



รายงานการวิจัยเรื่อง

การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บ
ความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชัน
ที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ

(Preparation of Polymer Nano-encapsulated Heat
Storage Material by Miniemulsion Polymerization
without High Shear Rate for Textile Industry)

โดย

ดร.ปริยาภรณ์

ไชยสัตย์

ดร.อมร

ไชยสัตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.วรายุทธ

สะโถมแสง

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ประจำปีงบประมาณ 2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนปัจจัยต่างๆในการดำเนินงานวิจัย และนักศึกษาในกลุ่มวิจัยพอลิเมอร์คอลลอยด์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกคน ที่มีส่วนร่วมในการรวบรวมข้อมูล และการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณที่ปรึกษาโครงการ และผู้สนับสนุนงานวิจัยทุกท่านที่ให้คำแนะนำจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัย

กันยายน 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อน ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน โดยในขั้นตอนการเตรียมหยดมอนอเมอร์ได้ศึกษาการเตรียมแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูงโดยการปั่นด้วยไฮโมจิโนเซอร์เปรียบเทียบกับวิธีกลับเฟสที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง

ในการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิม พบว่าอัตราเร็วในการปั่นที่ 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที และใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสภาวะที่เหมาะสม หยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-1,000 นาโนเมตร มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูงไม่จับตัวกันเป็นก้อน ในการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงด้วยวิธีกลับเฟส พบว่าเมื่อใช้ PVA 3 กรัม ในชั้นสารอินทรีย์แล้วเติม SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการจับตัวกัน มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง แต่แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 2-3 ไมโครเมตร มีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ เมื่อทำการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล โดยมีอัตราส่วนไดไวนิลเบนซีนต่อเมทิลเมทาคริเลตเป็น 50:50 พบว่าแคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรอยยุบจำนวนมาก เนื่องจากความแข็งแรงของเปลือกแคปซูลลดลง แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 4-6 ไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมากกว่ากรณีพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูล ค่าปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวของออกตะเดกเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในโคพอลิเมอร์แคปซูลมีค่า 237 J/g-OD และความร้อนในการเกิดผลึกมีค่า 236 J/g-OD ซึ่งมีค่าใกล้เคียงออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกหุ้มมาก

ดังนั้น ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันหรือแบบแขวนลอย สามารถเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงได้โดยใช้วิธีกลับเฟสได้ ถึงแม้ว่าจะยังเตรียมได้ในขนาดระดับไมโครเมตรได้ แต่ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อเตรียมหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรต่อไปได้

คำสำคัญ พอลิเมอร์แคปซูล กระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน วัสดุเก็บความร้อน

ABSTRACT

In this research, the preparation of polymer capsule encapsulating octadecane (OD) as heat storage material by miniemulsion polymerization was studied. In the step of monomer droplet preparation, the utilization of homogenizer as conventional high shear rate method was compared with phase inversion emulsification (PIE) technique.

In the case of the conventional method, homogenization speed at 5,000 rpm 5 min and 15,000 rpm 10 min with the utilization of myristyl trimethylammonium bromide at 1.0% wt of total solution was the optimum condition. The obtained monomer droplet and polymer capsule were spherical with average diameter of 300-1,000 nm. They were high colloidal stable without any coagulation. In the case of PIE, using polyvinyl alcohol 3 g in organic phase with sodium dodecyl sulphate 0.1 g in aqueous phase as cosurfactant was the optimum condition. The prepared emulsion represented high colloidal stability without aggregation. However, the prepared capsule average diameter was about 2-3 μm with narrow particle size distribution (PSD). The preparation of poly(divinyl benzene-co-methyl methacrylate) (P(DVB-MMA)) capsule with DVB:MMA of 50:50 was studied. The capsules were spherical with multident due to the reduction of capsule shell strength. The average size was approximate 4-6 μm having broader PSD than that of polydivinylbenzene capsule. The heat of melting of the encapsulated OD was 237 J/g-OD and heat of crystallization was 236 J/g-OD closed to those of pure OD.

Therefore, for the preparation of polymer capsule by miniemulsion or suspension polymerization, the monomer droplet was successfully prepared without high shear rate by PIE. Although, the obtained droplet was still in micrometer size, the obtained fundamental data were useful for further preparation of nanometer size monomer droplet and polymer capsule.

Keywords: Polymer capsule; Miniemulsion polymerization; Heat storage materials

คำนำ

โครงการวิจัยเรื่อง การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันแบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง โดยอาศัยกลไกการแยกวัฏภาคภายในของพอลิไดไวนิลเบนซีนกับออกตะเดกเคน เกิดเป็นชั้นของพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต)หุ้มออกตะเดกเคนอยู่ภายใน โดยในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเทคนิคในการเตรียมหุ้มนอนเมอร์ที่ไม่ต้องใช้แรงเฉือนสูง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมหุ้มนอนเมอร์และการสังเคราะห์พอลิเมอร์แคปซูลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ จากนั้น ได้นำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปทดลองเคลือบผ้าเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ต่อไป

ทีมผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ทั้งทางการศึกษา การวิจัย และอุตสาหกรรม โดยให้ข้อมูลและเป็นแนวทางในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆต่อไป

ผู้วิจัย

กันยายน 2556

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
คำนำ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของที่มาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ชนิดและสมบัติของวัสดุเก็บความร้อน	3
2.2 เทคนิคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล	5
2.3 การเตรียมหดยดมอนอเมอร์ด้วยเทคนิคกลบวฏฏภาค	7
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	8
3.2 การทดลอง	
3.2.1 การเตรียมมอนอเมอร์ให้บริสุทธิ์	9
3.2.2 การสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาครีเลต)แคปซูล	
หุ้มออกตะเดกเคน	10
3.2.3 การหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูล	16
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	
4.1 การสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาครีเลต)แคปซูล	
หุ้มออกตะเดกเคน	
4.1.1 การเตรียมหดยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง	18
4.1.2 การเตรียมหดยดมอนอเมอร์โดยไม่ใช้แรงเฉือนสูง	25
4.2 การหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูล	
4.2.1 หดยดมอนอเมอร์ที่เตรียมแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง	29
4.2.2 หดยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยไม่ใช้แรงเฉือนสูง	31
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงวิภาคหรือการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเก็บความร้อน	4
2.2 การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลของพอลิไดไวนิลเบนซีนที่หุ้มออกตะเดกเคน โดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย	6
3.1 การเตรียมไดไวนิลเบนซีนให้บริสุทธิ์	10
3.2 แผนภาพการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคน เป็นวัสดุเก็บความร้อนโดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันที่เตรียม หยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิม	11
3.3 การสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อน	11
4.1 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a, b และ c) และพอลิไดไวนิลเบนซีน แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน (a', b' และ c') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชัน ของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่อัตราการปั่นต่างๆ (a, a') 20,000 rpm 15 นาที; (b, b') 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที และ (c, c') 10,000 rpm 5 นาที และ 20,000 rpm 10 นาที	19
4.2 อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยด มอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (a) 0.66 และ (b) 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด	20
4.3 อิมัลชันของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์ แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (a) 0.66 และ (b) 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด ที่เวลาต่างๆของการ สังเคราะห์	21
4.4 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a และ b) และพอลิไดไวนิลเบนซีน แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน (a' และ b') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชัน ของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (a และ a') 0.66 และ (b และ b') 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด	22
4.5 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a) และพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้ม ออกตะเดกเคน (b) ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.67 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	23
4.6 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a) และพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูล หุ้มออกตะเดกเคน (b) ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 DLS histogram ของหยดมอนอเมอร์ (a, a') และพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคน (b, b') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	26
4.8 อิมัลชันของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ในชั้นสารอินทรีย์ (a) Tween 80; (b) PVA 3 กรัม และ (c) PVA 3 กรัม ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	26
4.9 SEM micrograph ของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ในชั้นสารอินทรีย์ (a) Tween 80; (b) PVA 3 กรัม และ (c) PVA 3 กรัม ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	27
4.10 Optical micrograph ของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ ที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ (h) (a) 1; (b) 3; (c) 6; (d) 12 และ (e) 24	28
4.11 SEM micrograph ของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ ที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ (h) (a) 1; (b) 3; (c) 6; (d) 12 และ (e) 24	28
4.12 Optical (a) และ SEM micrograph (b) ของพอลิไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต) แคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	29
4.13 TGA thermogram ของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิว	30
4.14 DSC thermogram ของออกตะเดเคนในพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลที่สังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิว	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 TGA thermogram ของ (a) ออกตะเดกเคน และ (b) พอลิไคไวนิลเบนซีนแคปซูล หุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่ เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	31
4.16 DSC thermogram ของ (a, a') ออกตะเดกเคน และ (b, b') ออกตะเดกเคนใน พอลิไคไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน ของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวใน ชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	32
4.17 DSC thermogram ของออกตะเดกเคนในพอลิ(ไคไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต) แคปซูลที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดย วิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ (a) heating และ (b) cooling curve	33

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางความร้อนของสารกลุ่มพาราฟินที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเก็บความร้อน	4
3.1 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิมที่อัตราและเวลาในการปั่นต่างๆ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.33 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด	12
3.2 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	13
3.3 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.67 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมดเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	13
3.4 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้มีริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ	14
3.5 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม	14
3.6 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีกลับเฟส โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดและปริมาณต่างๆ	15
3.7 สภาพะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีกลับเฟส	16
4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์และลักษณะเฉพาะของแคปซูลที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ	27

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

วัสดุเก็บความร้อน (Heat storage materials) หรือวัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase change materials) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ในการกักเก็บความร้อนในระหว่างวันและลดปริมาณการใช้พลังงาน วัสดุเก็บความร้อนจะมีหลักการทำงาน คือ วัสดุจะดูดพลังงานความร้อน เมื่ออุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (Transition temperature) ของวัสดุ และจะคายพลังงานความร้อนออกมาเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของวัสดุ [1] อย่างไรก็ตาม การใช้งานของวัสดุดังกล่าวโดยตรงอาจจะไม่เหมาะสม เพราะอาจมีการปนเปื้อนจากสารอื่นๆและสลายตัวในระหว่างใช้งานได้ การเตรียมเป็นแคปซูลที่หุ้มวัสดุดังกล่าวจึงเป็นวิธีที่ได้รับความสนใจ นอกจากจะป้องกันการปนเปื้อนและการสลายตัวในระหว่างการใช้งานแล้ว ยังเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุเก็บความร้อน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทพลังงานได้

ในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานของแคปซูล ขนาดของอนุภาคแคปซูลจะต้องมีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปอนุภาคแคปซูลที่เตรียมในกระบวนการต่างๆเช่นแบบแขวนลอย (Suspension polymerization) [2-11] การสังเคราะห์แบบอินซิทู (In situ polymerization) [12-14] และแบบควบแน่น (Polycondensation) [15, 16] ส่วนใหญ่จะมีขนาดในระดับไมโครเมตรและต้องใช้แรงเฉือนสูงในการเตรียมหยดมอนอเมอร์หรือหยดของวัสดุเก็บความร้อนให้มีขนาดเล็ก การเตรียมพอลิเมอร์ขนาดระดับนาโนเมตรก็มีการเตรียมได้เช่นกัน โดยทั่วไปจะใช้กระบวนการแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) [17-19] และแบบมินิอิมัลชัน (Miniemulsion polymerization) [8, 20] ในกรณีของการสังเคราะห์แบบอิมัลชันแม้จะไม่มีรายงานถึงประสิทธิภาพในการเตรียมแคปซูล แต่จากกลไกในการเกิดแคปซูลของกระบวนการนี้ทำให้เชื่อว่า เป็นไปได้ยากมากที่อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นแคปซูลได้หมด เพราะการพอลิเมอไรเซชันจะเกิดในไมเซลล์ ในขณะที่มอนอเมอร์และวัสดุเก็บความร้อนจะถูกผสมกันก่อนเป็นหยดมอนอเมอร์ และจะเคลื่อนที่เข้าไปในไมเซลล์เพื่อเกิดเป็นแคปซูล โดยอาศัยการแยกตัวจากภายในวัสดุเก็บความร้อนที่มีความไม่เข้มข้นสูงจะเคลื่อนที่ผ่านน้ำไปไมเซลล์ได้ยาก จึงน่าจะเหลือส่วนหนึ่งที่ยังไม่ถูกหุ้ม ส่วนในกรณีของกระบวนการแบบมินิอิมัลชัน พอลิเมอไรเซชันเกิดในหยดมอนอเมอร์ (ขนาดนาโนเมตร) ที่มีวัสดุเก็บความร้อนละลายอยู่ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการหุ้มวัสดุเก็บความร้อน ซึ่งน่าจะพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แรงเฉือนสูง(ใช้พลังงานสูง) ในการทำให้หยดมอนอเมอร์มีขนาดในระดับนาโนเมตรเป็นอุปสรรคสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาการเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนในระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการแบบมินิอิมัลชัน โดยจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารลดแรงตึงผิวและเพิ่มขั้นตอนในการเตรียมหยดมอนอเมอร์เข้มข้นสูงแทนการใช้แรงเฉือนสูง ซึ่งหากประสบผลสำเร็จจะสามารถประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้

1.2.3 เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมแคปซูลที่สามารถใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ทำการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลของโคพอลิเมอร์ระหว่างไดไวนิลเบนซีนกับเมทิลเมทาคริเลตที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน โดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันแบบดั้งเดิมและแบบที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง

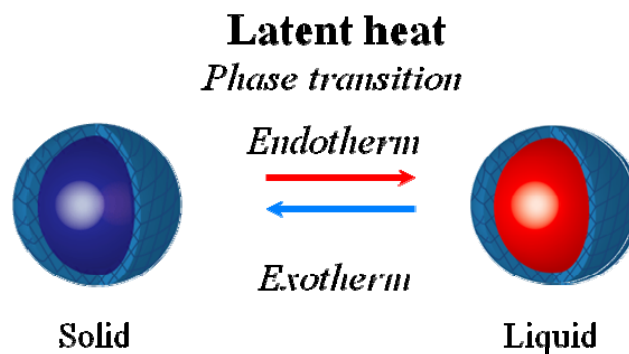
1.3.2 ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ เช่น ประสิทธิภาพการหุ้มวัสดุเก็บความร้อนของพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเก็บความร้อนที่อยู่ในแคปซูล และความคงทนของแคปซูล เป็นต้น

1.3.3 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสองวิธี

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัสดุเก็บความร้อนแฝง (Latent heat storage materials) หรือวัสดุเปลี่ยนวัฏภาค เป็นวัสดุที่สามารถดูดพลังงานความร้อน เมื่ออุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ (Transition temperature) ของวัสดุ และจะคายพลังงานความร้อนออกมาเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของวัสดุ วัสดุเก็บความร้อนแฝงที่ดีจะต้องมีความจุความร้อนสูง มีค่าการนำความร้อนที่สูง หลอมเหลวที่อุณหภูมิในช่วงของการใช้งาน แข็งตัวโดยเกิดการเย็นตัวยิ่งยวดน้อยที่สุด (การเย็นต่ำกว่าปกติของอุณหภูมิในการแข็งตัวของวัสดุ) มีความเสถียรทางความร้อน ราคาต่ำ ไม่เป็นพิษ และไม่เกิดการกัดกร่อน [1] การเลือกวัสดุเก็บความร้อนแฝงขึ้นกับอุณหภูมิการใช้งาน และปริมาณความจุความร้อน โดยทั่วไป ควรเลือกใช้สารที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะใกล้เคียงกับอุณหภูมิการใช้งาน [1, 2] เนื่องจากมีวัสดุเก็บความร้อนแฝงจำนวนมากซึ่งหลอมเหลวและแข็งตัวในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง จึงทำให้สารเหล่านี้ได้ ได้รับความสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคหรือการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเก็บความร้อน

2.1 ชนิดและสมบัติของวัสดุเก็บความร้อน

วัสดุเก็บความร้อน แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ วัสดุเก็บความร้อนแบบเซนซิเบิล (Sensible heat storage) ได้แก่ หิน และน้ำ และวัสดุเก็บความร้อนแฝง ได้แก่ สารกลุ่มอนินทรีย์ (Inorganic compounds) และกลุ่มอินทรีย์ (Organic compounds) โดยวัสดุเก็บความร้อนแฝงจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนที่ดีกว่ากลุ่มเก็บความร้อนแบบเซนซิเบิล สำหรับวัสดุเก็บความร้อนแฝง สารกลุ่มอนินทรีย์จะมีประสิทธิภาพการเก็บความร้อนที่ดีกว่าสารกลุ่มอินทรีย์

สารกลุ่มอนินทรีย์ที่นิยมใช้ คือ เกลือที่มีน้ำ (Hydrated salts) เช่น $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ $\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในขณะที่สารกลุ่มอินทรีย์ คือ พาราฟิน (Paraffin) และพวกที่ไม่ใช่พาราฟิน เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) ถึงแม้ว่า ความสามารถในการเก็บความร้อนของสารอนินทรีย์จะดีกว่าสารอินทรีย์

แต่สารอินทรีย์ก็มีข้อด้อยอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น มีราคาค่อนข้างสูง และเกิดการเย็นตัวยิ่งยวดมาก นอกจากนี้ สารเหล่านี้สามารถเกิดการเกาะกันเป็นผลึกในระหว่างใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งาน และสมบัติการกักเก็บความร้อนลดลง

สำหรับสารกลุ่มอินทรีย์ กลุ่มพาราฟินเป็นกลุ่มที่ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนค่อนข้างสูง และมีลักษณะเฉพาะสำคัญที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุเก็บความร้อนแฝง เช่น ไม่เป็นพิษ ไม่เกิดการกัดกร่อน มีความเสถียรในระยะยาวและมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตาม พาราฟินมีการนำความร้อนที่ต่ำ (น้อยกว่า $0.35 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) [3] เมื่อเปรียบเทียบกับเกลือที่มีน้ำ ดังนั้น ในการใช้งานจึงต้องการพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมาก ซึ่งการหุ้มสารเหล่านี้ให้เป็นแคปซูลขนาดเล็กๆ จำนวนมาก เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการใช้งานโดยตรง

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของสารกลุ่มพาราฟินที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเก็บความร้อน [3]

Carbon Number	Name Formula (mol weight)	Melting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Latent Heat (kJ/kg)	Thermal Conductivity ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) solid/liquid	Density (kg/m^3) solid/liquid
C(8)	n-Octane C_8H_{18} (114.23)	-57 (-56.5)	181	-/0.128	-/703.6
C(10)	n-Decane $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ (142.28)	-30	201	-/0.1349	-/730
C(12)	n-Dodecane $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ (170.34)	-9.5 (-12)	216	0.21/0.14	-/750
C(14)	n-Tetradecane $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ (198.39)	6	226	0.21/0.15	825/771
C(16)	n-Hexadecane $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ (226.44)	18	237	0.21/0.151	835/776
C(18)	n-Octadecane $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ (254.50)	28	243	0.35/0.151	840/778
C(20)	n-Eicosane $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ (282.55)	37	247	0.23/0.151	856/780
C(22)	n-Docosane $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ (310.61)	44.5	249	0.22/0.151	864/780
C(24)	n-Tetracosane $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$ (338.66)	52 (51)	255	0.25/0.15	897/774

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเก็บความร้อนที่ถูกหุ้มอยู่ในพอลิเมอร์แคปซูลพบว่า ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะทั้งการหลอมเหลว (Heat of melting; H_m) และการเกิดผลึก (Heat of crystallization; H_c) ของสารกลุ่มนี้จะมีค่าต่ำลงเมื่ออยู่ในแคปซูล และมีการเลื่อนตำแหน่งของอุณหภูมิการเกิดผลึก ซึ่งเรียกว่า “การเกิดการเย็นตัวอย่างยิ่งยวด” (Supercooling) เมื่อเปรียบเทียบกับสารบริสุทธิ์ที่ไม่มีการหุ้ม

สำหรับในกรณีของการลดลงของค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ น่าจะเนื่องจากการที่มีพอลิเมอร์น้ำหนักรวมต่ำ (Oligomer) ที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์ รวมทั้งสารลดแรงตึงผิวบางส่วนเข้าไปอยู่ในแกนวัสดุเก็บความร้อนแฝง หรือระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ (เปลือก) กับวัสดุเก็บความร้อนแฝงใน ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคที่ไม่สมบูรณ์ระหว่างเปลือกพอลิเมอร์กับแกนวัสดุเก็บความร้อนแฝง ทำให้วัสดุเก็บความร้อนแฝงมีพฤติกรรมไม่เหมือนสารที่ไม่ได้ถูกหุ้ม พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจึงลดลง [4] เช่น กรณีเฮกซะเดเคนที่ถูกหุ้มด้วยพอลิไดไวนิลเบนซีน มีค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะเท่ากับ 140 J/g-HD ซึ่งลดลงจากเฮกซะเดเคนที่ไม่มีการหุ้มที่มีค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะเท่ากับ 230 J/g-HD ซึ่งสามารถปรับปรุงค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของวัสดุเก็บความร้อนแฝงที่อยู่ในแคปซูลได้ โดยการเพิ่มมอนอเมอร์ที่มีขั้วมากขึ้น เช่น บิวทิลอะคริเลต (Butyl acrylate) เข้าไปโคพอลิเมอร์กับไดไวนิลเบนซีน เพื่อเพิ่มการแยกวัฏภาคของเปลือกกับแกน อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาการเตรียมแคปซูล เพื่อลดการเกิดปรากฏการณ์เหล่านี้ ยังเป็นสิ่งที่นักวิจัยในปัจจุบันให้ความสนใจศึกษาและปรับปรุงกันต่อไป

ในกรณีการเย็นตัวอย่างยิ่งยวดของวัสดุเก็บความร้อนแฝงที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล น่าจะเนื่องจากในวัสดุเก็บความร้อนแฝงที่ไม่มีการหุ้มจะเกิดผลึกแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous nucleation) จากสารปนเปื้อนที่มีอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารปนเปื้อนเหล่านี้จะเป็นตัวเหนี่ยวนำในการเกิดผลึก

(Nucleating agent) ของวัสดุเก็บความร้อนแฝงที่ยังไม่ได้หุ้ม เนื่องจากสารเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้น เมื่อมีการเกิดผลึกจากสารปนเปื้อนแม้มีปริมาณน้อย จะทำให้สารทั้งหมดเกิดผลึกได้ง่าย ในขณะที่วัสดุเก็บความร้อนแฝงที่อยู่ในแคปซูล จะเกิดผลึกทั้งแบบวิวิธพันธ์และแบบเอกพันธ์ (Homogeneous nucleation) เนื่องจาก สารปนเปื้อนมีปริมาณน้อยและกระจายตัวอยู่ในบางแคปซูลเท่านั้น (จะเกิดผลึกแบบวิวิธพันธ์) ในขณะที่แคปซูลส่วนใหญ่ไม่มีตัวเหนี่ยวนำให้เกิดผลึก จะเกิดผลึกแบบเอกพันธ์ จึงทำให้อุณหภูมิในการแข็งตัวเลื่อนต่ำกว่าสารที่ไม่มีการหุ้ม (ลดพลังงานอิสระเพื่อให้เกิดผลึกมีความเสถียร) ได้มีรายงานการวิจัย [5, 6] ที่ศึกษาการปรับปรุงการเกิดการเย็นตัวอย่างยิ่งยวดของวัสดุเก็บความร้อนแฝงที่อยู่ในพอลิเมอร์แคปซูล โดยการใช้สารเหนี่ยวนำในการเกิดผลึกผสมเข้าไปกับวัสดุเก็บความร้อนแฝงในขั้นตอนการเตรียมแคปซูล ซึ่งสามารถลดการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณของสารเหนี่ยวนำในการเกิดผลึกที่เพิ่มขึ้น ก็ทำให้ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของวัสดุเก็บความร้อนลดลงเช่นกัน ดังนั้น ปริมาณและชนิดของสารเหนี่ยวนำในการเกิดผลึกก็ยังคงเป็นโจทย์ที่จะต้องทำการศึกษากันต่อไป

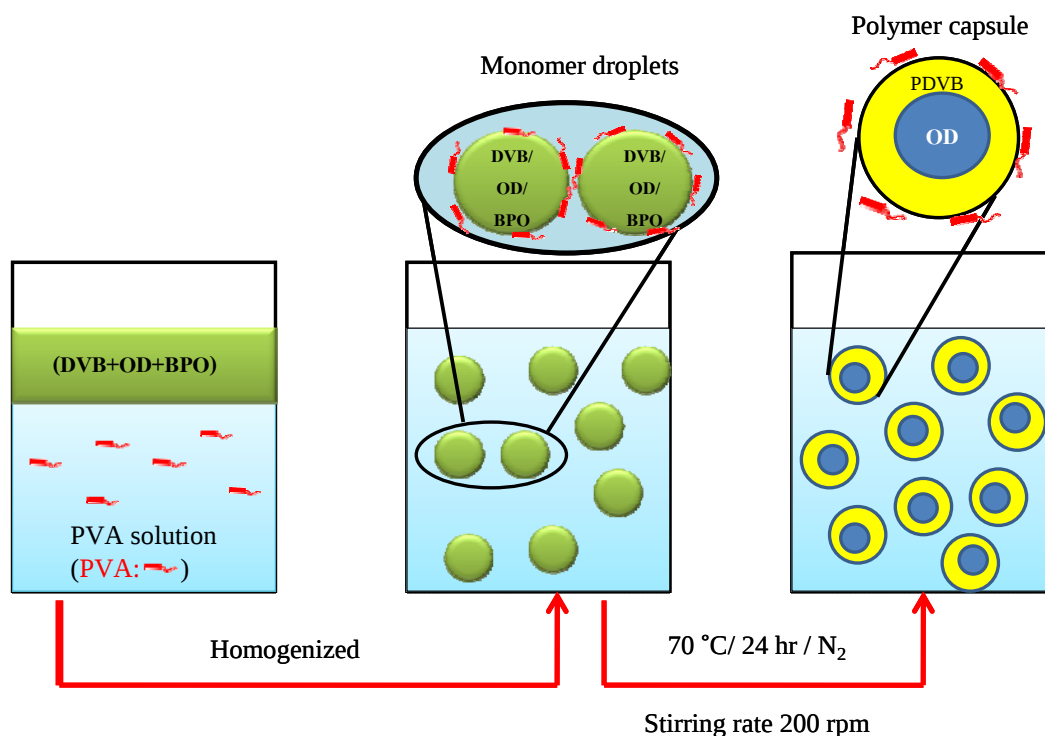
การใช้วัสดุเก็บความร้อนหรือวัสดุเปลี่ยนสถานะในงานด้านพลังงานโดยเฉพาะการสะสมพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะในยุคการเกิดวิกฤตพลังงานในปัจจุบัน การใช้งานโดยทั่วไปจะนิยมเตรียมให้อยู่ในรูปของแคปซูลเพื่อยืดอายุการใช้งานของวัสดุเก็บความร้อน ดังนั้น การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน จึงได้รับความสนใจและมีการศึกษากันมากขึ้น แคปซูลเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของอาคาร [7-10] ใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และนิวเคลียร์ [11] ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก [12] นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น ใช้สำหรับเตรียมผ้าที่ปรับสภาพความร้อนได้ (Thermal adaptable clothes)

2.2 เทคนิคในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูล

เทคนิคในการเตรียมแคปซูลที่มีพอลิเมอร์เป็นเปลือก (Shell) และมีพาราฟินซึ่งเป็นวัสดุเก็บความร้อนแฝงทั้งในสถานะของเหลวหรือของแข็งเป็นแกน (Core) มีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยได้เลือกใช้การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลโดยกลไกการแยกวัฏภาคภายใน (Internal phase separation) ซึ่งจะเตรียมในระบบกระจาย (Dispersed systems) ที่มีน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) โดยเริ่มต้นด้วยการนำวัสดุเก็บความร้อนแฝงมาผสมกับมอนอเมอร์ (Monomer) และตัวเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า วัฏภาคอินทรีย์ (Organic phase) จากนั้นทำให้เป็นหยดมอนอเมอร์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ ในระหว่างการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันภายในหยดมอนอเมอร์ ความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความยาววิกฤต (Critical chain length) พอลิเมอร์จะไม่สามารถละลายเข้ากันได้อีกกับวัสดุเก็บความร้อนแฝงจึงเกิดการแยกวัฏภาคภายในแคปซูลขึ้น โดยที่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ออกมาที่ด้านนอกของหยดมอนอเมอร์เกิดเป็นเปลือก ในขณะที่วัสดุเก็บความร้อนแฝงจะอยู่ด้านในกลายเป็นแกน

อย่างไรก็ตาม การเกิดแคปซูลตามกลไกนี้ค่าแรงตึงระหว่างผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์-น้ำ จะต้องต่ำกว่าของวัสดุเก็บความร้อนแฝง-น้ำ การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลในระบบกระจาย มีอยู่หลายกระบวนการด้วยกัน เช่น การสังเคราะห์แบบแขวนลอย [13-16] แบบมินิมัลชัน [17, 18] และแบบอิมัลชัน [18-21] เช่น การเตรียมแคปซูลของพอลิไดไวนิลเบนซีน (Polydivinyl benzene; PDVB) ที่หุ้มออกตะเดเคน (Octadecane) ด้วยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยการป้อนสารผสมที่ความเร็วยิ่งจะทำให้

ให้ได้หยดมอนอเมอร์ที่มีออกตะเดเคนและตัวเริ่มปฏิกิริยาละลายอยู่ด้วย จากนั้น ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะได้พอลิเมอร์แคปซูล แคปซูลที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดในระดับไมโครเมตร และมีการกระจายของขนาดอนุภาคที่กว้าง อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาเทคนิคการเตรียมหยดมอนอเมอร์ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยใช้เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกัน เรียกว่า ชิระสุ พอร์ส กลาส (Shirasu porous glass; SPG) ซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์แคปซูลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน Okubo และคณะ [22] ได้เสนอเทคนิคการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์แบบร่างแหที่มีช่องว่าง (Hollow crosslinked polymer particles) ด้วยชิระสุพอร์ส กลาส เมมเบรน แล้วทำการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยใช้เทคนิคการจัดเรียงตัวเองของพอลิเมอร์ที่แยกวัฏภาค (Self-assembling of Phase Separated Polymer; SaPSeP) และต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคนี้ และนำมาใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มเฮกซะเดเคน (Hexadecane) ซึ่งเป็นสารกลุ่มพาราฟินเช่นกัน โดยมีขนาดอนุภาคที่เตรียมได้ในระดับไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ [14-16, 23]



รูปที่ 2.2 การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลของพอลิไวนิลเบนซีนที่หุ้มออกตะเดเคนโดยการสังเคราะห์แบบแขวนลอย

สำหรับการเตรียมแคปซูลในระดับนาโนเมตร นิยมใช้การสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน เช่น การเตรียมพอลิสไตรีน (Polystyrene) แคปซูลที่หุ้มออกตะเดเคน [17] การเตรียมแคปซูลด้วยเทคนิคมินิมัลชันมีกลไกเหมือนกับแบบแขวนลอย คือ เกิดการสังเคราะห์ในหยดมอนอเมอร์ (Droplet nucleation) แต่จะแตกต่างกันในส่วนของการเตรียมหยดมอนอเมอร์ ซึ่งในวิธีนี้จะใช้แรงเฉือนที่สูงมากในการปั่นวัฏภาคอินทรีย์ ทำให้ได้หยดมอนอเมอร์ที่มีขนาดระดับนาโนเมตร ซึ่งเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงสนใจพัฒนาเทคนิคการเตรียมหยดมอนอเมอร์ในระดับนาโนเมตรที่ไม่ต้องใช้แรงเฉือนสูง เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปได้ ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ คือ เทคนิคกลับวัฏภาค (Phase inversion emulsification; PIE)

2.3 การเตรียมหยดมอนอเมอร์ด้วยเทคนิคกลับวัฏภาค

โดยทั่วไป งานวิจัยทางด้านอาหารในการเตรียมอนุภาคคอลลอยด์ นิยมเตรียมโดยใช้วิธีกลับวัฏภาค (Phase inversion emulsification; PIE) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง [24, 25] สามารถเตรียมสารในปริมาณมากๆ ได้ โดยอาศัยหลักการที่ค่อยๆ เติมวัฏภาคต่อเนื่อง ลงไปในวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) ที่มีสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ เมื่อปริมาณของวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้น วัฏภาคกระจายจะค่อยๆ รวมตัวเป็นหยดเล็กๆ (โดยมีสารลดแรงตึงผิวอยู่ที่ผิวของหยดเพื่อป้องกันการรวมตัวของหยด) กระจายอยู่เป็นคอลลอยด์ การเตรียมอนุภาคคอลลอยด์หรือหยดมอนอเมอร์ด้วยเทคนิคนี้ จะได้อนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของสารลดแรงตึงผิวในวัฏภาคต่อเนื่องมาที่รอยต่อระหว่างผิวของอนุภาคจะสูงกว่าแบบดั้งเดิมที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง จึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์หรือหยดมอนอเมอร์ที่ดี เมื่อไม่นานมานี้มีรายงานการวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ในระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการแบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงและประสบความสำเร็จในการเตรียมอนุภาคพอลิสไตรีนระดับนาโนเมตร [26] โดยแบ่งการเตรียมเป็นสองขั้นตอน คือ (1) เตรียมหยดของมอนอเมอร์ ที่ประกอบไปด้วยสไตรีน ตัวเริ่มปฏิกิริยา (2, 2'-Azobis(isobutyronitrile); AIBN) และสารตัวช่วยป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์ (cosurfactant; hexadecane) ให้กระจายตัวอยู่ในน้ำด้วยการปั่นที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที โดยให้ความเข้มข้นของหยดมอนอเมอร์มากที่สุด (ประมาณ 44 wt%) และขั้นตอนที่ (2) นำส่วนที่ (1) มาผสมน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่เหมาะสม โดยให้ความเข้มข้นของหยดมอนอเมอร์ประมาณ 10 wt% แล้วทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อนุภาคของพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ ทีมผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนที่มีขนาดระดับนาโนเมตร ซึ่งยังไม่มีรายงานการเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยวิธีนี้มาก่อน

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
1. ไดไวนิลเบนซีน (Divinylbenzene; DVB)	Technical grade 80%	Aldrich
2. เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate; MMA)		
3. ออกตะเดเคน (Octadecane; OD)	Analytical grade 99%	Merck
4. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide; BPO)	Technical grade 80%	Merck
5. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA)	Technical grade 80%	Aldrich
6. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS)	Analytical grade	Sigma-Aldrich
7. มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (Miristyl trimethylammonium bromide; TTAB)	Analytical grade	Sigma-Aldrich
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH)	Analytical grade	BDH
9. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; CaCl ₂)	Analytical grade	Univar
10. อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide; Al ₂ O ₃)	Chromatographic grade	Fluka

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ยี่ห้อ
1. ชุดใบพัดปั่น	RW 20 digital	IKA
2. เครื่องกวนแม่เหล็กแบบใช้ความร้อน (Hotplate stirrer)	C-MAG HS7	IKA
3. เครื่องทำน้ำหล่อเย็น (Cooling bath)	-	Boss tech
4. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)	Digital	Elma
5. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter; DSC)	DSC 4000	Perkin Elmer

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ยี่ห้อ
6. เครื่องเทอร์โมแกรวิเมตริกอะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer; TGA)	TGA 4000	Perkin Elmer
7. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM)		
8. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)		
9. ตู้อบสูญญากาศ (Vacumn oven)	DZE-6051 model	DZE

3.2 การทดลอง

3.2.1 การเตรียมมอนอเมอร์ให้บริสุทธิ์

การเตรียมมอนอเมอร์ให้บริสุทธิ์นั้น เป็นการกำจัดตัวยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) ที่มีการเติมลงในมอนอเมอร์ เพื่อช่วยในการรักษาสภาพของมอนอเมอร์ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ก่อนการนำมอนอเมอร์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์จะต้องทำการกำจัดออกก่อนเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ได้ ซึ่งการเตรียมไดไวนิลเบนซีนให้บริสุทธิ์จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

การทำบริสุทธิ์ไดไวนิลเบนซีน

เตรียมชุดอุปกรณ์การสกัดสารโดยการใช้อกรวยแยก ตวงสาร DVB:NaOH 1 M ในอัตราส่วนปริมาตรที่ 100:100 (มิลลิลิตร) ใส่ในกรวยแยก เขย่ากรวยแยกแล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารเกิดการแยกชั้น เมื่อสารมีการแยกชั้นที่สมบูรณ์จึงไขชั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทิ้ง (ชั้นล่าง) สกัดสารซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 M ครั้งละ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายในชั้นของไดไวนิลเบนซีนที่ได้จากการสกัด (ชั้นบน) ไปทำการล้างด้วยน้ำในขั้นตอนต่อไป โดยตวง H_2O :DVB โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรที่ 50:50 (มิลลิลิตร) สกัดโดยการใช้อกรวยแยกและตั้งทิ้งไว้ให้สารเกิดการแยกชั้น เมื่อแยกชั้นได้สมบูรณ์จึงไขชั้นน้ำทิ้ง (ชั้นล่าง) สกัดซ้ำด้วย H_2O ครั้งละ 50 มิลลิลิตร อีก 2 รอบ นำชั้นของไดไวนิลเบนซีนที่สกัดได้ (ชั้นบน) เติมด้วย $CaCl_2$ เพื่อทำการกำจัดน้ำส่วนที่ยังเหลืออยู่ออกจากไดไวนิลเบนซีน นำไดไวนิลเบนซีนที่ได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส

การทำบริสุทธิ์เมทิลเมทาคริเลต

เตรียมชุดอุปกรณ์การสกัดโดยใช้คอลัมน์แยก โดยทำการแพ็คคอลัมน์โดยบรรจุสำลีลงในคอลัมน์ประมาณ 1-2 เซนติเมตร จากนั้น บรรจุลูมินีเยมออกไซด์ลงไปประมาณ 8-10 เซนติเมตร ใส่เมทิลเมทาคริเลตปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสาร 1 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้น เก็บเมทิลเมทาคริเลตที่ได้ใส่ขวด เก็บไว้ที่ 0-5 องศาเซลเซียส



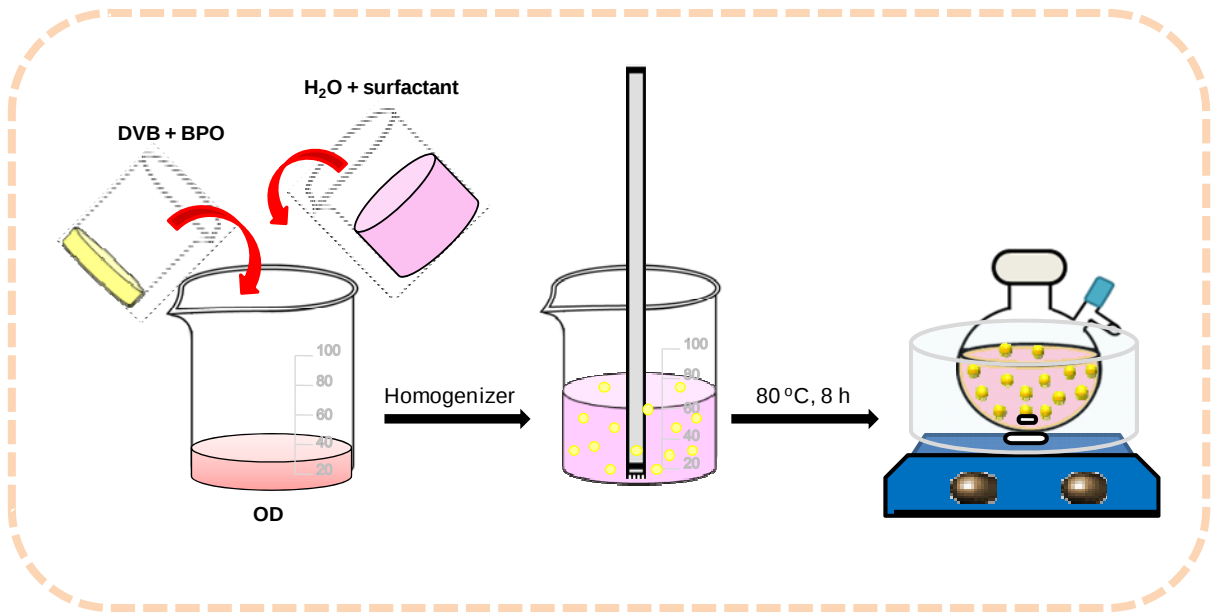
รูปที่ 3.1 การเตรียมไดไวนิลเบนซีนให้บริสุทธิ์

3.2.2 การสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดเคน

การสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนและพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต) แคปซูลหุ้มออกตะเดเคนระดับนาโนเมตร ใช้กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชัน ประกอบด้วย มอนอเมอร์ ออกตะเดเคน ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดละลายในสารอินทรีย์ (Oil soluble initiator) สารป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์และน้ำ โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมหยดมอนอเมอร์ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการเตรียมหยดมอนอเมอร์ 2 วิธี คือ วิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง และวิธีที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง ในช่วงแรกได้ศึกษาการเตรียมพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 การเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง

สำหรับการเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยใช้แรงเฉือนสูงนี้ ทำได้โดยชั่งมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยา (BPO 8 % โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) ละลายให้เป็นสารเนื้อเดียวกัน เติลงไปในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ จากนั้นปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) ที่อัตราการปั่นและเวลาต่างๆ จะได้อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ จากนั้น นำอิมัลชันที่ได้เทลงในชุดสังเคราะห์พอลิเมอร์ ที่ให้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะของแก๊สไนโตรเจน และใช้เวลาในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.1-3.2 เมื่อครบ 8 ชั่วโมงแล้ว ทำการกรองพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลที่ได้ด้วยผ้าขาวบาง และเก็บใส่ขวดไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่อไป โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมหยดมอนอเมอร์ ดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนภาพการสังเคราะห์พอลิไธวินิลเบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อนโดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันที่เตรียมหยาตมอเมอร์แบบดั้งเดิม



ก. กระบวนการปั่นเตรียมหยาตมอเมอร์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์



ข. กระบวนการสังเคราะห์พอลิไธวินิล-เบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อน

รูปที่ 3.3 การสังเคราะห์พอลิไธวินิลเบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคนเป็นวัสดุเก็บความร้อน

3.2.2.1.1 การศึกษาผลของอัตราการปั่นและเวลา

อัตราเร็วและระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์จะมีผลต่อขนาดของหยดมอนอเมอร์ จึงได้ทำการศึกษาผลของอัตราการปั่นและเวลาในการปั่นที่ 3 สภาวะ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.33 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นน้ำ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิมที่อัตราและเวลาในการปั่นต่างๆ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.33 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด

สารเคมี	PVA	SDS
DVB (g)	5.00	5.00
OD (g)	5.00	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40	0.40
Surfactant (g)	1.00	0.33
H ₂ O (g)	90.00	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการปั่น 20,000 rpm 15 นาที
 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที
 10,000 rpm 5 นาที และ 20,000 rpm 10 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

เมื่อได้สภาวะในการปั่นที่เหมาะสมแล้ว ได้ศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่อไป

3.2.2.1.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

นอกจากอัตราและเวลาในการปั่นด้วยแรงเฉือนสูงแล้ว ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในชั้นน้ำที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของหยดมอนอเมอร์ ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว ดังตารางที่ 3.2-3.4

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

สารเคมี	SDS (% wt)		
	0.33	0.66	1.20
DVB (g)	5.00	5.00	5.00
OD (g)	5.00	5.00	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40	0.40	0.40
SDS (g)	0.33	0.66	1.20
H ₂ O (g)	90.00	90.00	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการปั่น 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.67 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมดเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

สารเคมี	
DVB (g)	5.00
OD (g)	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40
PVA (g)	1.00
SDS (g)	0.67
H ₂ O (g)	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการปั่น 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม โดยใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

สารเคมี	TTAB (% wt)		
	0.25	0.50	1.00
DVB (g)	5.00	5.00	5.00
OD (g)	5.00	5.00	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40	0.40	0.40
TTAB (g)	0.25	0.50	1.00
H ₂ O (g)	90.00	90.00	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการปั่น 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนแล้ว จะนำสภาวะดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล ดังสภาวะในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนระดับนาโนเมตรโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีดั้งเดิม

สารเคมี	
DVB (g)	2.50
MMA (g)	2.50
OD (g)	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40
TTAB (g)	1.00
H ₂ O (g)	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการปั่น 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

3.2.2.2 การเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยไม่ใช้แรงเฉือนสูง

สำหรับการเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยไม่ใช้แรงเฉือนสูงนี้ จะอาศัยเทคนิคการกลับเฟส (PIE) ทำได้โดยชั่งมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (BPO 8 % โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) และสารลดแรงตึงผิว ละลายให้เป็นสารเนื้อเดียวกัน เรียกว่า ชั้นน้ำมัน (Oil phase) หรือสารอินทรีย์ (organic phase) จากนั้น ค่อยๆหยดน้ำ (มีหรือไม่มีสารลดแรงตึงผิวร่วม) ลงไปในชั้นน้ำมัน ด้วยอัตราการหยดคงที่จนหมด โดยทำการปั่นกวนที่อัตราเร็ว 500 rpm จะได้อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ จากนั้น นำอิมัลชันที่ได้เทลงในชุดสังเคราะห์พอลิเมอร์ ที่ให้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะของแก๊สไนโตรเจน และใช้เวลาในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง เมื่อครบ 8 ชั่วโมงแล้ว ทำการกรองพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลที่ได้ด้วยผ้าขาวบาง และเก็บใส่ขวดไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่อไป โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมหยดมอนอเมอร์ ดังนี้

3.2.2.2.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของหยดมอนอเมอร์ที่ได้ จึงได้ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีกลับเฟส โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดและปริมาณต่างๆ

สารเคมี			
DVB (g)	5.00	5.00	5.00
OD (g)	5.00	5.00	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40	0.40	0.40
Tween 80	10.00	-	-
PVA (g)	-	3.00	3.00
SDS (g)	-	-	0.1
H ₂ O (g)	79.60	86.60	86.60

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการหยดน้ำ 4 มิลลิลิตร/นาที ปั่นกวนที่ 500 rpm

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

จากนั้น ได้นำสภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล ดังสภาวะในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยการเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบวิธีกลับเฟส

สารเคมี	
DVB (g)	2.50
MMA (g)	2.50
OD (g)	5.00
BPO (8% wt) (g)	0.40
PVA (g)	3.00
SDS (g)	0.10
H ₂ O (g)	90.00

หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการทดลอง:

อัตราเร็วในการหยดน้ำ 4 มิลลิลิตร/นาที ปั่นกวนที่ 500 rpm

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 8 ชั่วโมง

3.2.3 การหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูล

3.2.3.1 การหา% Conversion

เป็นการหาเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ในการสังเคราะห์ ซึ่งทำได้โดยชั่งถ้วยอลูมิเนียมและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน หยดพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ลงในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 2 กรัม และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วยอลูมิเนียมมาชั่ง บันทึกน้ำหนัก แล้วนำมาอบต่อจนน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณเพื่อหา % Conversion

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\% \text{ Conversion} = \frac{\left[\frac{\text{น้ำหนักหลังอบ} \times \text{น้ำหนักรวมของสารผสม} - \text{OD} - \text{BPO} - \text{PVA}}{\text{น้ำหนักร่อนอบ}} \right] \times 100}{\text{น้ำหนัก DVB}}$$

3.2.3.2 การตรวจดูรูปร่างของพอลิเมอร์แคปซูล

เป็นการศึกษาดูรูปร่างและลักษณะลักษณะของแคปซูลที่เตรียมได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงซึ่งทำได้ดังนี้ หยดพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ลงบนสไลด์ 1-2 หยด แล้วหยดน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำแผ่นสไลด์ไปตรวจสอบด้วยกล้อง Optical microscope โดยตั้งกำลังขยายของเลนส์ใกล้ตาที่ 10x และเลนส์ใกล้วัตถุที่ 40x แล้วตรวจดูรูปร่าง

3.2.3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนของออกตะเดเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในพอลิไดไวโนลเบนซีนแคปซูลเปรียบเทียบกับออกตะเดเคนที่ไม่ถูกหุ้ม ทำได้โดย

การหาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะและค่าความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ

อุณหภูมิและปริมาณความร้อนในการเปลี่ยนสถานะสามารถหาได้ โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (DSC 4000, Perkin Elmer, USA) โดยใช้สภาวะดังต่อไปนี้

ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ 0 -40 °C

อัตราเร็วในการสแกน 5 °C / min

ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน

ปริมาณความร้อนในการเปลี่ยนสถานะสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$J/g-OD = (A/B) \times 100$$

เมื่อ

A = H_c or H_m ของออกตะเดเคนที่ถูกหุ้ม (J/g-sample)

B = %OD ในแคปซูลที่ได้จาก TGA เทอร์โมแกรม

การสลายตัวเนื่องจากความร้อน

อุณหภูมิในการสลายตัวของออกตะเดเคนและองค์ประกอบของพอลิเมอร์แคปซูลสามารถหาได้โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) (TGA 4000, Perkin Elmer, USA)

โดยใช้สภาวะดังต่อไปนี้ ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ 50-550 °C

อัตราเร็วในการให้ความร้อน 20 °C/min

ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การสังเคราะห์พอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดเคน

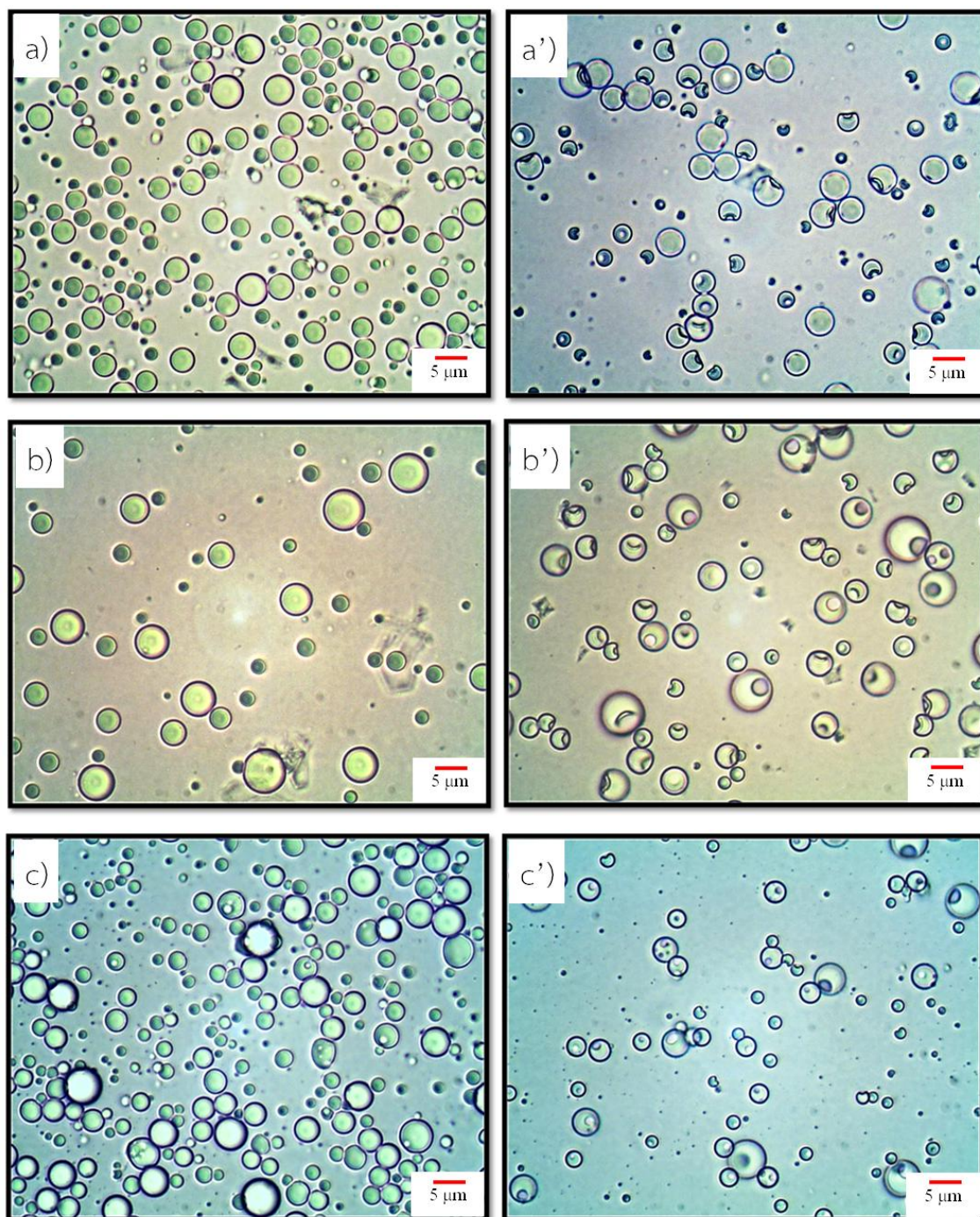
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพอลิไดไวนิลเบนซีนและพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลหุ้มออกตะเดเคนระดับนาโนเมตร ใช้กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิมัลชัน ซึ่งประกอบด้วย มอนอเมอร์ ออกตะเดเคน ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดละลายในสารอินทรีย์ สารป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์และน้ำ โดยในการเตรียมหยดมอนอเมอร์ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง และวิธีที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง

4.1.1 การเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง

สำหรับการเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยใช้แรงเฉือนสูงนี้ ใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ในการปั่นผสมชั้นสารอินทรีย์ที่มีมอนอเมอร์ ออกตะเดเคน และตัวริเริ่มปฏิกิริยาละลายเป็นเนื้อเดียวกัน กับชั้นน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิว ชั้นสารอินทรีย์จะถูกเฉือนทำให้แยกออกจากกันเกิดเป็นหยดสารอินทรีย์กระจายตัวอยู่ในน้ำโดยมีสารลดแรงตึงผิวล้อมรอบหยดทำหน้าที่ป้องกันการรวมตัวกันของหยดสารอินทรีย์

4.1.1.1 การศึกษาผลของอัตราการปั่นและเวลา

อัตราเร็วและระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์จะมีผลต่อขนาดของหยดมอนอเมอร์ จึงได้ทำการศึกษาผลของอัตราการปั่นและเวลาในการปั่นที่ 3 สภาวะ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุปริมาณ 1 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นน้ำ พบว่าขนาดของหยดมอนอเมอร์มีการกระจายตัวค่อนข้างมากซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของอนุภาคที่เตรียมโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ในการเตรียมหยดมอนอเมอร์ และมีขนาดเฉลี่ยในระดับไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.1 (a, b และ c) เมื่อทำการสังเคราะห์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูลที่ประกอบด้วยชั้นของเปลือกพอลิเมอร์หุ้มแกนของออกตะเดเคน ดังรูปที่ 4.1 (a', b' และ c') พอลิเมอร์ทั้งสามสภาวะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% conversion) 70-80 % การเกิดพอลิเมอร์แคปซูลนี้อาศัยกลไกการแยกวัฏภาคภายในของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์ โดยเริ่มต้นในหยดมอนอเมอร์จะเป็นสารเนื้อเดียวที่ประกอบไปด้วย มอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และออกตะเดเคน เมื่อเกิดการสังเคราะห์มอนอเมอร์จะค่อยเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์จนสายโซ่ของพอลิไดไวนิลเบนซีนยาวถึงความยาววิกฤต (Critical chain length) จะเกิดการแยกวัฏภาคภายในโดยพอลิไดไวนิลเบนซีนจะเคลื่อนมาที่ผิวและเกิดการจัดเรียงตัวเป็นชั้นของเปลือกแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่อยู่ภายใน เนื่องจากค่าแรงตึงระหว่างผิว (Interfacial tension) ของพอลิไดไวนิลเบนซีนกับน้ำ น้อยกว่าของออกตะเดเคนกับน้ำ

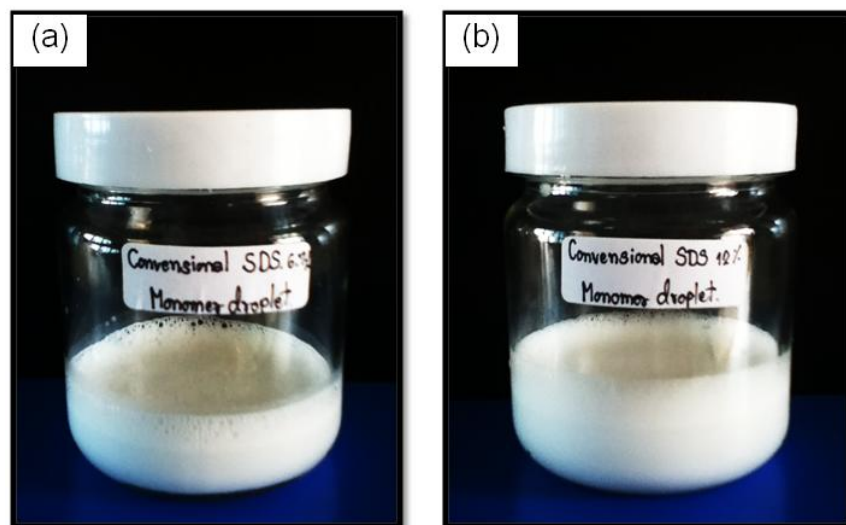


รูปที่ 4.1 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a, b และ c) และพอลิไดไวไนลเบนซีนแคปซูล หุ้มออกตะเดกเคน (a', b' และ c') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่อัตราการปั่นต่างๆ (a, a') 20,000 rpm 15 นาที; (b, b') 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที และ (c, c') 10,000 rpm 5 นาที และ 20,000 rpm 10 นาที

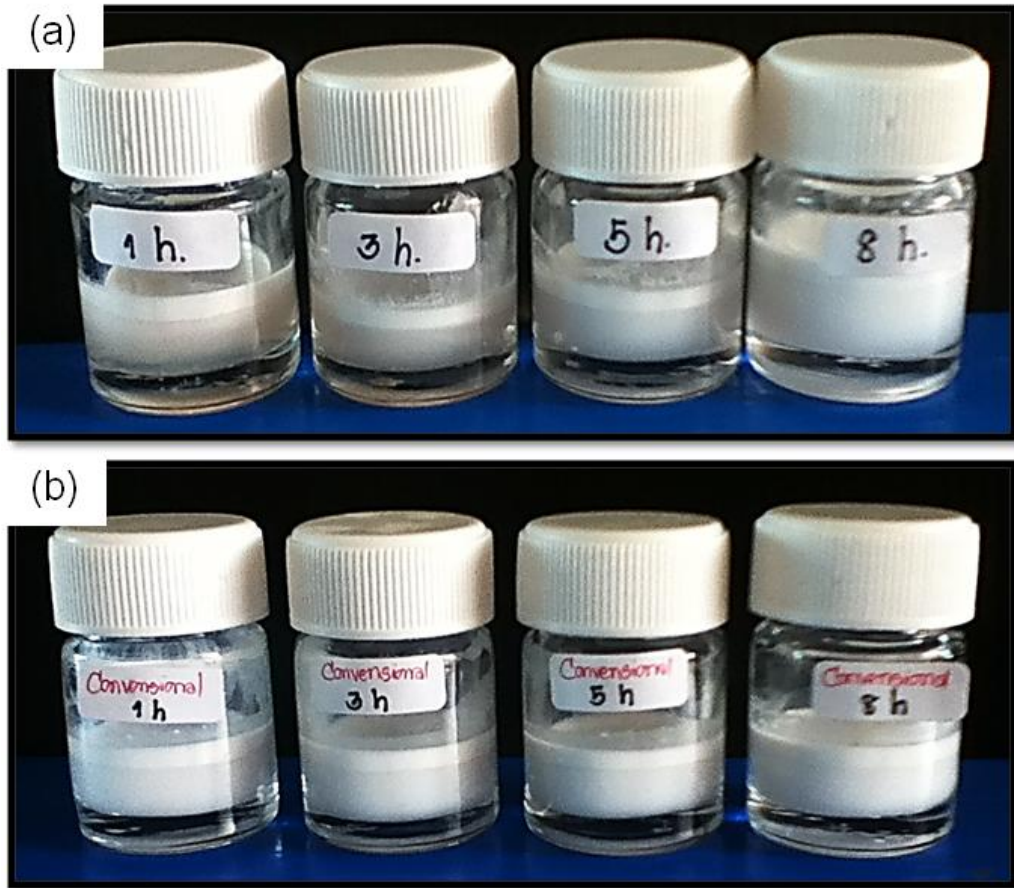
เนื่องจากพอลิเมอร์แคปซูลที่แล้วยังมีขนาดในระดับไมโครเมตร ซึ่งอาจเนื่องจากชนิดและปริมาณสารลดแรงตึงผิวไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบความเข้มข้น 0.33 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด ที่สภาวะการปั่นเดียวกันทั้งสามสภาวะ หยอดมอนอเมอร์ที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % เมื่อทำการสังเคราะห์พบว่าเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนบางส่วน ซึ่งน่าจะเนื่องจากมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงได้เพิ่มปริมาณโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็น 0.66 และ 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด โดยได้เลือกอัตราเร็วในการปั่นที่ 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที เนื่องจากใช้อัตราเร็วที่ไม่สูงเกินไปและหยอดมอนอเมอร์ที่ได้มีการกระจายตัวของขนาดที่ค่อนข้างแคบ

4.1.1.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในชั้นน้ำที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของหยดมอนอเมอร์ ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว โดยได้เพิ่มปริมาณโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็น 0.66 และ 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด จากการทดลองพบว่าอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่ได้จากการใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็น 0.66 และ 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด มีลักษณะขาวขุ่นเหมือนนํ้านม ไม่เกิดการแยกชั้น ดังรูปที่ 4.2 เมื่อทำการสังเคราะห์ที่เวลาต่างๆได้อิมัลชันสีขาวขุ่น โดยเมื่อตั้งทิ้งไว้ จะเกิดการแยกชั้นของพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลที่หุ้มออกตะเดกเคนเป็นชั้นครีมอยู่ด้านบน เนื่องจากความหนาแน่นรวมของแคปซูล (พอลิไวนิลเบนซีนและออกตะเดกเคน) มีค่าน้อยกว่าน้ำ (< 1) ทำให้ลอยตัวอยู่นํ้า [27, 28] ดังรูปที่ 4.3 ต่างจากอนุภาคพอลิไวนิลเบนซีนที่มีความหนาแน่นมากกว่า น้ำจะตกตะกอนนอนอยู่ก้นขวด

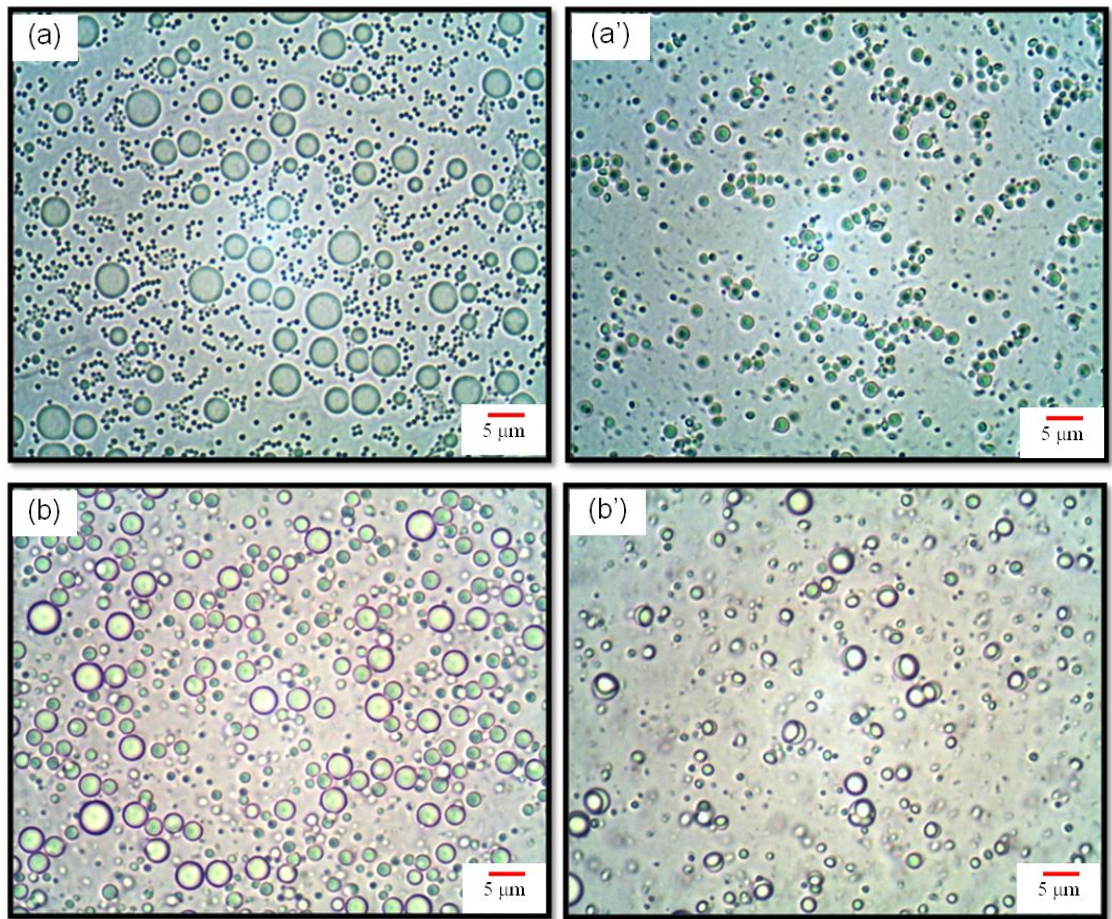


รูปที่ 4.2 อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (a) 0.66 และ (b) 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด



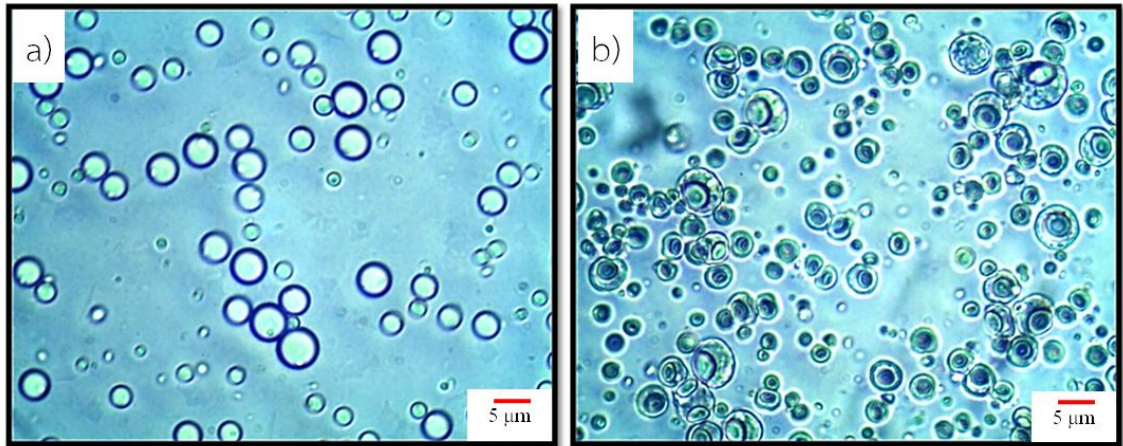
รูปที่ 4.3 อิมัลชันของพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (a) 0.66 และ (b) 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด ที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์

เมื่อตรวจสอบลักษณะของหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าหยดมอนอเมอร์มีการกระจายตัวค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 4.4 (a และ b) เช่นเดียวกับการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % โดยน้ำหนัก เมื่อทำการสังเคราะห์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เกิดเป็นพอลิเมอร์แคปซูลที่ประกอบด้วยชั้นของเปลือกพอลิเมอร์หุ้มแกนของออกตะเดกเคน และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.4 (a' และ b') ซึ่งเล็กลงกว่าการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่อย่างไรก็ตาม ขนาดอนุภาคเฉลี่ยยังคงอยู่ในระดับไมโครเมตร



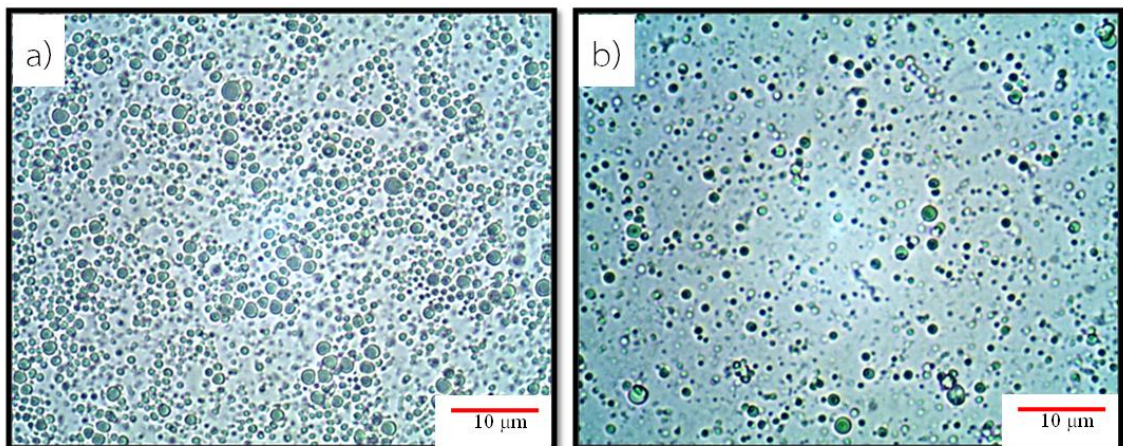
รูปที่ 4.4 Optical micrograph ของหยาตมอนอเมอร์ (a และ b) และพอลิไควนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน (a' และ b') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยาตมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้โซเดียมไดโครเมต (a และ a') 0.66 และ (b และ b') 1.20% โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด

เพื่อให้แคปซูลที่ได้มีขนาดเล็กลง จึงได้ทำการเตรียมแคปซูลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวสองชนิดร่วมกัน คือ พอลิไควนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมไดโครเมต 0.67 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด พบว่าหยาตมอนอเมอร์และพอลิไควนิลเบนซีนแคปซูลที่ได้มีขนาดในระดับไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.5

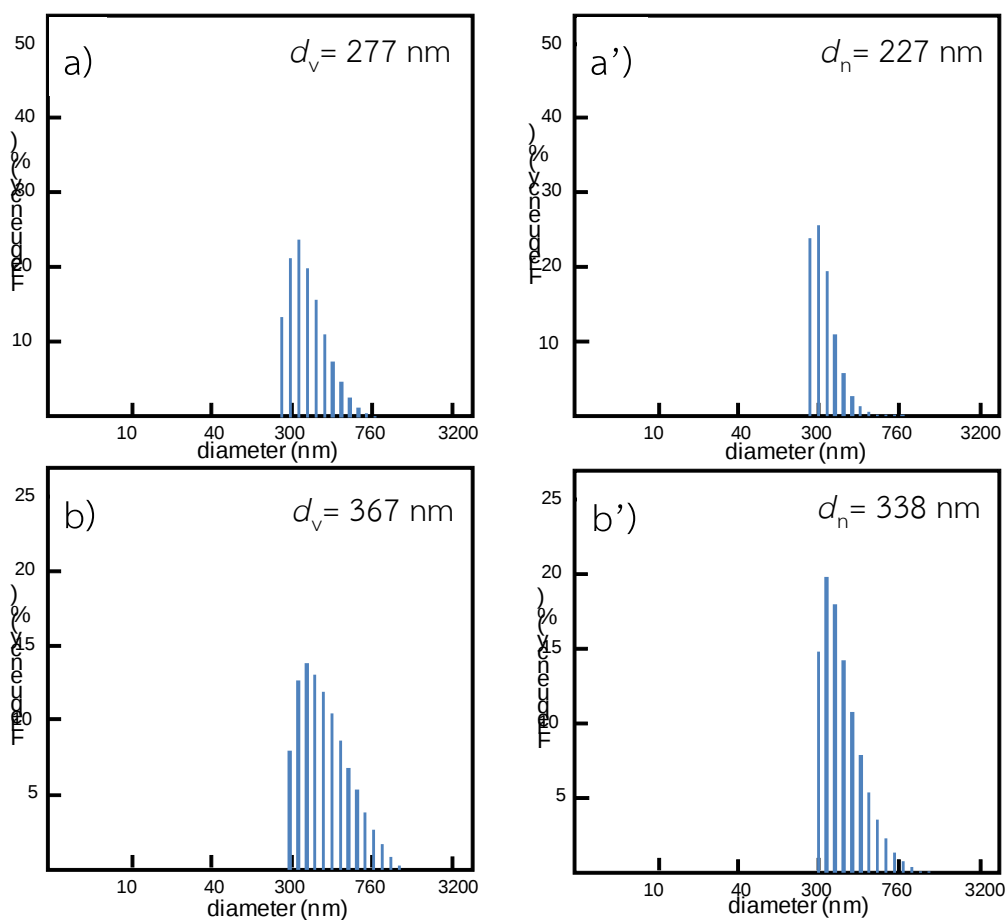


รูปที่ 4.5 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a) และพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน (b) ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1 % และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.67 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

ดังนั้น จึงได้เปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวจากชนิดไม่มีประจุ และประจุลบ มาเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก คือ มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด หยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยลดลงมากกว่าที่ 0.25 และ 0.5 % โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 300-1,000 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 Optical micrograph ของหยดมอนอเมอร์ (a) และพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน (b) ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ



รูปที่ 4.7 DLS histogram ของหยดมอนอเมอร์ (a, a') และพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคน (b, b') ที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

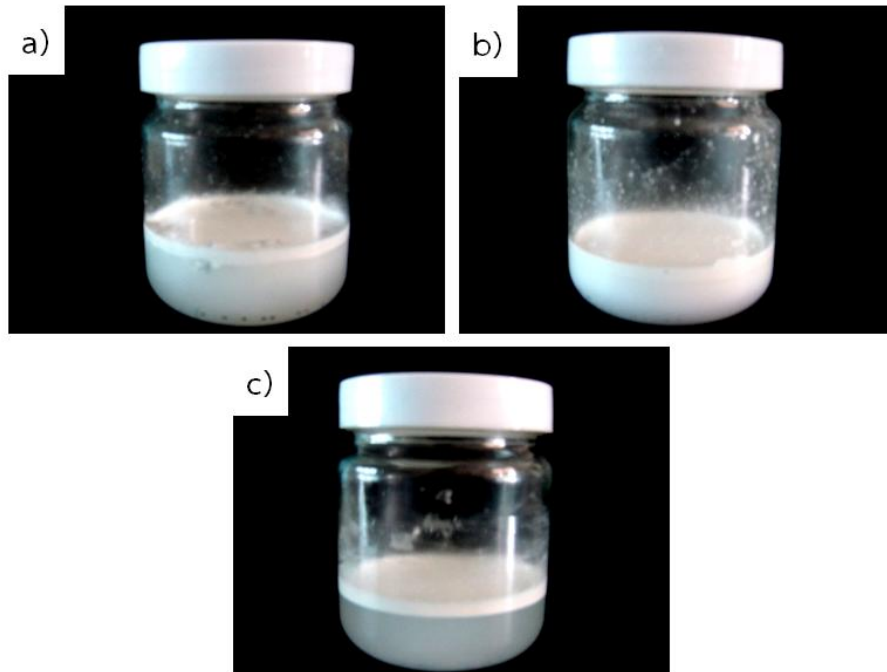
ดังนั้น จึงได้เลือกใช้มิริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคน โดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิม และใช้สภาวะนี้ในการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล ซึ่งพบว่าอิมัลชันที่ได้มีลักษณะขาวขุ่นเหมือนน้ำนม ไม่เกิดการแยกชั้นและไม่จับตัวกันเป็นก้อน

4.1.2 การเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยไม่ใช้แรงเฉือนสูง

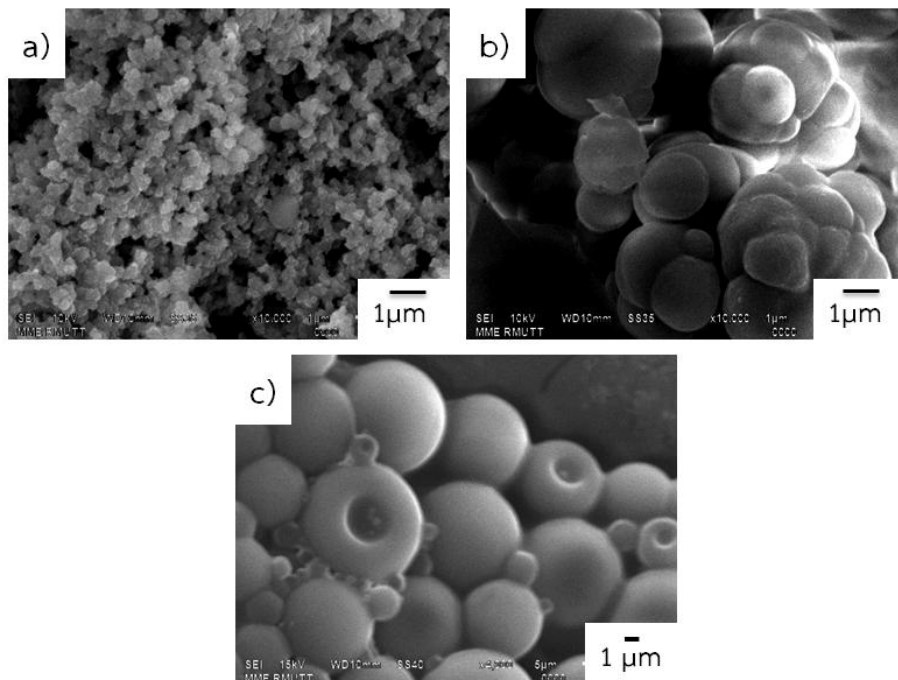
สำหรับการเตรียมหยดมอนอเมอร์โดยไม่ใช้แรงเฉือนสูงนี้ จะอาศัยเทคนิคการกลับเฟส (PIE) โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวลงในชั้นน้ำมัน หรือชั้นสารอินทรีย์ จากนั้น ค่อยๆหยดน้ำที่อาจจะมี หรือไม่มีสารลดแรงตึงผิวรวมลงไป ในชั้นน้ำมันด้วยอัตราการหยดคงที่จนหมด โดยทำการปั่นด้วยอัตราการปั่นต่ำๆ จะได้อิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่มีการกระจายตัวของขนาดค่อนข้างแคบ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.1.2.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

ได้ทำการศึกษานิตและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของหยดมอนอเมอร์ที่ได้ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ซึ่งพบว่าอิมัลชันที่ได้มีลักษณะขาวขุ่นเหมือนน้ำมัน เมื่อใช้ Tween 80 และ PVA เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ เกิดการจับตัวกัน (Coagulation) ของพอลิเมอร์แคปซูลบางส่วน ซึ่งน่าจะเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไม่เหมาะสมหรือมีปริมาณไม่เพียงพอ แต่เมื่อใช้ PVA 3 กรัม ในชั้นสารอินทรีย์แล้วเติม SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการจับตัวกัน มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง เมื่อตั้งทิ้งไว้ พอลิเมอร์แคปซูลแยกชั้นขึ้นชั้นบนเหมือนครีม ดังรูปที่ 4.8 (c) เมื่อนำพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้ไปตรวจสอบลักษณะอนุภาคและพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM พบว่าในกรณีการใช้ Tween 80 อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร แต่มีการจับตัวกันเป็นก้อน ดังรูปที่ 4.9 (a) แสดงว่าไม่มีความเสถียรทางคอลลอยด์ เมื่อเปลี่ยนไปใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว อนุภาคที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับไมโครเมตร และเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ไม่เสถียรทางคอลลอยด์ แต่เมื่อมีการเติม SDS 0.1 กรัม ซึ่งน้อยกว่าค่า critical micell concentration (CMC 0.2 % โดยน้ำหนัก) ได้อนุภาคที่มีขนาดประมาณ 2-3 ไมโครเมตร มีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบซึ่งเป็นลักษณะของอนุภาคหรือแคปซูลที่เตรียมโดยใช้เทคนิคกลับเฟส และแคปซูลไม่จับกันเป็นก้อน มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง ดังรูปที่ 4.9 (c) อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากกว่านี้ เนื่องจาก PVA ละลายได้ยาก ส่วน SDS หากเพิ่มมากกว่าค่า CMC จะเกิดการสังเคราะห์แบบ อิมัลชันในชั้นน้ำแข่งขันกับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันในหยดโดยเทคนิคมินิอิมัลชัน ทำให้เกิดอนุภาคใหม่ในน้ำที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรที่ไม่มีออกตะเดกเคนอยู่ภายใน จึงได้เลือกใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นสภาวะที่เหมาะสมในเบื้องต้น ก่อนที่จะศึกษาการลดขนาดแคปซูลต่อไป



รูปที่ 4.8 อิมัลชันของพอลิไควนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆในชั้นสารอินทรีย์ (a) Tween 80; (b) PVA 3 กรัม และ (c) PVA 3 กรัม ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ

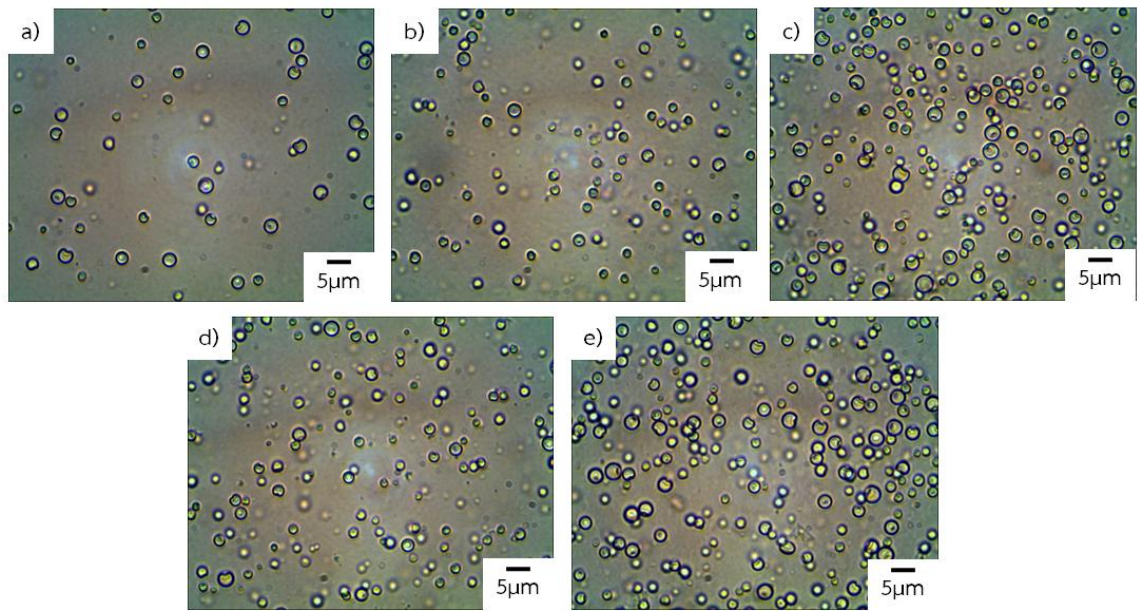


รูปที่ 4.9 SEM micrograph ของพอลิไควนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆในชั้นสารอินทรีย์ (a) Tween 80; (b) PVA 3 กรัม และ (c) PVA 3 กรัม ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ

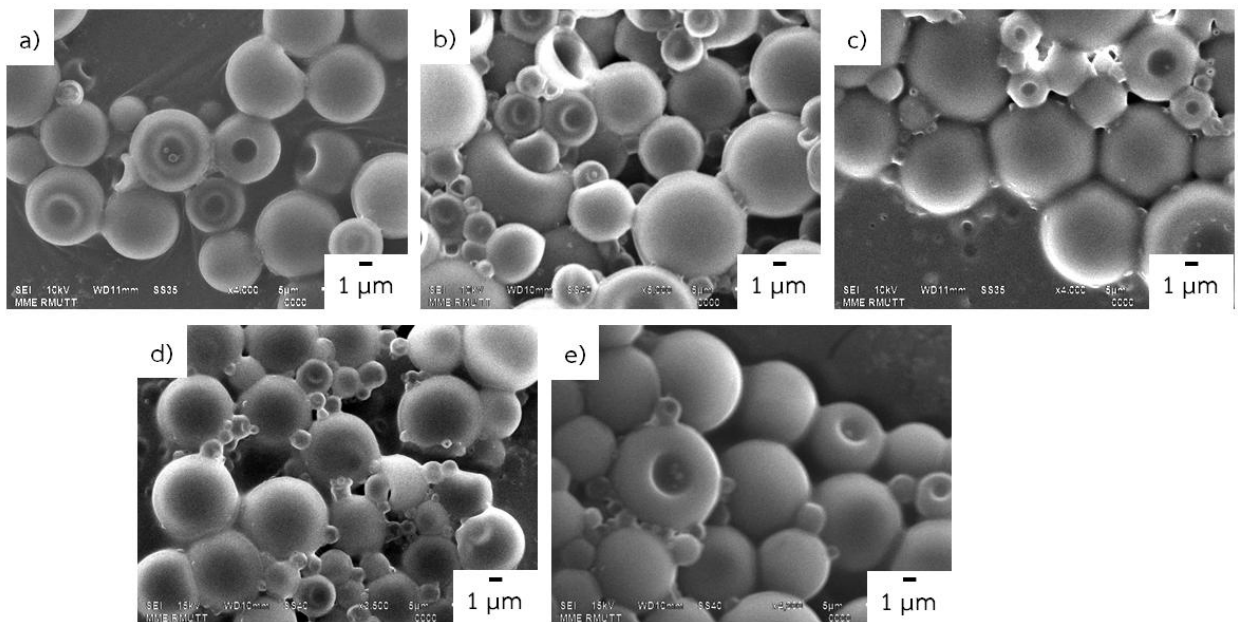
เมื่อทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.1 เมื่อเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นจนใกล้ 100 ที่เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ในขณะที่ขนาดแคปซูลค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับขนาดของหยดมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นลักษณะการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันหรือแบบแขวนลอย ขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีค่าประมาณ 2-3 ไมโครเมตร และมีการกระจายตัวที่แคบ (D_w/D_n เข้าใกล้ 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Optical และ SEM micrograph ของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์และลักษณะเฉพาะของแคปซูลที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ

Time(h)	conversion(%)	$D^a)$	$D_w^a)$	$D_n^a)$	D_w/D_n
0	-	2940	1570	1519	1.03
1	29	2840	1570	1510	1.04
3	68	2719	1560	1500	1.04
6	82	2889	1582	1507	1.05
12	83	2987	1571	1537	1.02
24	92	2940	1550	1493	1.04

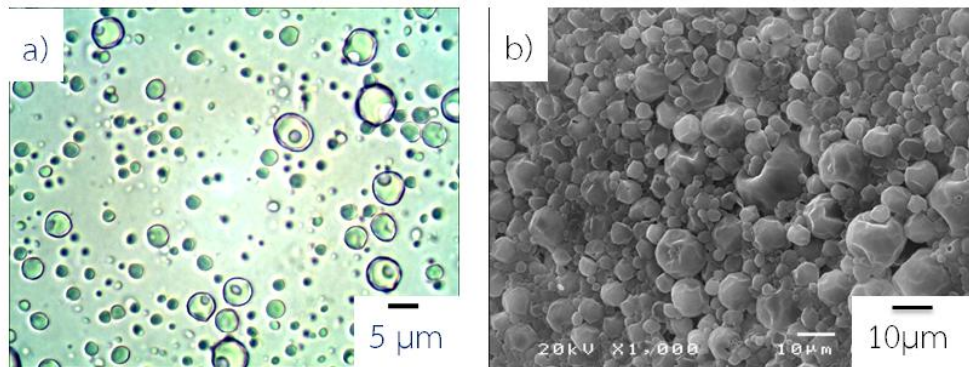


รูปที่ 4.10 Optical micrograph ของพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลบเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ (h) (a) 1; (b) 3; (c) 6; (d) 12 และ (e) 24



รูปที่ 4.11 SEM micrograph ของพอลิไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลบเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำที่เวลาต่างๆของการสังเคราะห์ (h) (a) 1; (b) 3; (c) 6; (d) 12 และ (e) 24

จากนั้น ได้นำสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ไปใช้ในการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล โดยมีอัตราส่วนไดไวนิลเบนซีนต่อเมทิลเมทาคริเลตเป็น 50:50 พบว่า แคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรอยยุบจำนวนมาก เนื่องจากการเพิ่มเมทิลเมทาคริเลตและลดไดไวนิลเบนซีนลง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความแข็งแรงของเปลือกแคปซูลลดลง โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 80 องศาเซลเซียส มาที่อุณหภูมิห้อง ออกตะเดกเคนจะเกิดการหดตัว เนื่องจากความหนาแน่นเพิ่มขึ้น [28] ดังนั้นจึงเกิดช่องว่างขึ้นภายในแคปซูล ความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในแคปซูลจึงเกิดการยุบตัวขึ้น แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 4-6 ไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมากกว่ากรณีพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน)แคปซูล เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์ที่มีความมีขั้วสูงกว่าไดไวนิลเบนซีนจึงสามารถละลายน้ำออกมาจากหยดมอนอเมอร์ในระหว่างการสังเคราะห์ได้มากกว่า ทำให้การควบคุมขนาดอนุภาคทำได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตาม สามารถสังเกตเห็นลักษณะแกน-เปลือก (Core-shell) ได้ ซึ่งแสดงถึงการเกิดพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคน ดังรูปที่ 4.12

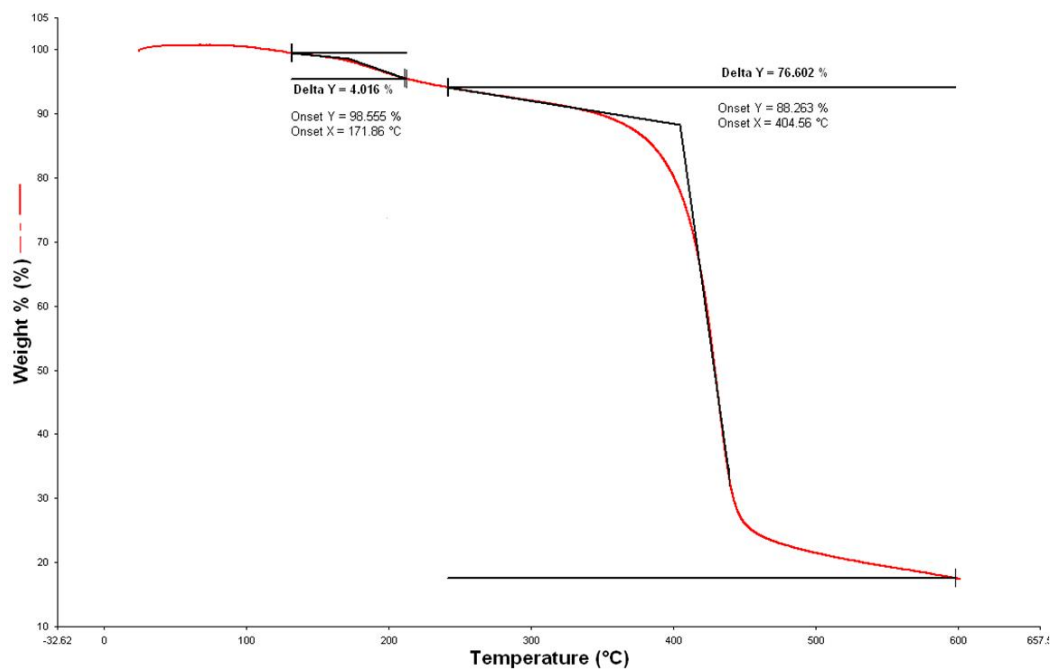


รูปที่ 4.12 Optical (a) และ SEM micrograph (b) ของพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต) แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ

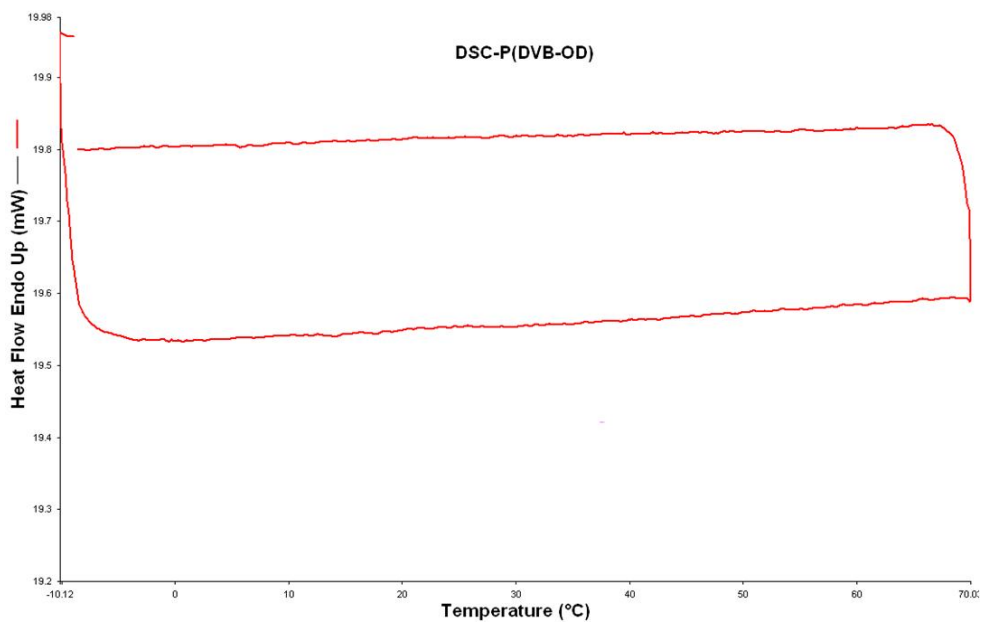
4.2 การหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูล

4.2.1 หยดมอนอเมอร์ที่เตรียมแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูง

เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของออกตะเดกเคนในพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน)แคปซูลที่ได้พบว่า แคปซูลที่แห้งมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่ง เป็นการสลายตัวของออกตะเดกเคน ที่ 110-250 องศาเซลเซียส และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน)ที่ 250-600 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.13 จะเห็นว่า ปริมาณออกตะเดกเคนในพอลิเมอร์แคปซูลมีน้อย ซึ่งน่าจะเกิดจากการเกิดอนุภาคใหม่ (secondary particle) ในน้ำระหว่างการสังเคราะห์โดยกลไกการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิมัลชัน จึงมีออกตะเดกเคนส่วนหนึ่งไม่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูล เมื่อนำแคปซูลมาล้างแล้วทำการวิเคราะห์จึงมีปริมาณน้อยกว่า 50% ส่วนค่าปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวของออกตะเดกเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูล และความร้อนในการเกิดผลึกมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีปริมาณออกตะเดกเคนในแคปซูลน้อยมาก ดังรูปที่ 4.14



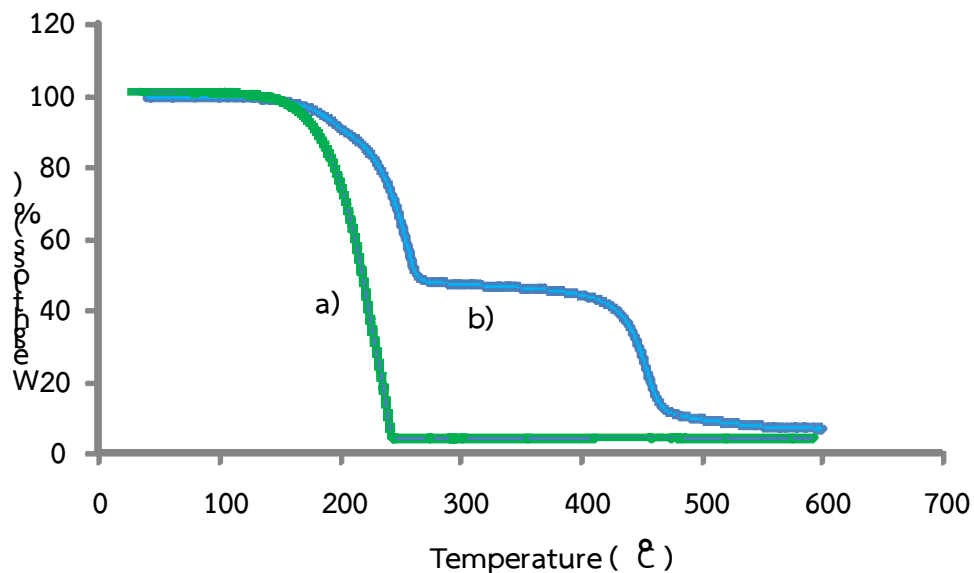
รูปที่ 4.13 TGA thermogram ของพอลิไธไวโนลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มีริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิว



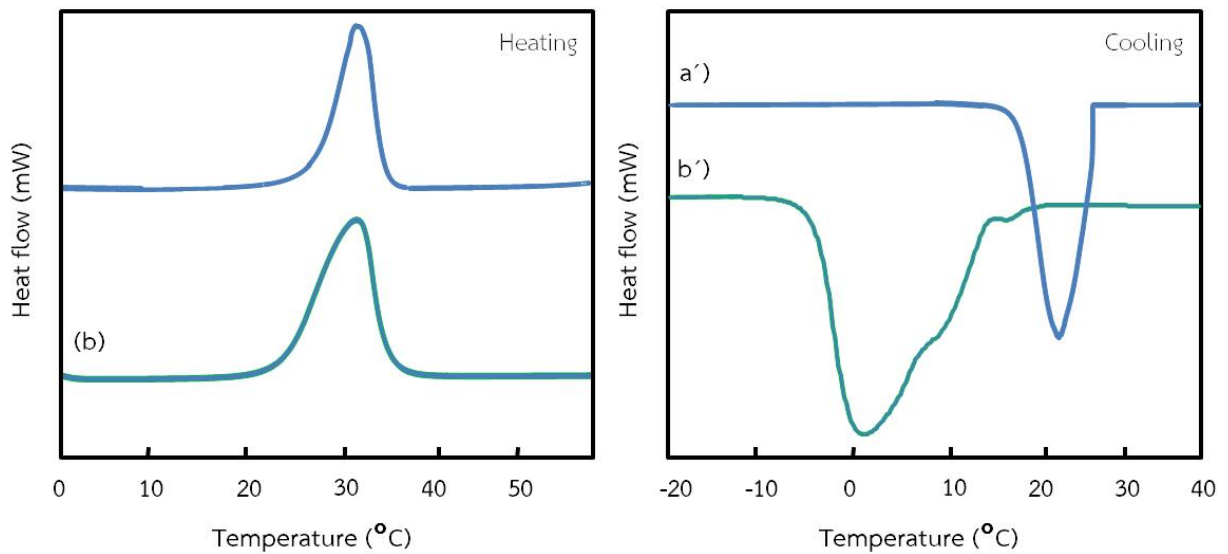
รูปที่ 4.14 DSC thermogram ของออกตะเดกเคนในพอลิไธไวโนลเบนซีนแคปซูลที่สังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีแบบดั้งเดิมที่ใช้มีริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด เป็นสารลดแรงตึงผิว

4.2.2 หยตมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยไม่ใช้แรงเฉือนสูง

เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่พบว่า แคปซูลมีการสลายตัวเป็นสองช่วง โดยในช่วงแรกเป็นการสลายตัวของออกตะเดเคนในแคปซูลที่ประมาณ 120-350 องศาเซลเซียส มีปริมาณ 53% และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ประมาณ 355-600 องศาเซลเซียส มีปริมาณ 40% จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการสลายตัวของออกตะเดเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูล (รูปที่ 4.16 b) จะสูงกว่าออกตะเดเคนที่ไม่ถูกหุ้ม (รูปที่ 4.16 a) เล็กน้อย เนื่องจากผลของการหุ้ม ส่วนอุณหภูมิการหลอมเหลวเริ่มต้นของออกตะเดเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูลมีค่าประมาณ 20 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับของออกตะเดเคนที่ไม่ถูกหุ้ม แต่อุณหภูมิการเกิดผลึกจะต่ำกว่าของออกตะเดเคนที่ไม่ถูกหุ้ม เนื่องจากการเกิดการเย็นตัวยิ่งยวดซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปของการเตรียมอิมัลชัน หรือ แคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อนดังที่มีการรายงานในงานวิจัยต่างๆ [4, 15, 16, 27, 28] ในขณะที่ปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวและการเกิดผลึกมีค่า 192 และ 195 J/g-OD ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งต่ำกว่าของของออกตะเดเคนที่ไม่ถูกหุ้ม (ความร้อนในการหลอมเหลว และการเกิดผลึกมีค่าประมาณ 240 J/g) เช่นเดียวกับที่มีการรายงานในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [27, 28]



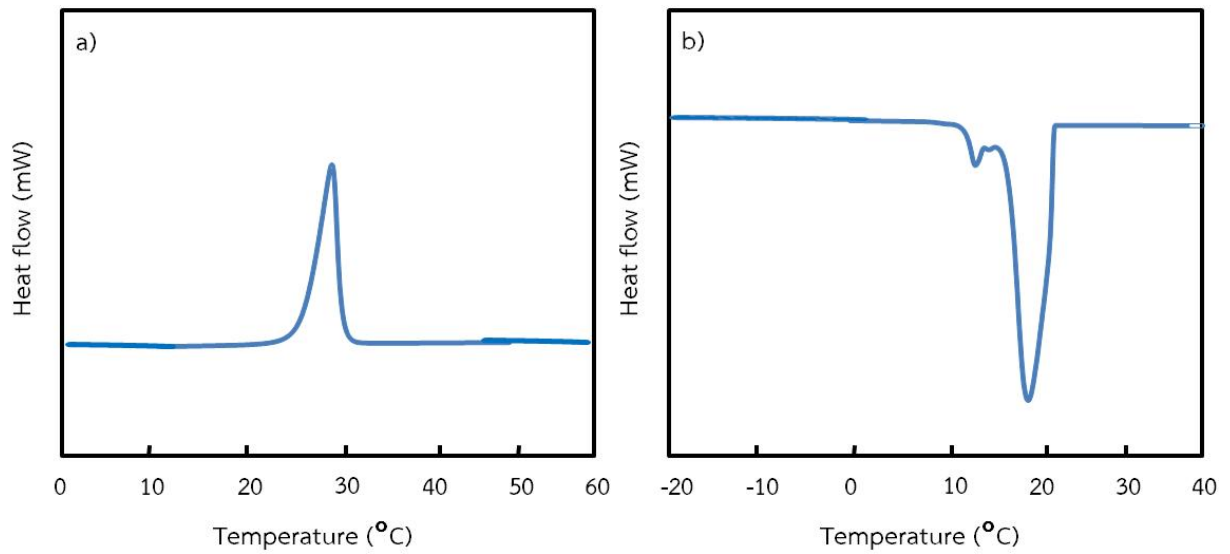
รูปที่ 4.15 TGA thermogram ของ (a) ออกตะเดเคน และ (b) พอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยตมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ



รูปที่ 4.16 DSC thermogram ของ (a, a') ออกตะเดกเคน และ (b, b') ออกตะเดกเคนในพอลิไวด์ไวนิลเบนซีนแคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ

สำหรับพอลิ(ไวด์ไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของออกตะเดกเคนในแคปซูลที่ได้พบว่า แคปซูลที่แห้งมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่ง เป็นการสลายตัวของออกตะเดกเคน และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของพอลิ(ไวด์ไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต) เช่นเดียวกับกรณีของพอลิไวด์ไวนิลเบนซีนแคปซูล ส่วนค่าปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวของออกตะเดกเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูลมีค่า 237 J/g-OD และความร้อนในการเกิดผลึกมีค่า 236 J/g-OD ซึ่งมีค่าใกล้เคียงออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกหุ้ม มาก ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มเมทิลเมทาคริเลตทำให้การแยกเฟสของเปลือกพอลิเมอร์กับแกนออกตะเดกเคนสมบูรณ์ขึ้น ทำให้ค่าความร้อนแฝงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการใช้มอนอเมอร์กลุ่มอคริเลต [4]

จากการวิจัยทั้งหมด พบว่าในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันหรือแบบแขวนลอย สามารถเตรียมหยดมอนอเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงได้โดยใช้วิธีกลับเฟส จากสภาวะที่ศึกษามา ถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถเตรียมให้ได้ขนาดระดับนาโนเมตรได้แต่ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อเตรียมหยดมอนอเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรต่อไปได้



รูปที่ 4.17 DSC thermogram ของออกตะเดกเคนในพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูลที่เตรียมโดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันของหยดมอนอเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีกลับเฟสที่ใช้ PVA 3 กรัม เป็นสารลดแรงตึงผิวในชั้นสารอินทรีย์ที่มี SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำ (a) heating และ (b) cooling curve

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มออกตะเดกเคนโดยใช้ไดไวนิลเบนซีนและเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ด้วยวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันโดยการเตรียมพอลิเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้แรงเฉือนสูงโดยการปั่นด้วยโฮโมจีไนเซอร์

สำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ไดไวนิลเบนซีนด้วยวิธีดั้งเดิม ได้ศึกษาผลของอัตราเร็วและระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่มีต่อขนาดของพอลิเมอร์ พบว่าอัตราเร็วในการปั่นที่ 5,000 rpm 5 นาที และ 15,000 rpm 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากใช้อัตราเร็วที่ไม่สูงเกินไปและพอลิเมอร์ที่ได้มีการกระจายตัวของขนาดที่ค่อนข้างแคบ จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในชั้นน้ำที่มีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อใช้มีริสทิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด พอลิเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-1,000 นาโนเมตร มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูงไม่จับตัวกันเป็นก้อน จึงได้ใช้สภาวะที่เหมาะสมนี้ในการเตรียมพอลิเมอร์ไดไวนิลเบนซีน-เมทิลเมทาคริเลต ซึ่งได้พอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์แคปซูลที่มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยในระดับนาโนเมตรเช่นเดียวกัน ในกรณีการเตรียมพอลิเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงด้วยวิธีกลับเฟส ได้ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อขนาดและความเสถียรทางคอลลอยด์ของพอลิเมอร์ที่ได้ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ PVA 3 กรัม ในชั้นสารอินทรีย์แล้วเติม SDS 0.1 กรัม ในชั้นน้ำเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม อิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการจับตัวกัน มีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง แต่แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 2-3 ไมโครเมตร มีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบซึ่งเป็นลักษณะของอนุภาคหรือแคปซูลที่เตรียมโดยใช้เทคนิคกลับเฟส เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนพบว่า ค่าความร้อนในการหลอมเหลวและการเกิดผลึกมีค่า 192 และ 195 J/g-OD ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าของของออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกหุ้มที่มีค่าประมาณ 240 J/g-OD เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา จากนั้นได้นำสภาวะที่เหมาะสมนี้ ไปใช้ในการเตรียมพอลิ(ไดไวนิลเบนซีน-โค-เมทิลเมทาคริเลต)แคปซูล โดยมีอัตราส่วนไดไวนิลเบนซีนต่อเมทิลเมทาคริเลตเป็น 50:50 พบว่าแคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรอยยุบจำนวนมาก เนื่องจากการเพิ่มเมทิลเมทาคริเลตและลดไดไวนิลเบนซีนลง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความแข็งแรงของเปลือกแคปซูลลดลง จึงเกิดการยุบตัว แคปซูลที่ได้มีขนาดประมาณ 4-6 ไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมากกว่ากรณีพอลิไดไวนิลเบนซีนแคปซูล เนื่องจากเมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์ที่มีความมีขั้วสูงกว่าไดไวนิลเบนซีนจึงสามารถละลายน้ำออกมาจากพอลิเมอร์ในระหว่างการสังเคราะห์ได้มากกว่า ทำให้การควบคุมขนาดอนุภาคทำได้ค่อนข้างยาก ส่วนค่าปริมาณความร้อนในการหลอมเหลวของออกตะเดกเคนที่ถูกหุ้มอยู่ในแคปซูลมีค่า 237 J/g-OD และความร้อนในการเกิดผลึกมีค่า 236 J/g-OD ซึ่งมีค่าใกล้เคียงออกตะเดกเคนที่ไม่ถูกหุ้มมาก ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มเมทิลเมทาคริเลตทำให้การแยกเฟสของเปลือกพอลิเมอร์กับแกนออกตะเดกเคนสมบูรณ์ขึ้น

จากผลการวิจัย พบว่าในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันหรือแบบแขวนลอย สามารถเตรียมพอลิเมอร์แบบไม่ใช้แรงเฉือนสูงได้โดยใช้วิธีกลับเฟส ถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถเตรียมให้ได้ขนาดระดับนาโนเมตรได้แต่ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้ปรับปรุงเพื่อเตรียมพอลิเมอร์และพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

1. Farid MM, Khudhair AM, Razack SAK, Al-Hallaj S: A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Convers Manage* 2004;45:1597–1615.
2. Sanchez L, Sanchez P, Lucas A, Carmona M, Rodriguez JF: Microencapsulation of PCMs with a polystyrene shell. *Colloid Polym Sci* 2007;285:1377-1385.
3. Zhang P, Ma ZW, Wang RZ: An overview of phase change material slurries: MPCs and CHS. *Renew Sust Energy Rev* 2010;14:598-614.
4. Chaiyasat P, Ogino Y, Suzuki T, Minami H, Okubo M: Preparation of divinylbenzene copolymer particles with encapsulated hexadecane for heat storage application. *Colloid Polym Sci* 2008;286:217-223.
5. Zhang XX, Fan YF, Tao XM, Yick KL: Crystallization and prevention of supercooling of microencapsulated n-alkanes. *Journal of Colloid and Interface Science* 2005;281:299-306.
6. Fan YF, Zhang XX, Wang XC, Li J, Zhu QB: Super-cooling prevention of microencapsulated phase change material. *Thermochim Acta* 2004;413:1-6.
7. M.M. Farid, A.M. Khudhair, S.A.K. Razack, S. Al-Hallaj, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energ Convers. Manage.* 45 (2004) 1597–1615.
8. P. Zhang, Z.W. Ma, R.Z. Wang, An overview of phase change material slurries: MPCs and CHS, *Renew Sust Energy Rev* 14 (2010) 598-614.
9. A.M. Borreguero, M. Carmona, M.L. Sánchez, J.L. Valverde, J.F. Rodríguez, 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, *Appl Thermal Eng* (2010) doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.1001.1032.
10. J.F. Su, L.X. Wang, L. Ren, Preparation and characterization of double-MF shell microPCMs used in building materials, *J. Appl. Polym. Sci.* 97 (2005) 1755-1762.
11. S. Peng, A. Fuchs, R.A. Wirtz, Polymeric phase change composites for thermal energy storage, *J. Appl. Polym. Sci.* 93 (2004) 1240-1251.
12. D.P. Covin, D.K. Cartwright, Microclimate environmental control on vegetation and seeds employing microencapsulated water and phase change materials and method US Patent, Delta Thermal Systems, Inc. (Wake County, NC) USA, 2000.
13. Sánchez-Silva L, Rodríguez JF, Romero A, Borreguero AM, Carmona M, Sánchez P: Microencapsulation of PCMs with a styrene-methyl methacrylate copolymer shell by suspension-like polymerisation. *Chemical Engineering Journal* 2010;157:216-222.
14. Ai Y, Jin Y, Sun J, Wei D: Microencapsulation of n-hexadecane as phase change material by suspension polymerization. *e-Polymers* 2007;no. 098:1-9.

15. Chaayasat P, Suzuki T, Minami H, Okubo M: Thermal properties of hexadecane encapsulated in poly(divinylbenzene) particles. *J Applied Polym Sci* 2009;112:3257-3266.
16. Chaayasat P, Ogino Y, Suzuki T, Okubo M: Influence of water domain formed in hexadecane core inside cross-linked capsule particle on thermal properties for heat storage application. *Colloid Polym Sci* 2008;286:753-759.
17. Fang Y, Kuang S, Gao X, Zhang Z: Preparation and characterization of novel nanoencapsulated phase change materials. *Energy Convers Manage* 2008;49:3704-3707.
18. Barari M, Faridi-Majidi R, Madani M, Sharifi-Sanjani N, Oghabian MA: Preparation of Nanocapsules via Emulsifier-Free Miniemulsion Polymerization. *J Nanoscience and nanotechnology* 2009; 9:4348-4352.
18. Sari A, Alkan C, Karaipekli A, Uzun O: Microencapsulated n-octacosane as phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy* 2009; 83:1757-1763.
19. Sari A, Alkan C, Karaipekli A: Preparation, characterization and thermal properties of PMMA/n-heptadecane microcapsules as novel solid-liquid microPCM for thermal energy storage. *Applied Energy* 2010; 87:1529-1534.
20. McDonald CJ, Devon MJ: Hollow latex particles: synthesis and applications. *Adv Colloid Interface Sci* 2002;99:181-213.
21. Li C, Mei Z, Liu Q, Wang J, Xu J, Sun D: Formation and properties of paraffin wax submicron emulsions prepared by the emulsion inversion point method. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects* 2010;356:71-77.
22. Okubo M, Konishi Y, Minami H: Production of hollow polymer particles by suspension polymerization *Colloid Polym Sci* 1998;276:638-642.
23. Ogino Y, Suzuki T, Okubo M: Preparation of poly (divinylbenzene) particles with encapsulated hexadecane for heat storage application. *Kobunshi Ronbunshu* 2007;64:171-176.
24. Bilbao-sainz C, Avena-bustillos R J, Wood D F, Williams T G, Mchugh T H, Nanoemulsions prepared by a low-energy emulsification method applied to edible films, *J. Agric. Food Chem.*, 2010;58:11932-11938.
25. Sajjadi S, Nanoemulsion formation by phase inversion emulsification: on the nature of inversion, *Langmuir*, 2006;22:5597-5603.
26. Cheng S, Guo Y, Zetterlund P B, Miniemulsion polymerization based on low energy emulsification with preservation of initial droplet identity, *Macromolecules* 2010;43:7905-7907.
27. Chaayasat P, Chaayasat A, Boontung W, Promdsorn S, Thipsit S, Preparation and characterization of poly(divinylbenzene) microcapsules containing octadecane, *Materials Science and Applications* 2011;2:1007-1013.
28. Chaayasat P, Islam Md Z, Chaayasat A, Preparation of poly(divinylbenzene) microencapsulated octadecane by microsuspension polymerization: oil droplets generated by phase inversion emulsification. *RSC Advances* 2013;3:10202-10207.

ภาคผนวก

แบบเสนอโครงการวิจัย

แบบเสนอโครงการวิจัย (research project)

ประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ตามมติคณะรัฐมนตรี

ชื่อโครงการวิจัย การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการ
สังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ
Preparation of Polymer Nano-encapsulated Heat Storage Material by
Miniemulsion Polymerization without High Shear Rate for Textile Industry

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย



โครงการวิจัยใหม่



โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา...ปี ปีนี้เป็นปีที่... รหัสโครงการวิจัย.....

- I ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตาม
แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) *
- II ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ.
2555-2559) (กรณาระบุความสอดคล้องเพียง 1 ยุทธศาสตร์ 1 กลยุทธ์ และ 1 แผน
งานวิจัย ที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในผนวก 2)
 - ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 4 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนานวัตกรรม
และบุคลากรทางการวิจัย
 - กลยุทธ์การวิจัยที่ 1 พัฒนาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรมสู่เชิงพาณิชย์ รวมทั้ง
องค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในวิทยาการ
ต่าง ๆ
 - แผนงานวิจัยที่ 1.1 การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับนวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์และองค์ความรู้ใหม่
ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ วัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ
และการสื่อสาร นาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข สัตว์ทดลองและ
วิธีการอื่นเพื่อทดแทนการใช้สัตว์ เทคโนโลยีด้านอาวุธยุทธโธปกรณ์ เป็นต้น
- III ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบาย และ
ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2555-2559) (โปรดดูรายละเอียดในผนวก 2)
 - กลุ่มเรื่อง เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม
วัสดุและนาโนเทคโนโลยี
- IV ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล
 - นโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัย และนวัตกรรม

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. ผู้รับผิดชอบ

หัวหน้าโครงการ

ดร. ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์ สัดส่วนที่ทำวิจัย 50%
(เตรียมพอลิเมอร์แคปซูล และทดสอบสมบัติต่างๆ)

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. อมร ไชยสัตย์ สัดส่วนที่ทำวิจัย 35%
(เตรียมพอลิเมอร์แคปซูล และทดสอบสมบัติต่างๆ)

ดร. วรายุทธ สะโงมแสง สัดส่วนที่ทำวิจัย 15%
(ทดสอบสมบัติพอลิเมอร์แคปซูล)

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.
ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3404
ศูนย์นาโนเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 114 ถ.พหลโยธิน กม.
42 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

2. ประเภทของการวิจัย

การวิจัยประยุกต์ (Applied research)

3. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย

สาขาวิชาการของสาขาวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช

4. คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย

อนุภาคพอลิเมอร์ พอลิเมอร์แคปซูล กระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน วัสดุเก็บความร้อน
Polymer particles; Polymer capsule; Miniemulsion polymerization; Heat storage materials

5. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วัสดุเก็บความร้อน (Heat storage materials) หรือวัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase change materials) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ในการกักเก็บความร้อนในระหว่างวันและลดปริมาณการใช้พลังงาน วัสดุเก็บความร้อนจะมีหลักการทำงาน คือ วัสดุจะดูดพลังงานความร้อนเมื่ออุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (Transition temperature) ของวัสดุ และจะคายพลังงานความร้อนออกมาเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของวัสดุ [1] อย่างไรก็ตามการใช้งานของวัสดุดังกล่าวโดยตรงอาจจะไม่เหมาะสม เพราะอาจมีการปนเปื้อนจากสารอื่นๆและสลายตัวในระหว่างใช้งานได้ การเตรียมเป็นแคปซูลที่หุ้มวัสดุดังกล่าวจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม นอกจากจะป้องกันการปนเปื้อนและการสลายตัวในระหว่างการใช้งานแล้ว ยังเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุเก็บความร้อน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทพลังงานได้

ในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานของแคปซูล ขนาดของอนุภาคแคปซูลจะต้องมีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปอนุภาคแคปซูลที่เตรียมในกระบวนการต่างๆเช่นแบบแขวนลอย (Suspension polymerization) [2-11] การสังเคราะห์แบบอินซิตู (In situ polymerization) [12-14] และแบบควบแน่น (Polycondensation) [15, 16] ส่วนใหญ่จะมีขนาดในระดับไมโครเมตรและต้องใช้แรงเฉือนสูงในการเตรียมหยดมอนอเมอร์หรือหยดของวัสดุเก็บความร้อนให้มีขนาดเล็ก การเตรียมพอลิเมอร์ขนาดระดับนาโนเมตรก็มีการเตรียมได้เช่นกัน โดยทั่วไปจะใช้กระบวนการแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) [17-19] และแบบมินิอิมัลชัน (Miniemulsion polymerization) [8, 20] ในกรณีของการสังเคราะห์แบบอิมัลชันแม้จะไม่มีรายงานถึงประสิทธิภาพในการเตรียมแคปซูล แต่จากกลไกในการเกิดแคปซูลของกระบวนการนี้ทำให้เชื่อว่า เป็นไปได้ยากมากที่อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นแคปซูลได้หมด เพราะการพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดในไมเซลล์ ในขณะที่มอนอเมอร์และวัสดุเก็บความร้อนจะถูกผสมกันก่อนเป็นหยดมอนอเมอร์ และจะเคลื่อนที่เข้าไปในไมเซลล์เพื่อเกิดเป็นแคปซูล โดยอาศัยการแยกวัฏภาคภายในวัสดุเก็บความร้อนที่มีความไม่เข้มข้นสูงจะเคลื่อนที่ผ่านน้ำไปในไมเซลล์ได้ยาก จึงน่าจะเหลือส่วนหนึ่งที่ยังไม่ถูกหุ้มส่วนในกรณีของกระบวนการแบบมินิอิมัลชัน พอลิเมอร์ไรเซชันเกิดในหยดมอนอเมอร์ (ขนาดนาโนเมตร) ที่มีวัสดุเก็บความร้อนละลายอยู่ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการหุ้มวัสดุเก็บความร้อน ซึ่งน่าจะพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แรงเฉือนสูง(ใช้พลังงานสูง) ในการทำให้หยดมอนอเมอร์มีขนาดในระดับนาโนเมตรเป็นอุปสรรคสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงสนใจที่จะพัฒนาการเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนในระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการแบบมินิอิมัลชัน โดยจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารลดแรงตึงผิวและเพิ่มขั้นตอนในการเตรียมหยดมอนอเมอร์เข้มข้นสูงแทนการใช้แรงเฉือนสูง ซึ่งหากประสบผลสำเร็จจะสามารถประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ต่อไป

6. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 6.1. เพื่อเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง
- 6.2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้
- 6.3. เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมแคปซูลที่สามารถใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 7.1 ทำการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลของโคพอลิเมอร์ระหว่างไดไวนิลเบนซีนกับเมทิลเมทาคริเลตที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน โดยการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันแบบดั้งเดิมและแบบที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง
- 7.2 ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ เช่น ประสิทธิภาพการหุ้มวัสดุเก็บความร้อนของพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเก็บความร้อนที่อยู่ในแคปซูล และความคงทนของแคปซูล เป็นต้น
- 7.3 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ทั้งสองวิธี

8. ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนให้มีขนาดในระดับนาโนเมตร กระบวนการสังเคราะห์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ คือ กระบวนการแบบมินิอิมัลชัน โดยจะอาศัยหลักการของการแยกวัฏภาคภายใน โดยจะใช้น้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) การเตรียมจะเริ่มต้นด้วยการนำวัสดุเก็บความร้อนมาผสม

กับมอนอเมอร์ (Monomer) และตัวเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) เรียกว่า วัฏภาคอินทรีย์ (Organic phase) จากนั้นทำให้สารทั้งหมดละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปกระจายในน้ำ เพื่อทำให้เกิดหยดมอนอเมอร์ (หยดวัฏภาคอินทรีย์) ในระดับนาโนเมตรด้วยแรงเฉือนสูง ในระหว่างการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (มอนอเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์) ภายในหยดมอนอเมอร์ ความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเข้ากัน (Miscibility) ของพอลิเมอร์กับวัสดุเก็บความร้อนค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าความยาววิกฤต (Critical chain length) พอลิเมอร์จะไม่สามารถละลายเข้ากันได้กับวัสดุเก็บความร้อน จึงเกิดการแยกวัฏภาคภายในแคปซูลขึ้น โดยที่พอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ออกมาที่ด้านนอกของหยดมอนอเมอร์เกิดเป็นเปลือก ในขณะที่วัสดุเก็บความร้อนจะอยู่ด้านในกลายเป็นแกน เนื่องจากค่าแรงตึงระหว่างผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์-น้ำ ต่ำกว่าวัสดุเก็บความร้อน-น้ำ ปัญหาสำคัญของเทคนิคนี้ คือ การเตรียมหยดมอนอเมอร์ระดับนาโนเมตรที่ใช้แรงเฉือนสูงซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีรายงานการวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ในระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการแบบมินิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงและประสบความสำเร็จในการเตรียมอนุภาคพอลิไตรีนระดับนาโนเมตร [21] โดยจะแบ่งการเตรียมเป็นสองขั้นตอน คือ (1) เตรียมหยดของมอนอเมอร์ ที่ประกอบไปด้วยสไตรีน ตัวเริ่มปฏิกิริยา (2, 2'-Azobis(isobutyronitrile); AIBN) และสารตัวช่วยป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์ (cosurfactant; hexadecane) ให้กระจายตัวอยู่ในน้ำด้วยการปั่นที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที โดยให้ความเข้มข้นของหยดมอนอเมอร์มากที่สุด (ประมาณ 44 wt%) และขั้นตอนที่ (2) นำส่วนที่ (1) มาผสมน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่เหมาะสม โดยให้ความเข้มข้นของหยดมอนอเมอร์ประมาณ 10 wt% แล้วทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อนุภาคของพอลิไตรีนที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ ทีมผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนที่มีขนาดระดับนาโนเมตร ซึ่งยังไม่มีรายงานการเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยวิธีนี้มาก่อน โดยจะใช้โคพอลิเมอร์ของไดไวนิลเบนซีน กับเมทิลเมทาคริเลต เป็นเปลือก เพื่อลดต้นทุนการผลิต (เนื่องจากไดไวนิลเบนซีน มีราคาสูงมาก) ทำให้เปลือกเป็นชนิดร่างแห (เพิ่มความแข็งแรง) และเพิ่มสมบัติการนำความร้อนของวัสดุเก็บความร้อนเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [7-11] ในกรณีของ cosurfactant จะใช้วัสดุเก็บความร้อนแทน hexadecane เนื่องจากมีความไม่มีขั้วสูงเหมือนกันจึงน่าจะช่วยสารลดแรงตึงผิวในการป้องกันการรวมตัวของหยดมอนอเมอร์ได้ อย่างไรก็ตาม จะทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของหยดมอนอเมอร์และ/หรือของพอลิเมอร์แคปซูล เพื่อให้ได้ปริมาณมากที่สุดในการสังเคราะห์ต่อไป

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การใช้วัสดุเก็บความร้อนหรือวัสดุเปลี่ยนสถานะในงานด้านพลังงานโดยเฉพาะการสะสมพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะในยุคการเกิดวิกฤตพลังงานในปัจจุบัน การใช้งานโดยทั่วไปจะนิยมเตรียมให้อยู่ในรูปของแคปซูลเพื่อยืดอายุการใช้งานของวัสดุเก็บความร้อน ดังนั้น การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน จึงได้รับความสนใจและมีการศึกษากันมากขึ้น แคปซูลเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของอาคาร [22-25] ใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์และนิวเคลียร์ [26] ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก [27] นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น ใช้สำหรับเตรียมผ้าที่ปรับสภาพความร้อนได้ (Thermal adaptable clothes) เทคนิคในการเตรียมแคปซูลที่มีพอลิเมอร์เป็นเปลือก (Shell) และมีของเหลวหรือของแข็งเป็นแกน (Core) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นที่รอยต่อระหว่างผิว (Interfacial polycondensation) [15, 28] การสังเคราะห์แบบอิมัลชัน [17, 29] การสังเคราะห์แบบอินเวอร์ส อิมัลชัน (Inverse emulsion) [18] การสังเคราะห์แบบมินิมัลชัน [8,

19] การสังเคราะห์แบบอินซิitu [14, 30, 31] การสะสมสลับชั้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Layer by layer deposition of polyelectrolyte) [32] การพ่นให้แห้งและการรวมตัวกัน (Spray drying and coacervation) [33] การแยกวัฏภาคภายใน (Internal phase separation) [34-36] และการสังเคราะห์แบบแขวนลอย [2-4, 6, 9-11, 37-40]

ในการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนสำหรับใช้งานทางด้านต่างๆ ส่วนมากมักจะเตรียมได้ในระดับไมโครเมตร เป็นที่ทราบกันดีว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (ลดขนาดอนุภาค) จะสามารถเพิ่มปริมาณการดูดและคายความร้อนของวัสดุเก็บความร้อนได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายอย่างในแต่ละเทคนิค จึงยังมีงานวิจัยน้อยมากที่สามารถเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนได้ในระดับนาโนเมตร โดยเทคนิคที่เตรียมได้เช่น การสังเคราะห์โดยกระบวนการแบบอิมัลชันและแบบมินิอิมัลชัน ในกรณีแรกกลไกและประสิทธิภาพในการเตรียมยังเป็นสิ่งที่น่าสงสัยอยู่ เนื่องจากอนุภาคพอลิเมอร์ไม่ได้เกิดที่หยดมอนอเมอร์แต่จะเกิดที่ไมเซลล์ ทำให้วัสดุเก็บความร้อนซึ่งมีความไม่เข้มข้นสูง ที่ละลายอยู่ในหยดมอนอเมอร์เพียงบางส่วนหรือจำนวนน้อยที่สามารถเคลื่อนผ่านน้ำ (ความเข้มข้นสูง) ไปยังอนุภาคพอลิเมอร์ในไมเซลล์ได้ ในขณะที่กรณีหลัง แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงในการเตรียมแคปซูลเนื่องจากเกิดพอลิเมอร์ในหยดมอนอเมอร์โดยตรง แต่อาจจะเป็นอุปสรรคในการขยายผลไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากต้องใช้พลังงานสูงในการเตรียมหยดมอนอเมอร์ อย่างไรก็ตามได้มีการรายงานวิจัยการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ในระดับนาโนเมตรโดยใช้กระบวนการแบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง [21] ทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมอนุภาคแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนในระดับนาโนเมตร ซึ่งหากประสบความสำเร็จไม่เพียงแต่จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยทางด้านนี้ ยังมีประโยชน์ในการผลิตแคปซูลประเภทนี้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

10. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

- [1] อ. ไชยสตัย, พอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนแฝง, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ระหว่างตีพิมพ์.
- [2] L. Sánchez-Silva, J.F. Rodríguez, A. Romero, A.M. Borreguero, M. Carmona, P. Sánchez, Microencapsulation of PCMs with a styrene-methyl methacrylate copolymer shell by suspension-like polymerisation, Chem Eng J 157 (2010) 216-222.
- [3] P. Chaiyasat, Y. Ogino, T. Suzuki, M. Okubo, Influence of water domain formed in hexadecane core inside cross-linked capsule particle on thermal properties for heat storage application, Colloid Polym. Sci. 286 (2008) 753-759.
- [4] P. Chaiyasat, Y. Ogino, T. Suzuki, H. Minami, M. Okubo, Preparation of divinylbenzene copolymer particles with encapsulated hexadecane for heat storage application, Colloid Polym. Sci. 286 (2008) 217-223.
- [5] A. Chaiyasat, M. Yamada, H. Kobayashi, T. Suzuki, M. Okubo, Incorporation of nonionic emulsifiers inside styrene-methacrylic acid copolymer particles prepared by emulsion copolymerization, Polymer 49 (2008) 3042-3047.
- [6] Y. Ai, Y. Jin, J. Sun, D. Wei, Microencapsulation of n-hexadecane as phase change material by suspension polymerization, e-Polymers no. 098 (2007) 1-9.
- [7] บ. ไชยสตัย, อ. ไชยสตัย, ส. ผิวนาด, การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

- [8] อ. ไชยสัตย์, ป. ไชยสัตย์, ส. สกุลเชมฤทัย, ศ. ตั้ว, การเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับนาโน ที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [9] P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, W. Boontung, S. Promdsorn, S. Thipsit, Preparation and Characterization of Poly(divinylbenzene) Microcapsules Containing Octadecane, Materials Science and Applications in press.
- [10] A. Chaiyasat, P. Chaiyasat, S. Promdsorn, S. Thipsit, W. Boontung, Poly(divinylbenzene) Microcapsules Encapsulated Octadecane for Heat Storage Materials: Influence of Microcapsule Sizes and Monomer/Octadecane Ratios, Maejo Int. J. Sci. Technol. submitted.
- [11] P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, C. Waree, K. Songkhamrod, P. Sirithip, V. Voranuch, Preparation of Polydivinylbenzene/Natural Rubber Capsule Encapsulating Octadecane: Influence of Natural Rubber Molecular Weight and Content, eXPRESS Polymer Letters in press.
- [12] H. Zhang, X. Wang, Fabrication and performances of microencapsulated phase change materials based on n-octadecane core and resorcinol-modified melamine-formaldehyde shell, Colloid and Surface A 332 (2009) 129-138.
- [13] G. Fang, H. Li, F. Yang, X. Liu, S. Wu, Preparation and characterization of nano-encapsulated n-tetradecane as phase change material for thermal energy storage, Chem Eng J 153 (2009) 217-221.
- [14] X.X. Zhang, Y.F. Fan, X.M. Tao, K.L. Yick, Fabrication and properties of microcapsules and nanocapsules containing n-octadecane, Mater Chem Phys 88. (2004) 300-307.
- [15] S.K. Yadav, K.C. Khilar, A.K. Suresh, Release rates from semi-crystalline polymer microcapsules formed by interfacial polycondensation, J. Membrane Sci. 125 (1997) 213-218.
- [16] H. Zhang, X. Wang, Synthesis and properties of microencapsulated n-octadecane with polyurea shells containing different soft segments for heat energy storage and thermal regulation, Sol Energ Mat Sol C 93 (2009) 1366-1376.
- [17] A. Sari, C. Alkan, A. Karaipekli, Preparation, characterization and thermal properties of PMMA/n-heptadecane microcapsules as novel solid-liquid microPCM for thermal energy storage, Appl Energy 87 (2010) 1529-1534.
- [18] C. Li, Z. Mei, Q. Liu, J. Wang, J. Xu, D. Sun, Formation and properties of paraffin wax submicron emulsions prepared by the emulsion inversion point method, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 356 (2010) 71-77.
- [19] A. Sari, C. Alkan, A. Karaipekli, O. Uzun, Microencapsulated n-octacosane as phase change material for thermal energy storage, Sol Energy 83 (2009) 1757-1763.
- [20] M. Barari, R. Faridi-Majidi, M. Madani, N. Sharifi-Sanjani, M.A. Oghabian, Preparation of Nanocapsules via Emulsifier-Free Miniemulsion Polymerization, J. Nanoscience and nanotechnology 9 (2009) 4348-4352.
- [21] S. Cheng, Y. Guo, P.B. Zetterlund, Miniemulsion Polymerization Based on Low Energy Emulsification with Preservation of Initial Droplet Identity, Macromolecules 43 (2010) 7905-7907.

- [22] M.M. Farid, A.M. Khudhair, S.A.K. Razack, S. Al-Hallaj, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Convers. Manage.* 45 (2004) 1597–1615.
- [23] P. Zhang, Z.W. Ma, R.Z. Wang, An overview of phase change material slurries: MPCs and CHS, *Renew Sustain Energy Rev* 14 (2010) 598–614.
- [24] A.M. Borreguero, M. Carmona, M.L. Sánchez, J.L. Valverde, J.F. Rodríguez, 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, *Appl Thermal Eng* (2010) doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.1001.1032.
- [25] J.F. Su, L.X. Wang, L. Ren, Preparation and characterization of double-MF shell microPCMs used in building materials, *J. Appl. Polym. Sci.* 97 (2005) 1755–1762.
- [26] S. Peng, A. Fuchs, R.A. Wirtz, Polymeric phase change composites for thermal energy storage, *J. Appl. Polym. Sci.* 93 (2004) 1240–1251.
- [27] D.P. Covin, D.K. Cartwright, Microclimate environmental control on vegetation and seeds employing microencapsulated water and phase change materials and method US Patent, Delta Thermal Systems, Inc. (Wake County, NC) USA, 2000.
- [28] P. Ni, M. Zhang, N. Yan, Effect of operating variables and monomers on the formation of polyurea microcapsules *J. Membrane Sci.* 103 (1995) 51–55.
- [29] C.J. McDonald, M.J. Devon, Hollow latex particles: synthesis and applications, *Adv. Colloid Interface Sci.* 99 (2002) 181–213.
- [30] Y. Shin, D.-I. Yoo, K. Son, Development of thermoregulating textile materials with microencapsulated phase change materials (PCM). II. Preparation and application of PCM microcapsules, *J. Appl. Polym. Sci.* 96 (2005) 2005–2010.
- [31] X.X. Zhang, X.M. Tao, K.L. Yick, X. Wang, Structure and thermal stability of microencapsulated phase-change materials, *Colloid Polym Sci.* 282 (2004) 330–336.
- [32] G.B. Sukhorukov, D.G. Shchukin, W.-F. Dong, H. Möhwald, V.V. Lulevich, O.I. Vinogradova, Comparative Analysis of Hollow and Filled Polyelectrolyte Microcapsules Templated on Melamine Formaldehyde and Carbonate Cores, *Macromol. Chem. Phys.* 205 (2004) 530–535.
- [33] M.N.A. Hawlader, M.S. Uddin, M.M. Khin, Microencapsulated PCM thermal-energy storage system, *Appl Energy* 74 (2003) 195–202.
- [34] Y. Jiang, D. Wang, T. Zhao, Preparation, characterization, and prominent thermal stability of phase-change microcapsules with phenolic resin shell and n-hexadecane core, *J. Appl. Polym. Sci.* 104 (2007) 2799–2806.
- [35] P.J. Dowding, R. Atkin, B. Vincent, P. Bouillot, Oil Core/Polymer Shell Microcapsules by Internal Phase Separation from Emulsion Droplets. II: Controlling the Release Profile of Active Molecules, *Langmuir* 21 (2005) 5278–5284.
- [36] P.J. Dowding, R. Atkin, B. Vincent, P. Bouillot, Oil Core–Polymer Shell Microcapsules Prepared by Internal Phase Separation from Emulsion Droplets. I. Characterization and Release Rates for Microcapsules with Polystyrene Shells, *Langmuir* 20 (2004) 11374–11379.

- [37] M. Okubo, Y. Konishi, H. Minami, Production of hollow polymer particles by suspension polymerization Colloid Polym. Sci. 276 (1998) 638-642.
- [38] P. Chaiyasat, T. Suzuki, H. Minami, M. Okubo, Thermal properties of hexadecane encapsulated in poly(divinylbenzene) particles, J. Appl. Polym. Sci. 112 (2009) 3257-3266.
- [39] Y. Ogino, T. Suzuki, M. Okubo, Preparation of poly (divinylbenzene) particles with encapsulated hexadecane for heat storage application, Kobunshi Ronbunshu 64 (2007) 171-176.
- [40] M. Okubo, Y. Konishi, H. Minami, Production of hollow particles by suspension polymerization of divinylbenzene with nonsolvent, Progr. Colloid Polym. Sci. 124 (2003) 54-59.

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จดสิทธิบัตรหรืองานตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ รวมทั้งการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติที่เป็นที่ยอมรับในทางวิชาการ

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

สถาบันการศึกษาต่าง ๆ

บริษัทธุรกิจร่นา จำกัด

และ อุตสาหกรรมด้านวัสดุ พอลิเมอร์ การเคลือบ สิ่งทอ และพลังงาน

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

12.1. เผยแพร่ผลงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกหน่วยงาน เช่น สถานศึกษาที่มีการเปิดสอนในสาขา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และนาโนเทคโนโลยี

ระยะเวลา ภาคเรียนที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2557 และ 2558

สถานที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี

ผู้รับผิดชอบ ดร.ปริยาภรณ์ ไชยสัตย์ (หัวหน้าโครงการ)

ดร.อมร ไชยสัตย์ (ผู้วิจัยหลัก)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

12.2. เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วัสดุศาสตร์ นาโนเทคโนโลยี

13. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

13.1 เตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิมัลชันที่ใช้และไม่ใช้แรงเฉือนสูง โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากโครงการวิจัยก่อนหน้านี้ “การเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับนาโนที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน” และ “การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติ”

[illegible]

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย, โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

15.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว

15.1.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

15.1.2 ตู้อบสุญญากาศ

15.1.3 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

15.1.4 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

15.1.5 เครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC)

15.1.6 เครื่อง Fourier-transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

15.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องการเพิ่มเติม

15.2.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ (บางส่วน)

16. งบประมาณของโครงการวิจัย

16.1 รายละเอียดงบประมาณการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย จำแนกตามงบประมาณประเภทต่าง ๆ (ปีงบประมาณที่เสนอขอ)

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร	40,000
ค่าตอบแทนนักวิจัย	40,000
2. งบดำเนินงาน	360,000
2.1 ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ	342,000
2.1.1 ค่าตอบแทน เช่น ค่าอาหารทำนอเวลา ค่าตอบแทน ผู้ปฏิบัติงานให้ราชการ ค่าเบี้ยประชุมกรรมการ ฯลฯ	-
2.1.2 ค่าใช้สอย เช่น	107,000
1) ค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์	-
2) ค่าจ้างเหมาบริการ เช่น	
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย SEM (20 ตัวอย่าง อัตรา ตัวอย่างละ 1,000 บาท)	20,000
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย TEM (30 ตัวอย่าง อัตรา ตัวอย่างละ 1,000 บาท)	30,000
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย DLS (30 ตัวอย่าง อัตรา ตัวอย่างละ 1,000 บาท)	30,000
3) ค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิชาการ การจดสิทธิบัตร และการ ตีพิมพ์ในวารสารทั้งในและต่างประเทศ	15,000
4) ค่าใช้สอยอื่น ๆ (ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน ค่าถ่ายเอกสาร)	12,000
2.1.3 ค่าวัสดุ เช่น	235,000
1) วัสดุสำนักงาน	10,000
2) วัสดุ สารเคมี สารมาตรฐานต่าง ๆ เช่น มอนอเมอร์ ตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา ตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิว วัสดุเก็บความร้อน	100,000
3) อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น ชุดสังเคราะห์พอลิเมอร์ ขวดใส่สาร เทอร์โมมิเตอร์ ไขว้คกวนสาร	125,000
2.2 ค่าสาธารณูปโภค (5%) เช่น	18,000
ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าโทรศัพท์ ค่าไปรษณีย์โทรเลข ค่าบริการด้านสื่อสารและโทรคมนาคม	
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	400,000

หมายเหตุ * ค่าใช้จ่ายทั้งหมดขอถัวเฉลี่ยจ่ายทุกรายการ

16.2 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณต่าง ๆ ที่เสนอขอในแต่ละปี (กรณีเป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง)

รายการ	จำนวนเงิน	
	ปีที่ 1 พ.ศ. 2556	ปีที่ 2 พ.ศ. 2557
1. งบบุคลากร	40,000	30,000
ค่าตอบแทนนักวิจัย	40,000	30,000
2. งบดำเนินงาน	360,000	270,000
2.1 ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ	342,000	256,500
2.1.1 ค่าตอบแทน เช่น ค่าอาหารทำการนอกเวลา ค่าตอบแทน ผู้ปฏิบัติงานให้ราชการ ค่าเบี้ยประชุมกรรมการ ฯลฯ	-	-
2.1.4 ค่าใช้สอย เช่น	107,000	90,000
1) ค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์	-	-
2) ค่าจ้างเหมาบริการ เช่น		
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย ZEM	20,000	20,000
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย TEM	30,000	20,000
- ค่าทดสอบตัวอย่างโดย DLS	30,000	20,000
3) ค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิชาการ การจดสิทธิบัตร และการ ตีพิมพ์ในวารสารทั้งในและต่างประเทศ	15,000	20,000
4) ค่าใช้สอยอื่น ๆ (ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน ค่าถ่ายเอกสาร)	12,000	10,000
2.1.5 ค่าวัสดุ เช่น	235,000	166,500
1) วัสดุสำนักงาน	10,000	16,500
2) วัสดุ สารเคมี สารมาตรฐานต่าง ๆ	100,000	80,000
3) อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ	125,000	70,000
2.2 ค่าสาธารณูปโภค (5%) เช่น	18,000	13,500
ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าโทรศัพท์ ค่าไปรษณีย์โทรเลข ค่าบริการด้านสื่อสารและโทรคมนาคม	-	-
	400,000	300,000
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	700,000	

หมายเหตุ * ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของถั่วเฉลี่ยจ่ายทุกรายการ

17. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ผลสำเร็จเบื้องต้น (Preliminary results, P)

17.1 สามารถพัฒนาวิธีการเตรียมแคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนในระดับนาโนเมตร ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเตรียมแคปซูลต่อไป

17.2 จดสิทธิบัตรหรืองานตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ รวมทั้งการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติที่เป็นที่ยอมรับในทางวิชาการ

18. โครงการวิจัยต่อเนื่องปีที่ 2 ขึ้นไป

- 18.1 คำรับรองจากหัวหน้าโครงการวิจัยว่าโครงการวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณจริงใน
ปีงบประมาณที่ผ่านมา
- 18.2 ระบุว่าโครงการวิจัยนี้อยู่ระหว่างเสนอขอของงบประมาณจากแหล่งเงินทุนอื่น หรือเป็น
การวิจัยต่อยอดจากโครงการวิจัยอื่น (ถ้ามี)
- 18.3 รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย (แบบ ต-1ข/ด)

19. คำชี้แจงอื่น ๆ (ถ้ามี)

20. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย พร้อมวัน เดือน ปี

ลงชื่อ.....หัวหน้าโครงการวิจัย
(ดร. ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์)
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2555

ลงชื่อ.....หัวหน้าโครงการวิจัย
(ดร. อมร ไชยสัตย์)
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2555

ลงชื่อ.....ผู้ร่วมวิจัย
(ดร. วรยุทธ สะโคมแสง)
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2555

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นางปรียาภรณ์ ไชยสัตย์
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Preeyaporn Chaiyasat
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 8205 00059 49 4
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ 02-549-3529 โทรสาร 02-549-3526 E-mail address p_chaiyasat@yahoo.com;
p_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th
- ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2551	Ph.D.	Materials Chemistry and Engineering	Kobe University	ญี่ปุ่น
2544	M.Sc	Chemistry	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย
2540	B.Sc.	Chemistry	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Preparation of polymer microcapsule and microspheres; Radical polymerization in dispersed systems; Preparation of polymers for biomedical applications
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ
ในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ
ข้อเสนอการวิจัย
 - ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย
-
 - หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย
 - การผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)
 - การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2553
 - การปรับปรุงสมบัติยางธรรมชาติโดยการจับตัวกับอนุภาคนาโนไคพอลิเมอร์
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2554-2555
 - การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนสำหรับผ้าที่ปรับสภาพความร้อนได้
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2555

5) การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการ สังเคราะห์แบบมินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2556-2557

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1) การผลิตไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

2) การผลิตแว็กซ์เพื่อใช้เป็นแม่แบบในอุตสาหกรรมอัญมณี

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

3) การตรวจสอบสารปนเปื้อนบางตัวที่ตกค้างในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ผู้ร่วมวิจัย)

4) การปนเปื้อนของสารปราบศัตรูพืชในแหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

5) การเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับนาโนที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

6) การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

7) การสังเคราะห์ เอ-บี บล็อกโคพอลิเมอร์แบบร่างแหเพื่อใช้เป็นเมมเบรนสำหรับเครื่องแยก

สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแบบซึมผ่าน-ไหลตัดกัน (ผู้ร่วมวิจัย)

8) การปรับปรุงสมบัติยางธรรมชาติโดยการจับตัวกับอนุภาคนาโนโคพอลิเมอร์

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

9) การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนสำหรับผ้าที่ปรับสภาพความร้อนได้

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) ปีที่ 1

Publications

1) **P. Chaiyasat**, Y. Ogino, T. Suzuki, H. Minami, M. Okubo, Preparation of divinylbenzene copolymer particles with encapsulated hexadecane for heat storage application, *Colloid Polym. Sci.*, **286**, 217-223 (2008).

2) **P. Chaiyasat**, Y. Ogino, T. Suzuki, M. Okubo, Influence of water domain formed in hexadecane core inside cross-linked capsule particle on thermal properties for heat storage application, *Colloid Polym. Sci.*, **286**, 753-759 (2008).

3) **P. Chaiyasat**, T. Suzuki, H. Minami, M. Okubo, Thermal properties of hexadecane encapsulated in poly(divinylbenzene) particles, *J. Applied Polym. Sci.*, **112**, 3257-3266 (2009).

4) **P. Chaiyasat**, A. Chaiyasat, W. Boontung, S.Promdsorn, S. Thipsit, Preparation and Characterization of Poly(divinylbenzene) Microcapsules Containing Octadecane, *Materials Science and Applications*, Vol. 2, No.8, 2011, 1007-1013.

- 5) **P. Chaiyasat**, A. Chaiyasat, C. Waree, K. Songkhamrod, P. Sirithip and V. Voranuch, Preparation of Polydivinylbenzene/Natural Rubber Capsule Encapsulating Octadecane: Influence of Natural Rubber Molecular Weight and Content, *eXPRESS Polymer Letters*, Vol. 6, No.1, 2012, 70-77.
- 6) A. Chaiyasat, C. Waree, K. Songkhamrod, P. Sirithip, V. Voranuch, **P. Chaiyasat**, Preparation and characterization of nanocomposites of natural rubber with polystyrene and styrene-methacrylic acid copolymer nanoparticles, *eXPRESS Polymer Letters*, Vol. 6, No.6, 2012, 511-518.
- 7) W. Boontung, S. Moonmangmee, A. Chaiyasat, **P. Chaiyasat**: Preparation of Poly(l-lactic acid) Capsule Encapsulating Fertilizer, *Advanced Materials Research*, **506** (2012) 303-306.
- 8) S. Promdsorn, **P. Chaiyasat**, A. Chaiyasat: Heterocoagulation of Natural Rubber Latex and Poly[styrene-co-2-(methacryloyloxy)ethyltrimethylammonium chloride] nanoparticles, *Advanced Materials Research*, **506** (2012) 299-302.
- 9) D. Supatimusro, S. Promdsorn, S. Thipsit, W. Boontung, **P. Chaiyasat**, A. Chaiyasat, Poly(divinylbenzene) Microencapsulated Octadecane for Use as a Heat Storage Material: Influences of Microcapsule Size and Monomer/Octadecane Ratio, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **51** (2012) 1167-1172.
- 10) **P. Chaiyasat**, Md. Z. Islam, A. Chaiyasat, Preparation of poly(divinylbenzene) microencapsulated octadecane by microsuspension polymerization: oil droplets generated by phase inversion emulsification. *RSC Advances*, **3** (2013) 10202-10207.

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัย
 ล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลระดับนาโนเมตรที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนด้วยกระบวนการ สังเคราะห์แบบ
 มินิอิมัลชันที่ไม่ใช้แรงเฉือนสูงสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

ล่วงแล้วประมาณร้อยละ 70 อยู่ระหว่างการทดลองขั้นสุดท้ายและสรุปผลการวิจัยเพื่อเขียนรายงาน

2. ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย อมร ไชยสัตย์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Amorn Chaiyasat
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 3404 00316 18 0
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
12110 โทรศัพท์ 02-549-3529 โทรสาร 02-549-3526 E-mail address
a_chaiyasat@yahoo.com;
a_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th
- ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2551	Ph.D.	Materials Chemistry and Engineering	Kobe University	ญี่ปุ่น
2543	M.Sc	Chemistry	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย
2539	B.Sc.	Chemistry	ม.มหาสารคาม	ไทย

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Radical polymerization in dispersed systems; Controlled/living radical polymerization;
Preparation of polymer particles for analytical chemistry applications
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ
ในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

- การตรวจสอบสารปนเปื้อนบางตัวที่ตกค้างในเครื่องต้ม
แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- การเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับนาโนที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- การสังเคราะห์ เอ-บี บล็อกโคพอลิเมอร์แบบร่างแหเพื่อใช้เป็นเมมเบรนสำหรับเครื่องแยก
สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแบบซึมผ่าน-ไหลตัดกัน
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนเพื่อใช้ในงานสิ่งทอ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2555

5) การเตรียมอนุภาคโคพอลิเมอร์ระดับนาโนเมตรโดยใช้มอนอเมอร์ที่มาจากสารมวลชีวภาพ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) 2556-2557

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1) การปนเปื้อนของสารปราบศัตรูพืชในแหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

2) การตรวจสอบสารปนเปื้อนบางตัวที่ตกค้างในเครื่องดื่ม

แหล่งทุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (หัวหน้าโครงการ)

3) การเตรียมแคปซูลพอลิเมอร์ระดับนาโนที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อน (หัวหน้าโครงการ)

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

4) การสังเคราะห์ เอ-บี บล็อกโคพอลิเมอร์แบบร่างแหเพื่อใช้เป็นเมมเบรนสำหรับเครื่องแยกสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแบบซึมผ่าน-ไหลตัดกัน (หัวหน้าโครงการ)

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

5) การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

6) การปรับปรุงสมบัติยางธรรมชาติโดยการจับตัวกับอนุภาคนาโนโคพอลิเมอร์

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

7) การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนสำหรับผ้าที่ปรับสภาพความร้อนได้

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

8) การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุเก็บความร้อนเพื่อใช้ในงานสิ่งทอ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

Publications

14) P. Chaiyasat, Md. Z. Islam, A. Chaiyasat, Preparation of poly(divinylbenzene) microencapsulated octadecane by microsuspension polymerization: oil droplets generated by phase inversion emulsification. *RSC Advances*, **3** (2013) 10202-10207.

13) D. Supatimusro, S. Promdsorn, S. Thipsit, W. Boontung, P. Chaiyasat, A. Chaiyasat, Poly(divinylbenzene) Microencapsulated Octadecane for Use as a Heat Storage Material: Influences of Microcapsule Size and Monomer/Octadecane Ratio, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **51** (2012) 1167-1172.

12) W. Boontung, S. Moonmangmee, A. Chaiyasat, P. Chaiyasat: Preparation of Poly(l-lactic acid) Capsule Encapsulating Fertilizer, *Advanced Materials Research*, **506** (2012) 303-306.

11) S. Promdsorn, P. Chaiyasat, A. Chaiyasat: Heterocoagulation of Natural Rubber Latex and Poly[styrene-co-2-(methacryloyloxy)ethyltrimethylammonium chloride] nanoparticles, *Advanced Materials Research*, **506** (2012) 299-302.

10) A. Chaiyasat, C. Waree, K. Songkhamrod, P. Sirithip, V. Voranuch, P. Chaiyasat, Preparation and characterization of nanocomposites of natural rubber with polystyrene and styrene-methacrylic acid copolymer nanoparticles, *eXPRESS Polymer Letters*, **6** (2012) 511-518.

- 9) P. Chaiyasat, **A. Chaiyasat**, C. Waree, K. Songkhamrod, P. Sirithip and V. Voranuch: Preparation of Polydivinylbenzene/Natural Rubber Capsule Encapsulating Octadecane: Influence of Natural Rubber Molecular Weight and Content, *eXPRESS Polymer Letters*, **6** (2012) 70-77.
- 8) P. Chaiyasat, **A. Chaiyasat**, W. Boontung, S.Promdsorn, S. Thipsit: Preparation and Characterization of Poly(divinylbenzene) Microcapsules Containing Octadecane, *Materials Science and Applications*, **2** (2011) 1007-1013.
- 7) Y. Kitayama, **A. Chaiyasat**, H. Minami, M. Okubo: Emulsifier-Free, Organotellurium-Mediated Living Radical Emulsion Polymerization of Styrene: Polymerization Loci, *Macromolecules*, **43** (2010) 7465-7461.
- 6) Y. Kitayama, **A. Chaiyasat**, M. Okubo: Emulsifier-free, organotellurium-mediated living radical emulsion polymerization of styrene, *Macromol. Symp.*, **288** (2010) 25-32.
- 5) H. Kobayashi, **A. Chaiyasat**, Y. Oshima, T. Suzuki, M. Okubo: Incorporation of nonionic emulsifier inside carboxylated polymer particles during emulsion copolymerization: influence of methacrylic acid content, *Langmuir*, **25** (2009) 101.
- 4) **A. Chaiyasat**, M. Yamada, H. Kobayashi, T. Suzuki, M. Okubo: Incorporation of nonionic emulsifiers inside styrene-methacrylic acid copolymer particles prepared by emulsion copolymerization, *Polymer*, **49** (2008) 3042.
- 3) M. Okubo, **A. Chaiyasat**, M. Yamada, T. Suzuki, H. Kobayashi: Influence of hydrophilic-lipophilic balance of nonionic emulsifiers on emulsion copolymerization of styrene and methacrylic acid, *Colloid Polym. Sci.*, **285** (2007) 1755.
- 2) **A. Chaiyasat**, H. Kobayashi, M. Okubo: Incorporation of nonionic emulsifier inside methacrylic polymer particles in emulsion polymerization, *Colloid Polym. Sci.*, **285** (2007) 557.
- 1) P. Siwarasak, W. Wiriwuttikorn, **A. Chaiyasat**: Isoflavones extraction from defatted soybean with ethanol (in Thai), *J. Research and Training: Rajamangala Institute of Technology*, **5** (2001) 53.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย

- 1) การเตรียมอนุภาคโคพอลิเมอร์ระดับนาโนเมตรโดยใช้มอนอเมอร์ที่มาจากสารมวลชีวภาพ แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการวิจัย) หลัวงแล้วประมาณร้อยละ 80 อยู่ระหว่างการสรุปผลการวิจัยเพื่อเขียนรายงาน

3. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย วรายุทธ สะโจมแสง
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Warayuth Sajomsang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7401 00700 134
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย 1 ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

130 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนน พหลโยธิน ตำบล คลองหนึ่ง อำเภอ คลองหลวง
 จังหวัด ปทุมธานี 12120
 โทรศัพท์ 02-5647100 ต่อ 6558 โทรศัพท์เคลื่อนที่ 0839730228
 โทรสาร 02-5646981 e-mail: warayuth@nanotec.or.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2550	Ph.D.	Organic Chemistry	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2545	M.Sc	Organic Chemistry	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย
2541	B.Sc.	Chemistry	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Biomaterials for drug/gene delivery
- Polymer synthesis and structural studies
- Polymer drug conjugate (anticancer)
- Polymer self-assembly and polymeric micelle
- Preparation of polymeric nanoparticles

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

1) พัฒนาตัวพาระบบนำส่งยีนชนิดใหม่โดยใช้อนุพันธ์ไคโตแซนชนิดละลายน้ำดี

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)

2) Synthesis of Novel Water-Soluble Chitosan Derivatives as materials for DNA Delivery System

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการ)

3) Development of fluorescent chitosan and its derivatives as nanocarriers for studying the mechanism of gene delivery

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการ)

4) Encapsulation of bioactives using cyclodextrin and modified cyclodextrin for buccal drug delivery

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)

5) Inhibition effect of chitosan encapsulated anti-HSPG on metastasis and implantation of melanoma cells in animal model

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1) พัฒนาคาร์บอไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลสชนิดใหม่โดยใช้อนุพันธ์โคไคโตนชนิดละลายน้ำดี

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)

2) Synthesis of Novel Water-Soluble Chitosan Derivatives as materials for DNA Delivery System

แหล่งทุน: ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการ)

National patents

1. ปราณีต โอปะณะโสภิต, อรุชา รักษัตานนท์ชัย, วรายุทธ สะโจมแสง, มาลีนาฏ เพชรแสงใส ไตรเมทิลเลท เอ็น-(4-เอ็น, เอ็น-ไดเมทิลอะมิโนเบนซิล) โคไคโตนและกรรมวิธีการสังเคราะห์สารดังกล่าว สิทธิบัตรประเทศไทย เลขที่คำขอ 0701003090 วันที่ยื่นขอ 22 มิถุนายน 2550
2. อรุชา รักษัตานนท์ชัย, อิศรา สระมาลา, ญัฏฐพร พิมพะ, อภินันท์ สุทธิธรรวัช, วรายุทธ สะโจมแสง, สมศักดิ์ แซ่ชู, อรอนงค์ หนูชูเชื้อ, เสาวลักษณ์ เฉลียวเลิศอำพล การประดิษฐ์อนุพันธ์ควอเตอร์ไนส์ของเบต้า-ไซโคลเด็กทรีนโคไคโตนฯ สิทธิบัตรประเทศไทย เลขที่คำขอ 0901002490 วันที่ยื่นขอ 4 มิถุนายน 2552
3. วรายุทธ สะโจมแสง, ภัทรพร โกนิล กรรมวิธีการเตรียมพอลิเมอร์กานาโนพาร์ทิเคิลของอนุพันธ์ 2-เอ็น-3,6-โอ-ไตรซัคซินิล โคไคโตน ด้วยวิธีไดอะไลซิส เลขที่คำขอ 1001001132 วันที่ยื่นขอ 22 มิถุนายน 2553

International papers

1. Gonil P, Sajomsang W^{*}, Rungsardthong Ruktanonchai U, Pimpha N, Sramala I, Nuchuchua O, Saesoo S, Chaleawlerumpon S, Puttipatkhachorn S, Novel quaternized chitosan containing β -cyclodextrin moiety: Synthesis, characterization and antimicrobial activity, *Carbohydrate Polymers*, 2010, Accepted.
2. Kowapradit J, Opanasopit P^{*}, Ngawhirunpat T, Rojanarata T, Sajomsang W. Structure-activity relationships of methylated *N*-aryl chitosan derivatives for enhancing paracellular permeability across Caco-2 cells, *Carbohydrate Polymers*, 2010, In Press.
3. Sajomsang W^{*}, Rungsardthong Ruktanonchai U, Gonil P, Warin C, Quaternization of *N*-3-pyridylmethyl chitosan derivatives: Effects of the degree of quaternization, molecular weight and ratio of *N*-methylpyridinium and *N,N,N*-trimethyl ammonium moieties on bactericidal activity, *Carbohydrate Polymers*, 2010, In Press.
4. Kittitheeranan P, Sanchavanakit N, Sajomsang W, Dubas S. T^{*}, Loading of curcumin in polyelectrolyte multilayers, *Langmuir Letter*, 2010, **26 (10)**: 6869–6873.
5. Kowapradit J, Opanasopit P^{*}, Ngawhirunpat T, Apirakaramwong A, Rojanarata T, Ruktanonchai U, Sajomsang W, *In vitro* Permeability Enhancement in Intestinal Epithelial Cells (Caco-2) Monolayer of Water Soluble Quaternary Ammonium Chitosan Derivatives,

- American Association of Pharmaceutical Scientists, American Association of Pharmaceutical Scientists (AAPS Pharm Sci Tech)*, 2010, **11(2)**: 497–508.
6. Kowapradit J, Opanasopit P*, Ngawhirunpat T, Rojanarata T, Ruktanonchai U, Sajomsang W, [Methylated N-\(4-N,N-dimethylaminocinnamyl\) chitosan enhances paracellular permeability across Caco-2 cells](#). *Drug Delivery*, 2010, **17(5)**:301–312.
 7. Sajomsang W*. Synthetic methods and applications of chitosan containing pyridylmethyl moiety and its quaternized derivatives: A review, *Carbohydrate Polymers*, 2010, **80**:631–646.
 8. Sajomsang W*, Gonil P. Preparation and characterization of α -chitin from cicada sloughs, *Materials Science and Engineering: C*, 2010, **30(3)**:357–363.
 9. Rakkhithawatthana V, Sanitrum P, Sajomsang W, Na Ubon P, Tencomnao T, Saengkrit N*. Investigation of gene transferring efficacy through nano-polyplex consisting of methylated N-(4-pyridinylmethyl) chitosan chloride and poly (ethylenimine) in human cell lines, *Carbohydrate Polymers*, 2010, **80(1)**:276–284.
 10. Sajomsang W, Tantayanon S*, Tangpasuthadol V, Daly WH. Quaternization of N-aryl chitosan derivatives: Synthesis, characterization and antibacterial activity, *Carbohydrate Research*, 2009, **344(18)**:2502–2511.
 11. Sajomsang W*, Ruktanonchai U, Gonil P, Nuchuchua O. Mucoadhesive property and biocompatibility of methylated N-aryl chitosan derivatives, *Carbohydrate Polymers*, 2009, **78(4)**:945–952.
 12. Sajomsang W*, Ruktanonchai U, Gonil P, Mayen V, Opanasopit P. Methylated N-aryl chitosan derivative/DNA complex nanoparticles for gene delivery: Synthesis and structure activity relationships, *Carbohydrate Polymers*, 2009, **78(4)**:743–752.
 13. Sajomsang W*, Gonil P, Saesoo S. Synthesis and antibacterial activity of methylated N-(4-N,N-dimethylaminocinnamyl) chitosan chloride, *European Polymer Journal*, 2009, **45(8)**:2319–2328.
 14. Sajomsang W*, Gonil P, Tantayanon S. Antibacterial Activity of Quaternary Ammonium Chitosan Containing Mono or Disaccharide Moieties: Preparation and Characterization, *International Journal of Biological Macromolecule*, 2009, **44(5)**: 419–427.
 15. Opanasopit P*, Petchsangsa M, Rojanarata T, Ngawhirunpat T, Sajomsang W, Ruktanonchai U. Methylated N-(4-N,N-dimethylaminobenzyl) chitosan as effective gene carrier: Effect of degree of substitution. *Carbohydrate Polymers*, 2009, **75(1)**: 143–149.
 16. Kowapradit J, Opanasopit P*, Ngawhiranpat T, Apirakaramwong A, Rojanarata T, Ruktanonchai U, Sajomsang W. Methylated N-(4-N,N-dimethylaminobenzyl) chitosan, a novel chitosan derivative, enhances paracellular permeability across intestinal

- epithelial cells (Caco-2). *American Association of Pharmaceutical Scientists, American Association of Pharmaceutical Scientists (AAPS Pharm Sci Tech)*, 2008, **9(4)**: 1143-1152.
17. Opanasopit P*, Sajomsang W, Ruktanonchai U, Mayen V, Ngawhirunpat T, Rojanarata T. Methylated *N*-(4-pyridinylmethyl) chitosan as a novel effective safe gene carrier. *International Journal of Pharmaceutics*, 2008, **364 (1)**: 127-134.
 18. Rojanarata T, Petchsangsa M, Opanasopit P*, Ngawhirunpat T, Apirakaramwong, A, Ruktanonchai U, Sajomsang W, Tantayanon S. Methylated *N*-(4-*N,N*-dimethylaminobenzyl) chitosan for a novel effective gene carrier. *European Journal of Pharmaceutical Science*, 2008, **70(1)**: 207-214.
 19. Sajomsang W, Tantayanon S*, Tangpasuthadol V, Thatte M, Daly WH, Synthesis and Characterization of *N*-Aryl Chitosan Derivatives, *International Journal of Biological Macromolecule*, 2008, **43(2)**: 79-87.
 20. Sajomsang W, Tantayanon S*, Tangpasuthadol V, Daly WH. Synthesis of Methylated Chitosan Containing Aromatic Moieties: Chemoselectivity and Effect on Molecular Weight, *Carbohydrate Polymers*, 2008, **72(4)**: 740-750.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย

1) การเพิ่มประสิทธิภาพของเคอร์คูมินในการบำบัดโรคมะเร็งด้วยระบบนำส่งนาโน

แหล่งทุน: กำลังจะขอทุนจาก สกว (ผู้วิจัยหลัก)