า

จากภาพที่ 2.1 สามารถอธิบายการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลโดยเทคนิคการ  
ตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบง่ายได้ว่า เริ่มต้นนำพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ได้เป็น  
สารละลายอินทรีย์ จากนั้นนำสารที่ต้องการหุ้ม เช่น ยา กระจายตัวอยู่ในสารลดแรงตึงผิวเป็นอนุภาค  
ของยาแล้วหลงในสารละลายอินทรีย์ นำไปปั่นจะได้อนุภาคของยาที่กระจายตัวอยู่ในสารละลาย  
อินทรีย์ จากนั้นเติมตัวทำละลายที่ไม่ละลายพอลิเมอร์ ทำให้ค่าการละลายของพอลิเมอร์ลดลง แล้ว  
เกิดการตกตะกอนมาหุ้มยา โดยจะมีส่วนที่หุ้มยาได้เกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูลและส่วนที่ไม่ได้หุ้มยา  
จากนั้นก็ทำการแยกแคปซูลหุ้มยาออกจากสารละลายตัวกลาง



ภาพที่ 2.1 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันด้วยการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบง่าย [23]

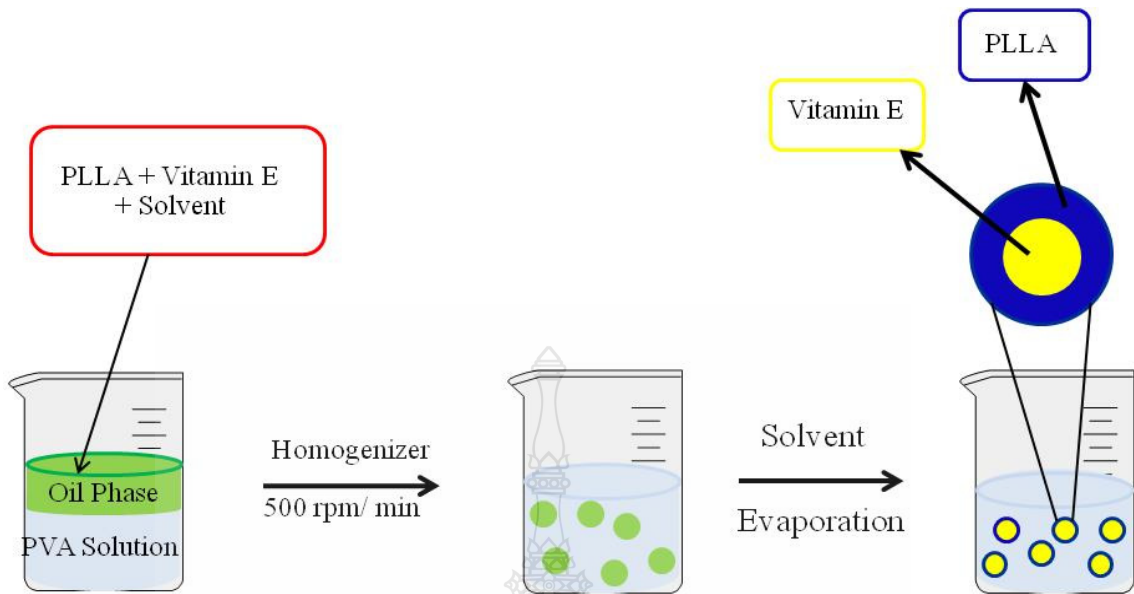


ภาพที่ 2.2 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันโดยการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบเชิงซ้อน [20]

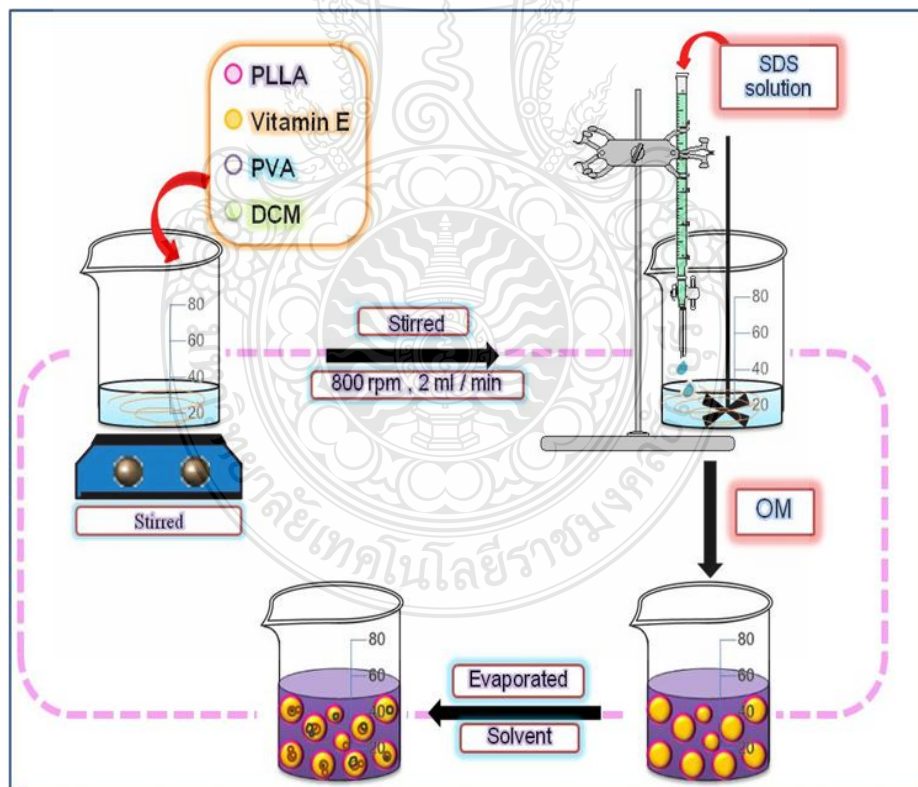
สำหรับตัวอย่างการเกิดแคปซูลแบบการตกตะกอนด้วยสารเคมีแบบเชิงซ้อน ดังภาพที่ 2.2 สามารถอธิบายการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลได้ว่า เริ่มต้นนำเจลาตินและสารแกนกลางละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นชั้นน้ำมันหรือสารอินทรีย์ จากนั้นนำไปกระจายตัวอยู่ในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแล้วนำไปปั่นจะได้อิมัลชัน โดยมีกัมอะราบิกทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยที่พีเอช 6 กัมอะราบิกและเจลาตินจะสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เมื่อทำการปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 6 (ประมาณ 4.5) จะเกิดการจับตัวเป็นเปลือกแคปซูลโดยมีสารลดแรงตึงผิวมาล้อมรอบหยดสารอินทรีย์เอาไว้ เนื่องจากเมื่อพีเอชลดลงเจลาตินจะมีประจุบวก ส่วนกัมอะราบิกมีประจุลบจึงทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกและประจุลบ จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิหรือพีเอชจะทำให้เปลือกเกิดการหลอมเหลวและจัดเรียงตัวหุ้มสารแกนกลาง ซึ่งวิธีการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการตกตะกอนด้วยสารเคมีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่จะได้พอลิเมอร์แคปซูลในจำนวนที่น้อยเพราะว่ากลไกในการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลค่อนข้างยุ่งยาก คือ จะเกิดอยู่ที่พื้นผิวเท่านั้น

#### 2.2.1.2 การระเหยตัวทำละลาย [24]

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวก มีการใช้เครื่องมือที่มีราคาไม่สูงมากนัก เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็กๆ ได้ เช่น การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวิตามินอี ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม [5] ดังภาพที่ 2.3 โดยนำพอลิแอลแลคติกแอซิดและวิตามินอีละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วนำไปผสมกับสารละลายของสารลดแรงตึงผิว นำไปปั่นด้วยเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 5 นาที จะได้อิมัลชันของสารละลายอินทรีย์ที่ประกอบด้วย พอลิแอลแลคติกแอซิด วิตามินอี และตัวทำละลายที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกจะได้พอลิเมอร์แคปซูลโดยที่มีพอลิแอลแลคติกแอซิดเป็นเปลือกหุ้มวิตามินอีเอาไว้ เนื่องจากพอลิแอลแลคติกแอซิดมีความชอบน้ำมากกว่าวิตามินอี จึงเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกกลายเป็นเปลือก เทคนิคการระเหยตัวทำละลายนี้ จะต้องเลือกพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำมากกว่าสารแกนกลาง พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคนี้จะมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรและมีการกระจายตัวที่กว้าง หากต้องการให้ขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดของอนุภาคที่เล็กลงและมีการกระจายตัวที่แคบสามารถใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคในการเตรียมหยดสารอินทรีย์ควบคู่กับเทคนิคการระเหยตัวทำละลายในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลได้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยวิธีการเตรียมหดย สารอินทรีย์แบบดั้งเดิม [5]



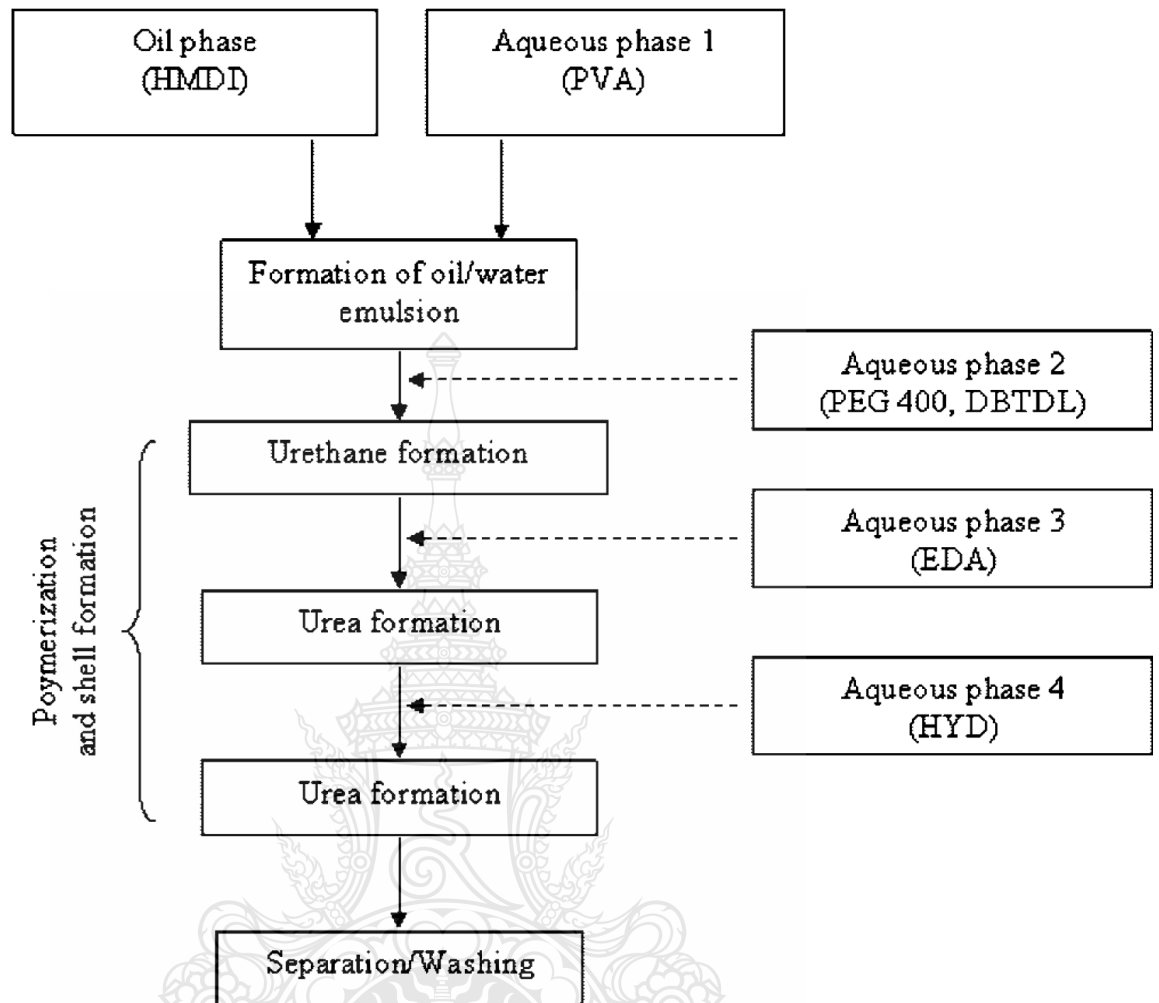
ภาพที่ 2.4 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยวิธีการเตรียมหดย สารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค



จากภาพที่ 2.4 เป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวิตามินอี ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค โดยนำพอลิแอลแลคติกแอซิด วิตามินอี และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสม จากนั้นนำไปปั่นด้วยใบพัดที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที ในขณะที่ปั่นให้ค่อยๆหยดสารละลายของสารลดแรงตึงผิวอีกชนิดลงในสารละลายอินทรีย์ด้วยอัตราเร็วคงที่ ที่เหมาะสม ในช่วงแรกจะได้อิมัลชันแบบน้ำที่กระจายตัวอยู่ในน้ำมันเพราะว่าชั้นของน้ำน้อยกว่าชั้นของน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการกลับวัฏภาค คือ ชั้นของน้ำจะมากกว่าชั้นของน้ำมัน จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกจะได้พอลิเมอร์แคปซูล แต่เทคนิคการระเหยตัวทำละลายนี้มีข้อเสียคือ ใช้ตัวทำละลายค่อนข้างมาก

### 2.2.1.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่รอยต่อระหว่างผิว [25, 26]

การพอลิเมอร์ไรเซชันที่รอยต่อระหว่างผิวประกอบด้วย 2 เทคนิค คือ การสังเคราะห์แบบอินซิตู (In situ polymerization) และแบบควบแน่น (Condensation polymerization) โดยการสังเคราะห์แบบควบแน่นมีหลักการเกิดพอลิเมอร์แคปซูล คือ จะต้องมียอนอเมอร์ชนิดที่ไม่ชอบน้ำและสารที่ต้องการหุ้มละลายในวัฏภาคของสารอินทรีย์ แล้วนำไปกระจายตัวในสารละลายของสารลดแรงตึงผิว นำไปปั่นจะได้หยดของสารอินทรีย์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ จากนั้นเติมยอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ชอบน้ำที่ละลายกับตัวริเริ่มปฏิกิริยา ลงไปในระบบก็จะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวของยอนอเมอร์ที่ละลายในน้ำกับที่ละลายในสารอินทรีย์เท่านั้น ส่วนใหญ่ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้จะเป็นพวกรีดอกซ์ (Redox initiator) คือ มีการให้และรับอิเล็กตรอน ดังภาพที่ 2.5 เป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มสารหอม โดยใช้พอลิ (ยูรีเทน-ยูเรีย) เริ่มต้น นำเฮกซะเมทิลีน ไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate; HDMI) ซึ่งเป็นยอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำละลายกับสารหอม จากนั้นนำสารละลายอินทรีย์ที่ได้ไปกระจายตัวในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแล้วนำไปปั่น จะได้อิมัลชันของหยดสารอินทรีย์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ แล้วนำพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 (Polyethylene glycol; PEG 4000) และไดบิวทิลดีลาูเรต (Dibutyltindilaurate; DBTDL) ซึ่งทำหน้าที่เป็นยอนอเมอร์ละลายน้ำกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาตามลำดับเติมลงไปในระบบ ก็จะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันขึ้น เกิดเป็นผนังพอลิยูเรีย จากนั้นเติมเอทิลีนไดอะมีน (Ethylenediamine; EDA) และไฮดราซีน โมโนไฮเดรต (Hydrazine; HYD) เป็นยอนอเมอร์ที่ละลายน้ำเหมือนกันเพื่อฟอร์มเป็นผนังยูเรียก็ได้พอลิ (ยูรีเทน-ยูเรีย) แคปซูลหุ้มสารหอม



ภาพที่ 2.5 การเอนแคปซูเลชันด้วยการสังเคราะห์แบบควบแน่น [25]



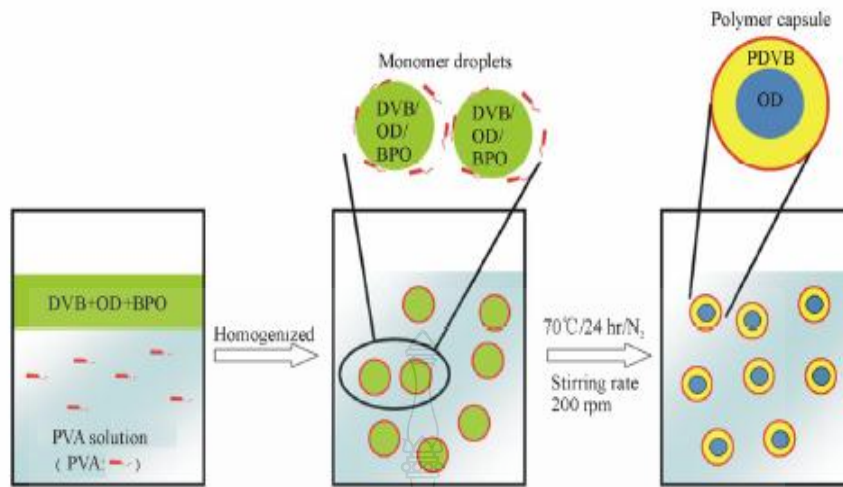
ภาพที่ 2.6 การเอนแคปซูเลชันด้วยการสังเคราะห์แบบอินซิทู [27]

ส่วนการสังเคราะห์แบบอินซิทูจะมีหลักการเกิดพอลิเมอร์แคปซูล ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งเป็นการเตรียมพอลิอะครีเลตหุ้มนาโนซิลิกา ในการสังเคราะห์แบบนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนระหว่างพอลิเมอร์และสารที่ต้องการหุ้ม คือ ซิลิกา โดยจะนำสารที่ต้องการหุ้มไปกระจายตัวในสารละลายลดแรงตึงผิวมาก่อนแล้วนำมาผสมกับหยดมอนอเมอร์ จากนั้นทำการสังเคราะห์ที่รอยต่อ

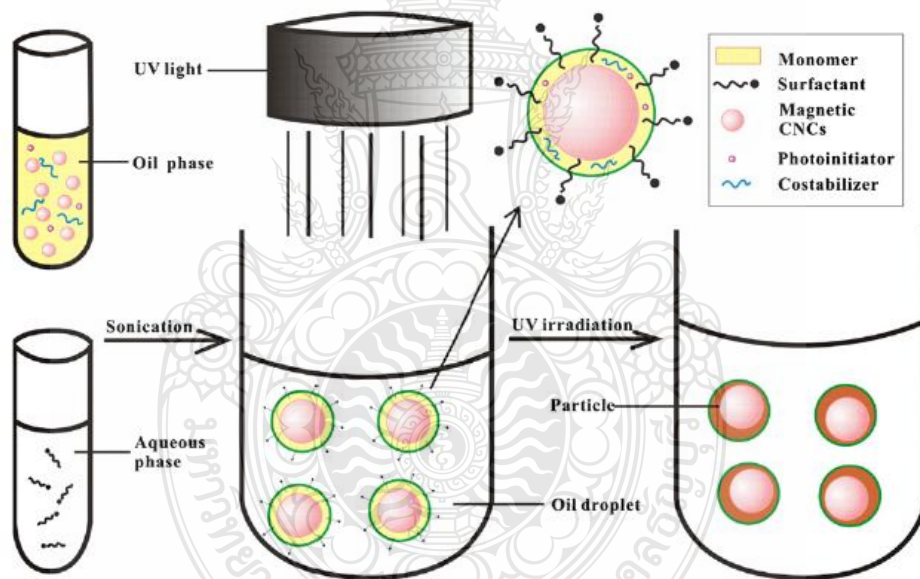
ระหว่างผิวก็จะได้พอลิเมอร์แคปซูล แต่เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่รอยต่อระหว่างผิวมีกลไกในการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลค่อนข้างยุ่งยากโดยทั่วไปจึงทำให้ได้พอลิเมอร์แคปซูลในจำนวนที่น้อย

#### 2.2.1.4 การสังเคราะห์จากมอนอเมอร์โดยใช้กลไกการแยกตัวภายใน

เป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลในระบบกระจายโดยที่มีน้ำเป็นตัวกลางซึ่งถือว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและนิยมใช้ในอุตสาหกรรม เทคนิคที่นิยมใช้เตรียมพอลิเมอร์แคปซูล คือการสังเคราะห์แบบแขวนลอย [28, 29] และแบบมินิมัลชัน [30-32] ซึ่งมีกลไกการสังเคราะห์เกิดขึ้นภายในหยดมอนอเมอร์เหมือนกัน พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรตามลำดับ แต่ต้องใช้แรงเฉือนสูงในการทำให้เกิดหยดมอนอเมอร์จากภาพที่ 2.7 เป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยเริ่มต้นนำมอนอเมอร์คือ ไดไวนิลเบนซีน (Divinyl benzene; DVB) ผสมกับออกตะเดเคน (Octadecane; OD) และตัวริเริ่มปฏิกิริยา คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzyl peroxide; BPO) เรียกว่า วัฏภาคอินทรีย์ นำไปกระจายในสารละลายของสารลดแรงตึงผิว คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่องเพื่อที่จะเตรียมหยดมอนอเมอร์ จากนั้นนำไปปั่นที่ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปสังเคราะห์ ในระหว่างการสังเคราะห์ไดไวนิลเบนซีนเปลี่ยนไปเป็นพอลิไดไวนิลเบนซีนโดยความยาวสายโซ่พอลิไดไวนิลเบนซีนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นภายในหยดมอนอเมอร์ทำให้ความสามารถในการเข้ากันของพอลิไดไวนิลเบนซีนกับออกตะเดเคนค่อยๆลดลงจนถึงค่าความยาววิกฤต (Critical chain length) พอลิไดไวนิลเบนซีนไม่สามารถละลายเข้ากันกับออกตะเดเคนได้อีก จึงทำให้เกิดการแยกตัวภายใน โดยที่พอลิไดไวนิลเบนซีนจะเคลื่อนที่ออกมาด้านนอกของหยดมอนอเมอร์เกิดเป็นเปลือกพอลิเมอร์แคปซูล ขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จะอยู่ในระดับไมโครเมตร ถ้าต้องการให้พอลิเมอร์แคปซูลมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรต้องใช้เทคนิคการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มอนุภาคแม่เหล็ก ในเทคนิคมินิมัลชันจะต้องใช้แรงเฉือนที่สูงกว่ากรณีการสังเคราะห์แบบแขวนลอยเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่เล็กถึงระดับนาโนเมตร อนุภาคขนาดเล็กที่ได้จะไม่มีความเสถียร ถึงแม้ว่าจะใช้สารลดแรงตึงผิวมากก็ไม่เพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์ได้ จึงนิยมเติมสารที่ไม่มีความชอบน้ำมากๆ เช่น เฮกซะเดเคนและออกตะเดเคนเข้าไปในหยดมอนอเมอร์ ทำให้หยดมอนอเมอร์ที่ได้นั้นมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ผ่านน้ำเข้าไปรวมกับหยดอื่นเป็นไปได้ยากขึ้น จึงมีความเสถียรมากขึ้น คือ หยดมอนอเมอร์จะไม่มารวมตัวกันเป็นหยดขนาดใหญ่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ออสวาล์ดริเพนนิ่ง (Oswald ripening) แต่กลไกการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลเหมือนกับเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย



ภาพที่ 2.7 การเอนแคปซูเลชันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย [33]



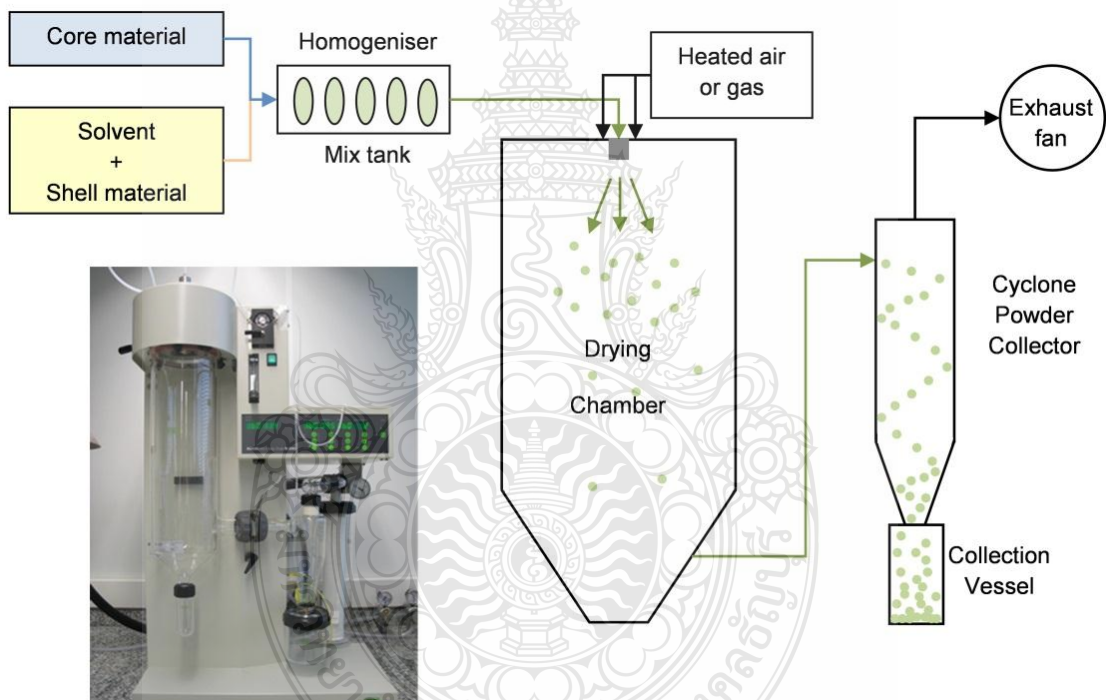
ภาพที่ 2.8 การเอนแคปซูเลชันด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน [34]

## 2.2.2 เทคนิคการเอนแคปซูเลชันทางกายภาพ

### 2.2.2.1 เทคนิคการพ่นแห้ง [35, 36]

เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มสารให้กลิ่นหรือรส ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำ เครื่องมือหาง่าย ถ้าเทียบกับเทคนิค

อื่นที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นเทคนิคที่ใช้ความร้อนในการทำให้เกิดพอลิเมอร์แคปซูล มีหลักการทำงานคือ นำพอลิเมอร์และสารแกนกลางละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปเตรียมหยดสารอินทรีย์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์จะได้อิมัลชัน แล้วนำไปพ่นด้วยความดันต่ำที่อุณหภูมิประมาณ 100-160 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำและตัวทำละลายระเหยออกไปก็จะได้พอลิเมอร์แคปซูล แต่เทคนิคนี้จะมีข้อเสียคือ จะมีการสูญเสียสารแกนกลางไปบางส่วน ถ้าสารแกนกลางเป็นพวกที่สามารถระเหยได้เร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหยและวิตามินต่างๆ และการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากๆ ต้องสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนมากทำให้จำนวนพอลิเมอร์ที่ได้น้อย เพราะไม่มีเวลาให้สายโซ่พอลิเมอร์ค่อยๆ เคลื่อนที่จัดเรียงตัว อาจเกิดการสูญเสียสารแกนกลางที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างการพ่นแห้ง สารแกนกลางอาจติดอยู่ที่ผิวภายนอกของพอลิเมอร์แคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ได้



ภาพที่ 2.9 การเอนแคปซูลด้วยเทคนิคการพ่นแห้ง [37]

### 2.2.2.2 เทคนิคการพ่นเย็น (Spray cooling) [38]

เป็นเทคนิคที่มีหลักการคล้ายกับเทคนิคการพ่นแห้งแต่จะต่างกันตรงที่เทคนิคการพ่นเย็นนี้ จะใช้ความเย็นในการทำให้เกิดเปลือกพอลิเมอร์คือ เมื่อเตรียมอิมัลชันได้

เรียบร้อยแล้วเวลานำไปพ่นด้วยความเย็นจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวแล้วหุ้มสารแกนกลางเอาไว้ วิธีนี้น้ำจะไม่มีการระเหยออกไป

### 2.3 การควบคุมการปลดปล่อย (Control release) [20, 39-42]

เป็นการควบคุมการปลดปล่อยของสารแกนกลางออกจากสารที่เป็นเปลือก เช่น พอลิเมอร์ ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม เช่น พีเอช เวลา อุณหภูมิและความดัน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยคือ รูปร่างของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ ถ้าผิวของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีผิวที่แตกหรือมีรูพรุน สารแกนกลางที่อยู่ภายในก็จะแพร่ออกมาอย่างรวดเร็วทำให้ใช้เวลาน้อยในการปลดปล่อย การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเปลือก ถ้าใช้เปลือกพอลิเมอร์เป็นพวกย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น พอลิแอลแลคติกแอซิด เมื่อโดนความชื้นก็จะเกิดการย่อยสลายทำให้สายโซ่พอลิแอลแลคติกแอซิดเกิดการแตกแล้วปลดปล่อยสารแกนกลางออกมา และการแพร่ของสารแกนกลางที่ระเหยได้ออกจากพอลิเมอร์แคปซูล สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะสามารถแพร่ผ่านหรือแทรกซึมผ่านรูพรุนของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ เช่น น้ำมันหอมระเหย การควบคุมการปลดปล่อยมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

#### 2.3.1 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้การแพร่ (Diffusion control release)

การแพร่เป็นกลไกที่พบในสารให้กลิ่นรส น้ำมันหอมระเหยและยา พอลิเมอร์แคปซูลจะเกิดการปลดปล่อยก็ต่อเมื่อโอของสารวิ่งไปชนกับผนังของแคปซูล ยิ่งความเข้มข้นของสารแกนกลางมาก การระเหยในพอลิเมอร์แคปซูลก็จะยิ่งมาก เพราะความเข้มข้นเป็นแรงผลักดันให้เกิดการแพร่ ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ คือ ดีกรีของการพองตัว (Degree of swelling) ซึ่งเกิดจากการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ ถ้าพอลิเมอร์มีการพองตัวมาก ก็จะทำให้พอลิเมอร์มีรูพรุนมากจึงมีการปลดปล่อยของสารออกมามาก

#### 2.3.2 การควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช (pH sensitive release)

สำหรับการควบคุมการปลดปล่อยโดยพีเอช พอลิเมอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่สามารถพองตัวและยุบตัวได้เมื่อพีเอชเปลี่ยน ส่วนใหญ่จะใช้กับพวกพอลิเมอร์ที่หุ้มผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น การใช้ไลโปโซมเป็นเปลือกหุ้มสารแกนกลาง เมื่อพีเอชเปลี่ยนจะทำให้ไลโปโซมเกิดการเสียเสถียรภาพแล้วเกิดการปลดปล่อยสารแกนกลางออกมา

### 2.3.3 การควบคุมการปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการพองตัว (Release of flavor by swelling)

สารที่ถูกหุ้มจะละลายอยู่ในพอลิเมอร์จะไม่สามารถแพร่กระจายออกจากพอลิเมอร์ได้ เมื่อพอลิเมอร์สัมผัสกับตัวทำละลายจะเกิดการพองตัวแล้วทำให้สารที่ถูกหุ้มปลดปล่อยออกมา โดยการพองตัวนี้จะเกิดเนื่องจากการที่ของเหลวถูกดูดซึมเข้าไปในพอลิเมอร์

### 2.3.4 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent activated release)

ในอุตสาหกรรมอาหารจะนิยมใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จะนำเอาพอลิเมอร์แคปซูลมาละลายน้ำทำให้พอลิเมอร์แคปซูลมีการพองตัวและเกิดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมานิยมใช้กับพวกผลิตภัณฑ์ที่เป็นเครื่องคั้นในรูปผง

### 2.3.5 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสโดยวิธีการหลอมละลาย (Release of flavor by melting)

การควบคุมแบบนี้ เป็นการทำให้พอลิเมอร์หลอมละลายโดยการใช้อุณหภูมิ จากนั้นก็จะเกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกหุ้มออกมา นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพราะสารเคลือบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นไขมันและไข (Lipid) สามารถเกิดการหลอมเหลวได้ง่าย

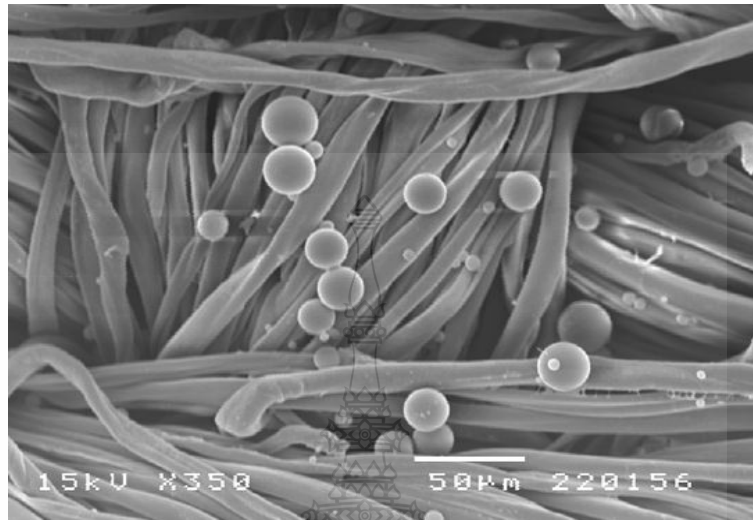
## 2.4 การประยุกต์ใช้งานพอลิเมอร์แคปซูล

พอลิเมอร์แคปซูลจะนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะสะดวกต่อการนำไปผสมกับสารอื่น สามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารแกนกลางได้และสามารถป้องกันไม่ให้สารแกนกลางทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้สารแกนกลางมีคุณสมบัติเหมือนเดิมทั้งก่อนและหลังการเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูล เช่น พอลิเมอร์แคปซูลหุ้มบิวทิล พอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวิตามินอีและพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหย

### 2.4.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ [43, 44]

ได้มีการนำพอลิเมอร์แคปซูลมาใช้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การนำพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อนไปเคลือบผ้า ดังภาพที่ 2.10 เพื่อให้ผ้าสามารถดูดซับความร้อนได้โดยวัสดุเปลี่ยนสถานะมีหลักการทำงานคือ เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิของวัสดุเปลี่ยนสถานะ วัสดุนี้จะทำหน้าที่ในการดูดซับความร้อนทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกเย็นสบาย ในทางตรงกันข้าม เมื่ออุณหภูมิ

ภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิของวัสดุเปลี่ยนสถานะ วัสดุนี้จะทำการคายความร้อนทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกอบอุ่น



ภาพที่ 2.10 SEM micrograph ของพอลิเมอร์เคลือบชุดที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนที่เคลือบบนผ้าฝ้าย [45]

#### 2.4.2 อุตสาหกรรมยา [46, 47]

เป็นการควบคุมการปลดปล่อยของยาให้ออกฤทธิ์ได้ยาวนานขึ้นและตรงตามเป้าหมายหรืออวัยวะที่ต้องการ เช่น การเตรียมไมโครแคปซูลของเด็กซ์โทเมทโทเฟน ซึ่งยาตัวนี้มีสรรพคุณในการรักษาอาการหวัดและไอ โดยยาตัวนี้จะมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นทำให้ผู้ป่วยต้องกินยาบ่อยครั้งซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูลจะทำให้มีการปลดปล่อยยาออกมาในระยะเวลาที่นานขึ้น

#### 2.4.3 อุตสาหกรรมเกษตร

ได้มีการนำพอลิเมอร์ไปหุ้มยาฆ่าแมลงหรือปุ๋ย ช่วยให้ปลดปล่อยสารแกนกลางออกมาทีละน้อยๆ เป็นการยืดอายุการใช้งานและลดการสิ้นเปลืองยาฆ่าแมลงและปุ๋ย เช่น การเตรียมพอลิซัลโฟนหุ้มปุ๋ย [48] โดยวิธีการพ่นแห้งโดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยของปุ๋ย คือ ความเข้มข้นของพอลิเมอร์และความหนาของชั้นพอลิเมอร์ และนอกจากนี้ยังได้มีการนำพอลิเมอร์ชีวภาพมาใช้ในการหุ้มปุ๋ยยูเรียอีกด้วย เพราะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พอลิแอลแลคติกแอซิดหุ้มปุ๋ยยูเรียโดยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย [49]



#### 2.4.4 อุตสาหกรรมอาหาร [50]

ได้มีการนำพอลิเมอร์ไปหุ้มวิตามินอี ซึ่งเป็นสารที่สลายตัวได้ง่าย เมื่อโดนความร้อน แสงและอากาศ จากนั้นนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปเติมลงในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยมีพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

#### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการศึกษาและนำพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ [2, 7, 15, 51] อุตสาหกรรมยา [52-54] อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง [3] และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน [55] เนื่องจากการหุ้มน้ำมันหอมระเหยนั้นมีข้อดีคือ ป้องกันไม่ให้ น้ำมันหอมระเหยสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม โดยตรงทำให้การกักเก็บกลิ่นอยู่ได้นานขึ้น [7, 10] และง่ายต่อการนำไปใช้งานและผสมกับสารอื่น ซึ่งการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยมีเทคนิคการเตรียมอยู่หลายวิธี เช่น การเตรียมพอลิซัลโฟนาหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลั่นชนิดลิน โดยใช้เทคนิคการเตรียมแบบตกตะกอนด้วยการกลับเฟส [10, 56] การเตรียมพอลิยูรีเทนยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์หุ้มน้ำมันหอมระเหยกลั่นเลมอน โดยใช้เทคนิคการพอลิเมอร์ไรเซชันที่รอยต่อระหว่างผิว [2, 51] การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันแต่งกลิ่นด้วยเทคนิคการพ่นแห้ง [8, 9] การเตรียมเมลานินเรซินหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลั่นไมกริน (Migrin oil) ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบอินซิทู [55] และการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิคการตกตะกอนด้วยสารเคมี [13] ซึ่งเทคนิคที่กล่าวมานี้เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เครื่องมือราคาสูง ไม่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล เปลือกของพอลิเมอร์จะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการหุ้มและการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหย โดยจะต้องคำนึงถึงการแยกวัฏภาคระหว่างพอลิเมอร์กับน้ำมันหอมระเหยและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวก มีต้นทุนในการผลิตต่ำ จะเห็นได้จากการรายงานในวารสารและการตีพิมพ์ที่ผ่านมามีจำนวนมาก เช่น มีการใช้เทคนิคนี้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มยาในระบบน้ำมันในน้ำ [24] โดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพคือ พอลิแอลแลคติกแอซิดและพอลิ-(แลคติกโคไกลโคลิก) เป็นเปลือกเพราะเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มยา เช่น อัตราในการปั่น ความเข้มข้นของสารละลาย

สารลดแรงตึงผิวและปริมาณของยาที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ผลปรากฏว่า เมื่อใช้อัตราเร็วในการปั่นสูงและความเข้มข้นของสารละลายสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นแคปซูลที่ได้มีขนาดเล็กกลง ในขณะที่มีประสิทธิภาพในการหุ้มสารสูง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวิตามินอีในระบบน้ำมันในน้ำ [5, 57] โดยใช้พอลิแอลเลคติกแอซิดเป็นเปลือก ทำการศึกษาผลของตัวทำละลายสารละลายสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อวิตามินอีและปริมาณวิตามินอีที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล พบว่าใช้ไคคลอโรมีเทน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นตัวทำละลายและสารลดแรงตึงผิวตามลำดับ ซึ่งปริมาณวิตามินอีที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้น และการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มปุ๋ยยูเรีย [58] ในระบบน้ำในน้ำมันในน้ำ เนื่องจากปุ๋ยยูเรียชอบที่จะละลายน้ำมากกว่าในน้ำมัน โดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเป็นเปลือก ทำการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์และชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีผลต่อการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียออกจากพอลิเมอร์แคปซูล ถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้ปุ๋ยยูเรียเกิดการปลดปล่อยช้า ในทางตรงกันข้ามน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ต่ำการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียจะเพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถเตรียมอิมัลชันได้หลายระบบขึ้นอยู่กับสารแกนกลางว่าละลายได้ดีในน้ำมันหรือในน้ำ ถ้าสารแกนกลางชอบละลายในน้ำมันจะนิยมเตรียมให้อยู่ในระบบน้ำมันในน้ำ ส่วนสารแกนกลางที่ชอบละลายในน้ำจะนิยมเตรียมในระบบน้ำในน้ำมันในน้ำ แต่เทคนิคนี้จะมีการสูญเสียสารแกนกลางไปบางส่วนในระหว่างขั้นตอนการทดลอง จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการหุ้มลดน้อยลง นอกจากนี้ การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลโดยการสังเคราะห์ในระบบกระจายโดยมีน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่องเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ Okubo และคณะได้เสนอการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์แบบร่างแหที่มีช่องว่างโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยอาศัยกลไกการแยกวัฏภาคภายในหยดพอลิเมอร์ [59, 60] และต่อมาได้พัฒนามาเป็นการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อน โดยขนาดอนุภาคที่ได้อยู่ในระดับไมโครเมตรซึ่งมีประสิทธิภาพในการหุ้มวัสดุเก็บความร้อนสูงมากและมีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายและการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยอาศัยกลไกการแยกวัฏภาคภายในหยดพอลิเมอร์ โดยเลือกใช้พอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์เกรดทางการค้าที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการหุ้มให้มากขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 สารเคมี

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
1. พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC)	Commercial grade	-
2. เมทิลแอนทรานิเลท (Methyl anthranilate; MA)	Purity 98.0%	Sigma-aldrich
3. คลอโรฟอร์ม (Chloroform; CHCl <sub>3</sub> )	Purity 99.8%	RCI Labscan
4. ทูโลอิน (Toluene; C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> )	Analytical reagent	RCI Labscan
5. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane; DCM)	Analytical reagent	RCI Labscan
6. เททระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran; THF)	Laboratory reagent	UNILAB
7. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA)	Analytical reagent	Sigma-aldrich

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
8. โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate ; SDS)	Purity 99.0%	Sigma-aldrich
9. ไมริสทิลไตรเมทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ (Myristyltrimethyl ammonium bromide; TTAB)	Purity 98.0%	Sigma-aldrich
10. เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate; MMA)	Reagent Plus 99%	Sigma-aldrich
11. เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (Ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA)	Purity 98%	Sigma-aldrich
12. 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) (4, 4 - Azobis (4- methoxy - 2, 4 - dimethyl valeronitrile)); V-70)	Analytical reagent	Wako
13. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas; N <sub>2</sub> )	Purity 99.99%	Praxair

### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ยี่ห้อ
1. เครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ( UV-Visible spectrophotometer)	UV-2401 PC	SHIMADZU
2. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM)	SK-100EB & SK-100ET	Seek
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)	JSM 6510	JEOL
4. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)	Delsa nano C	Beckman
5. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer; TGA)	TGA 4000	Perkin Elmer

## 3.2 แผนผังของการวิจัย

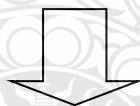
3.2.1 ศึกษาการเตรียมพอลิคาร์บอเนตหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

3.2.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์แบบดั้งเดิม ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

- 1) ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์
- 2) ชนิดของสารลดแรงตึงผิว
- 3) มวลโมเลกุลเฉลี่ยของสารลดแรงตึงผิว
- 4) เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส (% Hydrolysis) ของสารลดแรงตึงผิว
- 5) อัตราส่วนระหว่างพอลิคาร์บอเนตต่อเมทิลแอนทรานิเลท

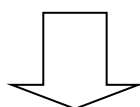
3.2.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์แบบกลับวัฏภาค ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

- 1) ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว
- 2) เปอร์เซ็นต์ของแข็ง (% Solid content) ของพอลิเมอร์แคปซูล
- 3) อัตราเร็วที่ใช้หยดสารละลายลดแรงตึงผิวลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์



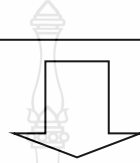
3.2.2 ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

- 1) ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- 2) อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์
- 3) เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์
- 4) อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท
- 5) การโคมอนอเมอร์

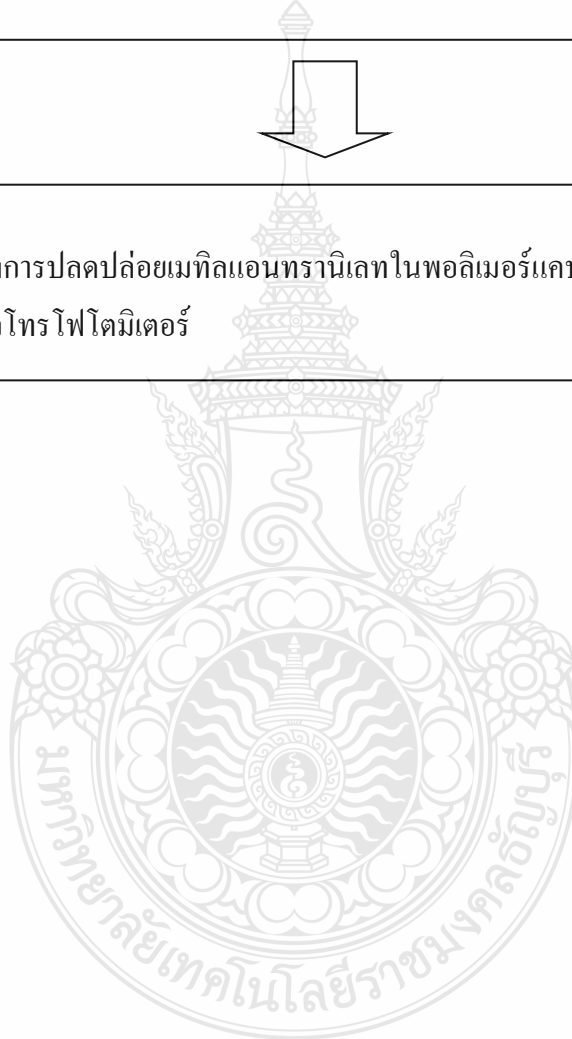


3.2.3 ศึกษาสมบัติของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่างๆ

- 1) รูปร่างและพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและแบบใช้แสง
- 2) ขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค
- 3) ประสิทธิภาพในการหุ้มรวมถึงการบรรจุเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 4) องค์ประกอบของแคปซูลด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์



3.2.4 ศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูล โดยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



### 3.3 การทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นมะลิ โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูล โดยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย เพื่อใช้ในงานที่ไม่ต้องการเปลือกของพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูงหรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูง ส่วนงานที่สองเป็นการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลและพอลิ (เมทิลเมทาคริเลต- โค - เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต) แคปซูลซึ่งเป็นพอลิเมอร์โครงร่างแห โดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย เพื่อใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

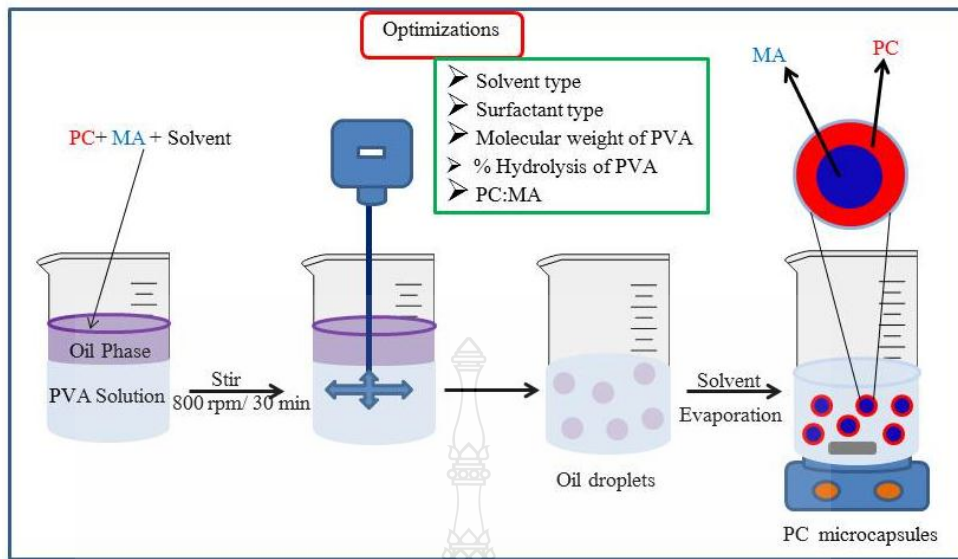
#### 3.3.1 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

ในงานนี้ได้เลือกใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นเปลือกพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์เกรดทางการค้าที่มีราคาถูก มีสมบัติทางความร้อนที่สูงกว่าพอลิเมอร์เกรดทางการค้าชนิดอื่นและค่อนข้างมีขี้ จึงน่าจะเกิดการแยกวัฏภาคออกมาเป็นเปลือกหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทได้ดี โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ละลายอินทรีย์สองวิธี คือ การเตรียมพอลิเมอร์แบบดั้งเดิมและแบบกลับวัฏภาคซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.3.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์อินทรีย์แบบดั้งเดิม

การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยใช้เทคนิคการเตรียมพอลิเมอร์อินทรีย์แบบดั้งเดิม สามารถทำได้ดังนี้ นำพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นวัฏภาคน้ำมัน (Oil phase) ในตัวทำละลายที่เหมาะสม เกลงผสมกับชั้นของสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นวัฏภาคน้ำ (Aqueous phase) โดยตรงแล้วนำไปปั่นด้วยใบพัดที่อัตราการปั่น 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จะได้อิมัลชันของชั้นน้ำมันในน้ำ หลังจากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายก็จะได้พอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท แผนผังการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทแสดงดังภาพที่ 3.1 โดยในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้





ภาพที่ 3.1 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม

1) ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์

เพื่อต้องการให้พอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทมีการละลายที่สมบูรณ์และใช้เวลาในการระเหยที่น้อยที่สุด ได้ทำการศึกษาชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม 4 ชนิด คือ ไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม โทลูอินและเททระไฮโดรฟูแรน ดังตารางที่ 3.1

2) ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

เพื่อต้องการให้พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีความเสถียรทางคอลลอยด์ (Colloidal stability) สูงทั้งก่อนและหลังระเหยตัวทำละลาย ได้ทำการศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้สภาวะ ดังตารางที่ 3.2 โดยที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะศึกษาสารลดแรงตึงผิวสามชนิด คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โซเดียมโคเดซิลซัลเฟตและไมริสทิลไตรเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์ ส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะศึกษาไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตเท่านั้น เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถละลายได้สมบูรณ์ที่ความเข้มข้นนี้

### 3) มวลโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การศึกษามวลโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสเท่ากัน เพื่อศึกษาผลต่อขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูล โดยทำการศึกษามวลโมเลกุลเฉลี่ยที่ 50,000 100,000 และ 120,000 กรัมต่อโมล ดังตารางที่ 3.1 โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมจากขั้นที่ 1

**ตารางที่ 3.1** สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลท โดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทราโนเลท 2:1 โดยใช้ชนิดของตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

Phase	Ingredients	
Oil	PC (g)	3.40
	MA (g)	1.60
	Solvent* (g)	10.00
Aqueous	PVA solution (1% wt) (g)	45.00

\* Solvent: DCM; CHCl<sub>3</sub>; Toluene and THF

**ตารางที่ 3.2** สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลท โดยการเตรียมหดยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทราโนเลท 2:1 ใช้โคคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน

Phase	Ingredients	Surfactant (% wt)	
		1	5
Oil	PC (g)	3.40	3.40
	MA (g)	1.60	1.60
	DCM (g)	10.00	10.00
Aqueous	Surfactant* (g)	0.45	2.25
	H <sub>2</sub> O (g)	44.55	42.75

\*Surfactant: PVA; SDS and TTAB

#### 4) เปอร์เซนต์ไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เปอร์เซนต์ไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์ จึงได้ทำการศึกษาผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซนต์ไฮโดรไลซิสต่างๆ ที่มวลโมเลกุล 50,000 กรัมต่อโมล ต่อขนาดของพอลิเมอร์แคปซูล โดยทำการศึกษาที่ 70 80 90 และ 100 เปอร์เซนต์ไฮโดรไลซิส ดังตารางที่ 3.1

#### 5) อัตราส่วนของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาอัตราส่วนของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลทเพื่อต้องการให้พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการหุ้มที่สมบูรณ์และมีปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทสูงที่สุด โดยจะทำการศึกษาอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท

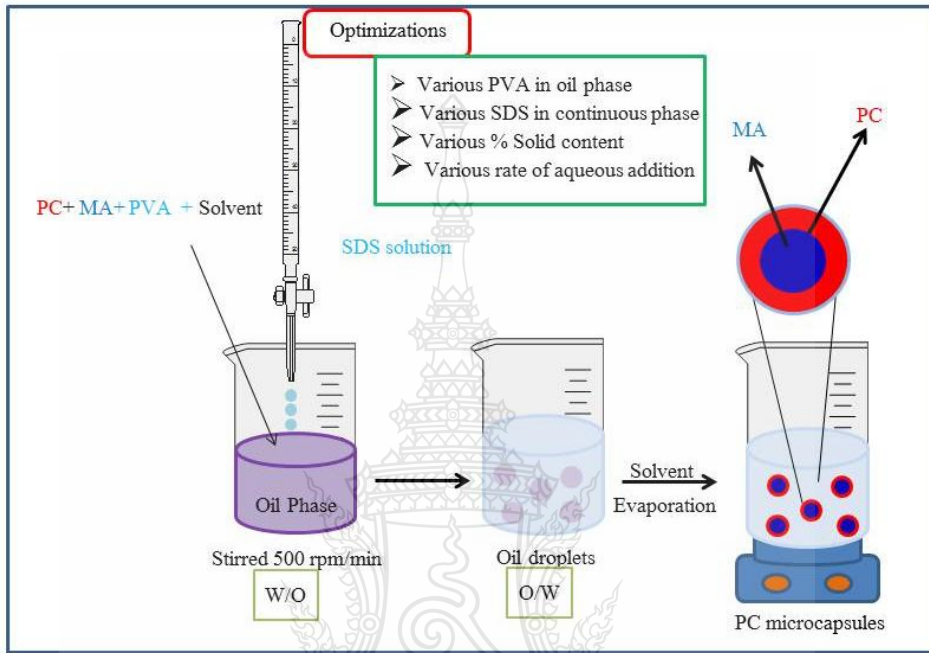
Phase	Ingredients	PC:MA		
		1:1	2:1	3:1
Oil	PC (g)	2.50	3.40	3.75
	MA (g)	2.50	1.60	1.25
	DCM (g)	10.00	10.00	10.00
Aqueous	PVA solution (1% wt) (g)	45.00	45.00	45.00

\* พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มวลโมเลกุลเฉลี่ย 50,000 กรัมต่อโมลและเปอร์เซนต์ไฮโดรไลซิส 90 เปอร์เซนต์

##### 3.3.1.2 การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค

ในขั้นตอนการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคนี้จะใช้สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมเป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยเริ่มต้นนำพอลิคาร์บอเนตเมทิลแอนทรานิเลทและสารลดแรงตึงผิวละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสมจะได้ชั้นน้ำมัน แล้วนำไปปั่น ขณะที่ปั่นให้ค่อยๆหยดน้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวลงอีกชนิดหนึ่งไปในชั้น

น้ำมันด้วยอัตราคงที่ ในช่วงแรกๆจะได้หยดน้ำที่กระจายอยู่ในชั้นน้ำมันเรียกว่า ชั้นน้ำในน้ำมัน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปชั้นของสารละลายลดแรงตึงผิวมากกว่าชั้นของน้ำมันจะเกิดการกลับวัฏภาค กลายเป็นชั้นน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ เรียกว่า การกลับวัฏภาค เมื่อนำไประเหยตัวทำละลายจะได้ พอลิเมอร์แคปซูลดังภาพที่ 3.2 ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้



ภาพที่ 3.2 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค

1) ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

ในขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคจะทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ละลายอยู่ในชั้นของสารละลายอินทรีย์และสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่หยดลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ เพื่อต้องการให้การกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูล มีขนาดที่แคบและมีความเสถียรทางคอลลอยด์สูงทั้งก่อนและหลังการระเหยตัวทำละลาย โดยมีสภาวะดังตารางที่ 3.4-3.6 ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.4** สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นต่างๆของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นของสารละลายอินทรีย์โดยใช้น้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง

Phase	Ingredients	PVA in oil (% wt)		
		5	9	16
Oil	PC (g)	7.00	7.00	7.00
	MA (g)	3.50	3.50	3.50
	PVA (g)	0.50	1.00	2.00
	DCM (g)	25.00	25.00	25.00
Aqueous	H <sub>2</sub> O (g)	45.00	45.00	45.00

**ตารางที่ 3.5** สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นต่างๆของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นของสารละลายอินทรีย์โดยใช้ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง

Phase	Ingredients	PVA in oil (% wt)		
		5	9	16
Oil	PC (g)	7.00	7.00	7.00
	MA (g)	3.50	3.50	3.50
	PVA (g)	0.50	1.00	2.00
	DCM (g)	25.00	25.00	25.00
Aqueous	SDS (g)	0.09	0.09	0.09
	H <sub>2</sub> O (g)	44.91	44.91	44.91

ตารางที่ 3.6 สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นของสารละลายอินทรีย์และที่ความเข้มข้นต่างๆของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

Phase	Ingredients	SDS in continuous phase (% wt)		
		0.2	0.5	1
Oil	PC (g)	7.00	7.00	7.00
	MA (g)	3.50	3.50	3.50
	PVA (g)	2.00	2.00	2.00
	DCM (g)	25.00	25.00	25.00
Aqueous	SDS (g)	0.09	0.23	0.45
	H <sub>2</sub> O (g)	44.91	44.77	44.55

2) ปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็ง หมายถึง ปริมาณของพอลิเมอร์แคปซูลที่อยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง ถ้ามีปริมาณของแข็งมากเกินไปก็อาจทำให้พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้ไม่มีความเสถียรทางคอลลอยด์ จึงได้ศึกษาปริมาณของแข็งที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.7

3) อัตราเร็วที่ใช้หยดสารละลายสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์

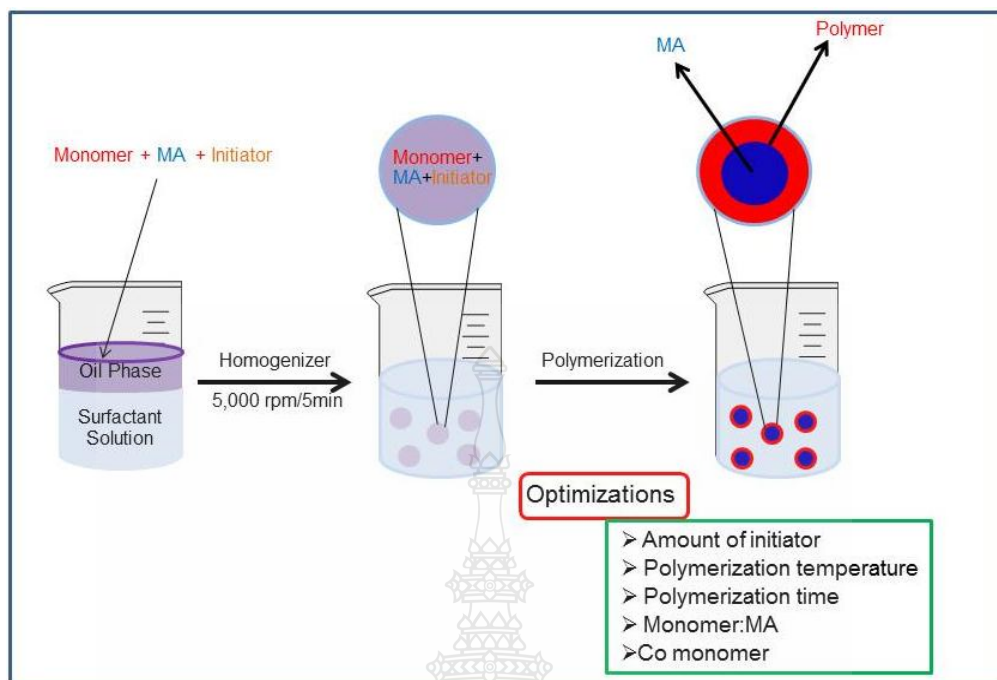
อัตราเร็วในการหยดสารละลายสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่องลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ จะมีผลต่อขนาดและการกระจายตัวของหยดสารละลายอินทรีย์และพอลิเมอร์แคปซูล นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท จึงได้ทำการศึกษาอัตราการหยดที่เหมาะสมที่สามอัตราเร็ว คือ 2 5 และ 8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณของแข็ง 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทโดยใช้เทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นของสารละลายอินทรีย์และโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณของแข็งที่แตกต่างกัน

Phase	Ingredients	Solid content polymer microcapsules (% wt)		
		6	11	18
Oil	PC (g)	2.00	4.00	7.00
	MA (g)	1.00	2.00	3.50
	PVA (g)	2.00	2.00	2.00
	DCM (g)	25.00	25.00	25.00
Aqueous	SDS (g)	0.45	0.45	0.45
	H <sub>2</sub> O (g)	44.55	44.55	44.55

### 3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน

ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้กลไกการแยกวัฏภาคภายใน ได้เลือกใช้มอนอเมอร์สองชนิด คือ เมทิลเมทาคริเลต เป็นมอนอเมอร์หลักและเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์เชื่อมร่างแห เพราะเป็นมอนอเมอร์ที่มีความชอบน้ำ เมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์น่าจะมีการแยกวัฏภาคที่สมบูรณ์กับเมทิลแอนทรานิเลท และมอนอเมอร์ทั้งสองตัวนี้เป็นมอนอเมอร์เกรดทางการค้าที่มีราคาไม่แพงนิยมใช้ในอุตสาหกรรม โดยการนำมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (V-70) และเมทิลแอนทรานิเลทละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้น นำไปเติมลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวแล้วปั่นด้วยแรงเฉือนสูง 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อเตรียมหยดมอนอเมอร์ จะได้อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ นำไปเทลงในขวดก้นกลม ปิดด้วยจุกยางซิลิโคน (Silicone rubber septum) ทำให้อยู่ในระบบสุญญากาศ โดยการใช้ปั๊มดูดสลักกับเป่าแก๊สไนโตรเจนประมาณ 5 รอบ เริ่มทำการสังเคราะห์โดยนำไปใส่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส แผนผังการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท แสดงดังภาพที่ 3.3 โดยในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้



ภาพที่ 3.3 การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลเอทธานิลด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบแวนลอย

1) ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

ได้ทำการศึกษาปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1.3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูล เพื่อจะให้ได้เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ (% Conversion) ที่สูงและใช้เวลาในการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลน้อยที่สุด ดังตารางที่ 3.8

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์

โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้มากขึ้น ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ที่สูง จึงได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ 4, 4-อะโซบิส (4-เมทอกซี-2, 4-ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูล โดยใช้สภาวะดังตารางที่ 3.8



**ตารางที่ 3.8** สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ  
แขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่ม  
ปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

Ingredient	V-70 (% wt of MMA)		
	1	3	5
MMA (g)	5.00	5.00	5.00
MA (g)	5.00	5.00	5.00
V-70 (g)	0.05	0.15	0.25
PVA solution (1% wt) (g)	90.00	90.00	90.00

### 3) เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์

ได้ศึกษาการเพิ่มเวลาในการสังเคราะห์เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูล โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ โดยทำการศึกษาที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้ 4, 4-อะโซบิส (4-เมทอกซี-2, 4-ไดเมทิลวาเลโรไนล์) 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ดังตารางที่ 3.8

### 4) อัตราส่วนของมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาอัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลทเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วน 1:1 และ 2:1 ดังตารางที่ 3.9

### 5) การโคมอนอเมอร์

เพื่อต้องการให้เปลือกของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต เป็นมอนอเมอร์เชื่อมร่างแหที่ 0.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โมลของเมทิลเมทาคริเลต ดังตารางที่ 3.10

**ตารางที่ 3.9** สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ  
แขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอ-  
เมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

Ingredient	MMA:MA	
	1:1	2:1
MMA (g)	5.00	6.67
MA (g)	5.00	3.33
V-70 (1% wt of MMA) (g)	0.15	0.15
PVA solution (1% wt) (g)	90.00	90.00

**ตารางที่ 3.10** สภาวะในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบ  
แขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่ม  
ปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4  
ชั่วโมง ใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตปริมาณแตกต่างกัน

Ingredient	EGDMA (% mole of MMA)		
	0	5	10
MMA (g)	5.00	4.50	4.00
EGDMA (g)	0.00	0.50	1.00
MA (g)	5.00	5.00	5.00
V-70 (1% wt of MMA) (g)	0.05	0.05	0.05
PVA solution (1% wt) (g)	90.00	90.00	90.00

ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลท  
ทั้งสองเทคนิค จะทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ เช่น รูปร่างและพื้นผิว

ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค องค์ประกอบของพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์และหาประสิทธิภาพในการหุ้มรวมถึงปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.3.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท

#### 3.3.3.1 การศึกษาลักษณะรูปร่างของพอลิเมอร์แคปซูล

พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยทั้งสองเทคนิคจะนำไปศึกษาลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและศึกษาพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

#### 3.3.3.2 การศึกษาขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูล

พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคทั้งก่อนและหลังระเหยตัวทำละลายจะทำการวัดขนาดและการกระจายตัว ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคโดยใช้มุมหักเห  $165^\circ$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

#### 3.3.3.3 การศึกษาองค์ประกอบของพอลิเมอร์แคปซูล

ทำการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบของพอลิเมอร์แคปซูลโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์ โดยการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 600 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

#### 3.3.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูล

นำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสองเทคนิคไปหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทที่ถูกหุ้มในแคปซูลด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายจะนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ ชั่งน้ำหนักประมาณ 20 มิลลิกรัม แล้วนำไปละลายในไดคลอโรมีเทน 10 กรัม จะได้สารละลาย จากนั้นทำการเจือจาง เพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น

335 นาโนเมตร ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่เมทิลแอนทรานิเลทดูดกลืนแสงได้สูงสุด ( $\lambda_{\max}$ ) จะได้ค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลแอนทรานิเลท จากนั้นนำไปแทนค่าลงในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ก็จะได้ความเข้มข้นของเมทิลแอนทรานิเลท ส่วนเทคนิคการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย จะนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปละลายในทูลอีน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 335 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 5 10 15 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแล้วทำการคำนวณหาประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุสารโดยใช้สมการ (1) และ (2) กรณีการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย ส่วนเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอยจะนำเปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์มาใช้ในการคำนวณด้วย

$$\text{ประสิทธิภาพในการหุ้ม (\%)} = (W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{MA-theory}}) \times 100 \quad (1)$$

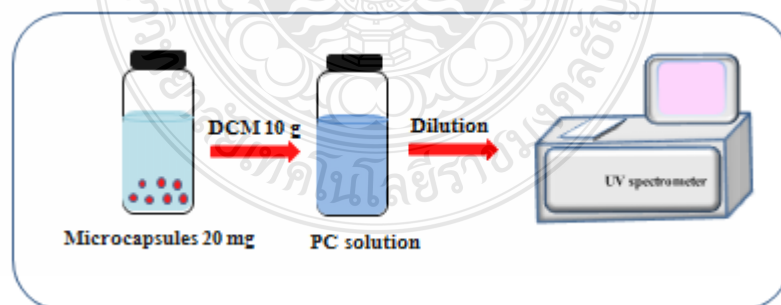
$$\text{การบรรจุสาร (\%)} = [W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{capsule}}] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

$W_{\text{MA-experiment}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการทดลอง

$W_{\text{MA-theory}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการคำนวณ

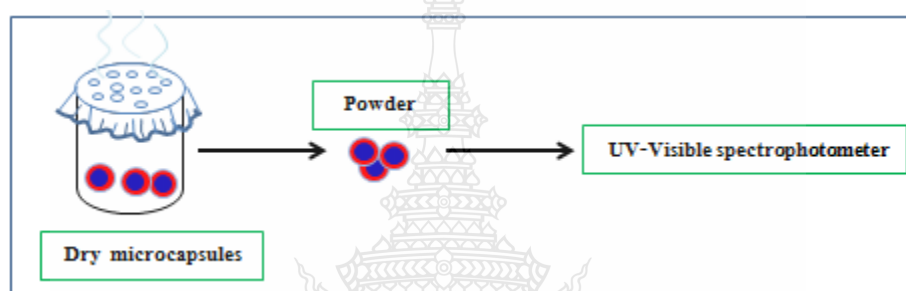
$W_{\text{capsule}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 3.4 การหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูล

### 3.3.4 การศึกษาการปลดปล่อยของเมทิลแอนทรานิลีนในพอลิเมอร์แคปซูล

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาการปลดปล่อยของเมทิลแอนทรานิลีนจากพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ดังภาพที่ 3.5 นำผงของพอลิเมอร์แคปซูล ใส่น้ำชงๆละ 0.2 กรัม จากนั้นตั้งทิ้งไว้ เมื่อเวลาผ่านไปตามที่กำหนด จะนำพอลิเมอร์แคปซูลไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลแอนทรานิลีนที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆสองสัปดาห์เป็นเวลาประมาณสามเดือน



ภาพที่ 3.5 การศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทรานิลีนในพอลิเมอร์แคปซูล

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ โดยในส่วนแรกเป็นการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวก เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เพราะที่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เริ่มต้นจากการเตรียมหยดสารละลายอินทรีย์ที่กระจายตัวในสารละลายของสารลดแรงตึงผิว จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกจะได้พอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมหยดสารละลายอินทรีย์สามารถเตรียมได้สองวิธี คือ แบบดั้งเดิมและแบบกลับวัฏภาคโดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.1.1 การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม

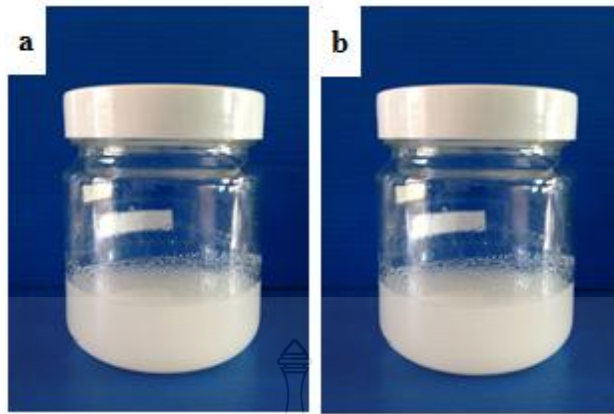
การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม เป็นการเตรียมหยดโดยใช้การปั่นด้วยใบพัดที่อัตราการปั่นและเวลาที่เหมาะสม โดยเริ่มต้นนำพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายที่เหมาะสม จากนั้นนำไปกระจายตัวลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม แล้วนำไปปั่นจะได้หยดของสารละลายพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ที่เรียกว่า ชั้นของน้ำมัน กระจายตัวอยู่ในสารละลายสารลดแรงตึงผิวที่ทำหน้าที่ป้องกันการรวมตัวของหยดน้ำมัน จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออก ในระหว่างการระเหยตัวทำละลาย พอลิเมอร์จะค่อยๆ แยกวัฏภาคออกจากเมทิลแอนทรานิเลท โดยที่พอลิเมอร์จะเคลื่อนตัวออกมาด้านนอกหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทไว้ภายใน เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตมีความชอบน้ำมากกว่าเมทิลแอนทรานิเลท จึงแยกวัฏภาคออกมาเป็นเปลือกอยู่ด้านนอก ในขณะที่เมทิลแอนทรานิเลทเป็นแกน พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมนี้อาจมีขนาดในระดับไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลที่กว้าง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเทคนิคนี้ เนื่องจากการใช้ใบพัดในการปั่นเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลทำให้แรงในการปั่นกวนไม่สม่ำเสมอ สารละลายที่อยู่ใกล้ใบพัดก็จะมีขนาดใหญ่ ส่วนสารละลายที่อยู่ไกลใบพัดก็จะมีขนาดเล็ก โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลดังต่อไปนี้

#### 4.1.1.1 ผลของชนิดตัวทำละลายอินทรีย์

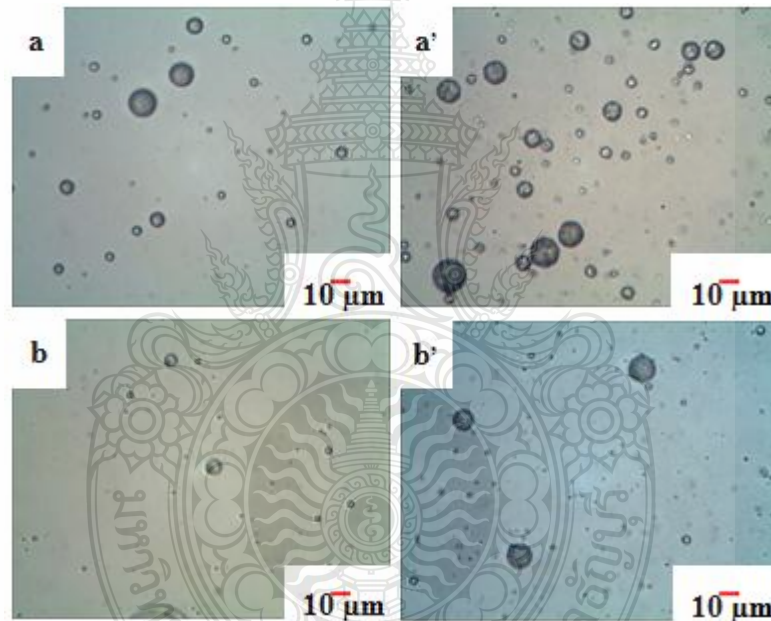
ชนิดของตัวทำละลายจะมีผลต่อการละลายของพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทให้เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งจะมีผลต่อความสม่ำเสมอของปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในแต่ละหยดของสารละลายอินทรีย์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานี้ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งหมด 4 ชนิด คือ ทูโลอิน เททระไฮโดรฟูแรน ไดคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์มโดยใช้อัตราส่วนของพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทที่ 2:1 พบว่า ทูโลอินและเททระไฮโดรฟูแรน ไม่สามารถละลายพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทได้ดังภาพที่ 4.1 (a และ b) แต่ในกรณีของไดคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์มสามารถละลายพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ดังภาพที่ 4.1 (c และ d) ได้สารละลายเนื้อเดียวมีลักษณะใส จากนั้นนำสารละลายของพอลิเมอร์ไปใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล พบว่าสารแขวนลอยที่เตรียมได้จากตัวทำละลายทั้งสองชนิดมีลักษณะเหมือนน้ำมัน เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความหนาแน่นรวมของพอลิเมอร์แคปซูลมากกว่าน้ำ เช่น ที่อัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท 2:1 มีความหนาแน่นรวม 1.189 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ความหนาแน่นของพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทคือ 1.2 และ 1.168 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ [19, 61]) ดังภาพที่ 4.2 (a และ b) จากการศึกษาลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงพบว่า อนุภาคแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลมทั้งก่อนและหลังระเหยตัวทำละลาย ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 การทดสอบการละลายของพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ: (a) ทูโลอิน (b) เททระไฮโดรฟูแรน (c) ไดคลอโรมีเทน และ (d) คลอโรฟอร์ม



ภาพที่ 4.2 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมโดยการเตรียม  
 หยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม โดยใช้ตัวทำละลาย (a) ไดคลอโรมีเทนและ (b) คลอโรฟอร์ม



ภาพที่ 4.3 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียม โดยการ  
 เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมก่อน (a และ b) และหลัง (a' และ b') ระเหยตัวทำละลาย  
 โดยใช้ไดคลอโรมีเทน (a และ a') และ คลอโรฟอร์ม (b และ b')

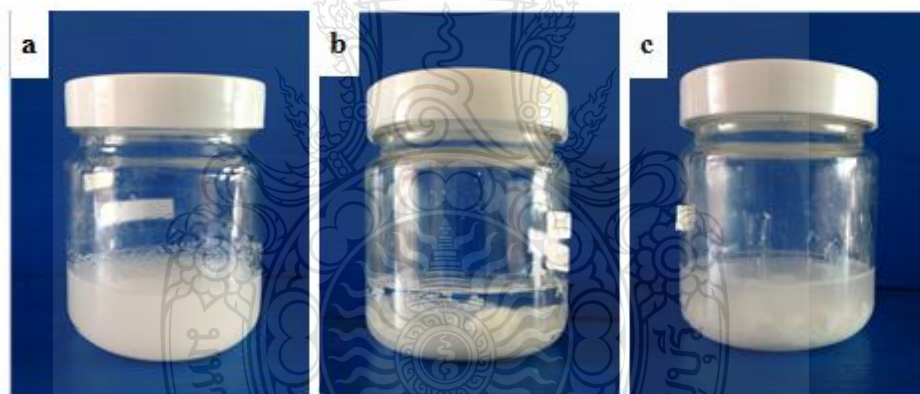
อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงอัตราเร็วในการระเหยตัวทำละลายและค่าการ  
 ละลายน้ำของตัวทำละลายทั้งสองชนิดพบว่าไดคลอโรมีเทนจะระเหยได้เร็วกว่าคลอโรฟอร์ม  
 เนื่องจากไดคลอโรมีเทนมีค่าความดันไอสูงกว่าคลอโรฟอร์ม คือ 340 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20  
 องศาเซลเซียส ในขณะที่คลอโรฟอร์มมีค่าความดันไอ 160 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 20 องศา-



เซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าไคคลอโรมีเทนมีการกลายเป็นไอสูงกว่าคลอโรฟอร์มถึงสองเท่าและมีค่าการละลายน้ำที่สูงกว่าคลอโรฟอร์ม คือ 1.3 และ 0.8 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส [62] ตามลำดับ จึงทำให้ในขั้นตอนการระเหยตัวทำละลาย ไคคลอโรมีเทนจะละลายน้ำและระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่าคลอโรฟอร์ม จึงใช้เวลาสั้นกว่าในการกำจัดตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้น จึงเลือกใช้ไคคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายของพอลิคาร์บอนเนตในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล

#### 4.1.1.2 ผลของชนิดของสารลดแรงตึงผิว

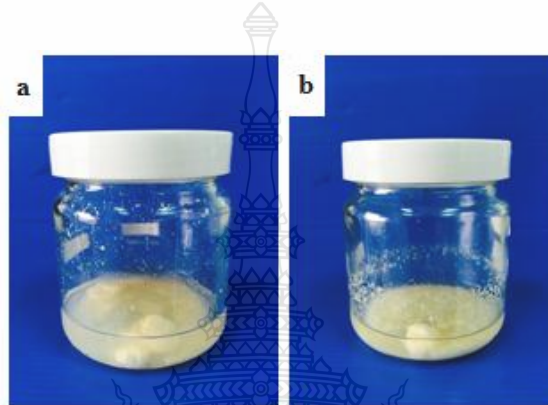
ชนิดของสารลดแรงตึงผิวจะมีผลต่อความเสถียรทางคอลลอยด์ของพอลิเมอร์แคปซูลทั้งก่อนและหลังระเหยตัวทำละลายและมีผลต่อขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ จึงได้ทำการศึกษาสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด 3 ประเภท คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ชนิดประจุบวกและประจุลบ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ไมริสทิลไตรเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์ และโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต ตามลำดับ โดยเริ่มต้นใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



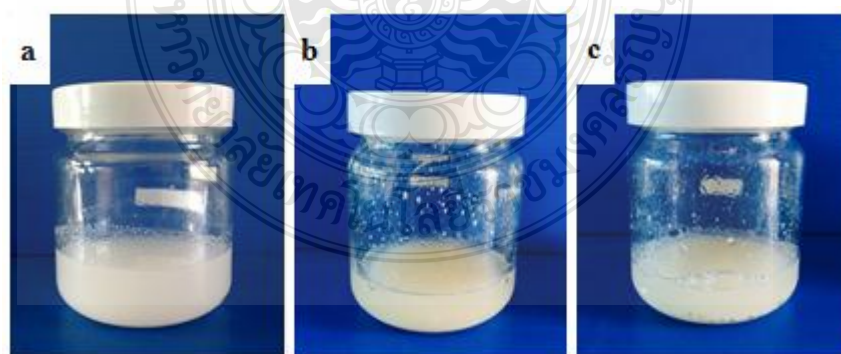
ภาพที่ 4.4 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอมมอเนียมโบรไมด์ที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (b) โซเดียมโคเคซิลซัลเฟต และ (c) ไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

พบว่า เมื่อใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว สารแขวนลอยที่เตรียมได้มีลักษณะคล้ายน้ำนม ดังภาพที่ 4.4 (a) เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวจะใช้ความเกาะของสายโซ่ในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์หรือพอลิเมอร์แคปซูล ในกรณีของไมริสทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตไม่สามารถป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์และแคปซูลได้จะสังเกตว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้จะเกิดการจับ

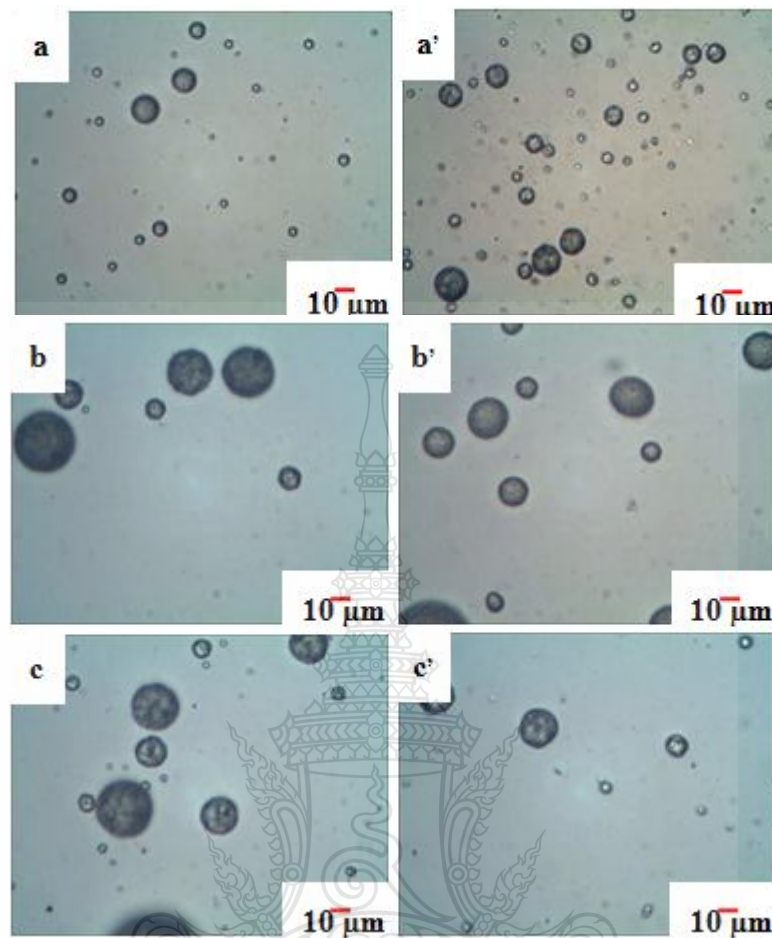
รวมตัวกันเป็นก้อน เกิดฟิล์มบางๆ และเกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นของสารอินทรีย์และชั้นน้ำอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 4.4 (b และ c) เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและลบจะเป็นสารโมเลกุลเล็กกว่าชนิดไม่มีประจุมาก จึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์หรือพอลิเมอร์แคปซูลต่ำกว่าหากใช้ความเข้มข้นเท่ากัน จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นของไมริสทิลไตรเมธิลแอมโมเนียมโบรไมด์และโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตเป็น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งพบว่าสารแขวนลอยที่เตรียมได้ยังคงเกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อนเหมือนเดิม ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม โดยใช้ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) โซเดียมโคเดซิลซัลเฟต และ (b) ไมริสทิลไตรเมธิลแอมโมเนียมโบรไมด์



ภาพที่ 4.6 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ที่มวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัมต่อโมล) (a) 50,000 (b) 100,000 และ (c) 120,000



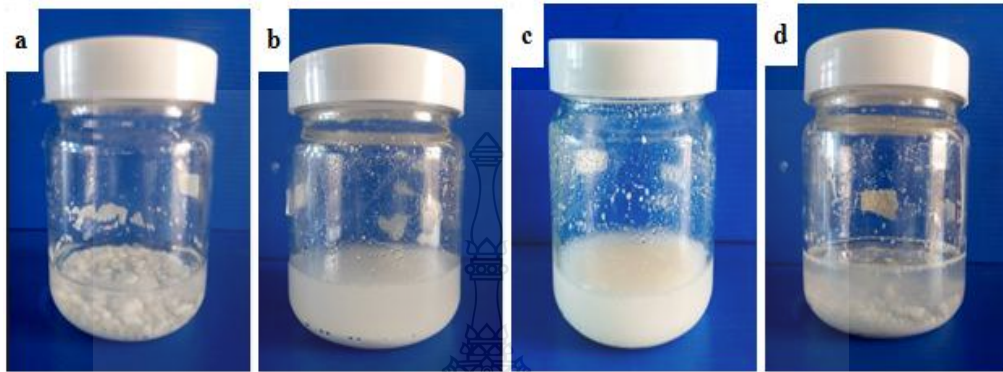
ภาพที่ 4.7 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาครีเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมก่อน (a-c) และหลัง (a'-c') ระเหยตัวทำละลาย โดยใช้มวลโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัมต่อโมล) (a และ a') 50,000 (b และ b') 100,000 และ (c และ c') 120,000

หากทำการเพิ่มความเข้มข้นอีกจะเป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไป ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นสารลดแรงตึงผิว เพราะสามารถป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์และแคปซูลได้โดยใช้ปริมาณน้อย จากนั้นได้ทำการศึกษามวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสประมาณ 87-90 % ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่นิยมใช้กันทั่วไป จากสมมุติฐานที่ว่าเมื่อมวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น สายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ก็จะยาวเพิ่มมากขึ้นเช่นกันน่าจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์และพอลิเมอร์แคปซูลได้ดีและทำให้ขนาดที่ได้เล็กลงและมีการกระจายตัวที่แคบลง จาก

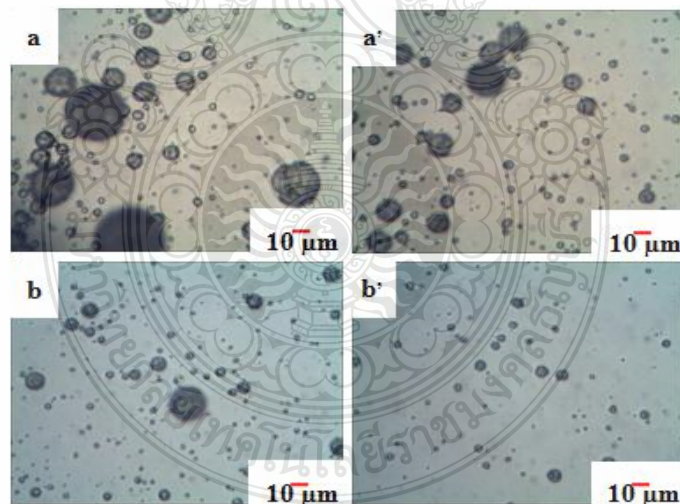
การทดลองพบว่า สารแขวนลอยที่เตรียมได้มีความเป็นคอลลอยด์สูง ดังภาพที่ 4.6 แต่จะเห็นได้ว่า เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากเมื่อความยาวของสายโซ่เพิ่มมากขึ้นความมีขี้จะลดลง ดังนั้นส่วนหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อาจจะละลายอยู่ในชั้นหรือหยดของสารละลายอินทรีย์ ทำให้มีปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ทำหน้าที่ในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์และพอลิเมอร์แคปซูลลดลง เพื่อเป็นการยืนยันสมมุติฐานดังกล่าว จึงทำการศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อขนาดของหยดสารอินทรีย์และแคปซูล โดยที่ใช้มวลโมเลกุลเท่ากัน เนื่องจากความมีขี้ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส โดยความมีขี้ดังกล่าวนี้จะส่งผลให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายในวัฏภาคของสารอินทรีย์และของน้ำแตกต่างกัน ถ้าเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสน้อย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะละลายได้ดีในชั้นน้ำ ในทางตรงกันข้ามเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสมาก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะละลายในชั้นน้ำได้น้อย เนื่องจากมีการเกิดผลึกในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์และพอลิเมอร์แคปซูลแตกต่างกัน โดยจะทำการศึกษาที่เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสที่ 70 80 90 และ 100

จากการทดลองพบว่าที่เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สารแขวนลอยที่เตรียมได้เกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อน ดังภาพที่ 4.8 (a และ d) อาจเนื่องมาจากที่ 70 เปอร์เซ็นต์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสภาพขี้ต่ำเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้มวลโมเลกุลสูง (120,000 กรัมต่อโมล ที่เปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส 87-90 เปอร์เซ็นต์) โดยสายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บางส่วนจะละลายในชั้นของน้ำทำให้เหลือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่รอยต่อระหว่างผิวและในชั้นของสารละลายอินทรีย์น้อย ส่งผลให้หยดสารอินทรีย์รวมตัวกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างหยดสารละลายอินทรีย์กับชั้นน้ำ ทำให้หยดสารละลายอินทรีย์มีความเสถียรทางคอลลอยด์ ในทางกลับกันที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความมีขี้ต่ำ ดังนั้น ส่วนใหญ่สายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงละลายอยู่ในชั้นของสารละลายอินทรีย์ ในขณะที่ในหยดสารละลายอินทรีย์และที่รอยต่อระหว่างผิวมีปริมาณน้อยทำให้หยดของสารละลายอินทรีย์รวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีของไฮโดรไลซิส 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกรณีของเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิส 80 และ 90 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสภาพขี้ที่เหมาะสม ทำให้มีปริมาณที่รอยต่อระหว่างผิวเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวกันของหยดสารละลายอินทรีย์ สารแขวนลอยที่เตรียมได้จึงมีลักษณะเป็นน้ำนมซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง ดังภาพที่ 4.8 (b และ c) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ขนาดของหยดสารละลายอินทรีย์ ดังภาพที่ 4.9 (a, a') และ (b, b') แล้วพบว่าการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสที่ 90 จะมีขนาดของหยด

สารละลายอินทรีย์ ภาพที่ 4.9 (b) และพอลิเมอร์แคปซูล ภาพที่ 4.9 (b) ที่เล็กกว่าที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงเลือกเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์เป็นสภาวะที่เหมาะสมและใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยอื่นๆต่อไป



ภาพที่ 4.8 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาคราติลที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ใช้มวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50,000 กรัมต่อโมล ที่เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์) (a) 70 (b) 80 (c) 90 และ (d)100

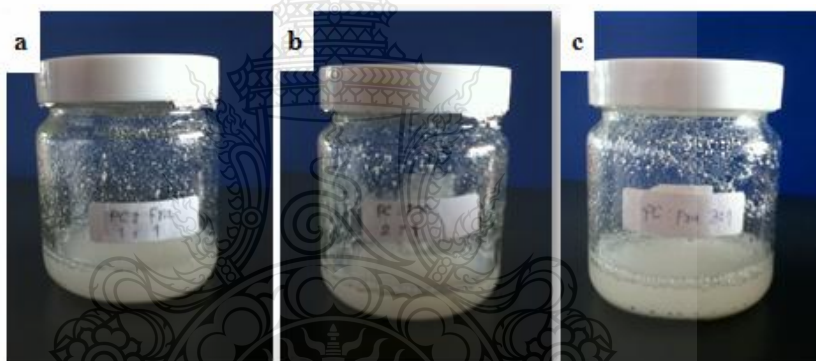


ภาพที่ 4.9 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาคราติลที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ก่อน (a-b) และหลัง (a' - b') ระเหยตัวทำละลาย โดยใช้มวลโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 50,000 กรัมต่อโมล ที่เปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์) (a และ a') 80 และ (b และ b') 90

จากนั้นได้ทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลทเพื่อให้ได้แคปซูลที่มีการหุ้มสมบูรณ์ มีปริมาณการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลเทียบกับน้ำหนักทั้งหมดของพอลิเมอร์แคปซูล (% Loading) และมีประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท (% Encapsulation) สูงที่สุด

#### 4.1.1.3 ผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท

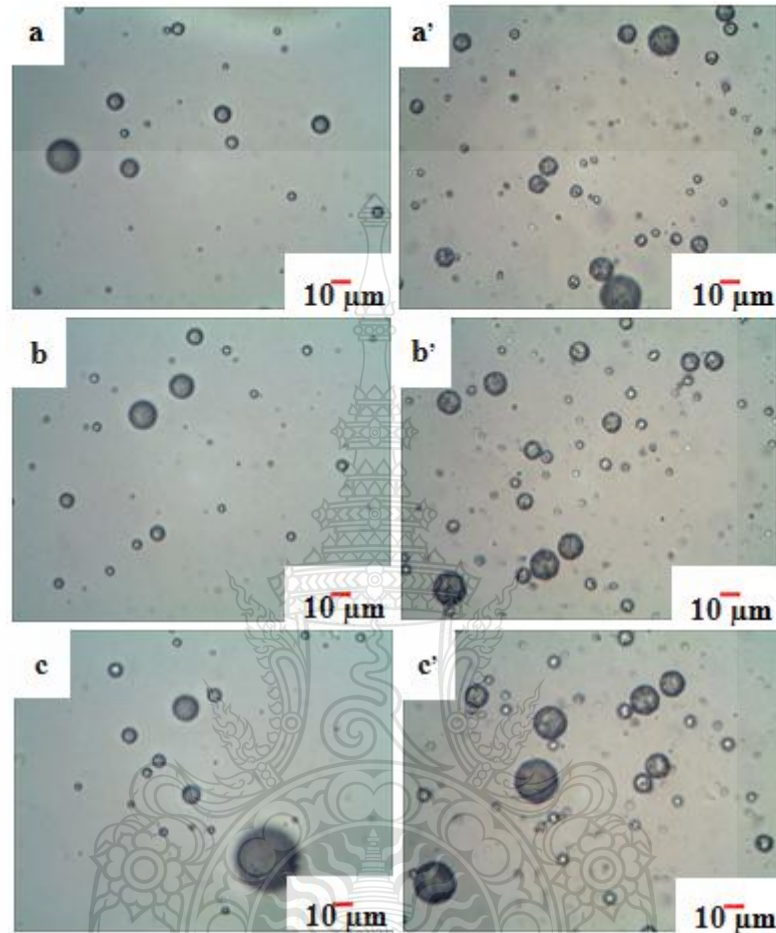
จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลทที่อัตราส่วน 1:1 2:1 และ 3:1 มีผลต่อลักษณะรูปร่าง พื้นผิวของพอลิเมอร์แคปซูลและปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทที่ถูกหุ้ม สารแขวนลอยที่เตรียมได้ทั้งสามสภาวะมีความเป็นคอลลอยด์สูง ไม่เกิดการจับกันเป็นก้อน เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 4.10 เนื่องจากพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจึงได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้



ภาพที่ 4.10 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท (a) 1:1 (b) 2:1 และ (c) 3:1

เมื่อนำสารแขวนลอยทั้งสามสภาวะไปศึกษาลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่ามีขนาดอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลอยู่ในระดับไมโครเมตรและมีการกระจายตัวที่กว้าง โดยทั้งสามสภาวะก่อนระเหยตัวทำละลาย หยดสารอินทรีย์มีลักษณะเป็นทรงกลมเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 4.11 (a-c) เมื่อระเหยตัวทำละลายออกพบว่าพอลิเมอร์แคปซูลมีขนาดเล็กลงเป็นทรงกลมเหมือนเดิมแต่ที่บวมมากขึ้น ดังภาพที่ 4.11 (a'-c') เพราะเกิดการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์กับเมทิลแอนทรานิเลทโดยที่สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบเนื่องจากเกิดการระเหยตัวทำละลายออกไปจากหยดสารอินทรีย์ค่อนข้างเร็ว ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีเวลาในการ

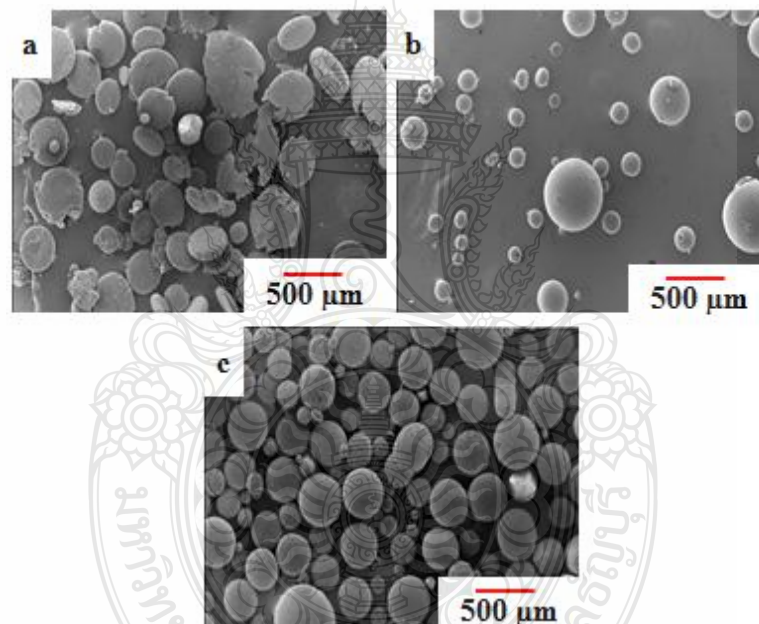
จัดเรียงตัวน้อย เช่นเดียวกับการเตรียมพอลิแอลแลคติกแอซิดแคปซูลหุ้มปืยูเรีย [63] และการเตรียมพอลิแอลแลคติกแอซิดแคปซูลหุ้มวิตามินอีโดยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย [5]



ภาพที่ 4.11 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมก่อน (a-c) และหลัง (a' - c') ระเหยไดคลอโรมีเทนที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท (a และ a') 1:1 (b และ b') 2:1 และ (c และ c') 3:1

เมื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ในอัตราส่วนพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท 1:1 มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีการแตกและเกิดการขยุตัว ดังภาพที่ 4.12 (a) ซึ่งน่าจะเนื่องจากปริมาณของพอลิคาร์บอเนตไม่เพียงพอต่อการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท ในทางตรงกันข้ามที่อัตราส่วน 2:1 พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวเรียบ ดังภาพที่ 4.12 (b) จึงสันนิษฐานว่าน่าจะเป็น

การแยกวัฏภาคของพอลิคาร์บอเนตหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทได้ดีและเกิดการหุ้มที่สมบูรณ์ แต่ถ้าเกิดการแยกวัฏภาคไม่สมบูรณ์ พื้นผิวของพอลิเมอร์แคปซูลน่าจะมีลักษณะขรุขระไม่เรียบ เพราะอาจจะมีเมทิลแอนทรานิเลทอยู่ที่ผิวของเปลือกพอลิเมอร์แคปซูล เมื่อระเหยตัวทำละลายออก เมทิลแอนทรานิเลทที่ผิวก็จะระเหยออกเช่นกัน ทำให้ผิวมีลักษณะขรุขระได้ ส่วนที่อัตราส่วน 3:1 ลักษณะของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีรูพรุน ผิวไม่เรียบ ขรุขระ ดังภาพที่ 4.12 (c) เนื่องจากมีปริมาณของพอลิคาร์บอเนตมากเกินไป ทำให้มีความหนืดสูงในหยดสารละลายอินทรีย์ เมื่อระเหยตัวทำละลายออก พอลิคาร์บอเนตจะเคลื่อนที่ได้ยากทำให้ไม่สามารถเคลื่อนมาที่ผิวของหยดสารละลายอินทรีย์หรือพอลิเมอร์แคปซูลได้สมบูรณ์ จากข้อมูลจะพบว่าที่อัตราส่วนของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท 2:1 และ 3:1 สามารถเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูลได้แต่ลักษณะพื้นผิวที่ได้แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

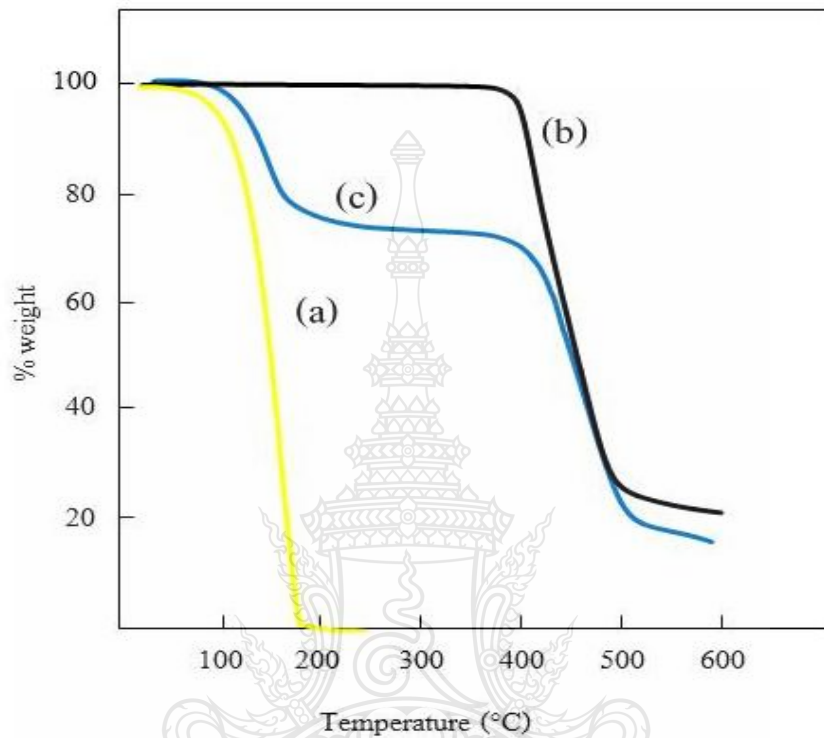


ภาพที่ 4.12 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมที่อัตราส่วนต่างๆของพอลิคาร์บอเนต:เมทิลแอนทรานิเลท (a) 1:1 (b) 2:1 และ (c) 3:1

จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีเมทิลแอนทรานิเลทอยู่จริง จึงได้นำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ทางองค์ประกอบด้วยเครื่องเทอร์โมกราฟิเมตริกอะนาลิเซอร์ พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการสลายตัวสองช่วง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟการสลายตัวของเมทิลแอนทรานิเลท (a) และพอลิคาร์บอเนต (b) การสลายตัวในช่วงแรกนั้น



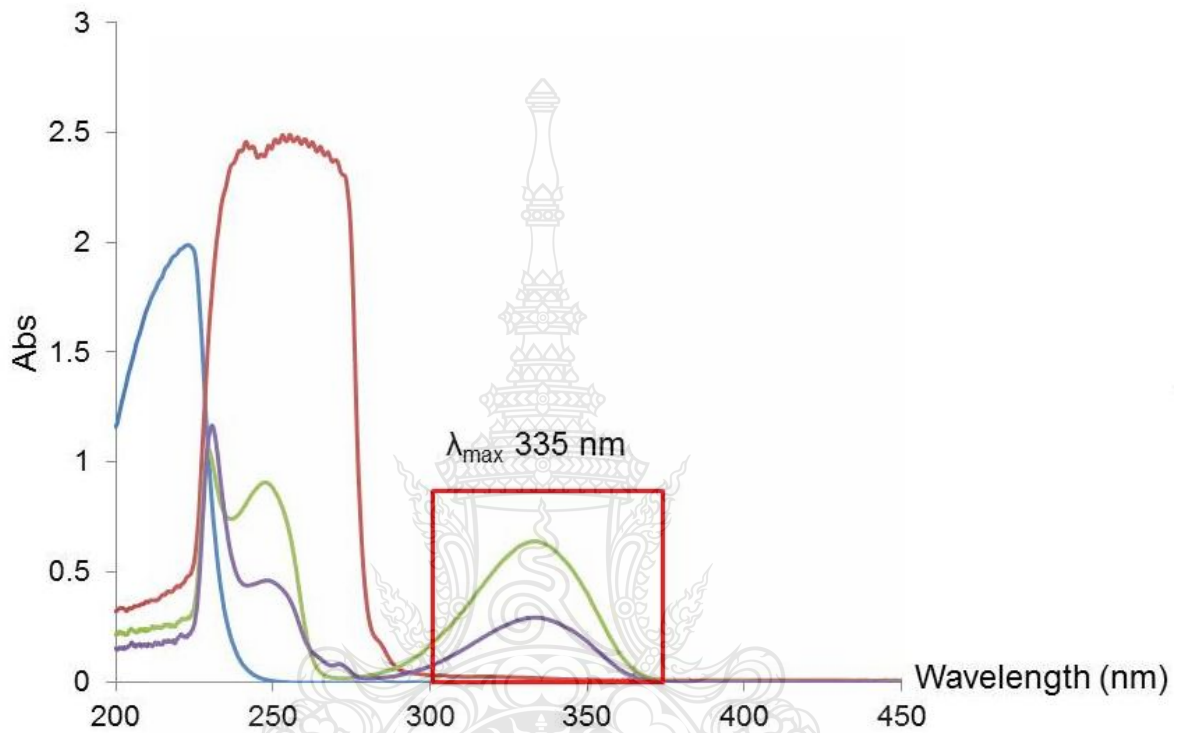
เป็นการสลายตัวของเมทิลแอนทรานิเลท มีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 80-200 องศาเซลเซียสและช่วงที่สองเป็นของพอลิคาร์บอเนตตั้งแต่ 300-500 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.13 บ่งบอกได้ว่าสามารถเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลได้โดยมีเมทิลแอนทรานิเลทและพอลิคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 4.13 TGA thermogram แสดงการสลายตัวของ (a) เมทิลแอนทรานิเลท (b) พอลิคาร์บอเนต และ (c) พอลิคาร์บอเนตแคปซูล ที่เตรียมด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม

จากนั้นได้นำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสองอัตราส่วนไปหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทที่ถูกหุ้มอยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลรวมถึงประสิทธิภาพในการหุ้มด้วยเครื่องยูวีวิลิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากภาพที่ 4.14 แสดงการดูดกลืนแสงของไดคลอโรมีเทน พอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลท พบว่า เมทิลแอนทรานิเลทมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ไม่ซ้อนทับกับสารอื่นๆที่ 335 นาโนเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เทียบกับสารละลายมาตรฐานของเมทิลแอนทรานิเลท พบว่ามีปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับภาพ SEM micrograph คือ ที่อัตราส่วนที่ 2:1 มีประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทมากกว่าที่อัตราส่วน

3:1 เพราะว่าที่อัตราส่วน 2:1 แคปซูลที่ได้มีลักษณะพื้นผิวเรียบทำให้สามารถหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทได้สมบูรณ์ ต่างจากที่อัตราส่วน 3:1 ซึ่งจะมีการสูญเสียเมทิลแอนทรานิเลทบางส่วนในระหว่างขั้นตอนการเตรียม ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วน 2:1 เป็นสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิคาร์บอเนตหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท



ภาพที่ 4.14 การดูดกลืนแสงของ (—) ไดคลอโรมีเทน (—) พอลิคาร์บอเนต (—) สารละลายมาตรฐานของเมทิลแอนทรานิเลทและ (—) พอลิเมอร์แคปซูล

ตารางที่ 4.1 ปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ประสิทธิภาพในการหุ้มและปริมาณการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทที่อัตราส่วนต่างๆ

PC:MA	MA (mg)		Encapsulation efficiency (%)	Loading (%)
	Theory	Experiment		
2:1	7.0670	5.6523	79.98	26.66
3:1	10.8250	7.1785	66.31	16.57

จากการศึกษาการเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายที่มีการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม ได้มีการศึกษาผลของชนิดตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิว มวลโมเลกุลและค่าการไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัตราส่วนของพอลิคาร์บอเนตและเมทิลแอนทรานิเลท สามารถสรุปสภาพที่เหมาะสมได้ดังนี้ ใช้ไดคลอโรโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มวลโมเลกุล 50,000 กรัมต่อโมล ค่าการไฮโดรไลซิส 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารลดแรงตึงผิวและอัตราส่วนพอลิคาร์บอเนตต่อเมทิลแอนทรานิเลทที่ 2:1 พอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จะมีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง ขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตร มีการกระจายตัวที่กว้าง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ แต่อาจจะไม่สามารถควบคุมการปลดปล่อยของเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการกระจายตัวของขนาดค่อนข้างมาก ดังนั้น จึงทำการปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าวโดยทำการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ซึ่งโดยทั่วไปเทคนิคนี้จะสามารถเตรียมหยดสารอินทรีย์ที่มีขนาดและการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันซึ่งน่าจะเป็นข้อดีในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

#### 4.1.2 การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค

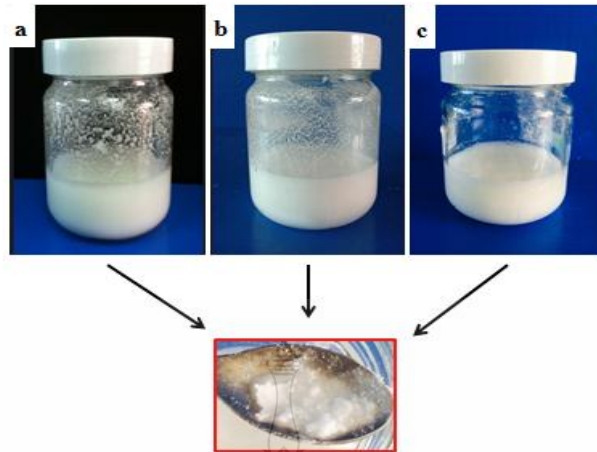
โดยทั่วไป การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคนิยมใช้ในทางเคมีอาหาร เพื่อเตรียมสารแขวนลอยต่างๆ ซึ่งทำให้ได้หยดสารอินทรีย์ที่มีการกระจายตัวของขนาดที่ใกล้เคียงกัน [64-67] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเทคนิคนี้มาใช้ในการเตรียมหยดสารอินทรีย์เพื่อเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มน้ำมันหอมระเหยให้มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ ซึ่งเทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมไม่สามารถทำได้ โดยเริ่มต้น นำสารละลายเนื้อเดียวของพอลิคาร์บอเนต เมทิลแอนทรานิเลทและสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นชั้นของน้ำมันไปปั่น ในขณะที่ปั่นให้ค่อยๆหยดน้ำหรือสารละลายของสารลดแรงตึงผิวอีกชนิดหนึ่งลงในชั้นน้ำมันด้วยอัตราคงที่ ในช่วงแรกๆจะเกิดสารแขวนลอยของน้ำในน้ำมัน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปชั้นของสารละลายสารลดแรงตึงผิวมากกว่าชั้นของน้ำมัน จะเกิดการกลับวัฏภาคกลายเป็นสารแขวนลอยน้ำมันในน้ำ โดยจะได้หยดของสารอินทรีย์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อระเหยตัวทำละลายออกจะได้พอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท โดยที่พอลิคาร์บอเนตเป็นเปลือกและเมทิลแอนทรานิเลทเป็นแกน ด้วยลักษณะการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคนี้ขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็ก และการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลแคบ เนื่องจากการละลายสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นของน้ำมันทำให้สารลดแรงตึงผิวใช้เวลาน้อยในการเคลื่อนที่มายู่ที่รอยต่อระหว่างผิว ถ้าเทียบกับการละลายสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นน้ำ นอกจากนี้ การค่อยๆเติมวัฏภาคต่อเนื่องของสารละลายลดแรงตึงผิวลงในชั้นน้ำมันทำให้

สารลดแรงตึงผิวมีเวลามากพอในการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบสูงแล้วเคลื่อนที่มายู่ที่รอยต่อระหว่างผิว [68-70] โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเสถียรทางคอลลอยด์ ขนาดของอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาคและประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท

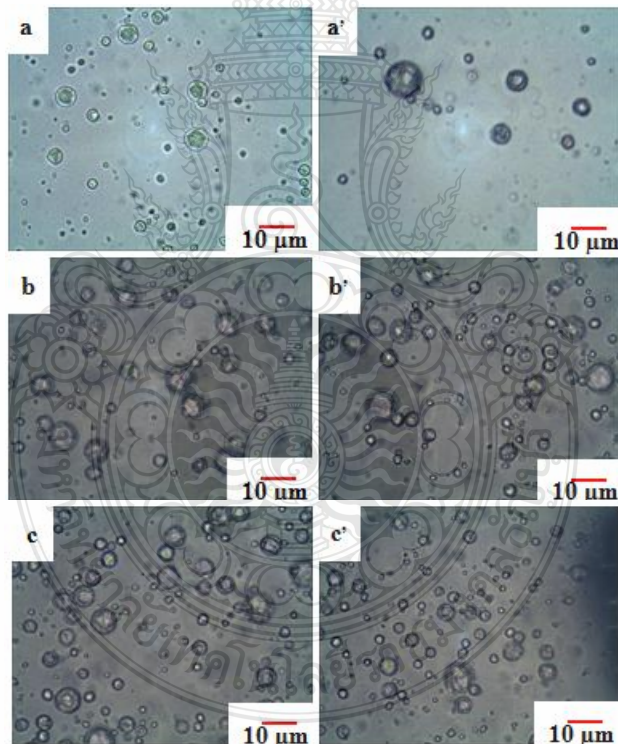
จากการศึกษาที่ผ่านมา Chaiyasat และคณะ [71] ได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิไควนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยวิธีการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคในระบบน้ำมันในน้ำ โดยได้ศึกษาปัจจัยของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ พอลิไควนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดประมาณ 1.5 ไมโครเมตร มีการกระจายตัวแคบ (ขนาดเฉลี่ยโดยน้ำหนักต่อโดยจำนวน ( $dw/dn$ ) เข้าใกล้ 1) และมีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทในระบบน้ำมันในน้ำ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้ ผลของสารลดแรงตึงผิว คือ พอลิไควนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ เปอร์เซ็นต์ของแข็งของพอลิเมอร์และอัตราเร็วที่ใช้ในการหยดสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตลงในชั้นน้ำมัน

#### 4.1.2.1 การศึกษาปริมาณของพอลิไควนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน

จากสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม พบว่า เมื่อใช้พอลิไควนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวจะสามารถป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์ได้ดี ดังนั้นในการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคนี้นี้จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นสภาวะพื้นฐานในการศึกษาเพื่อต้องการให้พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูงทั้งก่อนและหลังระเหยตัวที่ละลาย มีการกระจายตัวของอนุภาคที่แคบและขนาดของอนุภาคที่เล็ก โดยได้ทำการศึกษ ปริมาณของพอลิไควนิลแอลกอฮอล์ที่ 5 9 และ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมัน พบว่าสารแขวนลอยที่เตรียมได้ทั้งสามสภาวะมีการจับรวมตัวกันเป็นก้อน ดังภาพที่ 4.15 เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไควนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันมากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะละลายได้ยาก เนื่องจากค่าการละลายของพอลิไควนิลแอลกอฮอล์ลดลง เมื่อนำชั้นของสารแขวนลอยที่แยกส่วนที่จับรวมตัวกันเป็นก้อนออกแล้ว ไปตรวจสอบลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการกระจายตัวที่กว้าง ดังภาพที่ 4.16 แสดงว่าพอลิไควนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถป้องกันการรวมตัวของหยดสารอินทรีย์ได้ จึงได้เพิ่มโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในชั้นน้ำ เพราะว่าเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบจึงสามารถละลายน้ำได้ดี โดยให้ความเข้มข้นคงที่ที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น่าจะป้องกันการรวมตัวของหยดพอลิเมอร์แคปซูลได้

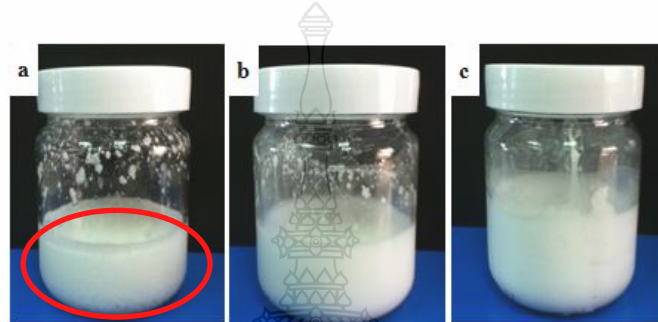


ภาพที่ 4.15 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 5 (b) 9 และ (c) 16

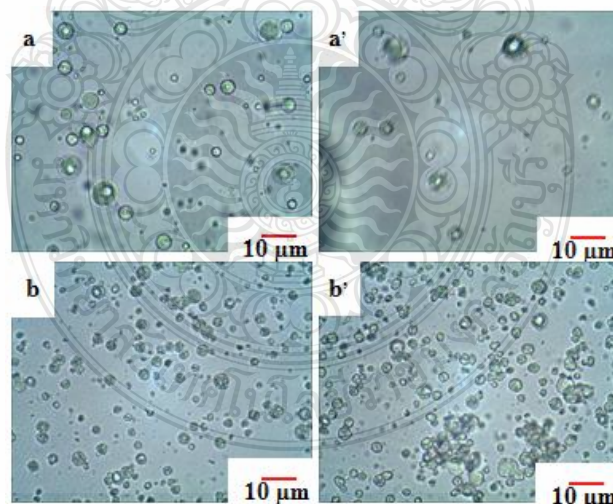


ภาพที่ 4.16 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a -c) และหลัง (a' -c') ระเหยตัวทำละลายที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 5 (b และ b') 9 และ (c และ c') 16

จากผลการทดลองพบว่า กรณีใช้โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำ เมื่อใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมัน สารแขวนลอยที่เตรียมได้ยังคงจับตัวกันเป็นก้อน ดังภาพที่ 4.17 (a) ในขณะที่ 9 และ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน สารแขวนลอยที่เตรียมได้เป็นน้ำนมมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ดังภาพที่ 4.17 (b และ c) เมื่อตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนจะเกิดการตกตะกอน แต่เมื่อเขย่าอีกครั้งก็ยังสามารถกลับมาเป็นสารแขวนลอยได้เหมือนเดิมซึ่งแสดงถึงความมีเสถียรภาพทางคอลลอยด์

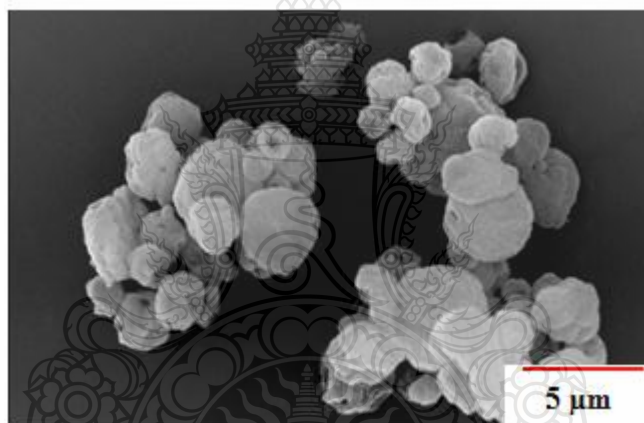


ภาพที่ 4.17 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 5 (b) 9 และ (c) 16 โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.18 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a -c) และหลัง (a' -c) ระยะเวลา 24 ชั่วโมงที่ใช้ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 9 และ (b และ b') 16 โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

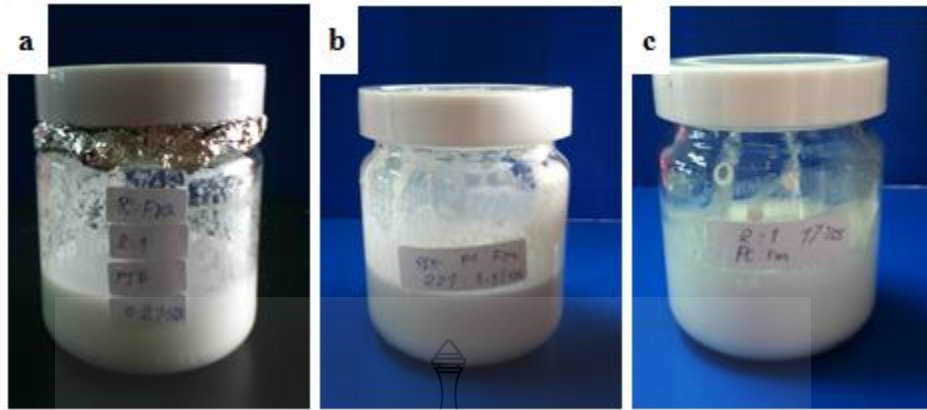
จากนั้น นำสารแขวนลอยที่ได้ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการกระจายตัวที่กว้างในกรณีของการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมัน 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังภาพที่ 4.18 (a) เมื่อเพิ่มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันเป็น 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดเล็กลงและมีการกระจายตัวที่แคบลงดังภาพที่ 4.18 (b) แต่หลังระเหยตัวทำละลาย พบว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการจับรวมตัวกันเป็นก้อนเล็กน้อย เมื่อนำไปศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังภาพที่ 4.19 พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อนซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Optical micrograph คือ มีบางส่วนที่เกาะกันเป็นก้อน ดังนั้น ในขั้นตอนต่อไปจะทำการเพิ่มปริมาณของ โซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต ในชั้นน้ำ โดยคงความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไว้ที่ 16 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.19 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียม โดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์ในชั้นน้ำมันและ โซเดียม โดเดซิล 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำ

#### 4.1.2.2 การศึกษาปริมาณของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ

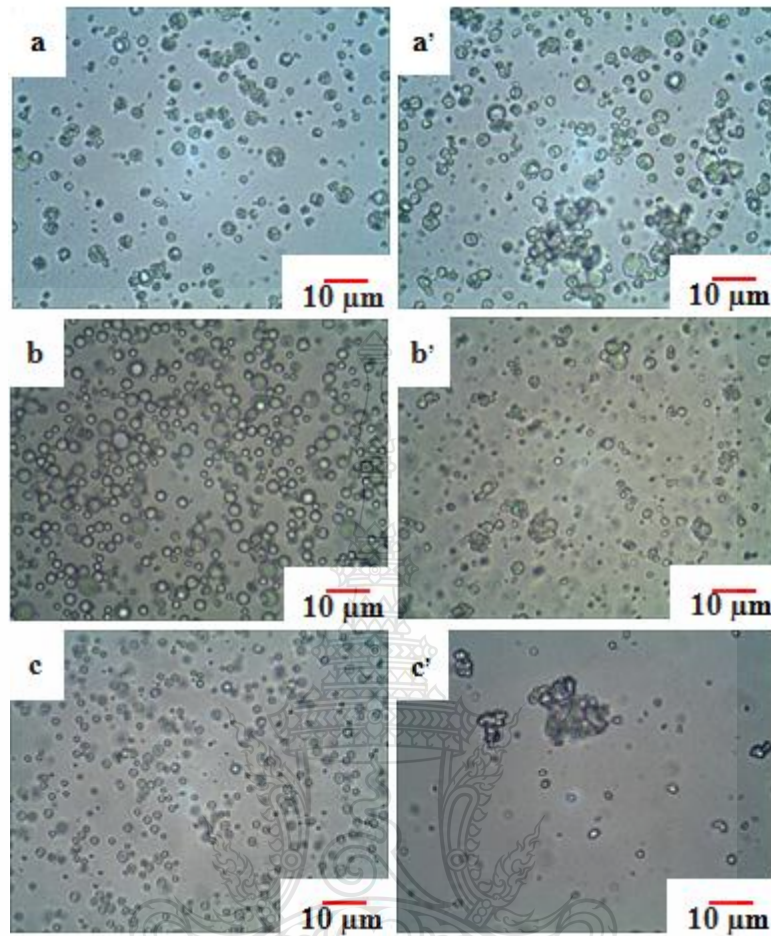
ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ เพื่อต้องการให้พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้หลังระเหยตัวทำละลายไม่เกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อน โดยเพิ่มจาก 0.2 เป็น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันจะคงที่ที่ 16 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารแขวนลอยที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น คล้ายน้ำนม มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง ดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและความเข้มข้นของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 0.2 (b) 0.5 และ (c) 1

เมื่อนำสารแขวนลอยที่เตรียมได้ไปส่องดูลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าหยดสารอินทรีย์ที่เตรียมได้มีขนาดเล็กลง ดังภาพที่ 4.21 (a - c) ตามความเข้มข้นของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น แต่หลังระเหยตัวทำละลายจะพบว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เกิดการจับกันบางส่วน ดังภาพที่ 4.21 (a' - c') ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับการวัดขนาดและการกระจายตัวของหยดสารอินทรีย์และอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูล ดังตารางที่ 4.2 โดยทั้งสามการทดลองก่อนระเหยตัวทำละลายออก ขนาดของหยดสารละลายอินทรีย์จะเล็กกว่าขนาดของพอลิเมอร์แคปซูล (หลังจากระเหยตัวทำละลาย) พอลิเมอร์แคปซูลเกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อนซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณของแข็งมากเกินไป จึงง่ายต่อการรวมตัวจับกันเป็นก้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่หยดของสารละลายอินทรีย์จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในชั้นน้ำมันที่ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หยดที่ได้มีขนาดเล็กที่สุดใกล้เคียงระดับนาโนเมตรและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างแคบ ดังนั้น จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมเพื่อศึกษาปริมาณของแข็งต่อไป





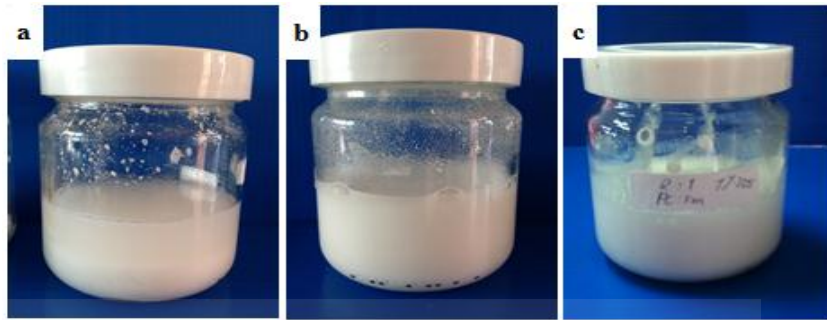
ภาพที่ 4.21 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'- c') ระเหยไดคลอโรมีเทนโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและความเข้มข้นของโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตในชั้นน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 0.2 (b และ b') 0.5 และ (c และ c') 1

**ตารางที่ 4.2** ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและโดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและที่ความเข้มข้นของโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตในชั้นน้ำที่แตกต่างกัน

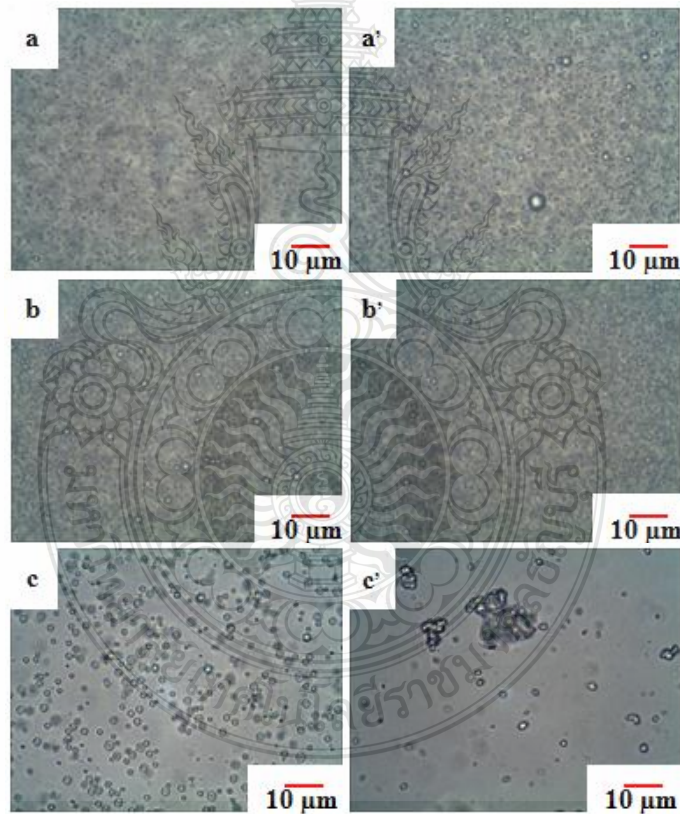
SDS (%wt)	Before			After		
	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$
0.2	3,439	2,296	1.49	5,233	4,223	1.24
0.5	1,525	1,036	1.47	3,618	3,375	1.10
1.0	1,224	1,007	1.21	20,701	19,847	1.04

#### 4.1.2.3 การศึกษาปริมาณของแข็ง

ในขั้นตอนที่ผ่านมาได้ทำการเตรียมสารแขวนลอยของแคปซูลโดยมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำสารแขวนลอยหลังระเหยตัวทำละลายไปทำให้แห้งโดยการระเหยน้ำออก ปรากฏว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จับกันเป็นก้อนอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของพอลิเมอร์แคปซูลที่สูงเกินไป จึงทำการลดปริมาณของแข็ง โดยทำการศึกษาที่ 6 11 และ 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด พบว่าสารแขวนลอยที่เตรียมได้มีความเป็นคอลลอยด์สูง มีลักษณะคล้ายน้ำมันในทุกสภาวะ ดังภาพที่ 4.22 และขนาดของหยดสารละลายอินทรีย์ที่เตรียมได้มีขนาดเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.23 (a-c) และตารางที่ 4.3 เนื่องจากเนื้อสารเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของหยดสารละลายอินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้นตาม ทำให้มีโอกาสชนกันได้มากขึ้นเกิดการรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่พอระเหยตัวทำละลายพบว่าเมื่อมีเพียงที่ 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์แคปซูลมีการจับรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4.23 (c) โดยมีขนาดเพิ่มขึ้นประมาณ 20 เท่า ดังตารางที่ 4.3 ในขณะที่ 6 และ 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์แคปซูลไม่เกิดการจับรวมตัวกันเป็นก้อนดังภาพที่ 4.23 (a และ b) และตารางที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ [72, 73] ที่นิยมเตรียมสารแขวนลอยให้มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หากความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิดการจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากมีความหนาแน่นของอนุภาคมากเกินไป



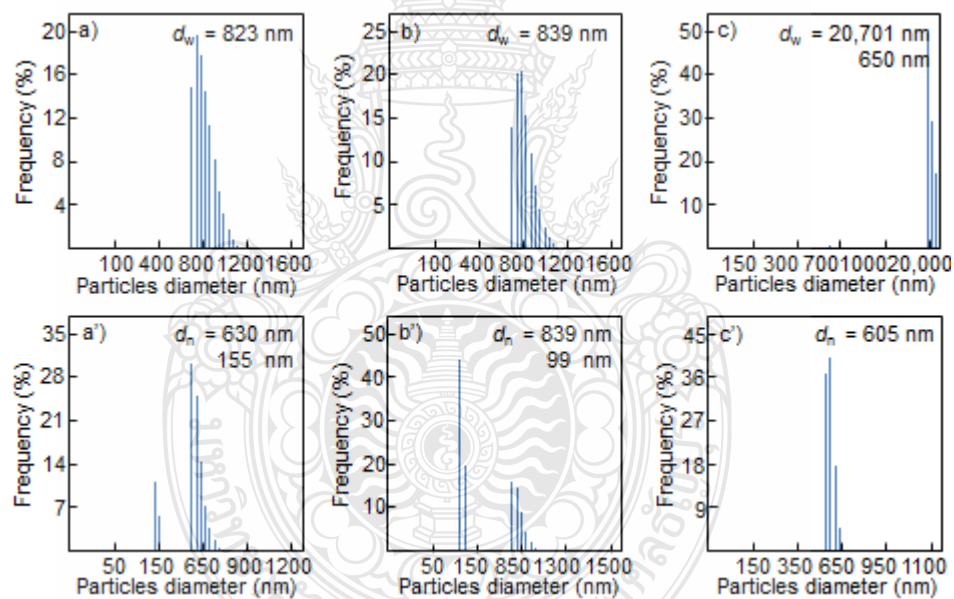
ภาพที่ 4.22 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำมันและโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 6 (b) 11 และ (c) 18



ภาพที่ 4.23 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'- c) ระเหยไดคลอโรมีเทน ที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a และ a') 6 (b และ b') 11 และ (c และ c') 18

ตารางที่ 4.3 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและโดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์ แคปซูลที่เตรียมหดยคสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่ปริมาณของแข็งที่แตกต่างกัน

Solid content (% wt)	Before			After		
	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$
6	942	743	1.26	823	630	1.27
11	1,010	818	1.23	839	658	1.30
18	1,224	1,007	1.21	20,701	19,847	1.04



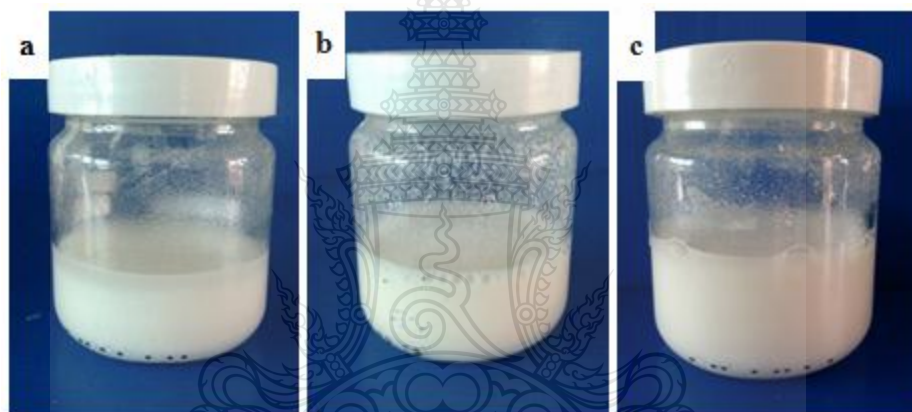
ภาพที่ 4.24 ฮิสโทแกรมแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยน้ำหนักและโดยจำนวนและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมหดยคสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคหลังระเหยตัวทำละลาย ที่ปริมาณของแข็ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (a) 6 (b) 11 และ (c) 18

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ ขนาดที่ได้ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.3 และฮิสโทแกรม ดังภาพที่ 4.24 ในขณะที่ 11 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์

ถึงสองเท่า ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงเลือกปริมาณของแข็งของพอลิเมอร์แคปซูลที่ 11 เปอร์เซ็นต์เป็นสภาวะที่เหมาะสม

#### 4.1.2.4 การศึกษาอัตราเร็วที่ใช้หยดสารละลายลดแรงตึงผิวลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์

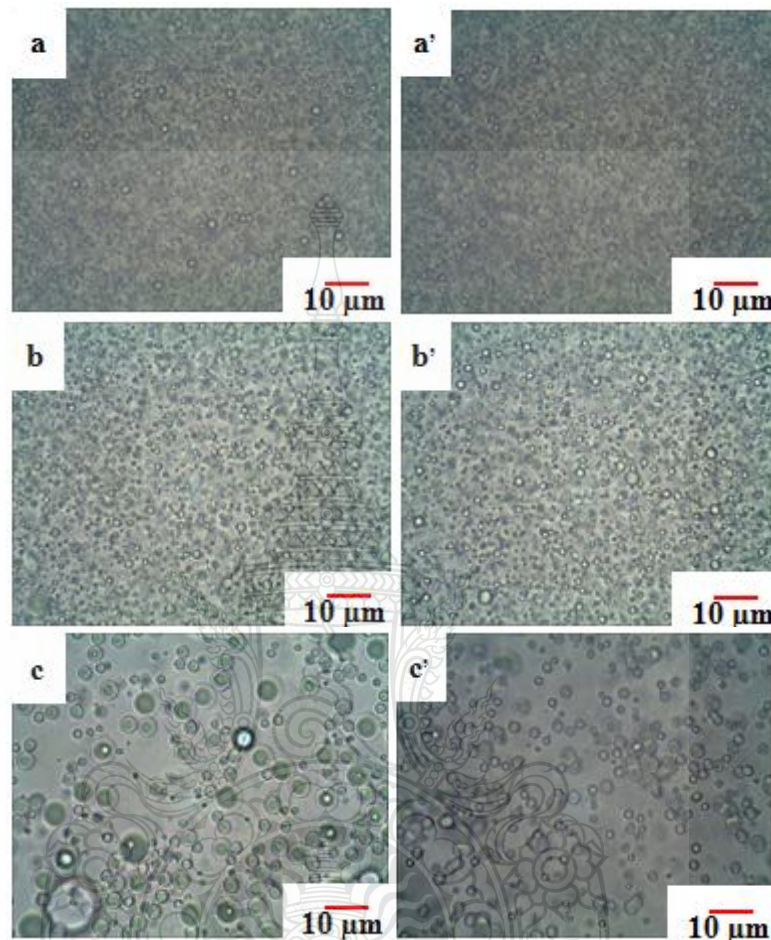
เพื่อศึกษาผลของอัตราเร็วของการหยดสารละลายลดแรงตึงผิวต่อขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วย ได้ทำการศึกษาที่อัตราเร็ว 2.5 และ 8 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า สารแขวนลอยที่เตรียมได้มีความเป็นคอลลอยด์สูง มีลักษณะคล้ายน้ำนมสีขาวขุ่นทั้งสามสภาวะ ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 สารแขวนลอยของพอลิคาร์บอนเอทแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ (มิลลิลิตรต่อนาที) (a) 2 (b) 5 และ (c) 8

เมื่อนำสารแขวนลอยทั้งสามสภาวะ ไปส่องดูลักษณะรูปร่าง พบว่าเมื่ออัตราเร็วในการหยดสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพิ่มมากขึ้น ขนาดของหยดสารละลายอินทรีย์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 4.26 อาจเนื่องมาจากเมื่ออัตราเร็วในการหยดสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพิ่มขึ้น สารลดแรงตึงผิวไม่มีเวลาในการจัดเรียงให้เป็นระเบียบซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวัดขนาดของพอลิเมอร์แคปซูล ดังตารางที่ 4.4 นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราเร็ว 2 และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที หลังระเหยตัวทำละลายขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับหยดของสารละลายอินทรีย์ แสดงว่าในระหว่างการระเหยตัวทำละลายไม่มีการเกาะรวมตัวกันของอนุภาค ขนาดของอนุภาคที่เล็กลงเป็นการแสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายอินทรีย์ได้ถูกระเหยไป

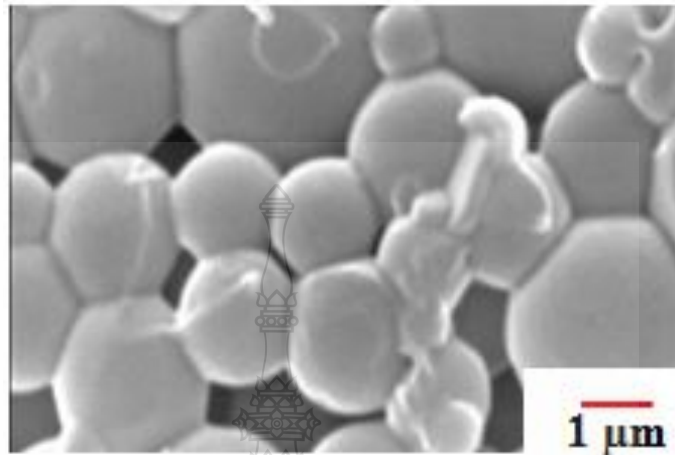
ส่วนในกรณีอัตราเร็ว 8 มิลลิลิตรต่อนาที ไม่สามารถวัดขนาดได้ เนื่องจากมีขนาดประมาณ 5-10 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่นอกช่วงการวัดของเครื่องวัดขนาดอนุภาค



ภาพที่ 4.26 Optical micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาครีเลทที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคก่อน (a-c) และหลัง (a'- c') ระเหยไดคัลอโรมีเทน ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ (มิลลิลิตรต่อนาที) (a และ a') 2 (b และ b') 5 และ (c และ c') 8

จากนั้น นำแคปซูลทั้งสามสภาวะไปหาปริมาณเมทิลเมทาครีเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล พบว่า อัตราเร็วในการหยดสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุสารเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากอัตราเร็วที่ 2 และ 5 ใช้เวลาในการหยดสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตมากกว่าอัตราเร็วที่ 8 มิลลิลิตรต่อนาทีจึงทำให้เมทิลเมทาครีเลทมีเวลามากพอที่จะเคลื่อนที่มาในชั้นน้ำ จึงเลือกที่อัตราเร็ว 8 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม เพราะมีประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุสูงสุดคือ 58.01 และ 19.34

เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลมและพื้นผิวเรียบ ดังภาพที่ 4.27



**ภาพที่ 4.27** SEM micrograph ของพอลิคาร์บอนเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลขที่เตรียมโดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคที่อัตราเร็ว 8 มิลลิลิตรต่อนาที ในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์

**ตารางที่ 4.4** ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวนและโดยน้ำหนักและการกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกัน

Rate (ml/min)	Before			After		
	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$
2	1,010	818	1.23	818	630	1.30
5	1,386	1,124	1.23	1,112	927	1.19
8	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.5 ปริมาณเมทิลแอนทราโนเลทที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทราโนเลท ที่อัตราในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกัน

Rate (ml/min)	MA (mg)		Encapsulation efficiency (%)	Loading (%)
	Theory	Experiment		
2	4.4000	0.6202	14.09	4.73
5	4.5530	2.2004	48.54	16.18
8	6.4000	3.7129	58.01	19.34

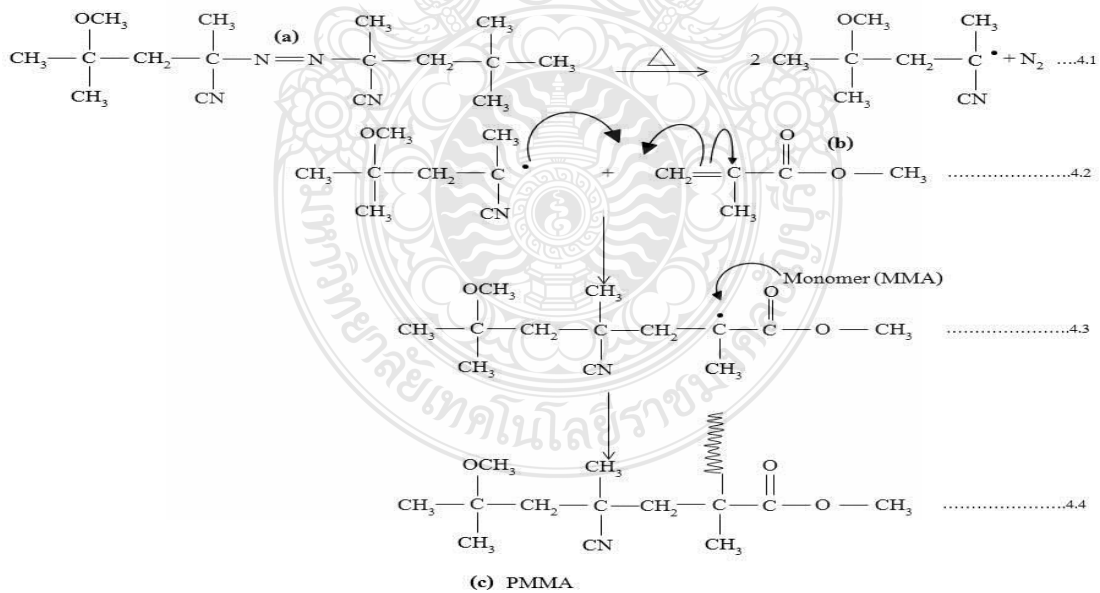
จากการศึกษาการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคสามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลได้ คือ ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นของสารละลายอินทรีย์และสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในชั้นน้ำ ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ใช้อัตราเร็วในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 8 มิลลิลิตรต่อนาที ลงในชั้นของสารอินทรีย์ ได้ประสิทธิภาพในการหุ้ม 60 เปอร์เซ็นต์ และการบรรจุสาร 20 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมอร์แคปซูลที่แคบ ซึ่งการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคนี้สามารถปรับปรุงข้อด้อยของการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมได้ ดังนั้น จึงเลือกการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย เนื่องจากพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดเล็กใกล้เคียงระดับนาโนเมตร และมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ใกล้เคียงกันทำให้ในการนำไปใช้งานจะสามารถควบคุมความสม่ำเสมอในการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูลได้ น่าจะเป็นผลดีกับการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

#### 4.2 การเตรียมพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลทด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย

เนื่องจากพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้จากเทคนิคการระเหยตัวทำละลายเปลือกของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงต่ำ หากต้องการนำแคปซูลไปใช้ในงานที่สามารถทนทานต่อแรงกระแทกจำเป็นที่

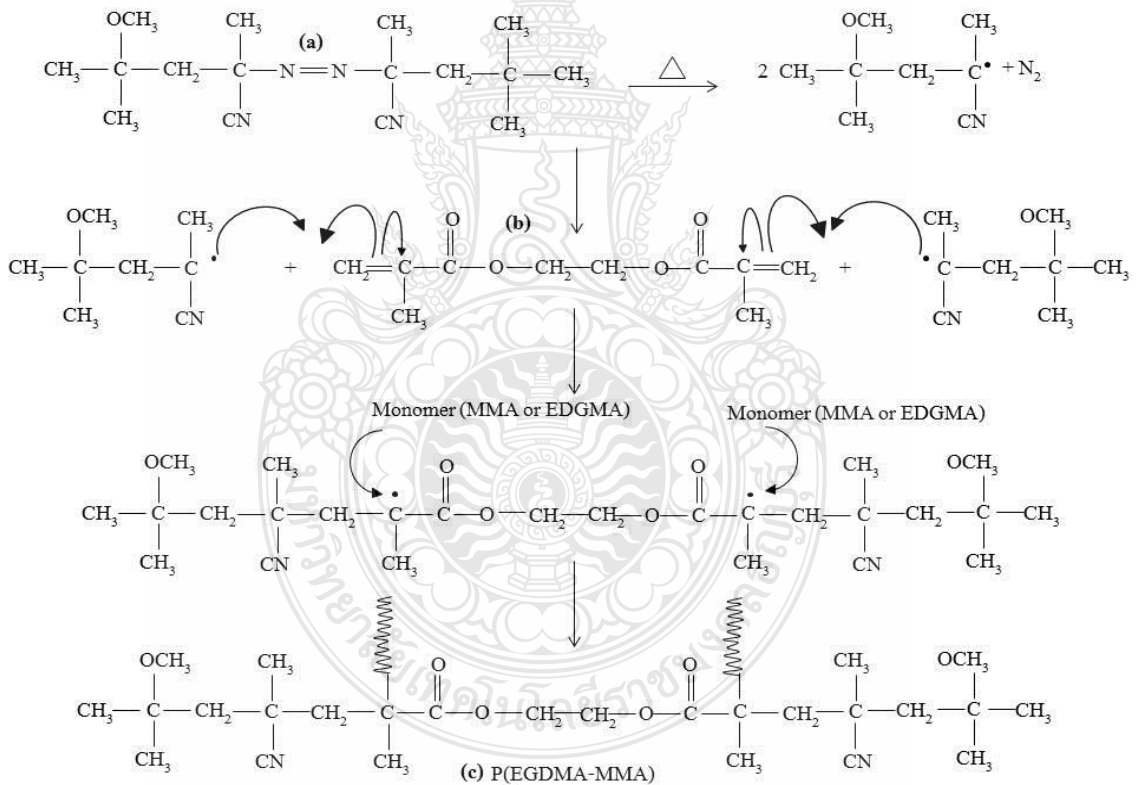


จะต้องใช้เปลือกของพอลิเมอร์เป็นชนิดเชื่อมร่างแห เทคนิคที่ง่ายและสะดวกในการเตรียมคือ เทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ซึ่งเทคนิคนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆจะเห็นได้จากการตีพิมพ์เป็นจำนวนมาก [28, 29, 33, 74-79] เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในระบบจึงทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีกลไกการสังเคราะห์เกิดขึ้นภายในหยดมอนอเมอร์ พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ขนาดจะอยู่ในระดับไมโครเมตร โดยในขั้นตอนนี้สนใจการเตรียมพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต) แคปซูลซึ่งเป็นพอลิเมอร์โครงร่างแห แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการละลายพอลิเมอร์แคปซูลชนิดโครงร่างแหในตัวทำละลาย ทำให้ไม่สามารถหาปริมาณของเมทิลแอนทราโนเลทที่ถูกหุ้มอยู่ภายในได้ ดังนั้น ในช่วงแรกจะทำการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่ใช้พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเปลือกในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ก่อนที่จะนำมาโคพอลิเมอร์กับเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตเพื่อเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูลที่มีเปลือกเป็นพอลิเมอร์ชนิดโครงร่างแห โดยมีหลักการดังนี้ นำมอนอเมอร์ เมทิลแอนทราโนเลทและตัวริเริ่มปฏิกิริยา ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้วัฏภาคอินทรีย์ นำไปกระจายตัวลงในสารละลายของสารลดแรงตึงผิว แล้วนำไปปั่นเตรียมหยดมอนอเมอร์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยของหยดมอนอเมอร์ จากนั้นนำไปสังเคราะห์ก็จะได้พอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนเลท



ภาพที่ 4.28 กลไกการเกิดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (a) 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) (b) เมทิลเมทาคริเลต และ (c) พอลิเมทิลเมทาคริเลต

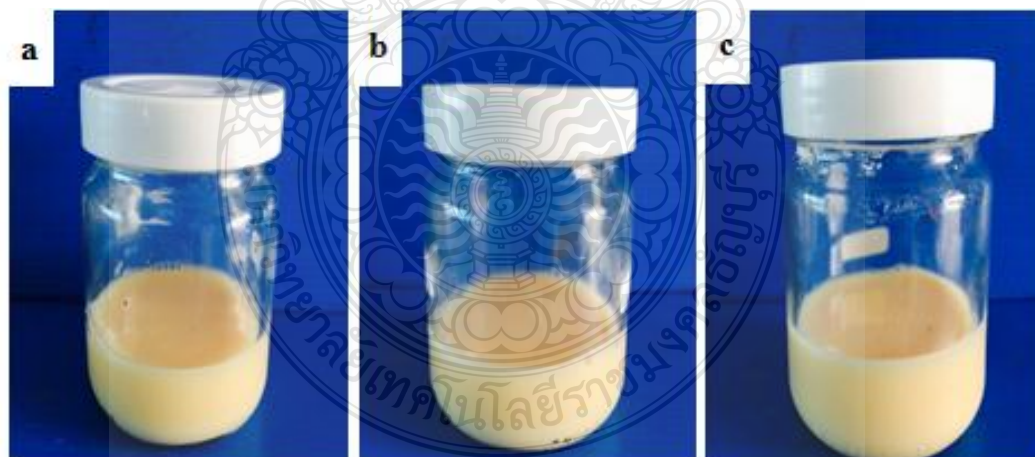
เมื่อเริ่มทำการสังเคราะห์ 1 โมลของ 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี-2, 4-ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) จะแตกตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นอนุมูลอิสระ 2 โมล ดังสมการที่ 4.1 ทำให้มีอนุมูลเข้ามาทำปฏิกิริยาเกิดเป็นอนุมูลที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น ดังสมการที่ 4.2 หลังจากนั้นก็จะจะมีอนุมูลมาต่อสายโซ่ไปเรื่อยๆ ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 จนถึงความยาววิกฤต ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์และเมทิลแอนทรานิเลทไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงทำให้พอลิเมอร์เกิดการแยกตัวออกมาด้านนอกกลายเป็นเปลือกโดยมีเมทิลแอนทรานิเลทเป็นแกนอยู่ภายใน อาจเนื่องมาจากค่าแรงดึงดูดระหว่างพอลิเมอร์กับน้ำมีค่าน้อยกว่าเมทิลแอนทรานิเลทกับน้ำจึงทำให้พอลิเมอร์เข้ามาใกล้น้ำได้มากกว่าเมทิลแอนทรานิเลท ส่งผลให้เกิดการแยกตัวออกมาด้านนอกกลายเป็นเปลือกหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท ส่วนการโคโมโนเมอร์การต่อสายโซ่ของพอลิเมอร์จะเกิดแบบสุ่ม ดังภาพที่ 4.29 แต่มีกลไกการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลเหมือนกัน โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้



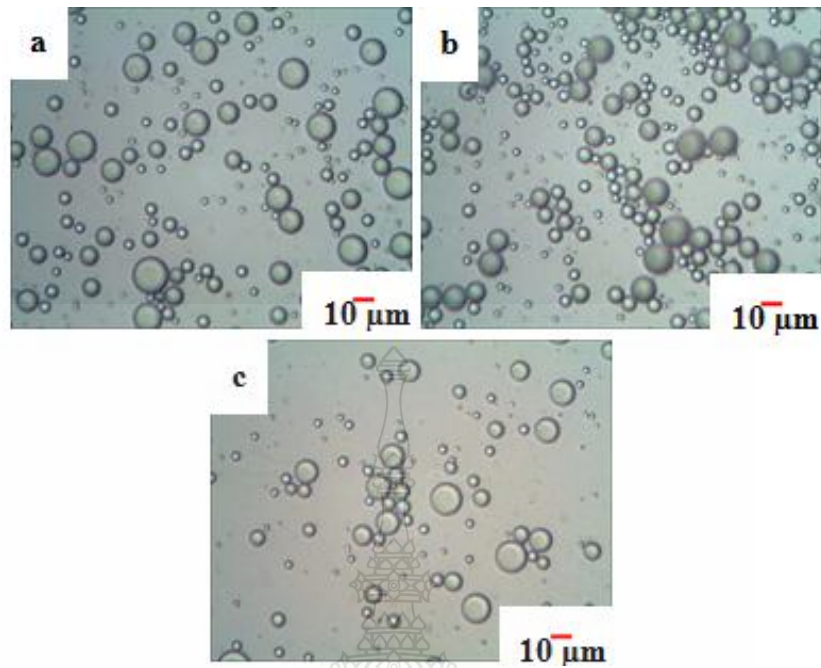
ภาพที่ 4.29 กลไกการเกิดพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต) (a) 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) (b) เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต และ (c) พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต)

#### 4.2.1 ผลของปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา

การศึกษาปริมาณของ 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) เพื่อจะให้ได้เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ที่สูงและใช้เวลาในการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลน้อยที่สุด ได้ทำการศึกษาที่ 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์โดยใช้มอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลทที่อัตราส่วน 1:1 พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสามสถานะมีสถานะความเป็นคอลลอยด์สูง สารแขวนลอยที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น ดังภาพที่ 4.30 เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม ดังภาพที่ 4.31 จากนั้นนำไปศึกษาเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ผลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันมาก ดังตารางที่ 4.6 อยู่ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปริมาณของ 4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) เพิ่มขึ้น ทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นตามในเวลาเท่ากัน ทำให้มอนอเมอร์มาต่อสายโซ่ได้เร็วเกิดเป็นพอลิเมอร์ได้ง่าย แต่ถ้าอนุมูลอิสระมากเกินไปจะทำให้มีสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้นทำให้ง่ายที่จะเกิดการสิ้นสุดด้วยการชนกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในขณะที่เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุก็ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ของ (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) เป็นสถานะที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.30 สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) (a) 1 (b) 3 และ (c) 5



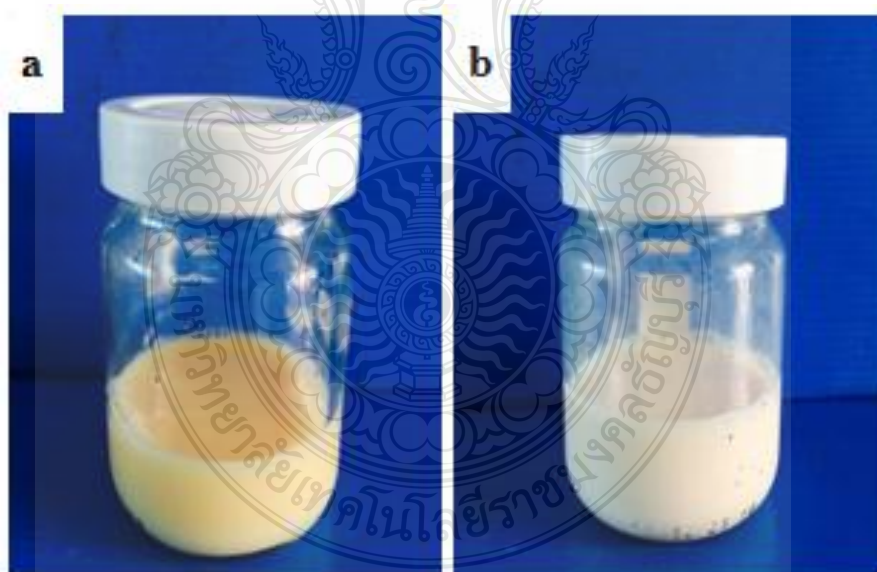
ภาพที่ 4.31 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราณีเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราณีเลท 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) (a) 1 (b) 3 และ (c) 5

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุ เมทิลแอนทราณีเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

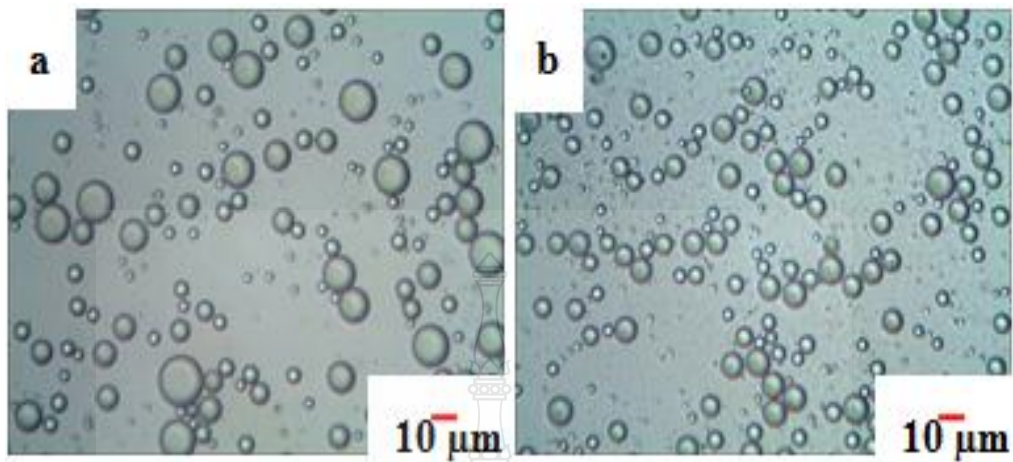
	V-70 (% wt of monomer)		
	1	3	5
Conversion (%)	70	72	79
Encapsulation (%)	39.79	31.49	38.27
Loading (%)	23.41	18.31	21.38

#### 4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์

เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์จะทำให้ (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาลิ-โรโนไทรล์) เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้เร็วขึ้นทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้มาก จึงน่าจะใช้เวลาน้อยในการเกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูล จึงได้ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า สารแขวนลอยที่เตรียมได้ของทั้งสองสภาวะมีลักษณะเป็นเป็นสีเหลืองขุ่น ดังภาพที่ 4.32 แคปซูลที่เตรียมได้เป็นทรงกลม ดังภาพที่ 4.33 มีเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นจาก 70 ไปเป็น 94 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะว่า (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเม-ทิลวาลิ-โรโนไทรล์) แตกตัวได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทกลับลดลง โดยที่ประสิทธิภาพในการหุ้มลดลงจาก 39.79 % ไปเป็น 36.38 % และประสิทธิภาพในการบรรจุลดลงจาก 23.41 % ไปเป็น 18.75 % ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.7 อาจเนื่องมาจากเมทิลแอนทรานิเลทบางส่วนระเหยในระหว่างการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น จึงเลือกที่ 40 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นพอลิเมอร์แคปซูล



ภาพที่ 4.32 สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (a) 40 และ (b) 60



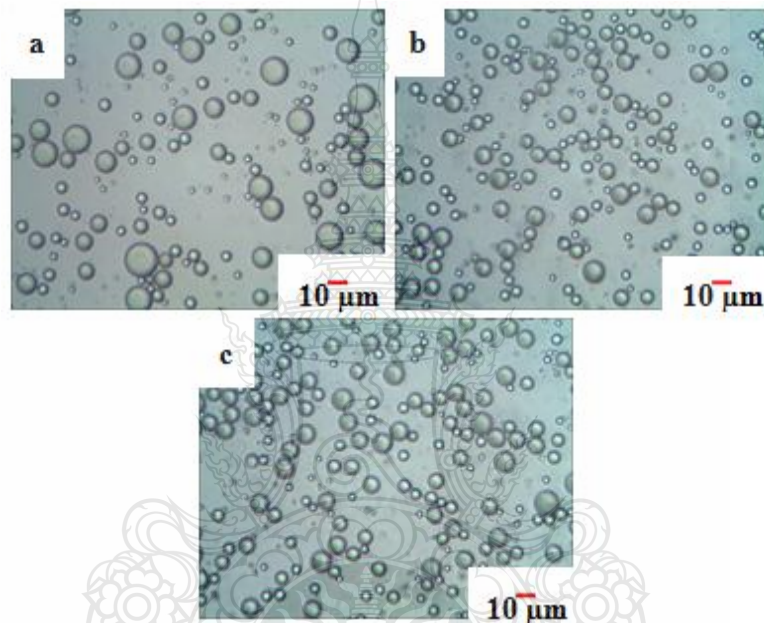
ภาพที่ 4.33 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (องศาเซลเซียส) (a) 40 และ (b) 60

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุ เมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

	Temperature (°C)	
	40	60
Conversion (%)	70	94
Encapsulation (%)	39.79	36.38
Loading (%)	23.41	18.75

#### 4.2.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์

เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์จะทำให้เมทิลแอนทรานิเลทเกิดการสูญเสียไปบางส่วน ถึงแม้ว่าจะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ได้มากขึ้นก็ตาม ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาวลิตที่เหมาะสมในการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลโดยดูจากเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ โดยทำการศึกษาที่ 4 6 และ 8 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสามสภาวะมีลักษณะเป็นทรงกลม ดังภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.34 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนดอว โดยใช้เวลาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ (ชั่วโมง) (a) 4 (b) 6 และ (c) 8

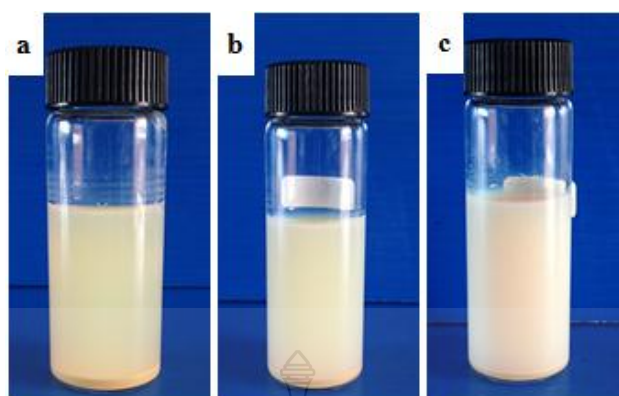
ส่วนเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 4 ชั่วโมง เป็น 6 และ 8 ชั่วโมง ในขณะที่ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทไม่แตกต่างกันทั้งสามสภาวะการทดลอง ดังตารางที่ 4.8 นอกจากนี้ พบว่า ชั้นน้ำหลังจากพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ตกตะกอน มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ดังภาพที่ 4.35 ซึ่งน่าจะเกิดจากมีอนุภาคของพอลิเมอร์ที่ไม่มีเมทิลแอนทรานิเลทถูกหุ้มอยู่ภายใน โดยเกิดขึ้นผ่านกลไกการเกิดอนุภาคแบบเอกพันธ์ (Homogeneous nucleation) ในการสังเคราะห์แบบอิมัลชัน เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์เป็นสารที่มีสภาพขั้ว

สูงและละลายน้ำได้ 1.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร [77] เมื่อมีสายโซ่โพลิโกเมอร์อนุมูลอิสระออกมาจากหยดของมอนอเมอร์จะสามารถต่อสายโซ่กับเมทิลเมทาคริเลตในน้ำได้ เมื่อสายโซ่ยาวจนถึงความยาววิกฤตจะไม่สามารถละลายน้ำได้อีก จะเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคพอลิเมอร์แข่งขันกับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันในหยดมอนอเมอร์ อนุภาคพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะมีขนาดเล็กกว่าพอลิเมอร์แคปซูลมากตามลักษณะเฉพาะของกลไกการเกิดอนุภาคแบบเอกพันธ์โดยจะมีขนาดประมาณ 100-200 นาโนเมตรดังตารางที่ 4.9 นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณของอนุภาคพอลิเมอร์ในชั้นน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในกรณีของการใช้เวลาสังเคราะห์ที่ 8 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับ 4 และ 6 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีอนุมูลอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของ (4-เมทอกซี-2, 4-ไดเมทิลวาลีโรไนไทรล์) เกิดขึ้นในหยดของมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่จะมีโพลิโกเมอร์ของอนุมูลอิสระออกจากหยดมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆแล้ว โดยเฉพาะประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุซึ่งไม่แตกต่างกันของทั้งสามสภาวะการทดลอง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงเลือกเวลาในการสังเคราะห์น้อยที่สุด คือ 4 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

**ตารางที่ 4.8** เปอร์เซนต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุ เมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแวนดอลย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆในการสังเคราะห์

	Time (h)		
	4	6	8
Conversion (%)	70	80	76
Encapsulation (%)	39.79	45.46	47.08
Loading (%)	23.41	25.26	26.75





**ภาพที่ 4.35** สารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุนทงูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ (ชั่วโมง) (a) 4 (b) 6 และ (c) 8

**ตารางที่ 4.9** ปริมาณและขนาดของอนุภาคพอลิเมอร์ในชั้นน้ำของการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์อุนทงูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน

Time (h)	Free PMMA particles (wt % relation to total MMA)	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$
4	29	112	95	1.17
6	28	184	146	1.26
8	58	133	111	1.19

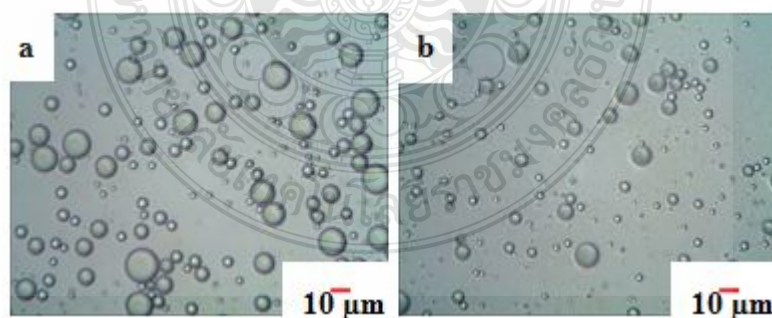
#### 4.2.4 อัตราส่วนของมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้โดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยที่สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้จะพบว่ามีค่าประมาณ 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมแบบการระเหยตัวทำละลาย 1.5-2 เท่า อาจเนื่องมาจากที่อัตราส่วนของมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลทที่ 1:1 เปลือกพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นอาจจะ

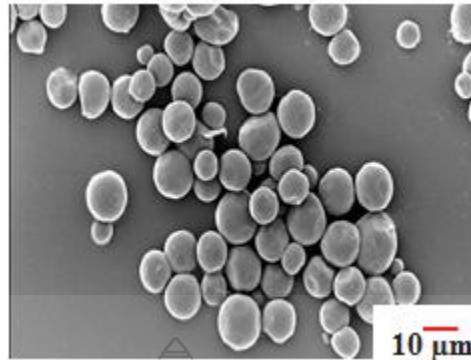
หุ้มเมทิลแอนทรานิเลทได้ไม่สมบูรณ์ ในขั้นตอนนี้จึงทำการศึกษาอัตราส่วนของมอนอเมอร์:เมทิล-แอนทรานิเลท ที่อัตราส่วน 2:1 เปรียบเทียบกับ 1:1 จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม ดังภาพที่ 4.36 โดยที่อัตราส่วน 2:1 ซึ่งมีปริมาณพอลิเมอร์มากกว่าที่อัตราส่วน 1:1 มีประสิทธิภาพในการหุ้มและมีเปอร์เซ็นต์การบรรจุสารน้อยกว่าที่อัตราส่วน 1:1 ดังตารางที่ 4.10 ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่อัตราส่วน 1:1 เพราะสามารถบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทได้มากกว่า จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พอลิเมอร์แคปซูลมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและแตก ดังภาพที่ 4.37

**ตารางที่ 4.10** ประสิทธิภาพในการหุ้มและการบรรจุเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท ต่างๆ โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง

	MMA:MA	
	1:1	2:1
Encapsulation (%)	39.79	33.38
Loading (%)	23.41	16.84

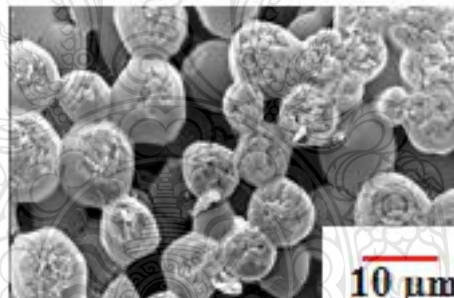


**ภาพที่ 4.36** Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลทแคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทรานิเลท (a) 1:1 และ (b) 2:1



ภาพที่ 4.37 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอมทาธาไนเลทที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอมทาธาไนเลท 1:1

ต่อมาได้นำผงของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปบดให้แตกแล้วนำไปล้างด้วยเอทานอลเพื่อดูการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เกิดการแยกวัฏภาคไม่สมบูรณ์โดยเมทิลแอมทาธาไนเลทกระจายตัวอยู่รอบๆผิวของเปลือกพอลิเมอร์ ดังภาพที่ 4.38



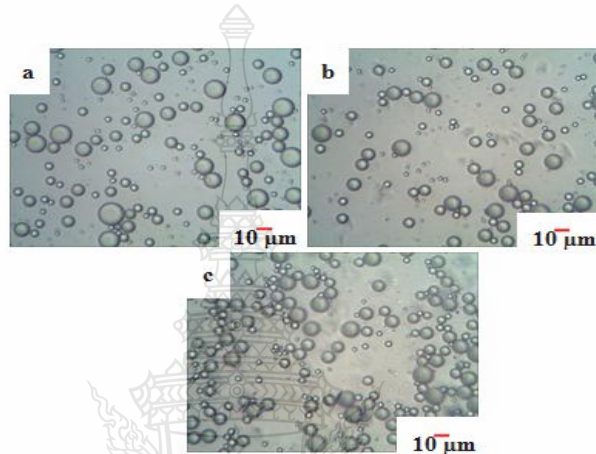
ภาพที่ 4.38 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลแอมทาธาไนเลทที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยอัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอมทาธาไนเลท 1:1 หลังจากบดและล้างด้วยเอทานอล

#### 4.2.5 การโคมอโนเมอร์

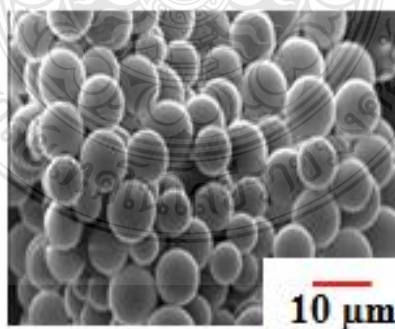
เพื่อต้องการให้เปลือกของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์เชื่อมร่างแห เพราะเป็นมอนอเมอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้การใช้พอลิเมอร์ชนิดเชื่อมร่างแหเป็นเปลือกของแคปซูลน่าจะช่วยลดการเกิดอนุภาคในชั้นน้ำได้ดังงานวิจัยก่อนหน้า [78] โดยในชั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาที่เปอร์เซ็นต์โมลต่างๆ

ของเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตเทียบต่อเมทิลเมทาคริเลต จากการทดลองของทั้งสามสถานะ แคลปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม ดังภาพที่ 4.39 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการเกิดอนุภาคของพอลิเมอร์ในชั้นน้ำไม่แตกต่างจากการใช้พอลิเมอร์สายโซ่ตรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเปลือกของแคลปซูล ดังตารางที่ 4.11 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์ที่มีสภาพขั้วบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ (0.109 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร [79]) การที่มีอนุภาคพอลิเมอร์เกิดขึ้นในชั้นน้ำจะมีผลเสียทำให้เปลือกของพอลิเมอร์บางลงและไม่แข็งแรง อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวจะได้ทำการศึกษาและแก้ไขในงานต่อไป และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทรานิเลท พบว่าต่ำกว่าเทคนิคการระเหยตัวทำละลายมาก อาจเนื่องมาจากในระหว่างการสังเคราะห์ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมทิลแอนทรานิเลทอาจจะเหวออกจากหยดของมอนอเมอร์ ดังนั้น เพื่อเป็นการยืนยันสมมุติฐานดังกล่าวได้ทำการศึกษาละลายเมทิลแอนทรานิเลทในชั้นของสารอินทรีย์ (มอนอเมอร์ เมทิลแอนทรานิเลทและตัวริเริ่มปฏิกิริยา) และในชั้นน้ำโดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกันกับการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยมีการเติมไฮโดรควิโนนซึ่งเป็นสารยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระลงในชั้นของสารอินทรีย์ หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะเกิดการแยกวัฏภาคออกเป็นสองส่วน คือ ชั้นของสารอินทรีย์และชั้นน้ำ เมื่อนำไปหาปริมาณของเมทิลแอนทรานิเลทในทั้งสองชั้นด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่า เมทิลแอนทรานิเลทละลายอยู่ในชั้นของสารอินทรีย์และชั้นน้ำประมาณ 40 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในกรณีของเมทิลแอนทรานิเลทในชั้นน้ำมีปริมาณสอดคล้องและใกล้เคียงกับข้อมูลค่าการละลายในน้ำ คือ 2.85 กรัมต่อลิตร [19] ส่วนในกรณีของเมทิลแอนทรานิเลทในชั้นสารอินทรีย์ก็สอดคล้องและใกล้เคียงกับประสิทธิภาพในการหุ้ม (ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์) แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการสังเคราะห์เมทิลแอนทรานิเลทจะออกมาอยู่ในชั้นน้ำจนถึงค่าการละลายอิ่มตัว แล้วที่เหลือ (40 เปอร์เซ็นต์ในชั้นสารอินทรีย์) จะอยู่ในหยดของมอนอเมอร์จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์แคลปซูล อย่างไรก็ตาม แสดงว่าในระหว่างการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณของเมทิลแอนทรานิเลทจะสูญหายไปประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอุณหภูมิที่แตกต่างกันในการเตรียมพอลิเมอร์แคลปซูลของเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย (อุณหภูมิห้อง) กับการสังเคราะห์ (40 องศาเซลเซียส) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพในการหุ้มแตกต่างกัน การเพิ่มประสิทธิภาพในการหุ้มในกรณีของการเตรียมแคลปซูลด้วยการสังเคราะห์จะได้ทำการศึกษาและปรับปรุงในงานต่อไป อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการหุ้มสารประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับที่มีรายงานอื่นๆซึ่งอยู่ระหว่าง 15-50 เปอร์เซ็นต์ [80-82] เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงของเปลือกพอลิเมอร์แล้วการใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต 10

เปอร์เซ็นต์ของมอนอเมอร์จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่มีเปลือกเป็นชนิดเชื่อมร่างแห เนื่องจากเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต เป็นมอนอเมอร์ที่มีความชอบน้ำจึงทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปขึ้นน้ำ ดังตารางที่ 4.11 ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตที่ 10 เปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์เป็นสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พอลิเมอร์แคปซูลมีลักษณะเป็นทรงกลมพื้นผิวเรียบ ดังภาพที่ 4.40



ภาพที่ 4.39 Optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ที่อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลเมทาคริเลต 1:1 โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (เปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์) (a) 0 (b) 5 และ (c) 10

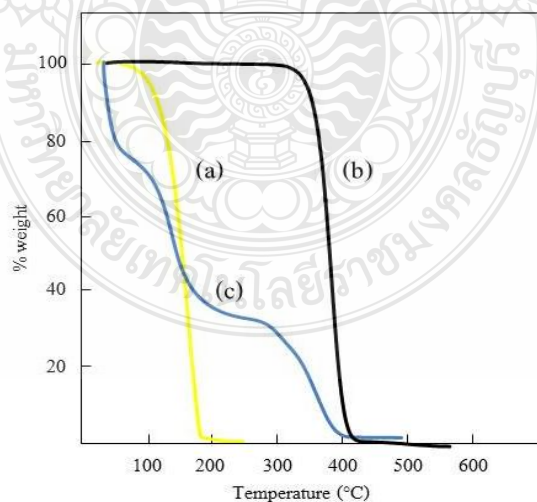


ภาพที่ 4.40 SEM micrograph ของพอลิคาร์บอเนตแคปซูลหุ้มเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยโดยใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต 10 เปอร์เซ็นต์โมลของมอนอเมอร์

จากนั้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีเมทิลแอมทราไนเลทอยู่จริงจึงได้นำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลเซอร์พบว่า พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีการสลายตัวสองช่วงโดยการสลายตัวในช่วงแรกนั้นเป็นการสลายตัวของเมทิลแอมทราไนเลท มีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 80-200 องศาเซลเซียสและช่วงที่สองเป็นของพอลิเมทิลเมทาคริเลตตั้งแต่ 250-450 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.41

**ตารางที่ 4.11** การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์ในชั้นน้ำด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง ที่ปริมาณเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลตที่แตกต่างกัน

EGDMA (% mol of MMA)	Free PMMA particles (wt % relation to total MMA)	$d_w$ (nm)	$d_n$ (nm)	$d_w/d_n$
0	29	112	95	1.17
5	32	142	114	1.24
10	33	118	100	1.18

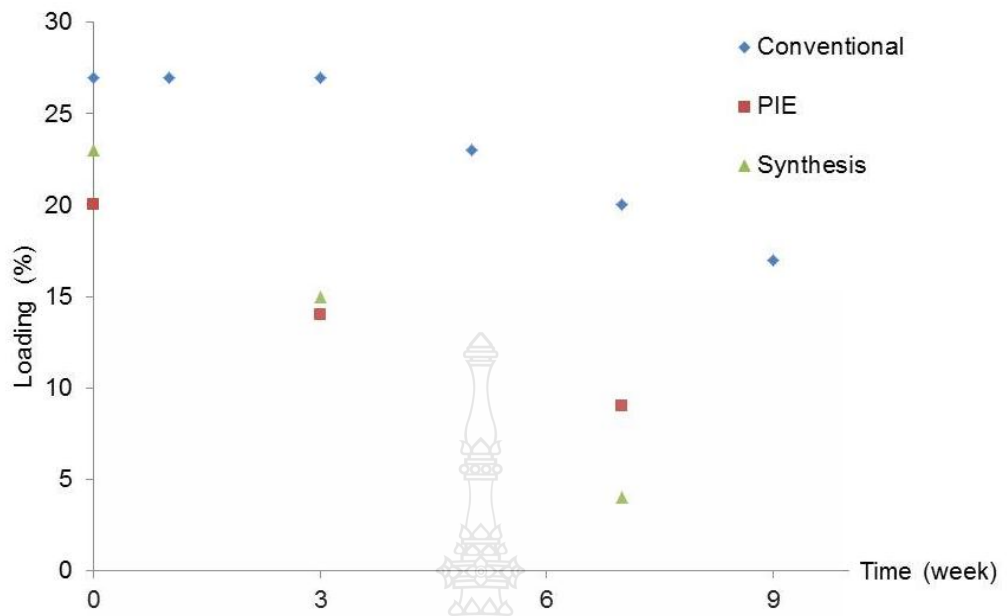


**ภาพที่ 4.41** TGA thermogram แสดงการสลายตัวของ (a) เมทิลแอมทราไนเลท (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตและ (c) พอลิเมอร์แคปซูล ที่เตรียมด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย

จากการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแขวนลอย สามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการเตรียม คือ ใช้อัตราส่วนมอนอเมอร์:เมทิลแอนทราโนลิต 1:1 ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง และใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต 10 เปอร์เซนต์โมลของมอนอเมอร์เป็นมอนอเมอร์เชื่อมร่างแห

#### 4.3 การปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนลิตในพอลิเมอร์แคปซูล

ในขั้นตอนสุดท้ายได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนลิตในพอลิเมอร์แคปซูล ซึ่งจะ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.42 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณเมทิลแอนทราโนลิตที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลนั้นค่อยๆลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายโดยการเตรียมหยด สารอินทรีย์แบบดั้งเดิมและแบบกลับวัฏภาค พบว่า การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมเกิดการ ปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนลิตในพอลิเมอร์แคปซูลได้ช้ากว่าการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏ ภาค เพราะขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ โดยการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมมีขนาด ใหญ่จึงมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคซึ่งเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลได้ ในขนาดที่เล็กกว่า ส่วนในกรณีการสังเคราะห์แบบแขวนลอยเมทิลแอนทราโนลิตที่อยู่ในพอลิเมอร์ แคปซูลเกิดการปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในระหว่างการสังเคราะห์ได้เกิดอนุภาคแบบเอก พันธุ์ขึ้น จึงทำให้เปลือกของพอลิเมอร์แคปซูลบางและไม่แข็งแรง ส่งผลให้เมทิลแอนทราโนลิตที่อยู่ใน แคปซูลเกิดการปลดปล่อยได้ง่ายขึ้นและพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้เกิดการแยกวัฏภาคไม่ สมบูรณ์โดยเมทิลแอนทราโนลิตกระจายตัวอยู่รอบๆเปลือกของพอลิเมอร์จึงระเหยออกได้ง่าย ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสองเทคนิคมีแนวโน้มในการควบคุมการปลดปล่อย ได้ ซึ่งน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ตามความต้องการ



ภาพที่ 4.42 การปลดปล่อยของเมทิลแอมทรานิลเลทในพอลิเมอร์แคปซูล





## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทในระบบน้ำมันในน้ำโดยใช้เทคนิคการระเหยตัวทำละลายสำหรับเปลือกพอลิเมอร์สายโซ่ตรง และการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลแบบแขวนลอยสำหรับเปลือกพอลิเมอร์แบบร่างแหเพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่แตกต่างกัน

ในส่วนที่หนึ่งเป็นการเตรียมแคปซูลของพอลิคาร์บอนเนตซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงหุ้มเมทิลแอนทรานิเลทด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย โดยทำการเตรียมหยดสารอินทรีย์สองแบบ คือ แบบดั้งเดิมและแบบกลับวัฏภาค พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบดั้งเดิมคือ ใช้ไดคลอโรโรมีเทนเป็นตัวทำละลายพอลิคาร์บอนเนตและเมทิลแอนทรานิเลท ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 50,000 กรัมต่อโมล และเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่อัตราส่วนของพอลิคาร์บอนเนตต่อเมทิลแอนทรานิเลท 2:1 พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวเรียบ มีขนาดในระดับไมโครเมตร มีการกระจายตัวที่กว้างและมีเปอร์เซ็นต์การบรรจุประมาณ 26.66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาค สภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้ไดคลอโรโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 19.34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในชั้นของสารละลายอินทรีย์และใช้สารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในชั้นน้ำ ปริมาณของแข็ง 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราเร็วที่ใช้ในการหยดสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์ 8 มิลลิลิตรต่อนาที พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเล็กถึงใกล้เคียงระดับนาโนเมตร มีการกระจายตัวที่แคบกว่าแบบดั้งเดิมและมีเปอร์เซ็นต์การบรรจุลดลงเล็กน้อยประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงเลือกเทคนิคการเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายนี้ เปลือกจะมีความแข็งแรงต่ำจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ส่วนงานที่สองเป็นการเตรียมพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทีลิน ไกลคอลไดเมทาคริเลต) แคปซูลซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่างแหโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอยเพื่อใช้กับงานที่ต้องการความแข็งแรงมาก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้ 4, 4-อะโซบิส (4-เมทอกซี-2, 4-ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์) 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์

อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อเมทิลแอนทราโนลีน 1:1 และใช้เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต 10 เปอร์เซ็นต์โมลของเมทิลเมทาคริเลต ได้พอลิเมอร์แคปซูลที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีประสิทธิภาพในการหุ้มเมทิลแอนทราโนลีนประมาณ 39.79 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ทำการศึกษาการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนลีนในพอลิเมอร์แคปซูลที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้งาน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเมทิลแอนทราโนลีนที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลมีแนวโน้มค่อยๆลดลงในระยะเวลาสองเดือน

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มเมทิลแอนทราโนลีนได้ทั้งสองเทคนิคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้สามารถควบคุมการปลดปล่อยเมทิลแอนทราโนลีนได้ซึ่งจะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของเมทิลแอนทราโนลีนได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลแบบแขวนลอยควรศึกษาการลดอุณหภูมิในการสังเคราะห์เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหุ้ม
2. ควรศึกษาผลของการเกิดอนุภาคใหม่ และหาแนวทางในการลดปริมาณอนุภาคใหม่ในกรณีการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลแบบแขวนลอย

## บรรณานุกรม

- [1] B. Peña, A. Mamuye, and T. Gumí, "PSf/vanillin Capsules for Textile Application," *Procedia Engineering*, vol. 44, pp. 1331-1332, 2012.
- [2] S. N. Rodrigues, I. M. Martins, I. P. Fernandes, P. B. Gomes, V. G. Mata, M. F. Barreiro, *et al.*, "Scentfashion®: Microencapsulated perfumes for textile application," *Chemical Engineering Journal*, vol. 149, pp. 463-472, 2009.
- [3] A. Sansukcharearnpon, S. Wanichwecharungruang, N. Leepipatpaiboon, T. Kerdcharoen, and S. Arayachukeat, "High loading fragrance encapsulation based on a polymer-blend: Preparation and release behavior," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 391, pp. 267-273, 2010.
- [4] L. Kudlejova and S. Risticovic, "9 - Application of Solid-Phase Microextraction in Food and Fragrance Analysis," in *Handbook of Solid Phase Microextraction*, J. Pawliszyn, Ed., ed Oxford: Elsevier, pp. 291-334, 2012.
- [5] P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, P. Teeka, S. Noppalit, and U. Srinorachun, "Preparation of Poly(L-Lactic Acid) Microencapsulated Vitamin E," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 656-663, 2013.
- [6] M. Bagheri-Nesami, F. Espahbodi, A. Nikkhah, S. A. Shorofi, and J. Y. Charati, "The effects of lavender aromatherapy on pain following needle insertion into a fistula in hemodialysis patients," *Complementary Therapies in Clinical Practice*, vol. 20, pp. 1-4, 2014.
- [7] J. Hu, Z. Xiao, R. Zhou, S. Ma, M. Wang, and Z. Li, "Properties of Aroma Sustained-release Cotton Fabric with Rose Fragrance Nanocapsule," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, pp. 523-528, 2011.
- [8] S. M. Jafari, E. Assadpoor, B. Bhandari, and Y. He, "Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying," *Food Research International*, vol. 41, pp. 172-183, 2008.
- [9] M. Fuchs, C. Turchiuli, M. Bohin, M. E. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. N. Peyrat-Maillard, *et al.*, "Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, pp. 27-35, 2006.
- [10] B. Peña, C. Panisello, G. Aresté, R. Garcia-Valls, and T. Gumí, "Preparation and characterization of polysulfone microcapsules for perfume release," *Chemical Engineering Journal*, vol. 179, pp. 394-403, 2012.
- [11] C. van den Berg, C. P. M. Roelands, P. Bussmann, E. L. V. Goetheer, D. Verdoes, and L. A. M. van der Wielen, "Preparation and analysis of high capacity polysulfone capsules," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 69, pp. 766-770, 2009.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] C. Butstraen and F. Salaün, "Preparation of microcapsules by complex coacervation of gum Arabic and chitosan," *Carbohydrate Polymers*, vol. 99, pp. 608-616, 2014.
- [13] Z. Yang, Z. Peng, J. Li, S. Li, L. Kong, P. Li, *et al.*, "Development and evaluation of novel flavour microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach," *Food Chemistry*, vol. 145, pp. 272-277, 2014.
- [14] L. Castro-Vázquez, M. C. Díaz-Maroto, M. A. González-Viñas, and M. S. Pérez-Coello, "Differentiation of monofloral citrus, rosemary, eucalyptus, lavender, thyme and heather honeys based on volatile composition and sensory descriptive analysis," *Food Chemistry*, vol. 112, pp. 1022-1030, 2009.
- [15] P. Monllor, M. A. Bonet, and F. Cases, "Characterization of the behaviour of flavour microcapsules in cotton fabrics," *European Polymer Journal*, vol. 43, pp. 2481-2490, 2007.
- [16] I. M. Martins, M. F. Barreiro, M. Coelho, and A. E. Rodrigues, "Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications," *Chemical Engineering Journal*, vol. 245, pp. 191-200, 2014.
- [17] C. Gambetta, J. Natera, W. A. Massad, and N. A. García, "Methyl anthranilate as generator and quencher of reactive oxygen species: A photochemical study," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 269, pp. 27-33, 2013.
- [18] NIH U.S. National Library of Medicine.
- [19] ACROS ORGANICS Material Safety Data sheet Methyl anthranilate.
- [20] M. J. Atmane Madene, Joe I Scher & Ste'phane Desobry, "Flavour encapsulation and controlled release – a review," *International Journal of Food Science and Technology* 2006, vol. 41, pp. 1–21, 2006.
- [21] K. Pielichowska and K. Pielichowski, "Phase change materials for thermal energy storage," *Progress in Materials Science*, vol. 65, pp. 67-123, 2014.
- [22] Y. Lv, F. Yang, X. Li, X. Zhang, and S. Abbas, "Formation of heat-resistant nanocapsules of jasmine essential oil via gelatin/gum arabic based complex coacervation," *Food Hydrocolloids*, vol. 35, pp. 305-314, 2014.
- [23] H. F. Mark, Othmer, D.F., Overberger, C.G. and Seaborg, G.T., "Microencapsulation," *Encyclopedia of Chemical Technology (III) Wiley Interscience publication*, vol. 15, pp. 470-493.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] P. B. O'Donnell and J. W. McGinity, "Preparation of microspheres by the solvent evaporation technique," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 28, pp. 25-42, 1997.
- [25] H. Zhang and X. Wang, "Fabrication and performances of microencapsulated phase change materials based on n-octadecane core and resorcinol-modified melamine-formaldehyde shell," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 332, pp. 129-138, 2009.
- [26] J. Ji, R. F. Childs, and M. Mehta, "Mathematical model for encapsulation by interfacial polymerization," *Journal of Membrane Science*, vol. 192, pp. 55-70, 2001.
- [27] R. Hashemi-Nasab and S. M. Mirabedini, "Effect of silica nanoparticles surface treatment on in situ polymerization of styrene-butyl acrylate latex," *Progress in Organic Coatings*, vol. 76, pp. 1016-1023, 2013.
- [28] A. M. Borreguero, M. Carmona, M. L. Sanchez, J. L. Valverde, and J. F. Rodriguez, "Improvement of the thermal behaviour of gypsum blocks by the incorporation of microcapsules containing PCMS obtained by suspension polymerization with an optimal core/coating mass ratio," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 1164-1169, 2010.
- [29] L. Sánchez-Silva, J. F. Rodríguez, A. Romero, A. M. Borreguero, M. Carmona, and P. Sánchez, "Microencapsulation of PCMs with a styrene-methyl methacrylate copolymer shell by suspension-like polymerisation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 157, pp. 216-222, 2010.
- [30] Z.-H. Chen, F. Yu, X.-R. Zeng, and Z.-G. Zhang, "Preparation, characterization and thermal properties of nanocapsules containing phase change material n-dodecanol by miniemulsion polymerization with polymerizable emulsifier," *Applied Energy*, vol. 91, pp. 7-12, 2012.
- [31] B. Yang, J. Yang, J. Zhang, M. Wu, and Q. Wu, "Facile fabrication of magnetic hybrid-shell microcapsule via miniemulsion polymerization," *Materials Letters*, vol. 114, pp. 60-62, 2014.
- [32] K. I. García-Chávez, C. A. Hernández-Escobar, S. G. Flores-Gallardo, F. Soriano-Corral, E. Saucedo-Salazar, and E. A. Zaragoza-Contreras, "Morphology and thermal properties of clay/PMMA nanocomposites obtained by miniemulsion polymerization," *Micron*, vol. 49, pp. 21-27, 2013.
- [33] A. Chaiyasat, P. Chaiyasat, W. Boontung, S. Promdsorn, and S. Thipsit, "Preparation and Characterization of Poly(divinylbenzene) Microcapsules Containing Octadecane," *Materials Sciences and Application*, vol. 2, pp. 1007-1013, 201

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [34] J. Dou, Q. Zhang, M. Ma, and J. Gu, "Fast fabrication of epoxy-functionalized magnetic polymer core-shell microspheres using glycidyl methacrylate as monomer via photo-initiated miniemulsion polymerization," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 324, pp. 3078-3082, 2012.
- [35] B. N. Estevinho, F. Rocha, L. Santos, and A. Alves, "Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 31, pp. 138-155, 2013.
- [36] R. C. Deis, "Spray-drying-innovative use of an old process," *Food Product Design*, vol. 7, pp. 97-113, 1997.
- [37] M. Chavarri, I. Maranon and M. Carmen Villaran, "Encapsulation Technology to Protect Probiotic Bacteria," vol. 3, 2012.
- [38] J. D. Oxley, "5 - Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation," in *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*, N. Garti and D. J. McClements, Eds., ed: Woodhead Publishing, pp. 110-130, 2012.
- [39] S. A. Arabi, X. Chen, L. Shen, and D. S. Lee, "6 - Flavor-release food and beverage packaging," in *Emerging Food Packaging Technologies*, K. L. Yam and D. S. Lee, Eds., ed: Woodhead Publishing, 2012, pp. 96-108.
- [40] J. Liu, Y. Huang, A. Kumar, A. Tan, S. Jin, A. Mozhi, *et al.*, "pH-Sensitive nano-systems for drug delivery in cancer therapy," *Biotechnology Advances*.
- [41] Q. Zheng, T. Lin, H. Wu, L. Guo, P. Ye, Y. Hao, *et al.*, "Mussel-inspired polydopamine coated mesoporous silica nanoparticles as pH-sensitive nanocarriers for controlled release," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 463, pp. 22-26, 2014.
- [42] E. Kaunisto, M. Marucci, P. Borgquist, and A. Axelsson, "Mechanistic modelling of drug release from polymer-coated and swelling and dissolving polymer matrix systems," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 418, pp. 54-77, 2011.
- [43] P. Sánchez, M. V. Sánchez-Fernandez, A. Romero, J. F. Rodríguez, and L. Sánchez-Silva, "Development of thermo-regulating textiles using paraffin wax microcapsules," *Thermochimica Acta*, vol. 498, pp. 16-21, 2010.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [44] G. Nelson, "Application of microencapsulation in textiles," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 242, pp. 55-62, 2002.
- [45] อมร ไชยศักดิ์, ปรียาภรณ์ ไชยศักดิ์ และประเทืองทิพย์ ปานบำรุง, "การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนเพื่อใช้ในงานสิ่งทอ," รายงานการวิจัย, 2555.
- [46] M. T. Cook, G. Tzortzis, D. Charalampopoulos, and V. V. Khutoryanskiy, "Microencapsulation of a synbiotic into PLGA/alginate multiparticulate gels," *International Journal of Pharmaceutics*.
- [47] "Chapter 1 Preparatory information," in *Journal of Chromatography Library*. vol. Volume 65, C. M. Serban and D. Victor, Eds., ed: Elsevier, pp. 3-111, 2002.
- [48] M. Tomaszewska and A. Jarosiewicz, "Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method," *Desalination*, vol. 198, pp. 346-352, 2006.
- [49] M. Devassine, F. Henry, P. Guerin, and X. Briand, "Coating of fertilizers by degradable polymers," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 242, pp. 399-404, 2002.
- [50] F. Tatar, M. T. Tunç, M. Dervisoglu, D. Cekmecelioglu, and T. Kahyaoglu, "Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation," *Food Research International*, vol. 57, pp. 168-175, 2014.
- [51] S. N. Rodrigues, I. Fernandes, I. M. Martins, V. G. Mata, F. Barreiro, and A. E. Rodrigues, "Microencapsulation of Limonene for Textile Application," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 47, pp. 4142-4147, 2008.
- [52] F. Bakkali, S. Averbeck, D. Averbeck, and M. Idaomar, "Biological effects of essential oils – A review," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 46, pp. 446-475, 2008.
- [53] M. I. Ré and B. Biscans, "Preparation of microspheres of ketoprofen with acrylic polymers by a quasi-emulsion solvent diffusion method," *Powder Technology*, vol. 101, pp. 120-133, 1999.
- [54] S. Vasiliu, M. Popa, and M. Rinaudo, "Polyelectrolyte capsules made of two biocompatible natural polymers," *European Polymer Journal*, vol. 41, pp. 923-932, 2005.
- [55] K. Hong and S. Park, "Melamine resin microcapsules containing fragrant oil: synthesis and characterization," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 58, pp. 128-131, 1999.
- [56] T. Gumí, S. Gascón, C. Torras, and R. Garcia-Valls, "Vanillin release from macrocapsules," *Desalination*, vol. 245, pp. 769-775, 2009.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [57] Y. Byun, J. B. Hwang, S. H. Bang, D. Darby, K. Cooksey, P. L. Dawson, *et al.*, "Formulation and characterization of  $\alpha$ -tocopherol loaded poly  $\epsilon$ -caprolactone (PCL) nanoparticles," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 24-28, 2011.
- [58] วราภรณ์ บุญตั้ง, "หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีนวัตกรรมการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2555."
- [59] M. Okubo, Y. Konishi, and H. Minami, "Influence of the kind of end groups of polystyrene on the production of hollow particles by suspension polymerization for divinylbenzene/toluene droplets dissolving them," *Colloid and Polymer Science*, vol. 279, pp. 519-523, 2001.
- [60] Y. Konishi, M. Okubo, and H. Minami, "Phase separation in the formation of hollow particles by suspension polymerization for divinylbenzene/toluene droplets dissolving polystyrene," *Colloid and Polymer Science*, vol. 281, pp. 123-129, 2003.
- [61] H. Mark, *et al.*, eds. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," *Wiley-Interscience*, vol. 3d ed., New York, 1984.
- [62] *ACROS ORGANICS Material Safety Data sheet Dichloromethane & Chloroform.*
- [63] L. Chen, Z. Xie, X. Zhuang, X. Chen, and X. Jing, "Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(l-lactide)," *Carbohydrate Polymers*, vol. 72, pp. 342-348, 2008.
- [64] A. H. Saberi, Y. Fang, and D. J. McClements, "Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions by spontaneous emulsification: Effect of propylene glycol and ethanol on formation, stability, and properties," *Food Research International*, vol. 54, pp. 812-820, 2013.
- [65] L. C. B. Züge, C. W. I. Haminiuk, G. M. Maciel, J. L. M. Silveira, and A. d. P. Scheer, "Catastrophic inversion and rheological behavior in soy lecithin and Tween 80 based food emulsions," *Journal of Food Engineering*, vol. 116, pp. 72-77, 2013.
- [66] N. Khalid, I. Kobayashi, M. A. Neves, K. Uemura, M. Nakajima, and H. Nabetani, "Monodisperse W/O/W emulsions encapsulating l-ascorbic acid: Insights on their formulation using microchannel emulsification and stability studies," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.
- [67] P. Ševčíková, V. Kašpárková, P. Vltavská, and J. Krejčí, "On the preparation and characterization of nanoemulsions produced by phase inversion emulsification," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 410, pp. 130-135, 2012



## บรรณานุกรม (ต่อ)

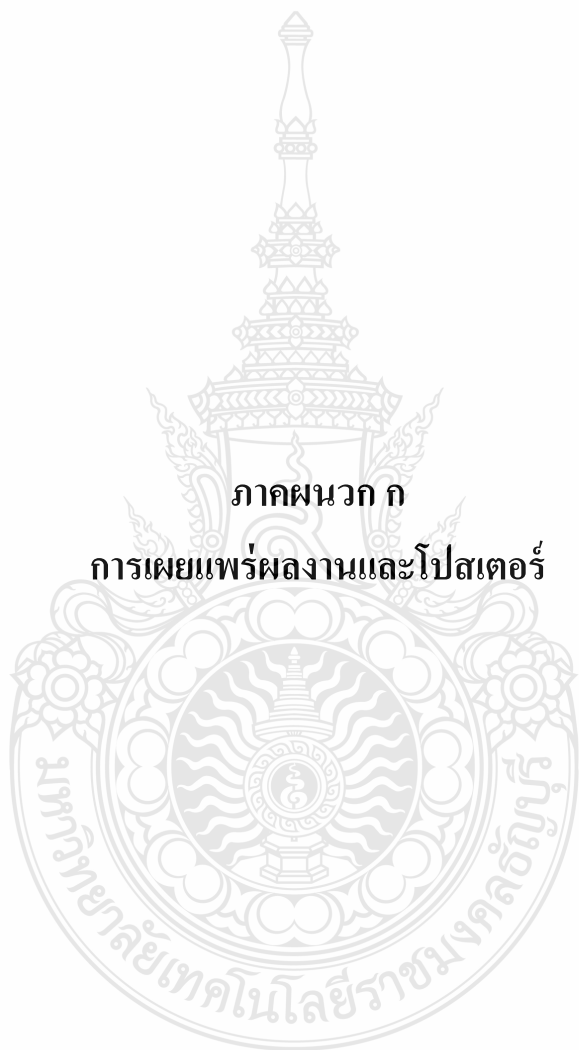
- [68] B. W. Brooks and H. N. Richmond, "Phase inversion in non-ionic surfactant—oil—water systems—I. The effect of transitional inversion on emulsion drop sizes," *Chemical Engineering Science*, vol. 49, pp. 1053-1064, 1994.
- [69] A. Maestro, I. Solè, C. González, C. Solans, and J. M. Gutiérrez, "Influence of the phase behavior on the properties of ionic nanoemulsions prepared by the phase inversion composition method," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 327, pp. 433-439, 2008.
- [70] J. Vilasau, C. Solans, M. J. Gómez, J. Dabrio, R. Mújika-Garai, and J. Esquena, "Phase behaviour of a mixed ionic/nonionic surfactant system used to prepare stable oil-in-water paraffin emulsions," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 384, pp. 473-481, 2011.
- [71] P. Chaiyasat, M. Z. Islam, and A. Chaiyasat, "Preparation of poly(divinylbenzene) microencapsulated octadecane by microsuspension polymerization: oil droplets generated by phase inversion emulsification," *RSC Advances*, vol. 3, pp. 10202-10207, 2013.
- [72] "ROMAX TM 7000 Anionic Flocculant," *ROHMIHAAS*, September 2002.
- [73] L. L. de Arbina and J. Asua, "High-solids-content batch miniemulsion polymerization," *Polymer*, vol. 33, pp. 4832-4837, 1992.
- [74] M. S. Islam, J. H. Yeum, and A. K. Das, "Synthesis of poly(vinyl acetate–methyl methacrylate) copolymer microspheres using suspension polymerization," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 368, pp. 400-405, 2012.
- [75] R. Rodrigo, C. A. Toro, and J. Cuellar, "Morphological characteristics of poly(styrene-co-divinylbenzene) microparticles synthesized by suspension polymerization," *Powder Technology*, vol. 247, pp. 279-288, 2013.
- [76] J. C. O. Villanova, E. Ayres, S. M. Carvalho, P. S. Patrício, F. V. Pereira, and R. L. Oréfice, "Pharmaceutical acrylic beads obtained by suspension polymerization containing cellulose nanowhiskers as excipient for drug delivery," *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 42, pp. 406-415, 2011.
- [77] D. Horák, E. Pollert, M. Trchová, and J. Kovářová, "Magnetic poly(glycidyl methacrylate)-based microspheres prepared by suspension polymerization in the presence of modified La<sub>0.75</sub>Sr<sub>0.25</sub>MnO<sub>3</sub> nanoparticles," *European Polymer Journal*, vol. 45, pp. 1009-1016, 2009

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [78] H. Liu, C. Wang, Q. Gao, X. Liu, and Z. Tong, "Magnetic hydrogels with supracolloidal structures prepared by suspension polymerization stabilized by Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles," *Acta Biomaterialia*, vol. 6, pp. 275-281, 2010.
- [79] A. L. Nogueira, M. B. Quadri, P. H. H. Araújo, and R. A. F. Machado, "Influence of Semi-Batch Operations on Morphological Properties of Polystyrene Made in Suspension Polymerization," *Procedia Engineering*, vol. 42, pp. 1045-1052, 2012.
- [80] *Material Safety Data Sheet Methyl methacrylate*.
- [81] T. Tanaka, T. Suzuki, Y. Saka, P. B. Zetterlund, and M. Okubo, "Mechanical properties of cross-linked polymer particles prepared by nitroxide-mediated radical polymerization in aqueous micro-suspension," *Polymer*, vol. 48, pp. 3836-3843, 2007.
- [82] "GPS Safety Summary," *Evonik Industries AG*, vol. Version 1, p. 2/5, June 2013.
- [83] Q. Chen, D. McGillivray, J. Wen, F. Zhong, and S. Y. Quek, "Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins," *Journal of Food Engineering*, vol. 117, pp. 505-512, 2013.
- [84] T. Koupantsis, E. Pavlidou, and A. Paraskevopoulou, "Flavour encapsulation in milk proteins – CMC coacervate-type complexes," *Food Hydrocolloids*, vol. 37, pp. 134-142, 2014.
- [85] E. F. de Oliveira, H. C. B. Paula, and R. C. M. d. Paula, "Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 113, pp. 146-151, 2014.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานและโปสเตอร์

PURE AND APPLIED CHEMISTRY  
INTERNATIONAL CONFERENCE 2013



GLOBAL

Chemical Science for Green Community

CHEMICAL SCIENCE FOR GREEN COMMUNITY



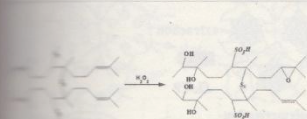
January 23-25, 2013

Bangsaen Beach

THAILAND

**SULFONIC ACID-CONTAINING RUBBER PREPARED FROM WASTE TIRE**

Charoensuk, Sirilux Poompradub, Chawalit Ngamcharussrivichai  
 Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand



Crumb rubber was chemically modified to sulfonic acid-containing rubber via a control oxidation with hydrogen peroxide or nitric acid at ambient pressure. The resulting product was purposed to generate sulfonic acid groups which increase the ion-exchange capacity when compared to the initial crumb rubber.

Waste tire; Crumb rubber; Oxidation; Sulfonic acid

**PLASMA SURFACE MODIFICATION OF CELLULOSE MEMBRANE FROM WATER HYACINTH FOR IMPROVEMENT OF HYDROPHOBIC PROPERTY**

Chapirom, Boonchoat Paosawatanyong, Worawan Bhanthumnavin  
 Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand



Regenerated; Cellulose; Membrane; Plasma

**PREPARATION OF POLYMETHACRYLATE MICROENCAPSULATED JASMINE FRAGRANCE**

P. Chaiyasat, A. Chaiyasat  
 Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand



diagram of the preparation process of PMMA/jasmine capsule by solvent

Polymethylmethacrylate; Jasmine fragrance; Polymer capsule

PMC



## PREPARATION OF POLYMETHYL METHACRYLATE MICROENCAPSULATED JASMINE FRAGRANCE

Paweena Teeka, Preeyaporn Chaiyasat and Amorn Chaiyasat\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Buriram University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, 12110, THAILAND

\* Corresponding author: Tel. 02-5493536, Fax. 02-5493521E-mail: a\_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th



### Introduction

Essential oils or fragrance are organics compound which are naturally produced by plants. It was found in the several parts of the plants such as flower, leaf, and trunk etc. There main ingredients are terpenes and phenyl propanoids [1]. Essential oils have different properties depending on types of plants being extracted from such as Lavender oil extracted from Lavender flower. Its properties are to relax body and minds. Jasmine oil is extracted from Jasmine flower, showing fresh clean and perky properties. However it has very fast evaporation rate as well as short life time [2]. Therefore, to reduce volatility rate and also protect the reaction from light, air and heat, the encapsulation of Jasmine oil was studied by simple solvent evaporation



Major component ; benzyl acetate

### Experimental

Table 1 Reagent amounts for the preparation of PMMA capsules containing Jasmine oil by solvent evaporation technique

Ingredients	PMMA : Jasmine Oil		
	1:1	2:1	3:1
PMMA (g)	2.50	3.40	3.95
Jasmine Oil (g)	2.50	1.60	1.25
PVA solution 1%wt (ml)	45.00	45.00	45.00
Toluene (g)	18.00	30.00	18.00

Abbreviations: Polymethyl methacrylate (PMMA) and Polyvinyl alcohol (PVA)

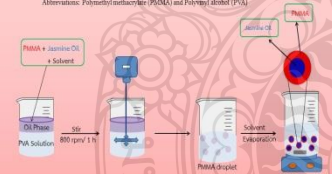


Fig. 1 Schematic diagram of the preparation of PMMA capsule encapsulating Jasmine Oil by solvent evaporation technique in oil/water system

### Conclusions

PMMA/Jasmine fragrance microcapsules were successfully prepared by the simple solvent evaporation technique in oil/water system. The optimum condition for the preparation of capsule is PMMA : Jasmine oil of 2:1 using toluene and 1 %wt PVA aqueous solution as solvent and surfactant, respectively. The spherical capsule with smooth outer surface was obtained. The amount of encapsulated jasmine oil was measured by UV- Vis Spectrophotometer.

### References

- [1] Aunpan sansukcharearnpon, et al. International Journal of Pharmaceutics 2010, 391, 267-273.
- [2] Hu Jing, et al. Chinese Journal of Chemical Engineering 2021,19, 5177-5185.

### Results and discussion



Fig. 2 Photos of PMMA emulsion state prepared by solvent evaporation technique in oil/water system at various PMMA : Jasmine oil ratios a) 1:1, b) 2:1 and c) 3:1



Fig. 3 Photos of PMMA emulsion prepared by solvent evaporation at various solvents: Toluene; Dichloromethane (DCM) and Tetrahydrofuran (THF)



Fig. 4 Photos of PMMA emulsion prepared by solvent evaporation at various surfactants: 1%PVA ; 1% sodium dodecyl sulphate (SDS) and 1% polyoxyethylene (80) sorbitan monooleate (Tween 80)

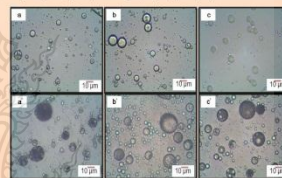


Fig. 5 Optical micrographs of PMMA/fragrance droplets before toluene evaporation PMMA : fragrance: a) 1:1, b) 2:1 and c) 3:1 after toluene evaporation a, b and c'

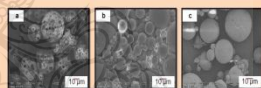


Fig. 6 SEM micrographs of PMMA/fragrance capsule PMMA : fragrance: a) 1:1; b) 2:1 and c) 3:1

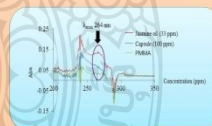


Fig. 7 UV-visible spectrum of — Jasmine oil, — Capsule and — PMMA

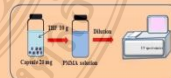


Fig. 8 Schematic of the determination of jasmine fragrance in PMMA capsule by UV-Visible spectrophotometer

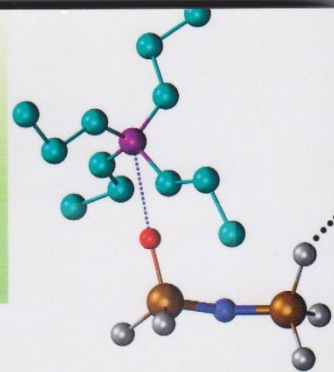
Table 2 The amount of encapsulated Jasmine fragrance in PMMA capsule at PMMA : Jasmine of 2:1 weight ratio measured with UV-Visible spectrophotometer

Sample (mg)	Jasmine (mg)		Encapsulation efficiency (%)
	Theory	Experiment	
20	6.67	4.78	72

Remark : % Recovery (%RSD) of 83 (0.11) of standard at 500 mg/l

Abstract Book

11<sup>th</sup>  
Eco-Energy and  
Materials  
Science and  
Engineering  
Symposium



Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology, Automotive Composite, and Other  
■ Topics related to Energy Field.

Organized by



December 18-21, 2013  
Phuket Graceland Resort and Spa  
Phuket, Thailand

Co-organized by



Sponsored by





### Preparation of Poly (methyl methacrylate) microcapsule with encapsulated Jasmine oil

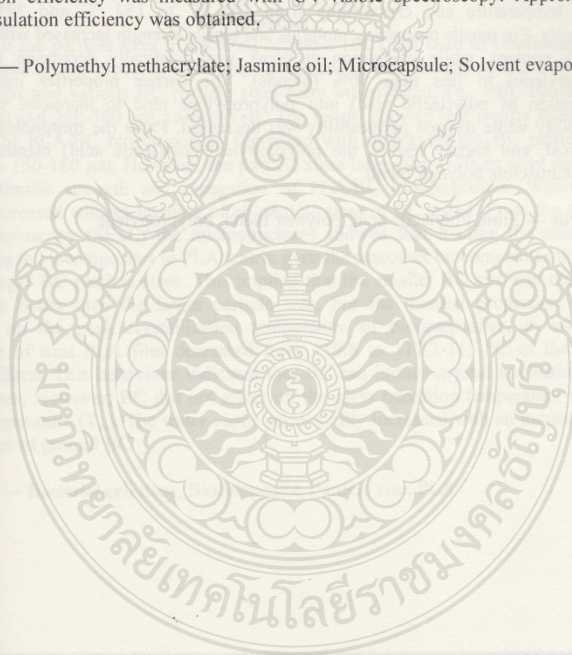
Paweena Teeka<sup>a</sup>, Amorn Chaiyasat<sup>a</sup>, Preeyaporn Chaiyasat<sup>a,1</sup>

<sup>a</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand  
<sup>1</sup>p\_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

#### Abstract

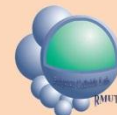
The microencapsulation of jasmine oil with polymethyl methacrylate (PMMA) was carried out by solvent evaporation method in oil in water (O/W) emulsion system. The oil phase was formed by the mixing of PMMA, jasmine oil and toluene and then dispersed in polyvinyl alcohol solution as stabilizer. After solvent evaporation, PMMA microcapsules with encapsulated jasmine oil were formed. The influence of weight ratio of PMMA:jasmine oil on the preparation of polymer capsule was studied. It was found that using 1:1 weight ratio of PMMA:jasmine oil the polymer capsule could not prepare. The increase of PMMA content results in the formation of spherical PMMA microcapsules as in the case of 2:1 and 3:1 weight ratios. The amount of encapsulated jasmine oil and the encapsulation efficiency was measured with UV-visible spectroscopy. Approximately 75% encapsulation efficiency was obtained.

**Keywords** — Polymethyl methacrylate; Jasmine oil; Microcapsule; Solvent evaporation





## PREPARATION OF POLYMETHYL METHACRYLATE MICROCAPSULE WITH ENCAPSULATED JASMINE OIL



Paweena Teeka, Amorn Chaiyasat and Preeyaporn Chaiyasat\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, 12110, THAILAND

\*Corresponding author: Tel. 02-5493536, Fax. 02-5493521E-mail: [p\\_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th](mailto:p_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th)

### Introduction

Essential oils or fragrances are organic compounds which are naturally produced by plants. It was found in the several parts of the plants such as flower, leaf, and trunk. Their main ingredients are terpenes and phenyl propanoids [1]. Essential oils have different properties depending on types of plants being extracted from such as Lavender oil extracted from Lavender flower. Its properties are to relax body and minds. Jasmine oil is extracted from Jasmine flower, showing fresh clean and perky properties. However, it shows fast evaporation rate as well as short life time [2]. Therefore, to reduce volatility rate and also protect the reaction from light, air and heat, the encapsulation of Jasmine oil was studied by simple solvent evaporation.

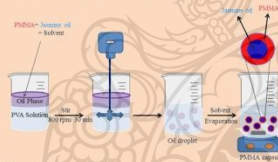


### Experimental

**Table 1** Reagent amounts for the preparation of PMMA microcapsules containing Jasmine oil by solvent evaporation technique at various PMMA:Jasmine oil ratios

Ingredients	Jasmine oil			PMMA
	1:1	2:1	3:1	
PMMA (g)	2.50	3.40	3.75	
Jasmine oil (g)	2.50	1.60	1.25	
Surfactant solution 1%wt (ml)	45.00	45.00	45.00	
Toluene (g)	10.00	10.00	10.00	

Abbreviation: Polymethyl methacrylate (PMMA) and Polyvinyl alcohol (PVA)



**Fig. 1** Schematic diagram of the preparation of PMMA microcapsules with Encapsulated jasmine oil by solvent evaporation technique in oil/water system

### Results and discussion



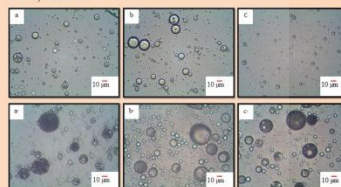
**Fig. 2** Photos of PMMA emulsion prepared by the solvent evaporation technique in oil/water system at various PMMA:Jasmine oil ratios: a) 1:1; b) 2:1 and c) 3:1



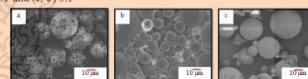
**Fig. 3** Photos of PMMA emulsion prepared by the solvent evaporation technique in oil/water system at various solvents: a) Toluene; b) Dichloromethane and c) Tetrahydrofuran



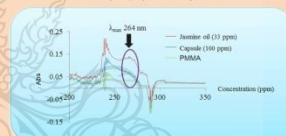
**Fig. 4** Photos of PMMA emulsion prepared by the solvent evaporation technique in oil/water system at various surfactants (1%wt): a) PVA; b) SDS c) Tween 80



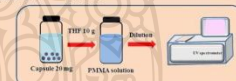
**Fig. 5** Optical micrographs of PMMA/Jasmine oil droplets before and after toluene evaporation at various PMMA:Jasmine oil ratios: (a, a) 1:1; (b, b) 2:1 and (c, c) 3:1



**Fig. 6** SEM micrographs of PMMA/Jasmine oil microcapsule at various PMMA:Jasmine oil ratios: a) 1:1; b) 2:1 and c) 3:1



**Fig. 7** UV-Visible spectrum of microcapsule and PMMA



**Fig. 8** Schematic of the determination of the encapsulated Jasmine oil in PMMA microcapsule by UV-Visible spectrophotometer

**Table 2** The amount of encapsulated Jasmine oil in PMMA microcapsule at PMMA:Jasmine of 2:1 weight ratio measured with UV-Visible spectrophotometer

Sample (mg)	Jasmine oil (mg)		Encapsulation efficiency (%)
	Theory	Experiment	
20	6.67	4.78	72

Remark : % Recovery (%RSD) of 83 (0.11) of standard at 500 mg/l

### Conclusions

PMMA/Jasmine oil microcapsules were successfully prepared by the simple solvent evaporation technique in oil/water system. The optimum condition for the preparation of capsule is PMMA : Jasmine oil of 2:1 using toluene and 1 %wt PVA aqueous solution as solvent and surfactant, respectively. The spherical microcapsule with smooth outer surface were obtained. The encapsulation efficiency of jasmine oil measured by UV- Visible Spectrophotometer was 72%.

### References

- [1] Aurapan sansukchareampon, et al. International Journal of Pharmaceutics 2010, 391, 267-273.
- [2] Hu Jing, et al. Chinese Journal of Chemical Engineering 2021,19, 5177-5185.

## Preparation of Poly (methyl methacrylate) microcapsule with encapsulated Jasmine oil

Paweena Teeka, Amorn Chaivasat, Preeyaporn Chaivasat\*  
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University  
of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

\*[p\\_chaivasat@mail.rmutt.ac.th](mailto:p_chaivasat@mail.rmutt.ac.th)

**Abstract** - The microencapsulation of jasmine oil with polymethyl methacrylate (PMMA) was carried out by solvent evaporation method in oil in water (O/W) emulsion system. The oil phase was formed by the mixing of PMMA, jasmine oil and toluene and then dispersed in polyvinyl alcohol solution as stabilizer. After solvent evaporation, PMMA microcapsules with encapsulated jasmine oil were formed. The influence of weight ratio of PMMA:jasmine oil on the preparation of polymer capsule was studied. It was found that using 1:1 weight ratio of PMMA:jasmine oil the polymer capsule could not prepare. The increase of PMMA content resulting in the formation of spherical PMMA microcapsules as in the case of 2:1 and 3:1 weight ratios. The amount of encapsulated jasmine oil and the encapsulation efficiency was measured with UV-visible spectroscopy. Approximately 72% encapsulation efficiency was obtained.

**Keywords**— Polymethyl methacrylate; Jasmine oil; Microcapsule; Solvent evaporation

### 1. INTRODUCTION

Essential oils are organic compounds which are naturally produced by plants in several parts such as flower, leaf and trunk. There are two types of main ingredients those are terpenes and phenyl propanoid [1]. Essential oils have different properties depending on the type of plants being extracted from such as Lavender oil extracted from Lavender flower. Its properties are to relax body and mind. Jasmine oil is extracted from Jasmine flower showing fresh clean and perky properties. However, the direct utilization of essential oils is limited because of their high volatile rate. To overcome this drawback, the encapsulation of them with polymer is studied. By the encapsulation, the volatile rate of oils is reduced and controlled. Moreover, the essential oils are protected from light, air and heat [2]. The selection of polymer shell depends on the application of the polymer capsule. For example, for food industry, biodegradable and biocompatible polymer as poly-lactic acid [5] and poly-ε-caprolactone [6] are used. In the textile industry for fabric coating [7, 8] the high strength polymer shell such as polymethyl methacrylate (PMMA), polystyrene is selected to prevent the capsule broken during coating process. Many methods have been used for the preparation of polymer capsule such as interfacial polymerization [9], phase inversion precipitation [10,11], in-situ polymerization and solvent evaporation [12]. Among of them, solvent evaporation is one of the most famous methods. Thus, in this research, the preparation of PMMA microencapsulated jasmine oil was carried out by simple solvent evaporation method in oil in water (O/W) emulsion. The influence of PMMA:jasmine oil weight ratio was studied.

### 2. EXPERIMENTAL

#### Materials

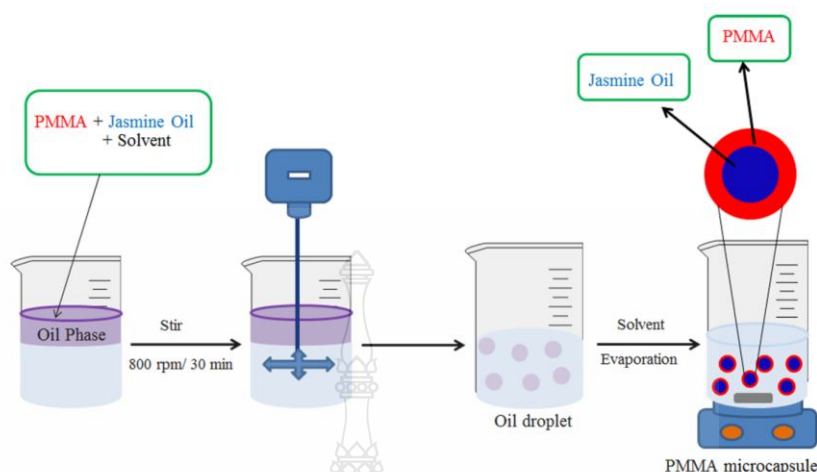
PMMA (Scimile, Co., Ltd) was used as a polymer shell. Jasmine oil (Hong haut Co., Ltd; purity 99%) was used as core. Poly(vinyl alcohol) (PVA; Aldrich, Wisconsin, USA; degree of saponification, 87-90%) was used as received for stabilizer. Toluene (RCI Labscan Assay purity 99.5%) was used as solvent

#### Preparation of PMMA microcapsule with encapsulated jasmine oil

In this study, PMMA capsules were prepared by solvent evaporation method in O/W emulsion system as follows. PMMA was firstly dissolved in toluene and then mixed with jasmine oil as a homogeneous solution under the conditions listed in Table 1. It was subsequently poured into 1 % wt PVA aqueous solution and stirred at 800 rpm for 30 min to form the oil droplets. After the evaporation of toluene, PMMA microcapsules encapsulated jasmine oil was obtained. Finally, they were centrifuged at 5,000 rpm for 10 min and dried overnight in vacuum oven. The amount of the encapsulated jasmine oil and the encapsulation efficiency were measured with UV-visible spectroscopy.

#### Characterization of PMMA microcapsules

The sized and shape of oil droplets in emulsion were observed with optical microscope (OM; SK-100EB & SK-100 ET, Seek Inter Corporation Ltd., Thailand). The morphology of the polymer capsules was observed with scanning electron microscope (SEM; JSM-6510, Jeol, Jeol Ltd., Japan) after coating with gold.



**Fig1. Schematic diagram of the preparation of PMMA microcapsules with encapsulated jasmine oil by solvent evaporation method in O/W system**

The amount of encapsulated jasmine oil was measured by UV-visible spectrometer (UV 1601, Shimadzu, USA). Approximately 20 mg of dried polymer capsule was dissolved in THF and adjust the total volume to 10 g. The jasmine oil amount inside polymer capsule was determined at  $\lambda_{max}$  264 nm. To determined jasmine oil concentration, the measured absorbance of encapsulated jasmine oil solution was compared with standard curve of jasmine oil standard solution at 300, 400, 500 and 600-

ppm. The encapsulation efficiency was calculated using the following equation

$$A = (B/C) \quad (1)$$

Where A = the encapsulation efficiency, B = gram of jasmine oil in the dried PMMA capsule obtained from the UV- visible spectroscopy and C = gram of jasmine oil in the dried PMMA capsule obtained from recipes

**Table1 Recipes for the preparation of PMMA capsules containing jasmine oil by the solvent evaporation method**

Ingredients		PMMA:Jasmine Oil		
		1:1	2:1	3:1
PMMA	(g)	2.50	3.40	3.75
Jasmine Oil	(g)	2.50	1.60	1.25
PVA solution 1%wt	(ml)	45.00	45.00	45.00
Toluene	(g)	10.00	10.00	10.00

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### *The effect of weight ratio of PMMA:Jasmine oil*

PMMA/jasmine oil microcapsules were prepared in O/W emulsion system by the solvent evaporation method at 1:1, 2:1 and 3:1 weight ratio of PMMA:jasmine oil. The emulsions with high colloidal stability were obtained in all cases as shown in Fig. 2(a-c). The spherical oil droplets with broad particle size distribution were observed as showed in Fig. 3(a-c). After solvent evaporation, phase separation of PMMA chains and jasmine oil was taken place. The capsule became dark as shown in Fig. 3(a-c). Because PMMA is hydrophilic polymer, it is easily to move to the droplet interface forming PMMA shell encapsulated jasmine oil as a core

[4]. The hard surface of the prepared microcapsules as shown in Fig. 4(a-c) confirmed our assumption that PMMA shell was formed. In the case of 1:1 weight ratio, the spherical microcapsule with holes was found. It may be due to the utilization of less amount of PMMA which is not enough to completely envelope jasmine oil. In contrast, the smooth outer surface microcapsules were obtained using 2:1 and 3:1 weight ratio of PMMA:jasmine oil. However, 2:1 weight ratio was selected because of higher jasmine oil content. To confirmed the formation of PMMA:jasmine oil microcapsule, the encapsulated oil content was measured.

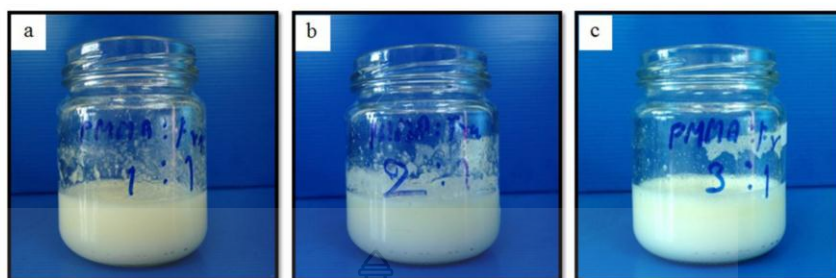


Fig. 2 Photos of PMMA emulsions prepared by solvent evaporation method in O/W system at various PMMA:jasmine oil (%w/w): a) 1:1; b) 2:1 and c) 3:1

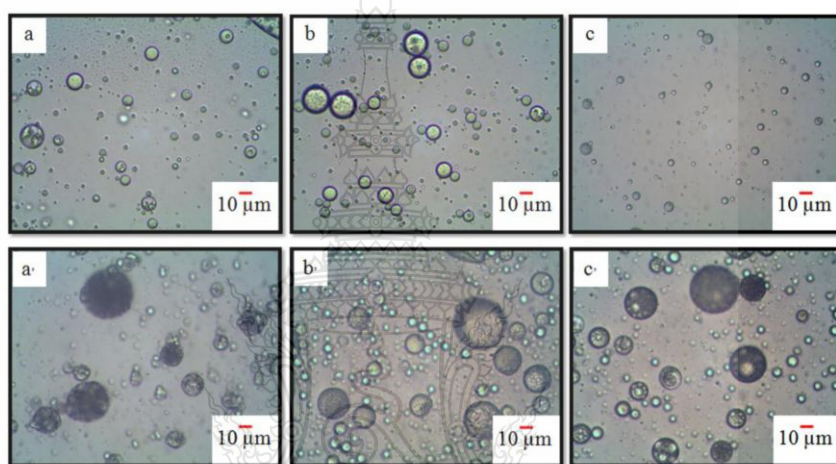


Fig. 3 The optical micrographs of PMMA/jasmine oil droplets before (a, b and c) and after toluene evaporation (a', b' and c') at various ratios of PMMA:jasmine oil (%w/w): (a, a') 1:1; (b, b') 2:1 and (c, c') 3:1

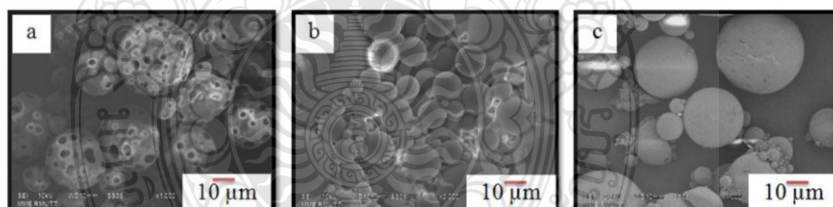


Fig. 4 SEM micrographs of PMMA microcapsules at various PMMA:jasmine oil (%w/w): a) 1:1; b) 2:1 and c) 3:1

**The amount of encapsulated jasmine oil**

The encapsulated jasmine oil amount was measured with UV-visible spectrophotometer at  $\lambda_{\text{max}}$  264 nm. The UV-visible spectra of jasmine oil standard solution, PMMA solution and jasmine oil in PMMA capsule were shown in Fig. 5. The amount of encapsulated jasmine oil

was determined compared with the standard curve. The method validation showed 83% recovery and 0.11% RSD of 500 mg /l standard solution. Using 20 mg dried capsules, 4.78 mg of jasmine oil was found corresponding with 72% encapsulation efficiency.

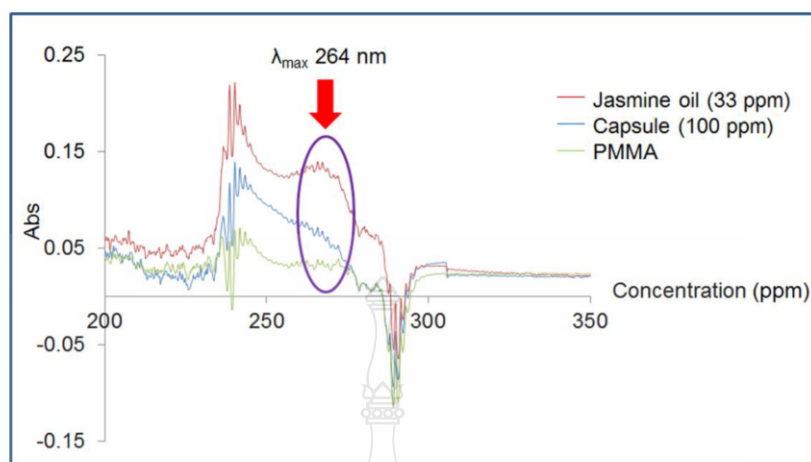


Fig. 5 UV-visible spectra of — Jasmine oil solution; — PMMA: jasmine oil capsule and — PMMA solution

#### 4. CONCLUSIONS

The microencapsulation of jasmine oil with PMMA shell was successfully prepared in O/W emulsion system using solvent evaporation method. It was found that using PMMA:jasmine oil of 2:1, the spherical microcapsules

with smooth outer surface and high oil content were obtained. The encapsulation efficiency was 72% which confirm the successful encapsulation.

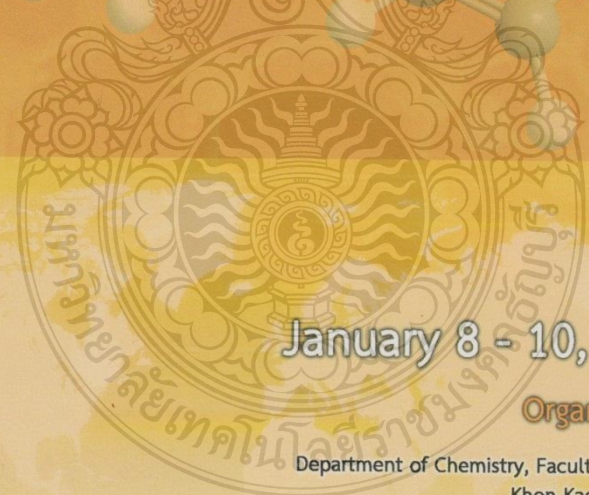
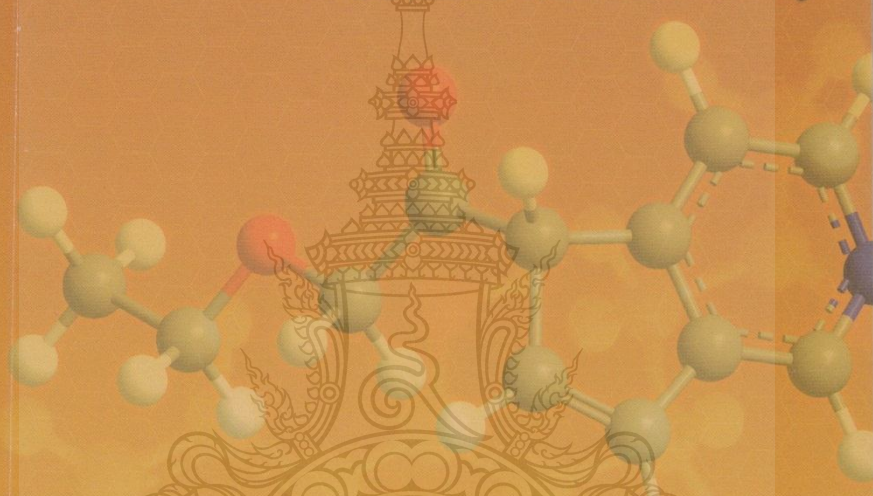
#### 5. REFERENCES

- [1] A. Sansukcharearnpon, S. Wanichwecharungruang, N. Leepipatpaiboon, T. Kerdcharoen, and S. Arayachukeat, "High loading fragrance encapsulation based on a polymer-blend: Preparation and release behavior," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 391, pp. 267-273, May 2010.
- [2] J. Hu, Z. B. Xiao, R. J. Zhou, S. S. Ma, M. X. Wang, and Z. Li, "Properties of Aroma Sustained-release Cotton Fabric with Rose Fragrance Nanocapsule," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 19, pp. 523-528, Jun 2011.
- [3] L. Kudlejova and S. Risticvic, "9 - Application of Solid-Phase Microextraction in Food and Fragrance Analysis," in *Handbook of Solid Phase Microextraction*, P. Janusz, Ed., ed Oxford: Elsevier, 2012, pp. 291-334.
- [4] P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, P. Teeka, S. Noppalit, and U. Srinorachun, "Preparation of Poly(L-Lactic Acid) Microencapsulated Vitamin E," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 656-663, 2013.
- [5] K. Hong and S. Park, "Preparation of poly(L-lactide) microcapsules for fragrant fiber and their characteristics," *Polymer*, vol. 41, pp. 4567-4572, 2000.
- [6] Y. Byun, J. B. Hwang, S. H. Bang, D. Darby, K. Cooksey, P. L. Dawson, *et al.*, "Formulation and characterization of alpha-tocopherol loaded poly epsilon-caprolactone (PCL) nanoparticles," *Lwt-Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 24-28, Jan 2011.
- [7] B. Peña, A. Mamuye, and T. Gumi, "PSf/vanillin Capsules for Textile Application," *Procedia Engineering*, vol. 44, pp. 1331-1332, 2012.
- [8] S. N. Rodrigues, I. M. Martins, I. P. Fernandes, P. B. Gomes, V. G. Mata, M. F. Barreiro, *et al.*, "Scentfashion (R): Microencapsulated perfumes for textile application," *Chemical Engineering Journal*, vol. 149, pp. 463-472, Jul 2009.
- [9] S. N. Rodrigues, I. Fernandes, I. M. Martins, V. G. Mata, F. Barreiro, and A. I. Rodrigues, "Microencapsulation of limonene for textile application," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 47, pp. 4142-4147, Jun 2008.
- [10] B. Peña, C. Panisello, G. Aresté, R. Garcia-Valls, and T. Gumi, "Preparation and characterization of polysulfone microcapsules for perfume release," *Chemical Engineering Journal*, vol. 179, pp. 394-403, 1/1/2012.
- [11] C. van den Berg, C. P. M. Roelands, P. Bussmann, E. L. V. Goetheer, D. Verdoes, and L. A. M. van der Wielen, "Preparation and analysis of high capacity polysulfone capsules," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 69, pp. 766-770, 2009.
- [12] M. Fuchs, C. Turchiuli, M. Bohin, M. E. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. N. Peyrat-Maillard, *et al.*, "Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, pp. 27-35, Jul 2006.

# PACCON2014

Pure and Applied Chemistry  
International Conference 2014

*Moving Towards Innovation in Chemistry*



January 8 - 10, 2014

Organized by

Department of Chemistry, Faculty of Science  
Khon Kaen University

Chemical Society of Thailand  
under the Patronage of  
Her Royal Highness Princess Chulabhorn Mahidol

## PREPARATION OF PLA MICROSPHERE FOR OLIGONUCLEOTIDE ENCAPSULATION

Saentornworajit\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,  
Pathumthani 12120, Thailand; \*E-mail: sbooncho@tu.ac.th

Poly-lactic acid (PLA) microsphere has gained much attention as the therapeutic vessels in the drug delivery system. Preparation techniques of PLA microsphere play a role in encapsulation efficiency and release of targets. In this study, PLA microsphere was prepared by double emulsion method and it was used for 30nt oligonucleotide encapsulation. Results showed that high concentration of PLA and a high primary emulsion ratio resulted in a higher fraction of porous microspheres. Low volume of hardening solution resulted in smaller microspheres. The average diameter of microspheres were 24% and 178  $\mu\text{m}$ , respectively. The oligonucleotide was encapsulated in the second emulsion step. The encapsulation efficiency showed that the microsphere contained more amount of encapsulated oligonucleotide at higher speed of agitation.

Keywords: Poly-lactic acid; Microsphere; Double emulsion method

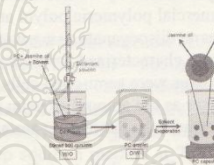
## PREPARATION OF POLYCARBONATE CAPSULE WITH ENCAPSULATED JASMINE OIL

Preeyaporn Chaiyasat, Amorn Chaiyasat\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of  
Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand;  
\*E-mail: chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

Diagram of preparation of PC capsule containing jasmine oil by solvent evaporation method, generate by PIE in O/W system.

Keywords: Polycarbonate capsule; Jasmine oil; Phase inversion emulsification; Solvent evaporation



## PROPERTIES OF FUNCTIONALIZED NATURAL RUBBER AND SYNTHETIC RUBBER BLENDS

Bochathum\*, Ploenpit

Department of Chemistry, Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi,  
Bangkok Road, Bangmod, Toong-kru, Bangkok 10140, Thailand;  
\*E-mail: kmutt@hotmail.com

Research studied on the properties of hydroxyl natural rubber (HNR) and synthetic rubbers (NR, CR, NBR). The molecular interaction of rubber composites were investigated based on the torque between the minimum and the maximum torque by using RPA at 150°C for 30 minutes. It was found that the delta torque of the composites of HNR with CR or NBR had greater values than NR, which indicated better miscibility of the blends. Furthermore, cure rate of HNR with CR or NBR was also higher than NR. The rubber vulcanizates of HNR with NBR and CR had more thermal, oil and toluene resistance than NR.

Keywords: Functional natural rubber; Chloroprene rubber; Nitrile rubber; Molecular interaction

PPC

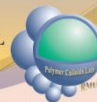




# PREPARATION OF POLYCARBONATE CAPSULE WITH ENCAPSULATED JASMINE OIL

Paweena Teeka, Preeyaporn Chaiyasat and Amorn Chaiyasat\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, 12110, THAILAND



\* Corresponding author: Tel. 02-5493536, Fax. 02-5493521 E-mail: a\_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

## Introduction

Essential oils or fragrances are organic compounds which are naturally produced by plants. It was found in the several parts of the plants such as flower, leaf, and trunk. Their main ingredients are terpenes and phenyl propanoids [1]. Essential oils have different properties depending on types of plants being extracted from such as Lavender oil extracted from Lavender flower. Its properties are to relax body and minds. Jasmine oil is extracted from Jasmine flower, showing fresh clean and perky properties. However, it shows fast evaporation rate as well as short life time [2]. Therefore, to reduce volatility rate and also protect the reaction from light, air and heat, the encapsulation of Jasmine oil by simple solvent evaporation was studied.



## Experimental

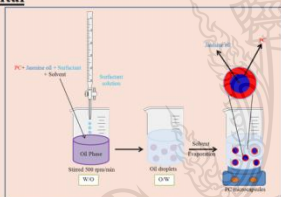


Fig. 1 Schematic diagram of the preparation of PC microcapsules with encapsulating Jasmine oil by solvent evaporation technique in oil/water system

Table 1 Reagent amounts for the preparation of PC microcapsules by the phase inversion emulsification (PIE) technique in oil/water system using various PVA concentrations in oil at PC:Jasmine oil of 2:1

Ingredients	PVA in oil (%wt)			
	5	5	10	20
PC (g)	7.00	7.00	7.00	7.00
Jasmine oil (g)	3.50	3.50	3.50	3.50
PVA (g)	0.50	0.50	1.00	2.00
SDS*	-	0.09	0.09	0.09
H <sub>2</sub> O (g)	45.00	44.91	44.91	44.91
DCM (g)	25.00	25.00	25.00	25.00

\*H<sub>2</sub>O without SDS  
Abbreviations: Sodium dodecyl sulfate (SDS), Dichloromethane (DCM) and Poly(vinyl Alcohol) (PVA)

## Results and discussion



Fig. 2 Photos of PC emulsion prepared by the PIE technique in oil/water system using 0.2 %wt SDS at various PVA in oil phase (%wt): a) 5 (without SDS); b) 5; c) 10 and d) 20

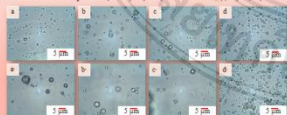


Fig. 3 The optical micrographs of PC/Jasmine oil droplets before (a, b, c and d) and after DCM evaporation (a', b', c' and d') at various PVA in oil phase (%wt): (a, a') 5 (without SDS); (b, b') 5 (c, c') 10 and (d, d') 20 using 0.2%wt SDS

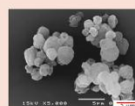


Fig. 4 SEM micrograph of PC/Jasmine oil microcapsules at PC:Jasmine oil ratios of 2:1

Table 2 Reagent amounts for the preparation of PC microcapsules by the PIE technique in oil/water system using 2%wt PVA in oil at various SDS in continuous phase

Ingredients	SDS in continuous phase (%wt)		
	0.2	0.5	1
PC (g)	7.00	7.00	7.00
Jasmine oil (g)	3.50	3.50	3.50
PVA (g)	2.00	2.00	2.00
SDS (g)	0.09	0.23	0.45
H <sub>2</sub> O (g)	44.91	44.78	44.45
DCM (g)	25.00	25.00	25.00



Fig. 5 Photos of PC emulsion prepared by the PIE technique in oil/water system using 2%wt PVA in oil at various SDS in continuous phase (%wt): a) 0.2; b) 0.5 and c) 1

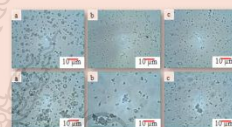


Fig. 6 The optical micrographs of PC/Jasmine oil droplets before (a, b and c) and after DCM evaporation (a', b' and c') at various SDS in continuous phase (%wt): (a, a') 0.2; (b, b') 0.5 and (c, c') 1 using 2%wt PVA in oil

Table 3 Weight- and number average diameters particle size and particle size distribution of PC/Jasmine microcapsules prepared by PIE technique in oil/water system before and after DCM evaporation at various % weight SDS in continuous phase

SDS (wt%)	Before			After		
	D <sub>n</sub>	D <sub>w</sub>	4-4 <sub>n</sub>	D <sub>n</sub>	D <sub>w</sub>	4-4 <sub>n</sub>
0.2	3.619	2.896	1.40	5.233	4.233	1.24
0.5	1.723	1.616	1.47	3.618	3.175	1.10
1	1.090	1.131	1.41	3.175	1.016	1.35

## % Encapsulation efficiency determination with TGA

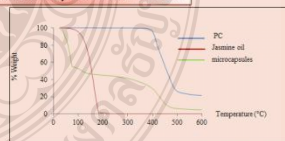


Fig. 7 TGA thermograms of (—) PC/Jasmine oil microcapsules prepared by solvent evaporation technique in oil/water system; (---) PC and (---) Jasmine oil

## Conclusions

PC/Jasmine oil microcapsules were successfully prepared by the simple solvent evaporation technique in oil/water system. The optimum condition for the preparation of capsule is PC/Jasmine oil of 2:1 using PVA and SDS in the dispersed and continuous phases respectively. High colloidal stable emulsion was obtained.

## References

- Avirapan sanasakchareunpan, et al. International Journal of Pharmaceutics 2010, 391, 267-273.
- Hu Jing, et al. Chinese Journal of Chemical Engineering 2021,19, 5177-5185.

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเมทิลแอนทราโนเลทในพอลิเมอร์แคปซูล



# 1. การหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

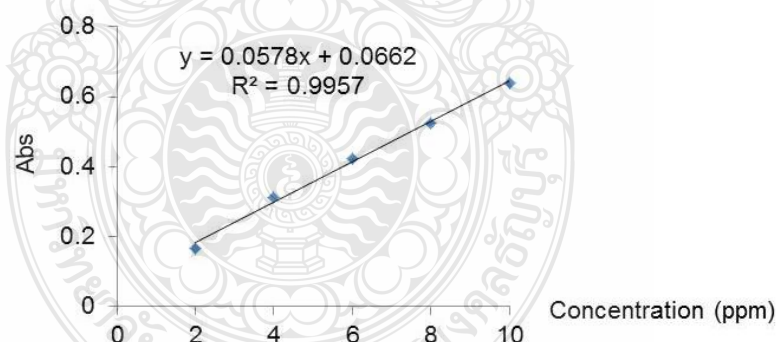
## 1.1 การเตรียมหอยคสารอินทรีย์แบบดั้งเดิม

ตารางสภาวะที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล

PC:MA	PC (g)	MA (g)
2:1	3.40	1.60

ในงานวิจัยนี้ มีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยละลาย MA ใน DCM ให้มีความเข้มข้นต่างๆ 2 4 6 8 และ 10 ppm (mg/kg) แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 335 nm แล้วสร้างกราฟมาตรฐานดังนี้

Concentration of MA (ppm)	Abs
2	0.1670
4	0.3124
6	0.4228
8	0.5240
10	0.6395



คำนวณ [MA]<sub>Experiment</sub>

ชั่งพอลิเมอร์แคปซูล 21.2 mg ละลายใน DCM 12.4110 g จากนั้นทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้ โดยชั่งสารละลายตัวอย่าง 0.0849 g แล้วผสมกับ DCM ให้มีน้ำหนักรวมเป็น 9.9151 g จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกับสารละลาย

มาตรฐาน ได้ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) 0.2914 แล้วนำไปแทนในสมการเส้นตรงของสารละลาย  
มาตรฐานเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูล ( $[MA]_{\text{Experiment}}$ )

$$\text{จากสมการ} \quad y = 0.0578X + 0.0662$$

$$\text{เมื่อ Abs ของสารละลายตัวอย่าง} = 0.2914$$

$$\text{แทนค่าเมื่อ } y = 0.2914$$

$$0.2914 = 0.0578 X + 0.0662$$

$$X \text{ หรือ } [MA]_{\text{Experiment}} = (0.2914 - 0.0662) / 0.0578$$

$$= 3.8962 \text{ ppm}$$

คำนวณน้ำหนักของ MA ( $\text{mg}; W_{MA\text{-experiment}}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 21.2 mg

$$\text{จาก } [MA]_{\text{Experiment}} = 3.8962 \text{ ppm}$$

$$\text{สารละลาย 1000 g มี MA} = 3.8962 \text{ mg}$$

$$\text{สารละลาย 9.9151 g มี MA} = (3.8962 \text{ mg} / 1000 \text{ g}) \times 9.9151 \text{ g}$$

$$= 0.0386 \text{ mg}$$

แสดงว่า

$$\text{สารละลายตัวอย่างเจือจาง 0.0849 g มี MA} = 0.0386 \text{ mg}$$

$$\text{ถ้าสารละลายตัวอย่างก่อนการเจือจาง 12.4322 g มี MA} = 5.6523 \text{ mg}$$

$$(12.4110 \text{ g} + 0.0212 \text{ g} = 12.4322 \text{ g})$$

$$\text{ดังนั้น พอลิเมอร์แคปซูล } (W_{\text{capsule}}) \text{ 21.2 mg มี MA หรือ } W_{MA\text{-experiment}} = 5.6523 \text{ mg}$$

คำนวณน้ำหนักของ MA ( $\text{mg}$ ;  $W_{\text{MA-theory}}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 21.2 mg

จาก อัตราส่วนของ PC: MA เท่ากับ 2:1

แสดงว่า

$$\text{พอลิเมอร์แคปซูล 3 g จะมี MA} = 1 \text{ g}$$

$$\text{ถ้าพอลิเมอร์แคปซูล 0.0212 g จะมี MA} = (1/3) \times 0.0212$$

$$W_{\text{MA-theory}} = 0.007067 \text{ g หรือ } 7.067 \text{ mg}$$

จากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการหุ้ม (\%)} = (W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{MA-theory}}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{การบรรจุสาร (\%)} = [W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{capsule}}] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

$W_{\text{MA-experiment}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการทดลอง

$W_{\text{MA-theory}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการคำนวณ

$W_{\text{capsule}}$  คือ น้ำหนัก (mg) ของพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้จากการคำนวณ

ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพในการหุ้ม (\%)} = (W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{MA-theory}}) \times 100$$

$$= (5.6523 \text{ mg} / 7.067 \text{ mg}) \times 100$$

$$= 79.98 \%$$

$$\begin{aligned} \text{การบรรจุสาร (\%)} &= [W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{capsule}}] \times 100 \\ &= (5.6523 \text{ mg} / 21.2 \text{ mg}) \times 100 \\ &= 26.66 \% \end{aligned}$$

1.2 การเตรียมหยดสารอินทรีย์แบบกลับวัฏภาคโดยใช้อัตราเร็วในการหยดสารละลาย SDS 5 ml/min ลงในชั้นของสารละลายอินทรีย์

ตารางสภาวะที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล

PC:MA	PC (g)	MA (g)
2:1	4.00	2.00

คำนวณ  $[MA]_{\text{Experiment}}$

ชั่งพอลิเมอร์แคปซูล 13.6 mg ละลายใน DCM 14.1630 g จากนั้นทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้ โดยชั่งสารละลายตัวอย่าง 0.0844 g แล้วผสมกับ DCM ให้มีน้ำหนักรวมเป็น 11.1316 g จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน ได้ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) 0.1340 แล้วนำไปแทนในสมการเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูล ( $[MA]_{\text{Experiment}}$ )

$$\text{จากสมการ } y = 0.0578X + 0.0662$$

$$\text{เมื่อ Abs ของสารละลายตัวอย่าง} = 0.1340$$

$$\text{แทนค่าเมื่อ } y = 0.1340$$

$$0.1340 = 0.0578 X + 0.0662$$

$$X \text{ หรือ } [MA]_{\text{Experiment}} = (0.1340 - 0.0662) / 0.0578$$

$$= 1.1730 \text{ ppm}$$

คำนวณน้ำหนักของ MA (mg;  $W_{MA-experiment}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 13.6 mg

จาก  $[MA]_{Experiment} = 1.1730 \text{ ppm}$

สารละลาย 1000 g มี MA = 1.1730 mg

สารละลาย 11.1316 g มี MA =  $(1.1730 \text{ mg} / 1000 \text{ g}) \times 11.1316 \text{ g}$

= 0.0131 mg

แสดงว่า

สารละลายตัวอย่างเจือจาง 0.0844 g มี MA = 0.0131 mg

ถ้าสารละลายตัวอย่างก่อนการเจือจาง 14.1766 g มี MA = 2.2004 mg

$(14.1630 \text{ g} + 0.0136 \text{ g} = 14.1766 \text{ g})$

ดังนั้น พอลิเมอร์แคปซูล ( $W_{capsule}$ ) 13.6 mg มี MA หรือ  $W_{MA-experiment} = 2.2004 \text{ mg}$

คำนวณน้ำหนักของ MA (mg;  $W_{MA-theory}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 13.6 mg

จาก อัตราส่วนของ PC: MA เท่ากับ 2:1

แสดงว่า

พอลิเมอร์แคปซูล 3 g จะมี MA = 1 g

ถ้าพอลิเมอร์แคปซูล 0.0136 g จะมี MA =  $(1/3) \times 0.0136$

$W_{MA-theory} = 0.004533 \text{ g}$  หรือ 4.533 mg

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการหุ้ม (\%)} &= (W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{MA-theory}}) \times 100 \\ &= (2.2004 \text{ mg} / 4.533 \text{ mg}) \times 100 \\ &= 48.54 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{การบรรจุสาร (\%)} &= [W_{\text{MA-experiment}} / W_{\text{capsule}}] \times 100 \\ &= (2.2004 \text{ mg} / 13.6 \text{ mg}) \times 100 \\ &= 16.18 \% \end{aligned}$$

## 2. การหาปริมาณเมทิลแอนทรานิเลทในพอลิเมอร์แคปซูลด้วยเทคนิคการสังเคราะห์แบบแวนดอย

ตารางสภาวะที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล

PMMA:MA	PMMA (g)	MA (g)
1:1	5.00	5.00

**คำนวณ  $[MA]_{\text{Experiment}}$**

ชั่งพอลิเมอร์แคปซูล 16.1 mg ละลายใน toluene 11.6500 g จากนั้นทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้ โดยชั่งสารละลายตัวอย่าง 0.3043 g แล้วผสมกับ toluene ให้มีน้ำหนักรวมเป็น 10.5744 g จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน ได้ค่าการดูดกลืนแสง (Abs) 0.2734 แล้วนำไปแทนในสมการเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของ MA ในพอลิเมอร์แคปซูล ( $[MA]_{\text{Experiment}}$ )

$$\text{จากสมการ } y = 0.032X - 0.0242$$

$$\text{เมื่อ Abs ของสารละลายตัวอย่าง} = 0.2734$$

$$\text{แทนค่าเมื่อ } y = 0.2734$$



$$0.2734 = 0.032 X - 0.0242$$

$$X \text{ หรือ } [MA]_{\text{Experiment}} = (0.2734 + 0.0242) / 0.032$$

$$= 9.3000 \text{ ppm}$$

คำนวณน้ำหนักของ MA (mg;  $W_{MA\text{-experiment}}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 16.1 mg

จาก  $[MA]_{\text{Experiment}} = 9.3000 \text{ ppm}$

สารละลาย 1000 g มี MA = 9.3000 mg

สารละลาย 10.5744 g มี MA =  $(9.3000 \text{ mg} / 1000 \text{ g}) \times 10.5744 \text{ g}$   
= 0.0983 mg

แสดงว่า

สารละลายตัวอย่างก่อนการเจือจาง 0.3043 g มี MA = 0.0983 mg

ถ้าสารละลายตัวอย่างก่อนการเจือจาง 11.6661 g มี MA = 3.7686 mg

$(11.6500 \text{ g} + 0.0161 \text{ g} = 11.6661 \text{ g})$

ดังนั้น พอลิเมอร์แคปซูล ( $W_{\text{capsule}}$ ) 16.1 mg มี MA หรือ  $W_{MA\text{-experiment}} = 3.7686 \text{ mg}$

คำนวณน้ำหนักของ MA (mg;  $W_{MA\text{-theory}}$ ) ในตัวอย่างพอลิเมอร์แคปซูล 13.6 mg (เช็ด้วยว่า ถูกต้องมั๊ย)

จาก อัตราส่วนของ PMMA: MA เท่ากับ 1:1 และ %conversion ของ MMA เป็น 70%

ดังนั้น อัตราส่วนของ PMMA: MA จึงเปลี่ยนเป็น  $[1 \times (70/100) = 0.7] : 1$

แสดงว่า

พอลิเมอร์แคปซูล 1.7 g จะมี MA = 1 g

ถ้าพอลิเมอร์แคปซูล 0.0161 g จะมี MA = (1/1.7) x 0.0161

$$W_{MA\text{-theory}} = 0.009471 \text{ g หรือ } 9.471 \text{ mg}$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการหุ้ม (\%)} = (W_{MA\text{-experiment}} / W_{MA\text{-theory}}) \times 100$$

$$= (3.7686 \text{ mg} / 9.471 \text{ mg}) \times 100$$

$$= 39.79 \%$$

$$\text{การบรรจุสาร (\%)} = [W_{MA\text{-experiment}} / W_{\text{capsule}}] \times 100$$

$$= (3.7686 \text{ mg} / 16.1 \text{ mg}) \times 100$$

$$= 23.41 \%$$





ภาคผนวก ค

คำย่อ

## 1. หมวดสารเคมี

คำย่อ	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
1. BPO	Benzyl peroxide	เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์
2. CHCl <sub>3</sub>	Chloroform	คลอโรฟอร์ม
3. DBTDL	Dibuthyltindilaurate	ไดบิวทิลดีนไดลอเรท
4. DVB	Divinyl benzene	ไดไวนิลเบนซีน
5. EDA	Ethylenediamine	เอทิลีนไดอะมีน
6. EGDMA	Ethylene glycol dimethacrylate	เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต
7. HDMI	Hexamethylene-diisocyanate	เฮกซะเมทิลีน-ไดไอโซไซยานาต
8. HYD	Hydrazine	ไฮดราซีนโมโนไฮเดรต
9. MMA	Methyl methacrylate	เมทิลเมทาคริเลต
10. N <sub>2</sub>	Nitrogen gas	แก๊สไนโตรเจน
11. MA	Methyl anthranilate	เมทิลแอนทรานิลเลท
12. OD	Octadecane	ออกตะเดเคน
13. PC	Polycarbonate	พอลิคาร์บอเนต

หมวดสารเคมี (ต่อ)

คำย่อ	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
14. PDVB	Polyvinyl benzene	พอลิไควนิลเบนซีน
15. PEG 4000	Polyethylene glycol	พอลิเอทิลีนไกลคอล 400
16. PLLA	Poly L-lactic acid	พอลิแลคติกแอซิด
17. (P(MMA-EGDMA)	Poly (methyl methacrylate-co-ethyleneglycol)	พอลิ (เมทิลเมทาคริเลต-โค-เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต)
18. PVA	Polyvinyl alcohol	พอลิไควนิลแอลกอฮอล์
19. SDS	Sodium dodecyl sulfate	โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต
20. THF	Tetrahydrofuran	เตตระไฮโดรฟูแรน
21. TTAB	Myristyltrimethyl ammonium bromide	ไมริสทิลไตรเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์
22. V-70	4, 4 - Azobis (4- methoxy - 2, 4 - dimethyl valeronitrile	4, 4 - อะโซบิส (4-เมทอกซี - 2, 4 - ไดเมทิลวาเลโรไนไทรล์

## 2. หมวดเทคนิคการสังเคราะห์

คำย่อ	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
1. O/W	Oil in water	น้ำมันในน้ำ
2. PIE	Phase inversion emulsification	การกลับวัฏภาค
3. PSD	Particle size distribution	การกระจายตัวของอนุภาค
4. W/O/W	Water in oil in water	น้ำในน้ำมันในน้ำ

## 3. หมวดเครื่องมือ

คำย่อ	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
1. DLS	Dynamic light scattering	เครื่องวัดขนาดอนุภาค
2. OM	Optical microscope	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
3. SEM	Scanning electron microscope	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด
4. TGA	Thermogravimetric analyzer	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไล เซอร์
5. UV-Vis	UV-Visible spectrophotometer	เครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโทรโฟโต มิเตอร์

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล ปวีณา ตีกา  
วัน เดือน ปี 08 สิงหาคม 2532  
ที่อยู่ 116 หมู่ 5 บ้านชาติ ตำบลเปือยใหญ่ อำเภอโนนศิลา จังหวัดขอนแก่น 40110  
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเคมี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
เบอร์โทรศัพท์ 081-7354866  
อีเมล Teeka06082532@hotmail.co.th

