

การพัฒนาผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม

โฟโตแคตตาลิสต์

DEVELOPMENT OF SELF-CLEANING CLOTH WITH
PHOTOCATALYST COMPOSITE POLYMER PARTICLE

ชลธิชา กลับชม

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม

โฟโตแคตตาลิสต์

ชลธิชา กลับชม

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม
โฟโตแคตตาลิสต์
Development of Self-Cleaning Cloth with Photocatalyst
Composite Polymer Particle

ชื่อ - นามสกุล นางสาวชลธิชา กลั้มขม

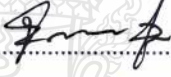
สาขาวิชา เคมีประยุกต์


อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.


ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


 ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทิกา ชูโชติรส, Ph.D.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิงห์โต สุกข์เข็มฤทธิ์, Ph.D.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

 คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิพัทธ์ จงสวัสดิ์, ปร.ด.)

วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม โฟโตแคตตาลิสต์
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวชลธิชา กลั้วชม
สาขาวิชา	เคมีประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัตย์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่บรรจุอนุภาคบิสมีทวานาเดทผ่านการสังเคราะห์โยกย้ายไอโอดีนแขวนลอยไมโครเอมัลชัน ไอทีพีสำหรับการเคลือบผ้าเพื่อเป็นผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้

ขั้นแรกทำการเตรียมอนุภาคบิสมีทวานาเดท ผ่านวิธีสารละลายคิเลตโดยสารละลายตั้งต้นของบิสมีท(III) และวานาเดท (V) แคตไอออน มีความเสถียรด้วยลิแกนด์กรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะซิติก โดยอนุภาคบิสมีทวานาเดทจะเตรียมได้หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในการที่จะกระจายอนุภาคบิสมีทวานาเดทได้ดีในวัฏภาคน้ำมัน (มอนอเมอร์) ในเอมัลชันไอทีพีผิวของอนุภาคบิสมีทวานาเดทจะถูกดัดแปลงให้มีผิวไม่ชอบน้ำด้วยการเคลือบกรดโอเลอิกเป็น โอ-บิสมีทวานาเดท โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกักเก็บ โอ-บิสมีทวานาเดท ($\geq 50\%$) ในอนุภาคพอลิ (เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน) (พี(เอ็มเอ็มเอ-ดีวีบี)/โอ-บิสมีทวานาเดท) ผสม ซึ่งสูงกว่าการกักเก็บอนุภาคบิสมีทวานาเดทบริสุทธิ์ ($\approx 20\%$) ในการใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอล 30 ไดพอลิไฮดรอกซีสเตียเรต (ดีพีเอส) เป็นสารสร้างรูพรุนพบว่าอนุภาครูพรุนของ พี(เอ็มเอ็มเอ-ดีวีบี)/โอ-บิสมีทวานาเดท ยังคงรูปร่างทรงกลมเมื่อใช้ดีพีเอส 8% ของอนุภาค นอกจากนี้การเพิ่มความชอบน้ำของเปลือก โดยการเติม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (เอชอีเอ็มเอ) ลงในวัฏภาคน้ำมันของ เอ็มเอส-ไอทีพี อนุภาค พี(เอ็มเอ็มเอ-ดีวีบี-เอชอีเอ็มเอ)/โอ-บิสมีทวานาเดทแสดงอัตราการสลายตัวของเมทิลีนบลู (เอ็มบี) ภายใต้แสงที่ตามองเห็นสำหรับ 1 ชั่วโมง (24 มิลลิกรัม/กรัมบิสมีทวานาเดท หรือ 96% การสลายตัวเอ็มบี) สูงกว่าการใช้บิสมีทวานาเดทบริสุทธิ์ (13 มิลลิกรัมเอ็มบี/กรัมบิสมีทวานาเดท หรือ 59%การสลายตัวเอ็มบี) ของอนุภาคบิสมีทวานาเดท

นอกจากนี้ผ้าที่เคลือบผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคคาร์บอนของพี(เอ็มเอ็มเอ-ดีวีบี-เอชอีเอ็มเอ)/ไอ-บิสมาทวานาเดทมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : อนุภาคบิสมาทวานาเดท การสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอพลิเมอไรเซชัน ผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้



Thesis Title	Development of Self-Cleaning Cloth with Photocatalyst Composite Polymer Particle
Name – Surname	Miss Chonticha Klubchom
Program	Applied Chemistry
Thesis Advisor	Assistant Professor Amorn Chaiyasat, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assistant Professor Preeyaporn Chaiyasat, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

The objective of this research was to prepare composite polymer particles containing bismuth vanadate (BiVO_4) particles through micro suspension iodine transfer polymerization (*msITP*) for fabric coating as a self-cleaning fabric.

First, BiVO_4 particles were prepared via an aqueous chelating method with the stable precursor solutions of Bi^{3+} and V^{5+} with ethylenediaminetetraacetic acid ligand obtained. After calcination at $500\text{ }^\circ\text{C}$, the BiVO_4 particles were obtained. To disperse them well in an oil (monomer) phase in *ms ITP*, the BiVO_4 particle surface was modified by coating with oleic acid as *o-BiVO*₄ to present a hydrophobic surface. It was found that the encapsulation efficiency of the *o-BiVO*₄ ($\geq 50\%$) in composite poly (methylmethacrylate-divinylbenzene) (P[MMA-DVB]/*o-BiVO*₄) particles was higher than that of the pristine BiVO_4 particles ($\approx 20\%$). When polyethylene glycol 30 dipolyhydroxystearate (DPHS) was used as a porogen, porous P(MMA-DVB)/*o-BiVO*₄ particles still maintained their spherical shape with the DPHS of 8% of the particle. Furthermore, when being added with 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) in the oil phase of *ms ITP* to increase the hydrophilic polymer shell, the P(MMA-DVB-HEMA)/*o-BiVO*₄ particles showed a higher methylene blue (MB) degradation rate under visible light for one hour (24 mg MB/g BiVO_4 or 96% MB degradation) than that (13 mg MB/g BiVO_4 or 59% MB degradation) of the pristine BiVO_4 .

Moreover, the fabric coated with porous P(MMA-DVB-HEMA)/*o*-BiVO₄ particles showed a satisfactory self-cleaning property.

Keywords: BiVO₄ particle, micro suspension iodine transfer polymerization (*msITP*), self-cleaning fabric



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร. อมร ไชยสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.จันทิกา ชูโชติรส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผศ.ดร. สิงห์โต สกุลเขมฤทัย กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อมร ไชยสัตย์และผศ.ดร. ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์คอลลอยด์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ และโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมที่สนับสนุนทุนการศึกษาทำให้สำเร็จลุล่วงได้ดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้อำนาจใจเสมอมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยจนกระทั่งมีวันนี้และขอบคุณเพื่อนๆ กลุ่มพอลิเมอร์คอลลอยด์ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจจนประสบผลสำเร็จตามที่ได้คาดหวังไว้

ชลธิชา กลับชม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(11)
สารบัญภาพ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	19
1.1 ที่มาละปัญหา.....	19
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	21
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	21
1.4 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย.....	21
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	23
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.1 วัสดุพอลิเมอร์ไฮบริด.....	24
2.1.1 การจำแนกประเภทพอลิเมอร์ไฮบริดทางชีวการแพทย์.....	25
2.2 บิสมัทวานาเดท.....	28
2.2.1 ลักษณะทั่วไป.....	28
2.2.2 การเตรียมผงบิสมัทวานาเดท.....	29
2.3 กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ไมโครเอนแคปซูเลชัน.....	32
2.5 กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แขวนลอย.....	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	37
3.1.1 สารเคมี.....	37
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	39
3.2 แผนผังการทดลอง.....	41
3.3 การทดลอง.....	41
3.3.1 การเตรียมอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	41
3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	43
3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	46
3.3.4 การทดลองเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองต้นแบบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	55
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	59
4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	59
4.2 ผลการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	61
4.2.1 ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท.....	61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	65
4.3.1 ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานา- เดท.....	68
4.3.2 ผลของการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่มีรูพรุน.....	77
4.4 ผลของการเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองต้นแบบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาค บิสมัทวานาเดท.....	84
4.4.1 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย.....	84
4.4.2 การเคลือบผ้าด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	93
ภาคผนวก.....	107
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงาน.....	108
ประวัติผู้เขียน.....	134

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	สภาวะการเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	41
ตารางที่ 3.2	การศึกษาการทำพาร์ทิชันนิง (partitioning method) ในอัตราส่วนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกและสารคู่ควบไซเลน.....	43
ตารางที่ 3.3	สภาวะในการศึกษาปริมาณของอนุภาคบิสมัทวานาเดทในวัฏภาคมอนอเมอร์.....	45
ตารางที่ 3.4	สภาวะการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมอร์ไรเซชัน.....	47
ตารางที่ 3.5	สภาวะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิกด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมอร์ไรเซชัน.....	49
ตารางที่ 3.6	สภาวะในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทไว้ภายในด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุมูลอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน.....	51
ตารางที่ 3.7	สภาวะในการเตรียมผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมโดยใช้นาโนพอลิยูริเทนเป็นสารตัวเชื่อม.....	56
ตารางที่ 4.1	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ เปอร์เซ็นต์และขนาดอนุภาคในการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำของอนุภาคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	66
ตารางที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ เปอร์เซ็นต์การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำ เปอร์เซ็นต์การบรรจุและประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	78
ตารางที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การเคลือบติดของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบอยู่บนผ้า.....	87

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กลไกการกำจัดสีย้อมของการแยกประจุและกระบวนการโฟโตแคตตาไลติกของ BiVO_4 ภายใต้แสงช่วงตามองเห็น.....	19
ภาพที่ 2.1 วัสดุพอลิเมอร์ไฮบริดต่าง ๆ.....	23
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของบิสมัทวานาเดท.....	27
ภาพที่ 2.3 กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก.....	30
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครแคปซูล (microcapsule).....	31
ภาพที่ 2.5 การเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย...32	
ภาพที่ 3.1 กลไกการเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	41
ภาพที่ 3.2 โครงสร้างทางเคมีของกรดโอเล็ก (a) และ ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต (b).....	44
ภาพที่ 3.3 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดโอเล็ก.....	44
ภาพที่ 3.4 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	44
ภาพที่ 3.5 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลเมทาคริเลต (a) เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต (b) 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (c) ไดไวนิลเบนซีน (d) เมทิลอะคริเลต (e).....	46
ภาพที่ 3.6 สภาวะการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทไว้ภายในด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุมูลอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน.....	48
ภาพที่ 3.7 โครงสร้างทางเคมีของ พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a) เฮกเซน (b) และโทลูอีน(c).50	
ภาพที่ 3.8 การเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทไว้ภายในด้วยกลไกการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุมูลอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน.....	51
ภาพที่ 3.9 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย.....	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.10 กระบวนการ จุ่ม-อัด-อบแห้ง (Dip-Pad-Cure).....	56
ภาพที่ 4.1 แสดงสารละลายบิสมัทวานาเดท (a) และ อนุภาคบิสมัทวานาเดทหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (b).....	58
ภาพที่ 4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (a)และ DLS ฮิสโทแกรม (b) ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	59
ภาพที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท.....	60
ภาพที่ 4.4 สองวัฏภาคของวัฏภาคมอนอเมอร์และวัฏภาคน้ำที่มีการกระจายตัวของบิสมัทวานาเดทที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วอัตราส่วนระหว่างบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:1 (a), 1:2 (b) และ 1:4 (c).....	61
ภาพที่ 4.5 สองวัฏภาคของวัฏภาคมอนอเมอร์และวัฏภาคน้ำที่มีการกระจายตัวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	61
ภาพที่ 4.6 FT-IR spectra ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท (a) ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต (MPS) (b) อนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (c) กรดโอเลอิก (d) และ อนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก(e).....	62
ภาพที่ 4.7 contact angle แสดงมุมสัมผัสกับน้ำของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดโอเลอิก (a) สารคู่ควบไซเลน (b).....	63
ภาพที่ 4.8 สารแขวนลอยต่าง ๆ: ก่อน (a-d) และหลัง (a'-d') การปั่นเหวี่ยงที่อัตราความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ของอนุภาคพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ: พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต) 80:20 (a และ a') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) 80:10:10 (b และ b') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) 70:10:10:10 (c และ c') และพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไทไวนิลเบนซีน) 80:20 (d และ d') โดยน้ำหนัก.....	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ (a-d) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a'-d') ต่าง ๆ โดยใช้ พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต) 80:20 (a และ a') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) 80:10:10 (b และ b') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) 70:10:10:10 (c และ c') และพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิลเบนซีน) 80:20 (d และ d').....66
- ภาพที่ 4.10 สารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่อัตราส่วน 70: 10: 10: 10 ก่อน (a-e) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a'-e') โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมาทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก: 1:0 (a, a'), 1:0.5 (b, b'), 1:1 (c, c'), 1:2 (d, d') และ 1:3 (e, e') ตามลำดับ.....68
- ภาพที่ 4.11 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่อัตราส่วน 70:10:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมาทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก: ที่ 1:0 (a), 1:0.5 (b), 1:1 (c), 1:2 (d) และ 1:3 (e) ตามลำดับ.....68
- ภาพที่ 4.12 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ (เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่อัตราส่วน 70:10:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมาทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:0 (a), 1:0.5 (b), 1:1 (c), 1:2 (d) และ 1:3 (e) ตามลำดับ.....69
- ภาพที่ 4.13 สารแขวนลอยก่อน (a และ b) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a' และ b') (เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของมอโนเมอร์ต่ออนุภาคบิสมาทวานาเดท: 60:40 (a และ a') และ 70:30 (b และ b').....70

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของหยดมอโนเมอร์ (a และ b) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' และ b') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของมอโนเมอร์ต่ออนุภาคบิสมันนาเดท: 60:40 (a และ a') และ 70:30 (b และ b')..... 70
- ภาพที่ 4.15 สารแขวนลอยก่อน (a - c) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a' - c') ของการใช้(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 90:10 โดยใช้อัตราส่วนของมอโนเมอร์ต่ออนุภาคบิสมันนาเดท ที่ 90:10 (a, a') 80:20 (b, b') และ 70:30 (c, c') เปรอ์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..... 71
- ภาพที่ 4.16 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ (a - c) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' - c') ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 90:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของมอโนเมอร์ต่ออนุภาคบิสมันนาเดท: 90:10 (a, a') 80:20 (b, b') และ 70:30 (c, c') เปรอ์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..... 72
- ภาพที่ 4.17 สารแขวนลอยก่อน (a-d) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a'-d') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ที่มีโกลูอิน 5 เท่าของอนุภาคบิสมันนาเดทที่ใช้อนุภาคบิสมันนาเดทที่ปริมาณต่าง ๆต่อมอโนเมอร์: 10 (a, a'), 20 (b, b'), 30 (c, c') และ 50 (d, d')..... 73
- ภาพที่ 4.18 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ (a - d) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' - d') ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ที่มีโกลูอิน 5 เท่าของอนุภาคบิสมันนาเดทที่ใช้อนุภาคบิสมันนาเดทที่ปริมาณต่าง ๆต่อมอโนเมอร์: 10 (a, a'), 20 (b, b'), 30 (c, c') และ 50 (d, d')..... 74
- ภาพที่ 4.19 สารแขวนลอยก่อน (a) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมันนาเดท ที่ใช้อนุภาคบิสมันนาเดท 40% ของมอโนเมอร์..... 75

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง(a, a') ของหยดมอนอเมอร์ (a) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a') และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (a'') ของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมของพอลิ (เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิลเบนซีน) ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดท ที่ใช้ อนุภาคบิสมาทวานาเดท 40% ของมอนอเมอร์.....	75
ภาพที่ 4.21 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิล เบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไติโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....	76
ภาพที่ 4.22 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิล เบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไติโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท(a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....	77
ภาพที่ 4.23 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิล เบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไติโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท(a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....	77
ภาพที่ 4.24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไติโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท(a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- ภาพที่ 4.25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท(a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....80
- ภาพที่ 4.26 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอโนเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท(a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c').....80
- ภาพที่ 4.27 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยเติมพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทที่ 5 (a) 8 (b) และ 10 (c) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....81
- ภาพที่ 4.28 สารแขวนลอยก่อน (a) และหลังปั่นเหวี่ยง (a') เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน: 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต ที่อัตราส่วน 80:10:10 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของ พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท ที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....82
- ภาพที่ 4.29 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (a และ a') ของหยดมอโนเมอร์ (a) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a') และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (a'') ของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน: 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของ พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....83

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

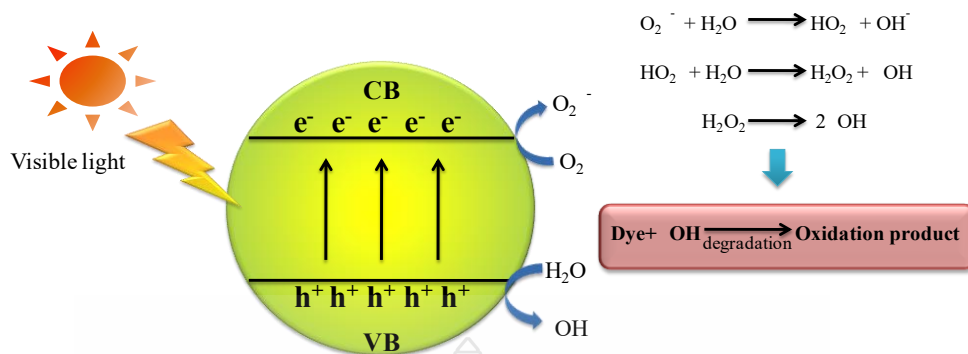
- ภาพที่ 4.30 สารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูเริ่มต้นที่ 5 ppm ที่แช่ด้วยวัสดุต่าง ๆ 30 นาที (a-e) และหลังการฉายแสงเป็นเวลา 120 นาที (a'-e') โดยใช้วัสดุต่าง ๆ: อนุภาคพอลิเมอร์ P(MMA-DVB) (a และ a'), อนุภาคบิสมัทวานาเดท (b, b'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c, c'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄/8%DPHS (d, d') และอนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB-HEMA)/ BiVO₄ /8%DPHS (e, e').....84
- ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู โดยใช้ อนุภาคพอลิเมอร์ P(MMA-DVB) (a และ a'), อนุภาคบิสมัทวานาเดท (b, b'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c, c'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄/8%DPHS (d, d') และอนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB-HEMA)/ BiVO₄ /8%DPHS (e, e').....86
- ภาพที่ 4.32 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผ้าฝ้ายก่อน (a) และหลังการเคลือบด้วยอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b) และ อนุภาคพอลิเมอร์ผสม (c).....87
- ภาพที่ 4.33 การสลายตัวของเมทิลีนบลูก่อน (a และ b) และหลังฉายแสง (a' และ b') บนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุต่าง ๆ: อนุภาคบิสมัทวานาเดท (a และ a') และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b และ b') เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....88
- ภาพที่ 4.34 การสลายตัวของคราบกาแฟ ก่อน (a และ b) และหลังฉายแสง (a' และ b') บนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุต่าง ๆ: อนุภาคบิสมัทวานาเดท (a และ a') และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b และ b') เป็นเวลา 19 ชั่วโมง.....89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์สิ่งทออย่างแพร่หลายโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า โดยอาศัยความต้องการของลูกค้าที่เน้นด้านความปลอดภัย ทนสมัย และความสะอาดสบาย เป็นต้น ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) ก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากซึ่งเหมาะกับการกำจัด รอยเปื้อน เช่น คราบกาแฟ ไวน์ และหมึกปากกา เป็นต้น โดยสมบัติการทำความสะอาดตัวเองจะต้องอาศัยปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก (photocatalytic) ที่สามารถใช้กำจัดสีอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศที่สัมผัสกับพื้นผิวของสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalyst) ซึ่งมีสมบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ โดยสารเติมแต่งหรือวัสดุที่ใช้ต้องไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อม สารที่มีสมบัติโฟโตแคตตาไลติกที่นำมาใช้ คือ อนุภาคบิสมัทวานาเดท (bismuth vanadate; BiVO_4) ซึ่งมีสมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงตามองเห็น (visible) ที่มีมากในธรรมชาติ โดยมีกลไกการบำบัดสีย้อม แสดงดังภาพที่ 1.1 ภายใต้แสงช่วงตามองเห็น hole (h^+) จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดในแถบวาเลนซ์ (valence band; VB) โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจาก VB ไป แถบการนำ (conduction band; CB) โดยอิเล็กตรอนในชั้น CB จะปรีดิวิซ์ออกซิเจน (O_2) ให้กลายเป็นซูเปอร์ออกไซด์แรดิคัล ($\text{O}_2^{\bullet-}$) ก่อนจะทำปฏิกิริยากับน้ำจนสุดท้ายจะได้เป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH^{\bullet}) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์สีย้อม สามารถทำลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อมได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เดียวกัน h^+ ที่เกิดขึ้นในชั้น VB ก็มีความสามารถในการออกซิไดซ์น้ำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัลเช่นกัน [1] ทำให้กระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงมากในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์สีย้อมที่ผิวหน้าของสารโฟโตแคตตาไลติก



ภาพที่ 1.1 กลไกการกำจัดสีย้อมของการแยกประจุและกระบวนการโฟโตแคตาไลติกของ BiVO_4 ภายใต้แสงช่วงตามองเห็น

แต่เนื่องจากอนุภาคโฟโตแคตาไลติกเป็นสารอนินทรีย์ (inorganic substance) และมีความเสถียรทางคอลลอยด์ต่ำเมื่อกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ จะตกตะกอนและรวมตัวกันได้ง่าย เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน รวมทั้งขนาดที่ใหญ่ขึ้นจากการเกาะตัวกันจึงหลุดออกได้ง่าย ดังนั้น หากสามารถเพิ่มความเสถียรของอนุภาคสารโฟโตแคตาไลติก เช่น การกักเก็บไว้ในพอลิเมอร์ที่มีขนาดในระดับไมโครเมตรในรูปของพอลิเมอร์ไมโครแคปซูล (polymer microcapsule) หรือ อนุภาคพอลิเมอร์ผสม (hybrid polymer particles) ซึ่งน่าจะเพิ่มความเสถียรและเคลือบลงบนผ้าได้ง่ายขึ้น โดยการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหรืออนุภาคพอลิเมอร์โดยใช้การสังเคราะห์อิมัลชันในระบบกระจายเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพในการหุ้มสูงโดยอาศัยการเกิดอนุภาคแบบหยด (droplet nucleation) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย (microsuspension polymerization)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการพัฒนาผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ (hybrid polymer particles) ผสมสารโฟโตแคตาไลติกที่มีรูพรุน โดยมีขนาดระดับไมโครเมตร โดยใช้ปัสมาทวานาเดทกระจายอยู่ในอนุภาคพอลิเมอร์ โดยอนุภาคปัสมาทวานาเดทจะผลิตไฮดรอกซิลแรดิคัล ซึ่งคาดว่าจะมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สีอินทรีย์ได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดท
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทและทดสอบสมบัติที่เกี่ยวข้อง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองได้ และทดสอบสมบัติที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดท
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท
- 1.3.3 ศึกษาการเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองได้ต้นแบบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

1.4 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

โดยทั่วไป การกำจัดสารอินทรีย์หรือการผลิตผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ ทั้งกำจัดสีและต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยการเคลือบอนุภาคโฟโตแคตตาไลติกลงบนผ้า เป็นวิธีหนึ่งที่มีความสนใจโดยจะนิยมใช้อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ กันอย่างแพร่หลาย [2-6] เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในการเกิดปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่มีแสงอัลตราไวโอเล็ต และยังมีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการเตรียมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ [3, 4] และอนุภาคผสมของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ [2, 5, 6](เพื่อเพิ่มสมบัติทางโฟโตแคตตาไลติก) ในระดับนาโนเมตรที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาสภาวะแสงธรรมชาติหรือแสงอาทิตย์ แสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับแสงช่วงตามองเห็นหรือวิสิเบิล ดังนั้นอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ จึงมีประสิทธิภาพจำกัดหากอาศัยแสงจากธรรมชาติ แต่หากใช้สารโฟโตแคตตาไลติกที่มีสมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงตามองเห็น เช่น บิสมัทวานาเดท [7-13] น่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ แต่การใช้งานอนุภาคบิสมัทวานาเดทโดยตรง

อาจเกิดการจับตัวเป็นก้อนและเคลือบลงบนผ้าได้ยาก ดังนั้น การหุ้มอนุภาคบิสมัทวานาเดทด้วยพอลิเมอร์ในรูปพอลิเมอร์แคปซูล (polymer capsules) หรือผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทกับพอลิเมอร์ในรูปของอนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริด เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหา ดังกล่าวได้ โดยเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริดระดับไมโครเมตรที่สามารถกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย [14] ซึ่งมีกลไกการเกิดอนุภาคแบบหยดมอนอเมอร์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์และอนุภาคแคปซูลที่ใช้พอลิเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ [15-18] เช่น พอลิไควนิลเบนซีน ชนิดชอบน้ำ เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต [19-21] และโคพอลิเมอร์ของทั้งสองชนิดที่ชอบกับไม่ชอบน้ำ [22, 23] ซึ่งพบว่าการสังเคราะห์โดยใช้พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำจะเกิดอนุภาคใหม่ (secondary particles) หรืออนุภาคอิสระ (free particles) ในวัฏภาคของน้ำ แข่งขันกับการเกิดพอลิเมอร์ภายในหยดมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ในกรณีของแคปซูล) มีคุณภาพต่ำ เช่น แคปซูลที่มีเปลือกบาง และมีการปะปนของอนุภาคขนาดเล็ก (ที่ไม่ใช่แคปซูล) จำนวนมาก (ประมาณ 40%) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยสามารถเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่ปราศจากการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในระหว่างการสังเคราะห์โดยการนำเทคนิคคอนโทรล/ลิฟวิ้ง แรดิคัล พอลิเมโรเซชัน (controlled/living radical polymerization) แบบโอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมโรเซชันมาประยุกต์ในการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มวัสดุเก็บความร้อนในกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยโอโอดีนแรดิคัล (ไม่ละลายน้ำ) จะจับโอลิโกเมอริกแรดิคัล (oligomeric radical) ในหยด/แคปซูลไม่ให้เคลื่อนที่ออกมาในวัฏภาคน้ำ [19, 20] ทำให้ไม่สามารถเกิดอนุภาคอิสระในน้ำได้ ซึ่งหากนำเทคนิคนี้มาใช้ น่าจะสามารถเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไป การที่จะทำให้อนุภาคโพโตแคตาไลติกซึ่งเป็นสารอนินทรีย์กระจายตัวได้ดีในหยดมอนอเมอร์ระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย จะต้องปรับสภาพพื้นผิวของอนุภาคโพโตแคตาไลติกก่อนโดยการเคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความสมดุลระหว่างส่วนชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมัน (hydrophilic-lipophilic balance) ต่ำ ๆ นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ยังสามารถดูดนํ้าเข้าไปอยู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์ในระหว่างการสังเคราะห์ได้ภายใต้สภาวะความหนืดต่ำ หากสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นมากเกินไปเกินค่าการละลาย จะประกอบตัวเองภายในอนุภาคทำให้เกิดพื้นที่ชอบน้ำภายในทำให้นํ้าสามารถเข้าไปในอนุภาคพอลิเมอร์เป็นหยดเล็ก ๆ ได้ เมื่อทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ หยदनํ้าจะค่อยๆรวมตัวกันเพื่อลดแรงตึงระหว่างผิว (interfacial tension) สุดท้าย จะทำให้ได้อนุภาค

พอลิเมอร์ที่มีช่องว่างหรือมีรูพรุน [24-28] ดังนั้นจึงน่าจะเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคโฟโตแคตาไลติกที่มีรูพรุนได้ เมื่อนำมาเคลือบลงบนผ้า คาดว่าผ้าต้นแบบจะสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อผ้าต้นแบบเปื้อนสี กาแฟ หรือไวน์ เป็นต้น ในสภาวะที่มีน้ำหรือความชื้นและได้รับแสง สีที่เปื้อนผ้าจะถูกกำจัดเมื่อน้ำเข้าไปสัมผัสกับผิวของอนุภาคโฟโตแคตาไลติก (ผ่านรูพรุนและ/หรือในส่วนของเปลือกไฮโดรเจลพอลิเมอร์) ที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร (ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง) ที่มีแสงช่วยกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถกำจัดสีออกโดยไม่ต้องซัก

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัททอานาเดทที่มีรูพรุนโดยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยที่ใช้กลไกไอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมอร์โรเซชัน เพื่อนำไปเคลือบผ้าและใช้เป็นผ้าทำความสะอาดตัวเองได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

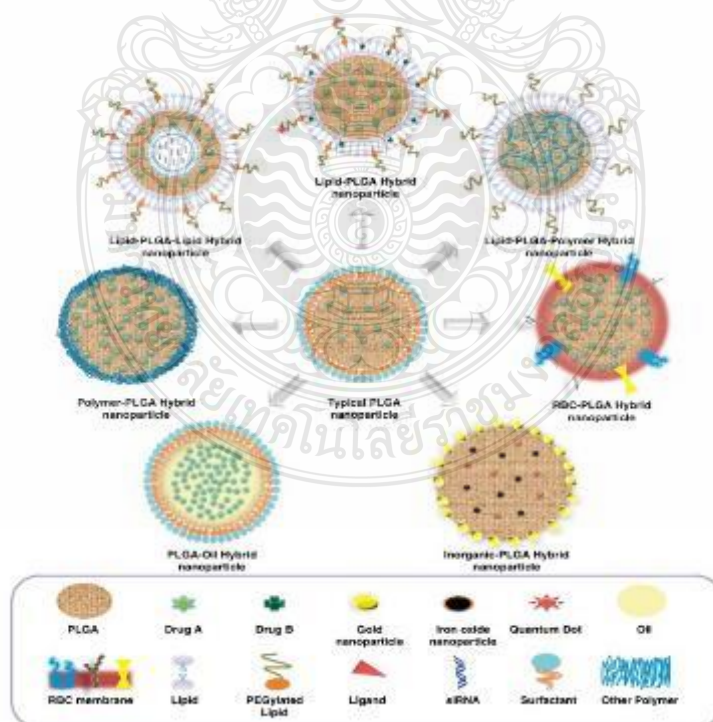
- 1.5.1 ได้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัททอานาเดทที่มีรูพรุนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอินทรีย์
- 1.5.2 ได้ต้นแบบผ้าทำความสะอาดตัวเองได้ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอินทรีย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุพอลิเมอร์ไฮบริด

วัสดุพอลิเมอร์ไฮบริด [29] เกิดจากการรวมกันของพอลิเมอร์กับสารประกอบโครงสร้างนาโนต่าง ๆ เช่น สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) กระจายตัวอยู่ในระดับโมเลกุลหรือระดับนาโนเมตรเพื่อตอบสนองสมบัติความต้องการเฉพาะทาง หรือเพื่อผลทางสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น โดยวัสดุพอลิเมอร์ไฮบริดไม่เพียงแต่จะมีฟังก์ชันเฉพาะอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชันเท่านั้น และยังสามารถในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุอีกด้วย ซึ่งวัสดุพอลิเมอร์ไฮบริดได้รับความสนใจเป็นอย่างมากและถูกนำไปใช้งานในหลายๆด้าน เช่น การดูดซับ การแยก ตัวเร่งปฏิกิริยา การตรวจจับ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น แสดงดังที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 วัสดุพอลิเมอร์ไฮบริดต่าง ๆ [30]

2.1.1 การจำแนกประเภทพอลิเมอร์ไฮบริดทางชีวการแพทย์

2.1.1.1 พอลิเมอร์ธรรมชาติ-พอลิเมอร์ไฮบริดคอมโพสิต

เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์เปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ [31, 32] เช่น ไคโตซาน [33, 34] คอลลาเจน [35, 36], แป้ง [37, 38], เจลาติน [39, 40], เซลลูโลส [41, 42], อัลจิเนต [43, 44] และไหม [45] เป็นต้น ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ข้อดีของพอลิเมอร์ธรรมชาติ คือ ความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงจำเพาะ มีคุณสมบัติการย่อยสลายและต้นทุนต่ำทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้ในพอลิเมอร์ชีวภาพทางการแพทย์ [43] คอมโพสิตพอลิเมอร์ไฮบริดธรรมชาติได้แสดงถึงคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง ความยืดหยุ่นและโมดูลัสที่เหนือกว่าสมบัติของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ไฮบริดส่วนใหญ่ [46, 47] ปริมาณของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีผลต่อสมบัติการบวมตัวของพอลิเมอร์ไฮบริดคอมโพสิต [48, 49] สิ่งเหล่านี้สามารถส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการขยายตัวของไฮบริด (มากถึง 10 เท่า) พร้อมกับคุณสมบัติพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น

ไคโตซานเป็นโพลีแซคคาไรด์ธรรมชาติเป็นหนึ่งในวัสดุชีวภาพที่ใช้กันมากที่สุดและมีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ประจุลบของไคโตซานทำให้มีความโดดเด่นกว่าโพลีแซคคาไรด์ธรรมชาติอื่น ๆ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงอย่างเดียว [50] ผลทางการรักษาจากไคโตซาน เช่น ผลด้านเชื้อแบคทีเรียมีความสามารถในการห้ามเลือด ความสามารถในการเข้ากันได้ทางชีวภาพ ความสามารถในการจับกับสารประกอบอินทรีย์ การย่อยสลายของเอนไซม์และคุณสมบัติบรรเทาอาการปวดได้ คอมโพสิตไคโตซานพอลิเมอร์ไฮบริดได้นำมาทำในระบบการนำส่งยา โดยมีวัตถุประสงค์ในการแสดงออกของเยื่อชีวภาพและการแสดงออกของยีนส์ในรูปแบบต่าง ๆ ไปสู่ การผสมไคโตซานด้วยไฮโดรเจลซึ่งส่วนใหญ่เป็นโพลี (เอทิลีนไกลคอล) ในขณะที่อนุภาคนาโนได้รับการตรวจสอบการวินิจฉัยและการรักษาโรคมะเร็ง ในอุปกรณ์สเปรย์จะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าการส่งผ่านทางจุ่ม [51] ในทางกลับกันมีรายงานว่าในรูปแบบของฟิล์มไคโตซานพอลิเมอร์ไฮบริดสามารถใช้เป็นระบบนำส่งยาหรือการแต่งบาดแผล พบว่าคอมโพสิตไคโตซานไฮบริดสามารถเร่งกระบวนการสมานแผลรักษาแผล ตอบสนองด้านการอักเสบลดลง และเวลาในการรักษาลดลงด้วย

แป้งเป็นวัสดุย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและราคาถูก ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ไฮบริดที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์ การผสมของแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ชีวการแพทย์อื่น ๆ ได้เป็นวิธีที่ยอมรับสำหรับการแก้ไขคุณสมบัติที่ไม่พึงประสงค์ (เชิงกลหรือความร้อน) ในขณะที่รักษาคุณสมบัติที่มีคุณค่าของความเข้ากันได้ทางชีวภาพและ

เลือด การตัดแปรทางเคมีของแป้งขึ้นอยู่กับคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับหรือการต่อที่จะเข้ากันได้ไม่ตีนำไปสู่การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไฮบริด [37, 38]

อัลจินเตมีโครงสร้างเป็นโพลีแซคคาไรด์เชิงประจุลบได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลและผลิตภัณฑ์ที่มีความร้อนได้โดยมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในเภสัชศาสตร์ [52] พบว่าการใช้อัลจินเต-ไฮโดรเจลไฮบริดสำหรับการห่อหุ้มเซลล์หรือการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์แบบกึ่งสังเคราะห์ในอุปกรณ์การส่งยา[53, 54]]กระบวนการเจลที่ยากต่อการควบคุมเช่นเดียวกับความสามารถในการบวมและความพรุนของอัลจินเต / แคลเซียมพวอออน ไฮโดรเจลไฮบริดนั้นเป็นที่รู้จักกันในชื่อพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อการใช้งานด้านชีวการแพทย์ ดังนั้นการมีส่วนร่วมของ (โพลีออล ไคโตซาน กลูโคส) เป็นสารเชื่อมขวางได้เพิ่มคุณสมบัติทางกลและทางเคมีกายภาพ ซึ่งในไคโตซานอาจนำไปสู่โครงสร้างที่ดีขึ้นและมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วยความพรุนที่สามารถควบคุมได้และสม่ำเสมอซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบนำส่งยา[55] ในกรณีของเวชศาสตร์ฟื้นฟูที่ผสมผสานพื้นฐานของวิศวกรรมเนื้อเยื่อและระบบการจัดส่งยาของสารผสมไฮบริดอัลจินเต / ไคโตซาน / เจลาตินถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยวัตถุประสงค์นั้นพบว่ามีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง รองรับการยึดติดของเซลล์และผลิตภัณฑ์เมทริกซ์นอกเซลล์และช่วยให้เซลล์ขยายตัวได้นานขึ้น [56] ในทางกลับกันพวกเขามีศักยภาพในการปล่อยสารชีวภาพและยาจำนวนมากในระยะเวลานาน

2.1.1.2 พอลิเมอร์ชีวภาพ-พอลิเมอร์ไฮบริดคอมโพสิต

พอลิเมอร์ชีวภาพ ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน สำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์โดยอาศัยทั้งความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง พอลิเมอร์ธรรมชาติอาจถูกจัดอยู่ในกลุ่มของพอลิเมอร์ชีวภาพที่พบตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามอาหารและของเสียทางการเกษตรหรือแหล่งพลังงานหมุนเวียนใด ๆ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพได้ ตัวอย่างเช่น กรดแลคติกเป็นกรดไฮดรอกซิลคาร์บอกซิลิกที่อาจได้จากการหมักแบคทีเรียจากแป้งหรือน้ำตาล [57]

พอลิคาโปแลคโตน เป็นอีกหนึ่งพอลิเมอร์อะลิฟาติกที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านการแพทย์ [58] ลักษณะที่มีแนวโน้มของคอมโพสิตไฮบริดที่ใช้พอลิคาโปแลคโตนอยู่ในสมบัติเชิงกล ความร้อน จุดหลอมเหลวต่ำและอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะสภาพแก้วของคาโปแลคโตน ทำให้การแพร่กระจายของน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อุณหภูมิในสภาวะคล้ายยาง ด้วยเหตุนี้จึงได้รับการยอมรับว่ามีข้อดี

สำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อและการส่งมอบยา [40, 59-62] การปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิคาโปแลคโตน เช่น การดูดซับน้ำเช่นเดียวกับการตอบสนองของเซลล์มีผลโดยตรงต่อการใช้งานด้านชีวการแพทย์และสามารถทำได้ผ่านการผสมกับพอลิเมอร์ธรรมชาติ [39, 63]

2.1.1.3 วัสดุโลหะ - พอลิเมอร์ไฮบริดคอมโพสิต

อนุภาคนาโนของโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ทอง เงิน และโลหะออกไซด์ (เหล็กออกไซด์ไททาเนีย เซอร์โคเนียลูมินา) ถูกนำมาใช้ในการผลิตโลหะผสมทางชีวการแพทย์เนื่องจากสมบัติทางกายภาพที่ดี (เช่น แม่เหล็ก, ต้านเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติการนำไฟฟ้า) [64] คอมโพสิตแบบไฮบริดเหล่านี้สามารถใช้เป็นโครงร่างสื่อกระแสไฟฟ้า ระบบนำส่งยา และไบโอเซนเซอร์ [65] ปัญหาหลักของการแปรรูปพอลิเมอร์ไฮบริดของโลหะคือการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนประกอบที่จำเป็นต่อการใช้งานของพื้นผิวของอนุภาคนาโนโลหะ มีรายงานว่าแม้ว่าการปรับปรุงดังกล่าวอาจเป็นเรื่องยาก แต่ก็มียุทธวิธีอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพเคมี เชิงกล และทางชีวภาพของวัสดุผสม [66] ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์เมทริกซ์ ฟังก์ชันการทำงาน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์เมทริกซ์ ฟังก์ชันการทำงานของอนุภาคนาโนโลหะ กับ ไทออล เป็นการผสมผสานในการปรับปรุงสมบัติเชิงกล การเพิ่มความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าสำหรับพอลิเมอร์ไฮบริดถูกรวมเข้ากับการสร้างคอมโพสิตแบบไฮบริดพร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกในการเผยแพร่สัญญาณไฟฟ้าในเนื้อเยื่อเฉพาะ [67] ยิ่งไปกว่านั้น คอมโพสิตไฮบริดของไฟฟ้าได้รับการแนะนำให้ใช้ในการปลูกถ่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถในการฟื้นฟูเส้นประสาท โดยมีการใช้อนุภาคนาโนของโลหะกับพอลิเมอร์ ซึ่งตอบสนองต่อการใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง [65, 68, 69] ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการรวมตัวกันของสแนมแม่เหล็กภายนอกเป็นไฮบริดพอลิเมอร์ของโลหะถูกแสดงเพื่อกำหนดเป้าหมายไปยังเซลล์และเนื้องอกที่ติดเชื้อ โดยวิธีการส่งมอบยาที่เป็นเป้าหมายนี้ทำได้โดยการรวมตัวกันของโลหะผสมพอลิเมอร์ไฮบริดเป็นวิธีการรักษาโรคมะเร็ง

2.2 บิสมัทวานาเดท

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

บิสมัทวานาเดท [70] สูตรโมเลกุล BiVO_4 น้ำหนักโมเลกุล 395.92 กรัมต่อโมล สีเหลือง ลักษณะของแข็ง จุดหลอมเหลวประมาณ 1000 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยบิสมัทหนึ่งอะตอม วานาเดียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม เป็นสารที่มีคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric) และวัสดุโฟโตแคตตาลิสต์กึ่งตัวนำ ซึ่งคุณสมบัตินี้เหมือนกับสารอิเล็กทรอนิกส์หรือแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ที่เป็นของแข็ง [71] บิสมัทวานาเดทเป็นสารที่มีสีเหลือง ใช้เป็นตัวเติมในการผลิตประเภท สีทาแทนตะกั่วและแคดเมียม เนื่องจากเป็นสารที่มีสมรรถภาพสูงและไม่มีพิษต่อระบบนิเวศ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของบิสมัทวานาเดท (Bismuth vanadate; BiVO_4)

Bhattacharya et al., 1997 และ Lin et al., 1996 พบว่าบิสมัทวานาเดทจะมีเฟสของผลึกอยู่ 3 เฟสคือ โมโนคลินิก (monoclinic) แบบเฟอร์กูโซไนท์ (fergusonite) โมโนคลินิก แบบซีไลท์ (sheelite) และเตตระโกนอล (tetragonal) แบบเซคอน (zircon) ทั้งสามโครงสร้างนี้สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ซึ่งการเตรียมบิสมัทวานาเดทที่มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิกสามารถเตรียมในกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง ส่วนโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลได้จาก กระบวนการเตรียมที่อุณหภูมิต่ำ [72]

2.2.2 การเตรียมผงบิสมัทวานาเดท

บิสมัทวานาเดท สามารถเตรียมโดยวิธีทางเคมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.2.2.1.) วิธีการตกตะกอนร่วม (coprecipitation method) [73] Wood และ Glasser เตรียมบิสมัทวานาเดทโดยวิธีการตกตะกอนร่วม สามารถเตรียมได้โดยวิธีออกซาเลต เป็นกระบวนการของการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารละลายแอมโมเนียมเมทวานาเดท (NH_4VO_3) และบิสมัทไนเตรท ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$) ในกรดไนตริก ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยโมล ซึ่งจะตกตะกอนสมบูรณ์ที่ค่า pH ประมาณ 1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยตกตะกอน จะได้ตะกอนที่มีโครงสร้างเป็นแบบเซอร์คอน นำตะกอนที่ได้ไปเผาแคลไซน์ (calcine) ที่ อุณหภูมิ 200-450 องศาเซลเซียส จะได้ตะกอนที่มีโครงสร้างเป็นซีไลต์

2.2.2.2.) วิธีโซลเจล (sol-gel method) [74] Hirota และคณะ เตรียมบิสมัทวานาเดทโดยวิธีโซล-เจล โดยทำการละลายสารประกอบบิสมัทไนเตรทด้วยเอทานอลโดยให้ความร้อน หลังจากเย็นแล้วเติมวานาดีลเพนทอกไซด์ (vanadyl pentoxide) การไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นเมื่อเติมน้ำในปริมาณมากเกินพอในเอทานอล หลังจากนั้น กระบวนการทำเจลจะใช้เวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่ใช้ และการเติมอะซิติกแอซิดเข้าไปในเจลอะซิเตรตเพื่อเปลี่ยนแปลงให้สารอยู่ในรูปคอลลอยด์ (เจล) ซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิดคีเลตที่แข็งแรงกับโลหะ แล้วนำไปเผาแคลไซน์จะได้อนุภาคนาตระดับไมโครเมตร

2.2.2.3.) วิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal method) [75] Liu และคณะ เตรียมบิสมัทวานาเดทโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยการเกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างของเหลว คือ การเติมสารละลายบิสมัทไนเตรทลงในสารละลายวานาเดียมเพนทอกไซด์ (V_2O_5) หรือโซเดียมเมทวานาเดท (NaVO_3) ภายใต้อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียสและค่า pH ประมาณ 7 จากนั้น จะเกิดอนุภาคนาตบิสมัทวานาเดท นำสารละลายที่ได้ไปเข้าเครื่องไฮโดรเทอร์มอล โดยควบคุมความร้อนและเวลาที่ทำปฏิกิริยา จะได้ตะกอนของบิสมัทวานาเดทที่มีอนุภาคนาตไมโครเมตร

2.3 กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก

กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก [76, 77] เป็นเทคนิคเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ ของสารกึ่งตัวนำ ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังแถบการนำและเกิดโฮล ซึ่งเป็นช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ โดยที่โฮลจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่สามารถทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่แตกตัวกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนซึ่งสามารถทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัลได้หลังจากปฏิกิริยาผ่านไปหลายขั้นตอน

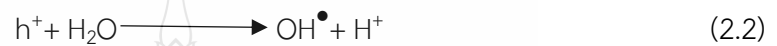
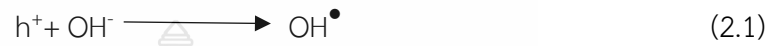
ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสง คือ การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล (recombination) โดยปกติแล้วความสัมพันธ์ของอัตราการรวมตัวกันใหม่กับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง คือ ถ้าปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็ว หมายถึง ปริมาณอิเล็กตรอนที่แถบคอนดักชันของอนุภาคของสารกึ่งตัวนำที่มีมากจะมีผลทำให้การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลมีอัตราลดลงและประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากโฮลสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ในทางกลับกันถ้าโฮลที่ว่างของแถบวาเลนซ์ถูกบรรจุด้วยอิเล็กตรอนให้เต็มอย่างรวดเร็วด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์โดยรวม คือ เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะจะเป็นการช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์

กลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก

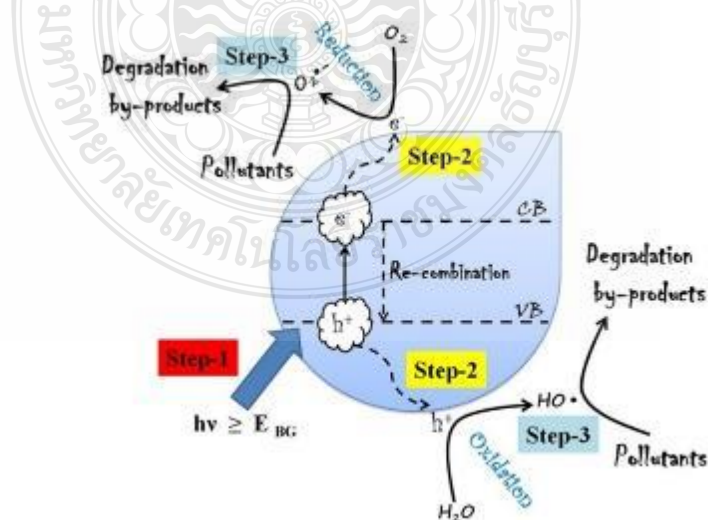
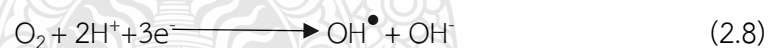
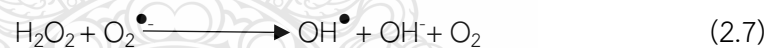
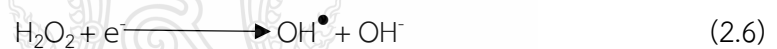
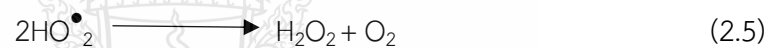
ปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก [78] ในการบำบัดสารอินทรีย์โดยทั่วไปนั้น จะเกิดจากการที่บริเวณผิวของสารประเภทโฟโตแคตตาลิสต์ ที่มีโฮลในแถบวาเลนซ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และน้ำ (H_2O) เกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH^\bullet) สมการที่ 2.1-2.2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวออกซิแดนท์หลักในปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก เนื่องจาก ไฮโดรเจนแรดิคัล เป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ส่วนที่บริเวณผิวของสารประเภทโฟโตแคตตาลิสต์ที่มีอิเล็กตรอนในแถบการนำ จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนแรดิคัล ($\text{O}_2^{\bullet-}$) เปอร์ไฮดรอกซิลแรดิคัล (HO_2^\bullet) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำ (H_2O) กับ

ซูเปอร์ออกไซด์ไอออนแรดิคอล ($O_2^{\bullet-}$) โดยสามารถเกิดไฮดรอกซิลแรดิคอล (OH^{\bullet}) ได้ สมการที่ 2.3-2.8 แสดงดังที่ 2.3

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ปฏิกิริยารีดักชัน

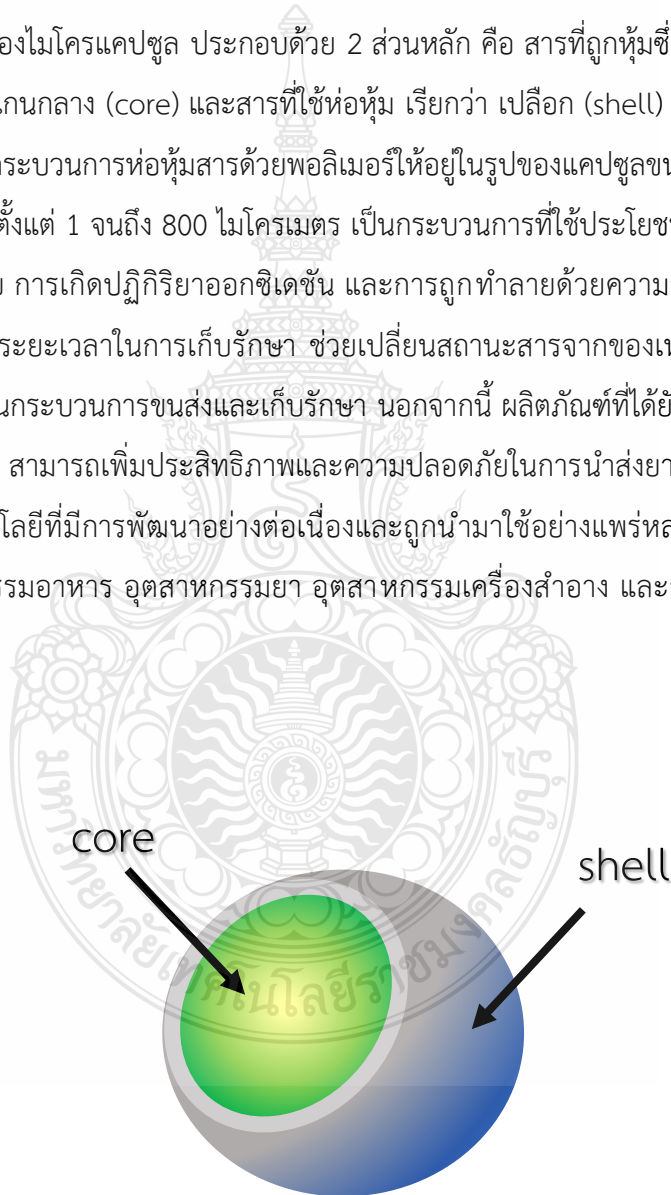


ภาพที่ 2.3 กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติก [79]

2.4 ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการนำสารสำคัญที่เรียกว่า สารแกนกลาง มาห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม ไมโครเอนแคปซูลชันมีข้อดีหลายประการ เช่น เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือเซลล์ปลูกถ่าย ควบคุมการปลดปล่อยสารในเวลาที่เหมาะสม และป้องกันการสลายตัวของสาร เป็นต้น

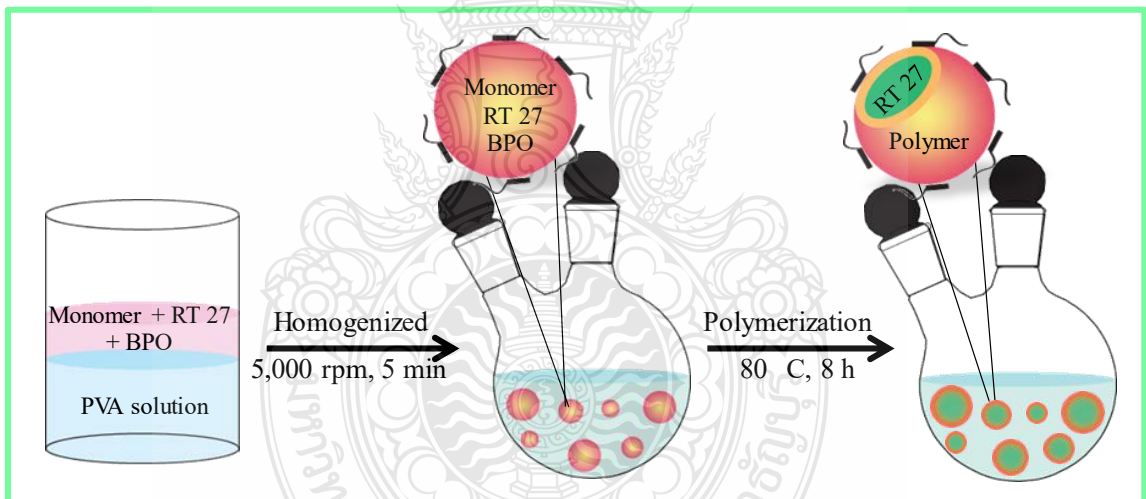
โครงสร้างของไมโครแคปซูล ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ สารที่ถูกหุ้มซึ่งเป็นของเหลวหรือของแข็ง เรียกว่า สารแกนกลาง (core) และสารที่ใช้ห่อหุ้ม เรียกว่า เปลือก (shell) ทำให้เกิดการจับตัวเป็นไมโครแคปซูล ซึ่งกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของแคปซูลขนาดเล็ก เรียกว่า ไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 800 ไมโครเมตร เป็นกระบวนการที่ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ช่วยป้องกันการระเหย การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการถูกทำลายด้วยความร้อน แสง ความชื้น และอากาศ จึงช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา ช่วยเปลี่ยนสถานะสารจากของเหลวเป็นของแข็งจึงช่วยเพิ่มความเสถียรในกระบวนการขนส่งและเก็บรักษา นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังมีคุณสมบัติในการควบคุมการปลดปล่อย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการนำส่งยาได้ ทำให้ไมโครเอนแคปซูลชันเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครแคปซูล (Microcapsule)

2.5 กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยกระบวนการแบบแขวนลอย เป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิยมในทางอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วย มอนอเมอร์ที่ละลายน้ำได้น้อย ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายได้ในมอนอเมอร์ (oil-soluble initiator) เช่น เปอร์ออกไซด์ตัวกลาง (medium) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นน้ำ และสารเพิ่มความเสถียรสำหรับการแขวนลอย (suspension stabilizer) เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งจะช่วยให้มอนอเมอร์มีพื้นที่ผิวมากขึ้นและมีการระบายความร้อนที่ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันเริ่มต้นโดย ผสมมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารที่ต้องการหุ้ม ให้เป็นเนื้อเดียวกันไปกระจายตัวในสารเพิ่มความเสถียรสำหรับการแขวนลอยลงในน้ำแล้วทำการปั่นเตรียมหยดด้วยอัตราแรงเฉือนสูง จะเกิดเป็นมอนอเมอร์แตกตัวออกเป็นหยดแขวนลอยอยู่ในตัวกลาง โดยทั่วไปแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงประมาณ 10-1000 ไมครอน (μm) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการปั่นเตรียมหยดด้วย ดังที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย

[80]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์สิ่งทออย่างแพร่หลายโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า โดยอาศัยความต้องการของลูกค้าที่เน้นด้านความปลอดภัย ทนสมัย และความสะอาดสบาย เป็นต้น โดยได้มีการนำไมโครแคปซูลที่หุ้มสารสำคัญต่าง ๆ เคลือบลงบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นจำนวนมาก โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ป้องกันแมลง[81] เพิ่มความหอม [82-84] ผลิตภัณฑ์สิ่งทอด้านเชื้อ [85-89] และควบคุมอุณหภูมิ [90-93] โดยทั่วไปการเคลือบแคปซูลลงบนผ้า เช่น ผ้าฝ้าย จะทำได้โดยนำผ้าไปจุ่มในสารแขวนลอยของแคปซูลที่มีตัวเชื่อมหรือสารช่วยกระจายผสมอยู่ด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น padding Spraying Impregnation และ screen-printing [93-95] นอกจากนี้ ผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ [2-6] ก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถกำจัดสิ่งที่เป็นรอยเปื้อนบนผ้าและกลิ่นอับชื้น รวมถึงด้านเชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบนผ้าได้

Lu Yanjie และคณะ [96] ได้ทำการเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่มีรูปร่างคล้ายแก้ว โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยติดตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ด้วยเทคนิค x-ray Diffractometer (XRD) scanning electron microscope (SEM) surface area and porosity analyzer (BET) และ uv-vis diffuse reflectance spectroscopy (DRS) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการหลอมนี้ไม่สามารถเปลี่ยนพื้นผิวสัณฐานวิทยาและผลึกของ BiVO_4 ได้ แต่ในขณะเดียวกันยังเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะโดยที่ไม่ทำลายรูปร่างของผลึก โดยค่าแถบช่องว่างพลังงานที่อุณหภูมิต่างกันสามารถลดลงได้ถึง 2.44-2.46 eV เมื่อเปรียบเทียบกับ 2.47 eV ของตัวอย่างดั้งเดิม ซึ่งสมบัติโฟโตแคตาไลติกของบิสมัทวานาเดท ดูได้จากการสลายตัวของเมทิลีนบลูในน้ำภายใต้แสงจากหลอดไฟ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและสามารถกำจัดสีเมทิลีนบลูได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ หลังการฉายแสง 150 นาที

Karimi Loghman และคณะ[97] ได้ทำการวิจัยโดยเพิ่มประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยคุณสมบัติการทำความสะอาดผ้าด้วยตัวเอง โดยศึกษาที่ 0.1-1.5 %wt ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี cross-link และ non-cross-link โดยใช้กรดซัลฟอนิกเป็นสารเชื่อมร่างแห ระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ และผ้าฝ้าย โดยการศึกษาการทำความสะอาดตัวเองด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ทดสอบคุณลักษณะของโครงสร้างและสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และวัดความ

ด้านทานการฉีกขาดของผ้าฝ้ายที่ถูกเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนและหลังการฉายแสง ผลการศึกษาพบว่า ความเสถียรของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ และการทำความสะอาดผ้าด้วยตัวเองของผ้าที่เตรียมด้วยวิธี cross-link นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธี non-cross-link

Penwisa Pisitsak และคณะ [98] ได้ศึกษาคุณสมบัติการทำความสะอาดผ้าด้วยตัวเองหลังการเคลือบด้วยอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ส่วนผสมของ P25 และซิลิกาฟุ่ม ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกาฟุ่มถูกกระจายในโพลูอินโดยการปั่นกวน หลังจากการอบแห้งแล้ว นำอนุภาคกระจายตัวในน้ำที่ 0 0.5 1.0 และ 2.0 %wt จากนั้นนำไปเคลือบผ้าด้วยกระบวนการ จุ่ม-อัด-อบแห้ง (pad-dry-cure) โดยนำไปทดสอบกับผ้ามีสีย้อมโดยตรง คราบกาแฟ ซอสมะเขือเทศ และน้ำอัดลม เป็นต้น จากนั้น นำไปฉายแสงด้วยหลอดไฟซินอน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น บันทึกค่าความเข้มแสง (K/S value) ในช่วงเวลาต่างกัน เพื่อที่จะวัดความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง พบว่าประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่สูงขึ้น ซึ่งการสลายตัวของสีย้อมมีประสิทธิภาพมากกว่าคราบอื่น ๆ เมื่อนำไปซักผ้าที่ผ่านการฉายแสงแล้วหลังการซัก 1 ครั้ง คราบสีหายไป ในขณะที่ผ้าที่ไม่ผ่านการฉายแสงต้องซักซ้ำหลายครั้ง อย่างไรก็ตามการเพิ่มซิลิกาฟุ่มไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเองได้

Tai Yulei และคณะ [99] ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาค P(MMA-DVB)/Fe₃O₄ ที่มีรูพรุนด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยศึกษาคุณลักษณะพื้นฐานวิทยาและคุณสมบัติของอนุภาคหุ้มแม่เหล็กที่มีรูพรุนด้วย SEM transmission electron microscope (TEM) fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) thermogravimetric analysis (TGA) และ XRD ขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคถูกวัดโดยการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจน และทดสอบหาความเป็นรูพรุนด้วย mercury intrusion porosimetry (MIP) ซึ่งพบว่าอนุภาคที่มีรูพรุนจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง โดยใช้ n-hexane เป็นสารที่ทำให้เกิดรูพรุน และยังพบอีกว่าปริมาณของไดไวนิลเบนซีน และเมทิลเมทาคริเลต อัตราส่วนของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนและปริมาณของแม่เหล็ก มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาค เมื่อนำมาใช้กำจัดสารพิษอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ พบว่า มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีประสิทธิภาพในการแยกสารสูงเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุน, ความมีขี้วและมีคุณสมบัติเป็นซูเปอร์พาราแมกเนติก (superparamagnetic)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดทที่มีรูพรุนเพื่อนำไปเคลือบลงบนผ้าต้นแบบ หากนำผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองต้นแบบ (ที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิ

เมอร์ผสมโฟโตแคตาไลติก) ไปใช้งานจริง เช่น การเปื้อนสีหรือกาแฟที่มิน้ำเป็นองค์ประกอบ อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดทจะเกิดการฟองตัวและดูดซับน้ำเข้าไปสัมผัสกับอนุภาคบิส്മัทวานาเดทที่อยู่ภายใน ผ่านเปลือกพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน เมื่อมีแสงช่วยเร่งปฏิกิริยาจะสามารถผลิตไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการออกซิไดซ์สีอินทรีย์สามารถทำลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของสี (เมทิลลีนบลู กาแฟ หรือสีจากไวน์แดง เป็นต้น) ได้เป็นอย่างดี



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
1. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide; NH_4OH)	Analytical reagent	Appli Chem Panreac
2. แอมโมเนียมเมทาวานาเดท (Ammonium metavanadate; NH_4VO_3)	Analytical reagent	LOBA Chemie
3. บิสมัทไนเตรท (Bismuth (III) nitrate; $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$)	Reagent grade 98%	ALDRICH
4. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide; BPO)	Analytical reagent	ALDRICH
5. ไดไวนิลเบนซีน (Divinylbenzene; DVB)	Analytical reagent	ALDRICH
6.เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (Ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA)	Purity 97.5%	Merck
7. กรดเอทิลีนไดเอมีนเทตระอะซีติก (Ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA)	Reagent grade 98%	VETEC

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
8. 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (Hydroxyethyl methacrylate; HEMA)	Reagent Plus 99%	ALDRICH
9. เฮกเซน (Hexane)	Analytical reagent	RCI Labscan
10. ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone)	Reagent Plus 99%	SIGMA-ALDRICH
11. ไอโอดิฟอร์ม (Iodoform; CHI_3)	Analytical reagent	ALDRICH
12. เมทิลอะคริเลต (Methyl acrylate; MA)	Reagent Plus 99%	ALDRICH
13. มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride; MAH)	Reagent Plus 99%	Merck
14. เมทิลีนบลู (Methylene blue)	Laboratory reagent	UNILAB
15. เมทิลเมทาคริเลท (Methyl methacrylate; MMA)	Reagent Plus 99%	SIGMA-ALDRICH
16. แก๊สไนโตรเจน (N_2)	Purity 99.99%	Praxair
17. กรดโอเลอิก (Oleic acid; OA)	Technical grade 90%	ALDRICH
18. พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (PEG 30 dipolyhydroxystearate; DPHS)	Technical grade	Croda
19. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol; PVA)	Analytical reagent	SIGMA-ALDRICH

สารเคมี	เกรด	ยี่ห้อ
20. โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulphate; SDS)	Technical grade	Technical
21. โทลูอีน (Toluene)	Analytical reagent	RCI Labscan
22. ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate; MPS)	Purity 98%	ALDRICH

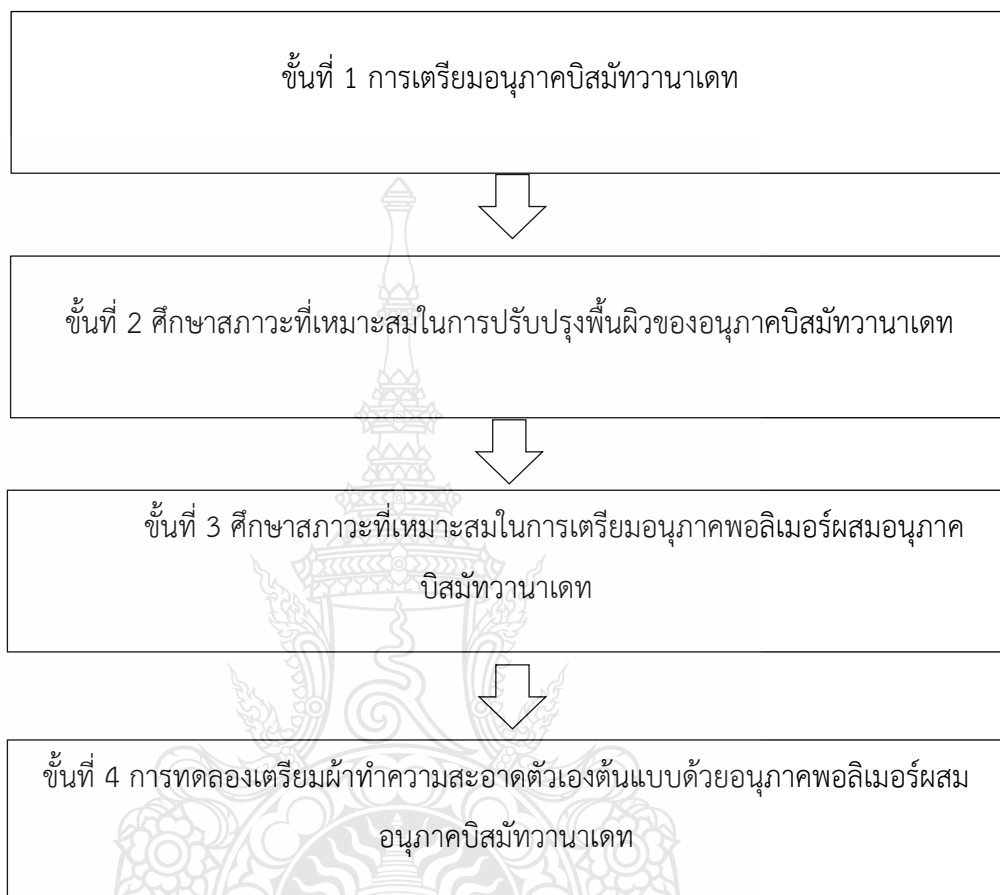
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ยี่ห้อ
1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance)	SI-234	DENVER INSTRUMENT
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	Spinette centrifuge	IEC
3. เครื่องวัดการกระเจิงของแสงพลวัต (Dynamic light scattering: DLS)	Delsa™ Nano C	Beckman Coulter
4. เครื่องฟลูอริเมตริคอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR Spectrophotometer)	NICOLET iS5	Thermo
5. เตาเผา (Furnace)	Muffle Furnace	GALLENKAMP
6. โฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)	T 25 digital ULTRA-TURR	IKA
7. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	UNB 400	Memmert

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ยี่ห้อ
8. เครื่องกวนแม่เหล็กแบบใช้ความร้อน (Hot plate stirrer)	C-MAG HS7	IKA
9. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM)	SK-100EB & SK-100ET	Seek
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)	JSM 6510	JEOL
11. เครื่องสั่นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (Ultrasonicator)	VCX 130PB	Sonics
12. เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer)	UV-2401PC	SHIMADZU
13. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven)	DZF-6051	DZF
14. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer)	VORTEX GENIE 2	Scientific Industries (SI)

3.2 แผนผังการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้



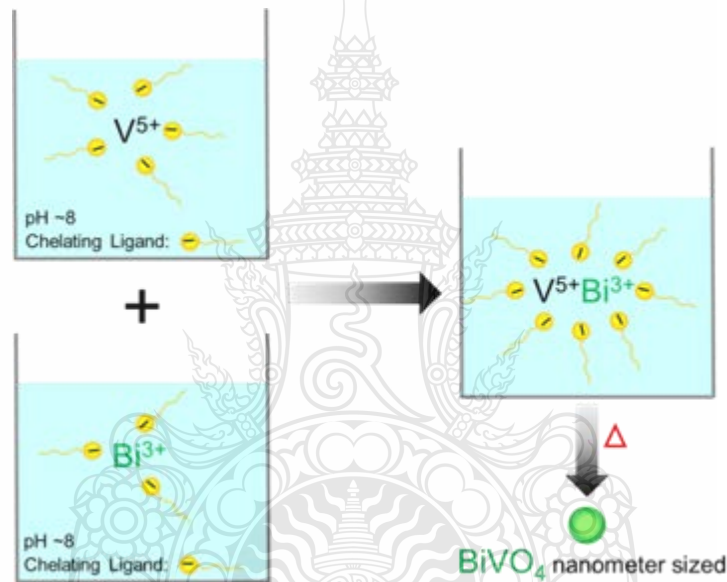
3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

ในขั้นตอนนี้ จะเริ่มจากการเตรียมสารเชิงซ้อนของโพโตแคตาไลติกเริ่มต้น โดยการละลาย บิสมัทไนเตรท ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$) และแอมโมเนียมเมทาวานาเดท (NH_4VO_3) ในน้ำที่มีกรดเอทิลีนไดเอมีน เททระ อะซีติก (ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) เป็นสารคีเลตละลายอยู่ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โดยปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในสภาวะเบส (8-10) ทำการผสมสารละลายทั้งสองโดยมีอัตราส่วนโมลของบิสมัทไนเตรทและ แอมโมเนียมเมทาวานาเดท เท่ากับหนึ่ง ดังสภาวะในตารางที่ 3.1 จะได้สารเชิงซ้อนของโพโตแคตาไลติกเริ่มต้น (กลไกการเตรียมแสดงดังภาพที่

3.1) จากนั้นทำการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง จะได้ลักษณะเป็นผงสีเหลืองของอนุภาคบิสมาทวานาเดท

ทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของอนุภาคที่เตรียมได้ เช่น ลักษณะสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) การตรวจวัดขนาดของอนุภาคบิสมาทวานาเดทด้วยเครื่องวัดการกระเจิงของแสงพลวัต (dynamic light scattering; DLS) และ การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารประกอบ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction; XRD) เป็นต้น



ภาพที่ 3.1 กลไกการเตรียมอนุภาคบิสมาทวานาเดท

ตารางที่ 3.1 สภาวะการเตรียมอนุภาคบิสมาทวานาเดท

Chemicals		$\text{NH}_4\text{VO}_3 : \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 : \text{EDTA}^a$
		1:1:4
NH_4VO_3	g (mol)	5.85 (0.05)
$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$	g (mol)	24.25 (0.05)
EDTA	g (mol)	58.45 (0.20)
H_2O	g	100.00

^aปรับค่าพีเอชของ EDTA ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิสมัทวานานาเดท

การเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานานาเดท ในงานวิจัยนี้จะใช้การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยตั้งนั้นอนุภาคบิสมัทวานานาเดทจำเป็นต้องกระจายตัวได้ดี ในวัฏภาคมอนอเมอร์ แต่เนื่องจากอนุภาคบิสมัทวานานาเดท เป็นสารอนินทรีย์จึงยากที่จะกระจายตัวอยู่ในสารละลายอินทรีย์ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเคลือบอนุภาคบิสมัทวานานาเดท ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีค่าความสมดุลระหว่างส่วนชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมัน (Hydrophilic-lipophilic balance; HLB) ต่ำกว่า 6 คือ กรดโอเลอิก (oleic acid: OA) หรือใช้สารคู่ควบไซเลน ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate; MPS) ก่อนทำการสังเคราะห์ โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

3.3.2.1 ศึกษาการเคลือบอนุภาคบิสมัทวานานาเดท

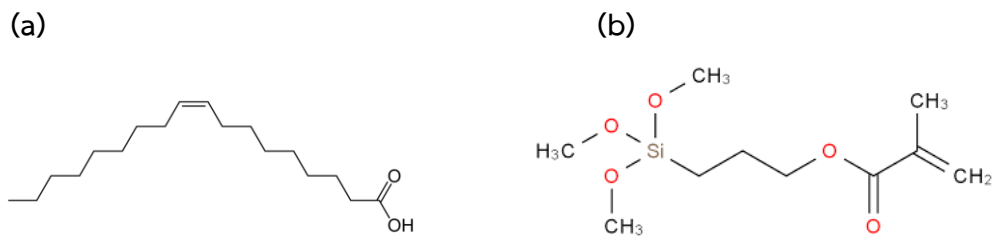
ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการเคลือบอนุภาคบิสมัทวานานาเดท ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มี ค่าความสมดุลระหว่างส่วนชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมันต่ำ ๆ ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ กรดโอเลอิก ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมี ดังภาพที่ 3.2 (a) โดยนำกรดโอเลอิกมาละลายในโทลูอีนที่อัตราส่วน กรดโอเลอิก : โทลูอีน เป็น 1:2 จากนั้นจะนำอนุภาคบิสมัทวานานาเดท ที่เตรียมได้มาเติมลงในกรดโอเลอิกที่มีโทลูอีนในอัตราส่วนต่าง ๆ อนุภาคบิสมัทวานานาเดท : กรดโอเลอิก เป็น 1:1, 1:2 และ 1:4 นำมาผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นกวน หลังจากนั้น นำสารละลายดังกล่าวไปประเหยโทลูอีนออกจนหมด จะได้เป็นอนุภาคบิสมัทวานานาเดทที่ถูกเคลือบด้วยกรดโอเลอิกแพร่กระจายของอนุภาคบิสมัทวานานาเดทในวัฏภาคของน้ำมันและน้ำ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาการทำพาร์ทิชันนิ่ง (partitioning methods) ในอัตราส่วนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกและสารคู่ควบไซเลน

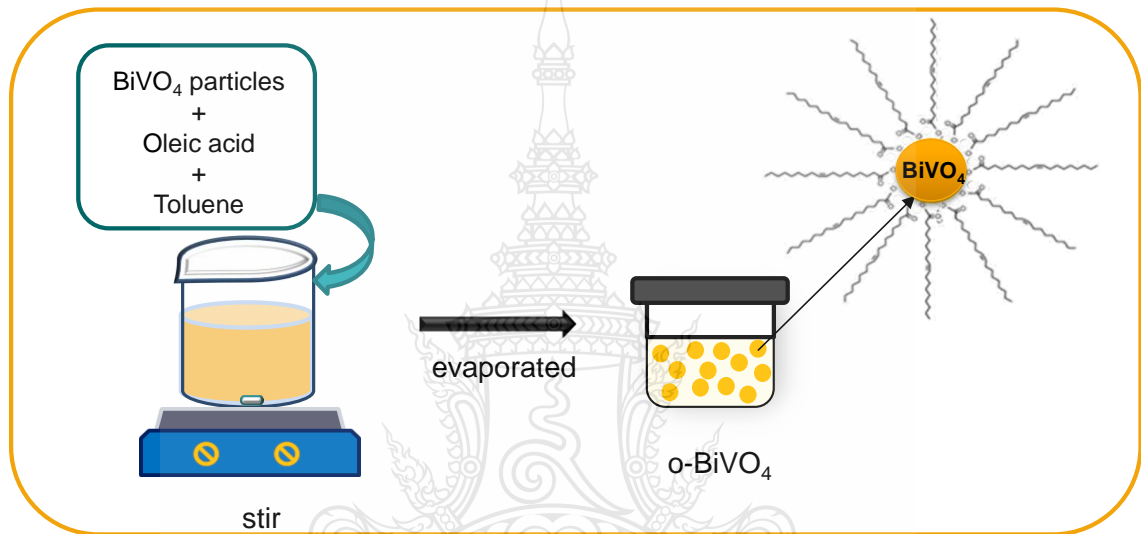
Chemicals		BiVO ₄ : Oleic acid			MPS
		1:1	1:2	1:4	
MMA	g	0.20	0.20	0.20	0.20
DVB	g	0.05	0.05	0.05	0.05
BiVO ₄	g	0.13	0.13	0.13	0.13
OA	g	0.13	0.26	0.50	-
Toluene	g	0.13	0.13	0.13	0.13
H ₂ O	g	4.50	4.50	4.50	4.50

ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR)

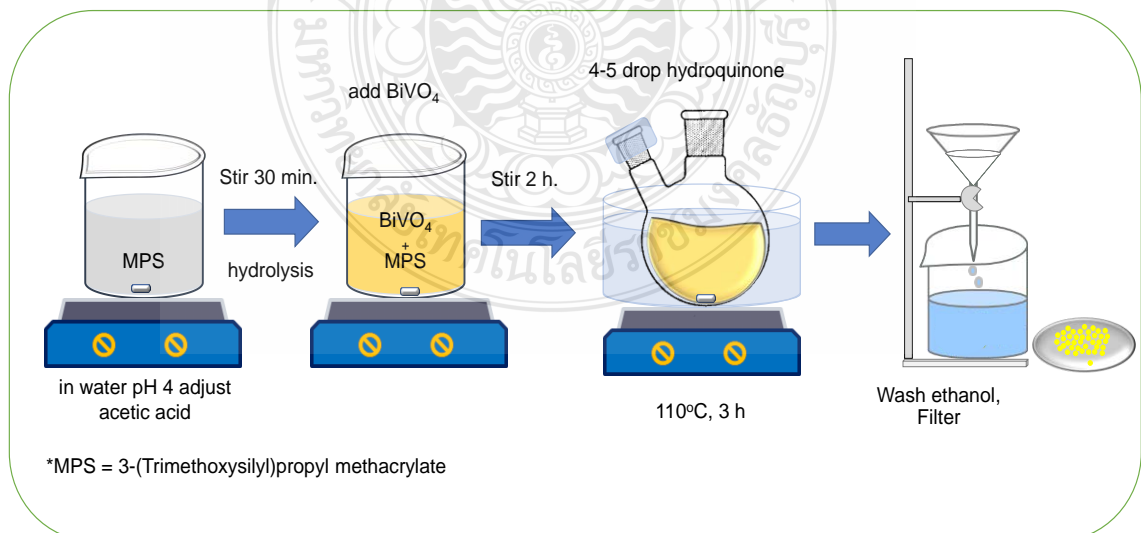
ในกรณีการดัดแปลงพื้นผิวอนุภาคบิสมัทวานาเดทด้วยสารควบคู่ไซเลน คือ ไตรเมทอกซีซิลิล โพรพิล เมทาคริเลต ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมี ดังภาพที่ 3.2 (b) ทำได้โดยเตรียมสารละลาย ไตรเมทอกซีซิลิล โพรพิล เมทาคริเลต ในน้ำ โดยปรับพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก (acetic acid) คนให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น เติมนูภาคบิสมัทวานาเดท ลงไป คนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วหยดไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 4-5 หยด จากนั้น เทใส่ขวดกั่นกลมและแล้วทำให้ อยู่ในระบบสุญญากาศโดยการให้แก๊สไนโตรเจนสลับกับการดูดด้วยปั๊มประมาณ 5 ครั้งจากนั้นทำสังเคราะห์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส รอให้เย็นและทำการกรอง และล้างด้วยเอทานอล (ethanol) จะได้อนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงผิวด้วยสารควบคู่ไซเลน (m-BiVO₄) ดังภาพที่ 3.3 และทำพาร์ทิชันนิ่งแพร่กระจายของอนุภาคบิสมัทวานาเดทในวัฏภาคของน้ำมันและน้ำ ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างทางเคมีของ กรดโอเลอิก (a) และ ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต (b)



ภาพที่ 3.3 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดโอเลอิก



ภาพที่ 3.4 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

3.3.2.2 ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงผิวในวัฏภาคน้ำมันและน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงผิวในวัฏภาคน้ำมันและน้ำ (การพาร์ทิชันนิ่ง) โดยนำอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกที่ปริมาณต่าง ๆ (รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างอนุภาคบิสมัทวานาเดทกับกรดโอเลอิก) ที่ได้ทำการทดลองจากข้างต้นแล้วโดยเลือกสภาวะที่ 1:2 มาใช้ศึกษาต่อ เนื่องจากปริมาณของกรดโอเลอิกดังกล่าวสามารถเคลือบอนุภาคบิสมัทวานาเดทได้ จากนั้นนำมาผสมกับวัฏภาคมอนอเมอร์ แล้วหยดลงในวัฏภาคน้ำโดยจะศึกษาปริมาณของอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่าง ๆ ที่ยังสามารถกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคมอนอเมอร์ได้มากที่สุด ที่ปริมาณ 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการศึกษาปริมาณของอนุภาคบิสมัทวานาเดทในวัฏภาคมอนอเมอร์

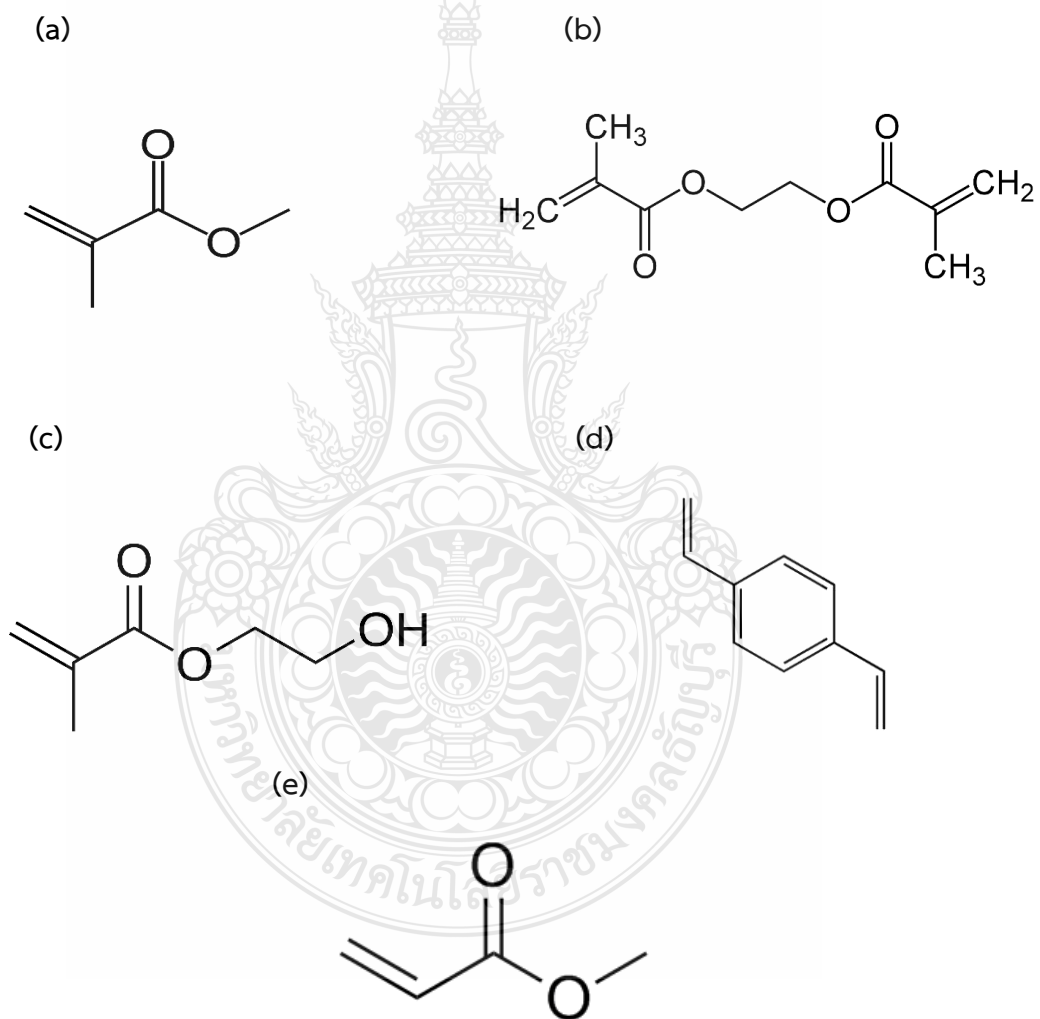
Chemicals		BiVO ₄ (%wt)				
		30	35	40	45	50
MMA	g	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
DVB	g	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
BiVO ₄	g	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13
OA	g	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25
Toluene	g	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
H ₂ O	g	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43

3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเด

โดยเริ่มต้นจะศึกษาการใช้โคมอนอเมอร์เชื่อมร่างแหและมอนอเมอร์ต่าง ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อทางรูปร่าง ลักษณะสัญญาณวิทยาและความแข็งแรงของเปลือกอนุภาคพอลิเมอร์ โดยชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ คือ เมทิลเมทาคริเลต เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต ไดไวนิลเบนซีน เมทิลอะคริเลตและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต มีโครงสร้างทางเคมี ดังภาพที่ 3.4 โดยใช้เมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์หลักในการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์ต่าง ๆ และปริมาณต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

ทำได้โดย ผสมมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ และสารโยกย้ายสายโซ่ (ไอโอโดฟอร์ม) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้น ผสมลงในวัฏภาคน้ำที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลด

แรงดึงผิวละลายอยู่ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการปั่นเตรียมหยดมอนอเมอร์ด้วยแรงเฉือนสูงที่อัตราการปั่น 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยของหยดมอนอเมอร์ เติมสารแขวนลอยของหยดมอนอเมอร์ที่ได้ลงในขวดก้นกลม แล้วทำให้อยู่ในระบบสุญญากาศโดยการเป่าแก๊สไนโตรเจนสลับกับการดูดด้วยปั๊มประมาณ 5 ครั้ง จากนั้น ทำการสังเคราะห์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสใน 3 ชั่วโมงแรก และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส จนครบ 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ให้หยดสารละลายไฮโดรควิโนน 3 หยด แล้วเขย่าเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้น เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปศึกษาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป



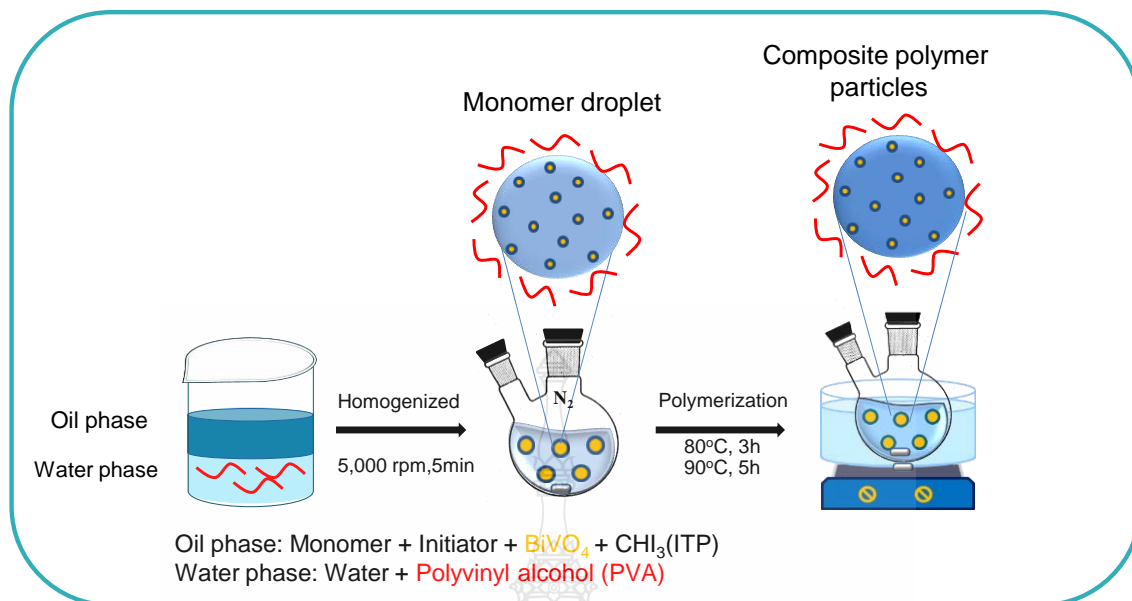
ภาพที่ 3.5 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลเมทาคริเลต (a) เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต (b) 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (c) ไดไวนิลเบนซีน (d) เมทิลอะคริเลต (e)

ตารางที่ 3.4 สภาวะการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมอร์ไอโซไซน

Chemicals	P(MMA-EGDMA)	P(MMA-EGDMA-HEMA)	P(MMA-EGDMA-HEMA-MA)	P(MMA-DVB)
MMA	g 2.00	2.00	1.75	2.00
EGDMA	g 0.50	0.25	0.25	-
DVB	g -	-	-	0.50
HEMA	g -	0.25	0.25	-
MA	g -	-	0.25	-
BPO	g 0.20	0.20	0.20	0.20
CHI ₃	g 0.02	0.02	0.02	0.02
PVA aqueous solution (1wt%)	g 22.50	22.50	22.50	22.50

3.3.3.1 การสังเคราะห์อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมีทวานาเดท

โดยเริ่มต้น ผสมมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน (ไอโอดิฟอร์ม) ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเติมอนุภาคบิสมีทวานาเดทที่กระจายตัวในโทลูอินลงไป จากนั้นให้คลื่นความถี่โดยการใช้อัลตราโซนิก ที่ 40 เปอร์เซ็นต์แอมพลิจูด เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้อนุภาคบิสมีทวานาเดทกระจายตัวได้ดี ก่อนผสมลงในวัฏภาคน้ำ โดยทำเช่นเดียวกันกับการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ จะได้อนุภาคพอลิเมอร์ที่มีอนุภาคบิสมีทวานาเดทกระจายตัวอยู่ภายในขั้นตอนการเตรียมแสดง ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.6 สภาวะการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทไว้ภายในด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุภาคอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน

เริ่มจากศึกษาอัตราส่วนระหว่างอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก โดยมอนอเมอร์ที่นำมาสังเคราะห์คือ เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่ 70:10:10:10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนมอนอเมอร์: อนุภาคบิสมัทวานาเดท 70: 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราส่วนระหว่างอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก คือ 1:0 1:0.5 1:1 1:2 และ 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (การทดลองที่ 1-5) ในตารางที่ 3.5 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยศึกษาสภาวะอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ เมทิลเมทาคริเลต-เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต-เมทิลอะคริเลต:อนุภาคบิสมัทวานาเดท คือ 60:40 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (การทดลองที่ 6-7) โดยที่อนุภาคบิสมัทวานาเดทได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วด้วยกรดโอเลอิกที่อัตราส่วนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิกที่ 1:4 จากนั้นศึกษาสภาวะอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน:อนุภาคบิสมัทวานาเดท คือ 90:10 80:20 และ 70: 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก(การทดลองที่ 8-10) โดยที่อนุภาคบิสมัทวานาเดทได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วด้วยกรดโอเลอิกที่อัตราส่วนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิกที่ 1:4 จากนั้นศึกษาอัตราส่วนร้อยละอนุภาคบิสมัทวานาเดทของมอนอเมอร์จะใช้นอนอเมอร์คือ เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และใส่โทลูอีนลงไปในตัวมอนอเมอร์ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะศึกษาปริมาณของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ 10 20 30 และ 50

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ (การทดลองที่ 11-14) และศึกษาอนุภาคบิสมีทวานาเดทที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดโอเลอิก ที่อัตราส่วนอนุภาคบิสมีทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:2 โดยเพิ่มปริมาณของโทลูอินเท่ากับมอนอเมอร์ โดยมอนอเมอร์ที่ใช้คือ เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน (การทดลองที่ 15)

ตารางที่ 3.5 สภาวะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมีทวานาเดทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมีทวานาเดท ต่อกรดโอเลอิกด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอพอลิเมอร์ไรเซชัน

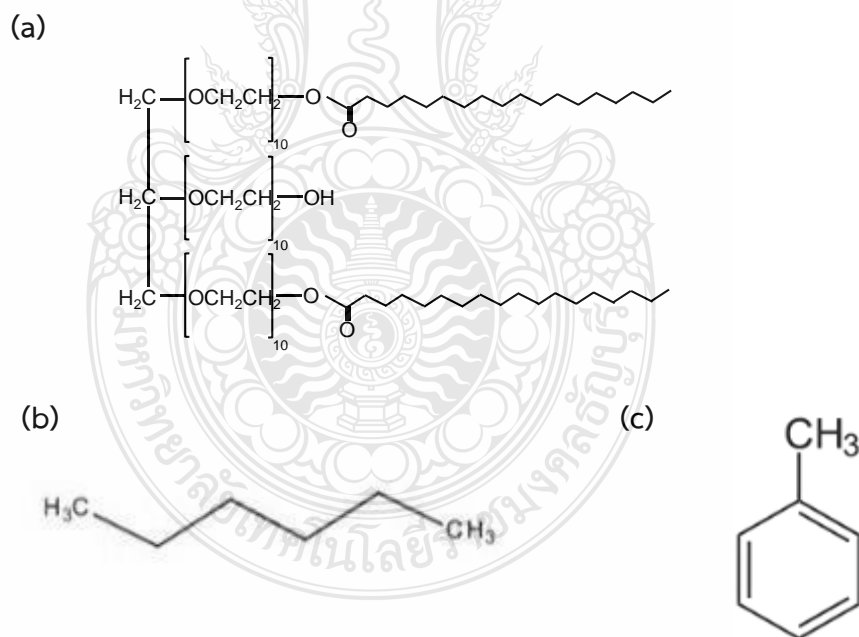
RUN	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	M ₄ (g)	M ₅ (g)	BPO (g)	CHI ₃ (g)	BiVO ₄ (g)	Toluene (g)	OA (g)	PVA (g)
1	2.45	0.35	-	0.35	0.35	0.40	0.04	1.50 ^a	-	-	44.60
2	2.45	0.35	-	0.35	0.35	0.40	0.04	1.50 ^a	1.50	0.75	42.00
3	2.45	0.35	-	0.35	0.35	0.40	0.04	1.50 ^a	3.00	1.50	40.10
4	2.45	0.35	-	0.35	0.35	0.40	0.04	1.50 ^a	6.00	3.00	35.60
5	2.45	0.35	-	0.35	0.35	0.40	0.04	1.50 ^a	9.00	4.50	31.10
6	2.40	0.30	-	-	0.30	0.40	0.04	2.00 ^b	-	-	44.60
7	2.80	0.35	-	-	0.35	0.40	0.04	1.50 ^b	-	-	44.60
8	4.05	-	0.45	-	-	0.40	0.04	0.50 ^b	-	-	44.60
9	3.60	-	0.40	-	-	0.40	0.04	1.00 ^b	-	-	44.60
10	3.15	-	0.35	-	-	0.40	0.04	1.50 ^b	-	-	44.60
11	2.00	-	0.50	-	-	0.12	0.02	0.25 ^b	1.25	-	45.90
12	2.00	-	0.50	-	-	0.12	0.02	0.50 ^b	1.25	-	45.60
13	2.00	-	0.50	-	-	0.12	0.02	0.75 ^b	1.25	-	45.40
14	2.00	-	0.50	-	-	0.12	0.02	1.25 ^b	1.25	-	44.90
15	2.00	-	0.50	-	-	0.12	0.02	1.00 ^b	2.50	-	43.90

M₁: MMA, M₂: EGDMA, M₃: DVB, M₄: HEMA, M₅: MA, a: pristine BiVO₄, b: o-BiVO₄

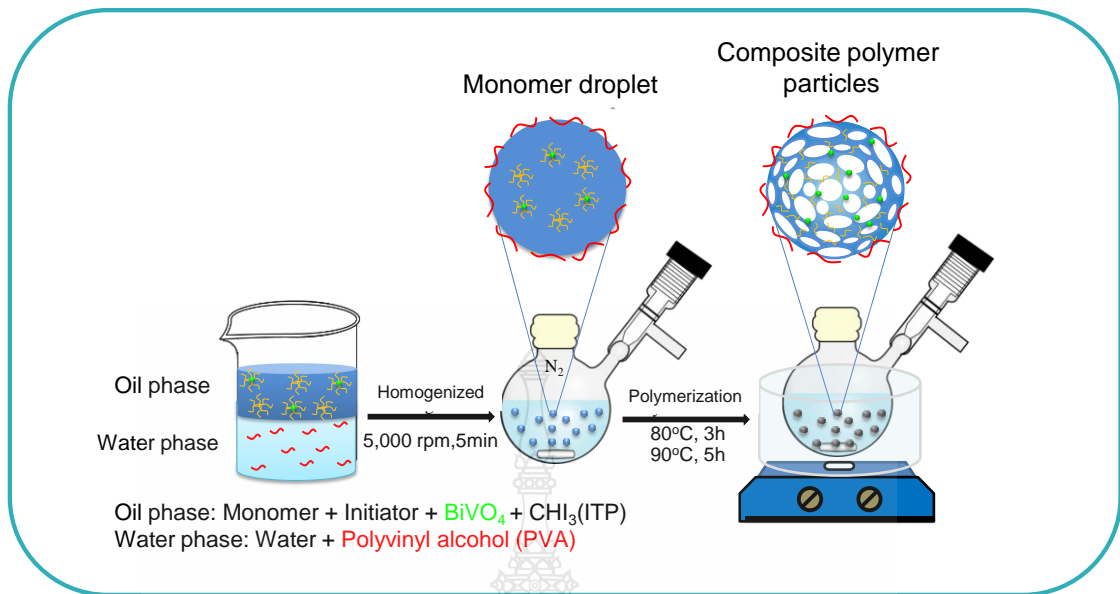
3.3.3.2 การศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดทที่มีรูพรุน

3.3.3.2.1 ศึกษาชนิดของสารที่ทำให้เกิดรูพรุน

ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดทที่มีรูพรุน เพื่อเพิ่มโอกาสที่น้ำสัมผัสกับอนุภาคบิส്മัทวานาเดทที่อยู่ภายใน โดยจะทำการศึกษาการเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความสมดุลระหว่างส่วนชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมันต่ำ ๆ ลงไปในวัฏภาคมอนอเมอร์ โดยจะทำการศึกษาชนิดของสารที่ทำให้เกิดรูพรุน คือ ฟิอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (DPHS) เฮกเซน (hexane) และ โทลูอิน (Toluene) ที่ระเหยง่ายที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 3.6 โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดท แต่มีการเติม สารที่ทำให้เกิดรูพรุนลงไปในวัฏภาคมอนอเมอร์ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นได้ทำการศึกษาการเพิ่มโคมอนอเมอร์ชนิดมีขั้ว คือ ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต (2-hydroxyethyl methacrylate; HEMA) ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกับน้ำของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท โดยใช้สภาวะการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.6 และภาพแสดงการทดลองที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 โครงสร้างทางเคมีของ ฟิอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a) เฮกเซน (b) และ โทลูอิน (c)



ภาพที่ 3.8 การเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน ที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดท ไว้ภายในด้วยกลไกการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุมูลอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน

ตารางที่ 3.6 สภาวะในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน ที่กักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดท ไว้ภายในด้วยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ แบบแขวนลอยด้วยกลไกอนุมูลอิสระแบบโยกย้ายไอโอดีน

Chemicals	Porogen (%wt)			
	5	8	10	
MMA	g 1.00	1.00	1.00	1.00
DVB	g 0.25	0.25	0.13	0.25
HEMA	g -	-	0.13	-
BiVO_4	g 0.50	0.50	0.50	0.50
Toluene	g 1.25	1.25	1.25	1.25
BPO	g 0.06	0.06	0.06	0.06
CHI_3	g 0.01	0.01	0.01	0.01
Porogen ^a	g 0.10	0.15	0.15	0.20
PVA aqueous solution (1wt%)	g 21.00	21.00	21.00	21.00

^aporogen : พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท เฮกเซนและโทลูอีน

3.3.3.3 การศึกษาสมบัติของอนุภาคพอลิเมอร์ผสม

3.3.3.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ (%Conversion) ด้วยเทคนิคการชั่งน้ำหนัก

ชั่งสารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมหลังสังเคราะห์ประมาณ 1.5 กรัม (W_s) (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและอบต่อจนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักหลังอบ จากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บันทึกน้ำหนักหลังเผา สูดทำย่น้ำหนักหลังอบลอบหลังเผามาคำนวณหาปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นโดยใช้สมการที่ (1)

$$\% \text{ Conversion} = \left[\frac{\left(\frac{W_p \times W_t}{W_s} \right) - (W_i + W_c + W_{sur} + W_{OA} + W_{por})}{W_m} \right] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_p คือ น้ำหนักพอลิเมอร์สุทธิ (หลังอบ - หลังเผา)

W_m คือ น้ำหนักมอนอเมอร์

W_i คือ น้ำหนักตัวริเริ่มปฏิกิริยา

W_c คือ น้ำหนักไอโอดีนฟอร์ม

W_{sur} คือ น้ำหนักพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

W_{OA} คือ น้ำหนักกรดโอเลอิก

W_{por} คือ น้ำหนักสารที่ทำให้เกิดรูพรุน

W_s คือ น้ำหนักของสารแขวนลอยก่อนอบ

W_t คือ น้ำหนักรวมของทุกองค์ประกอบก่อนสังเคราะห์

3.3.3.3.2 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

นำอนุภาคพอลิเมอร์ที่ได้ไปศึกษาลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในกรณีของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะเตรียมตัวอย่างโดยการหยดสารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทั้งก่อนและหลังการสังเคราะห์ลงบนกระจกสไลด์ 1 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ ก่อนการตรวจวัดด้วยกำลังขยายที่เหมาะสม ในกรณีของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเตรียมตัวอย่างโดยนำสารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ไปทำให้แห้งก่อนนำไปโรยลงบนแผ่นคาร์บอนที่ติดอยู่บนแท่นวางตัวอย่าง (stub) และทำการเคลือบอนุภาคด้วยทองคำ จากนั้น ตรวจวัดตัวอย่างโดยใช้กำลังขยายที่เหมาะสม

3.3.3.3.3 ศึกษาเปอร์เซ็นต์การบรรจุและประสิทธิภาพในการกักเก็บของอนุภาคบิสมัทวานาเดทในอนุภาคพอลิเมอร์

ทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การบรรจุของอนุภาคบิสมัทวานาเดทในอนุภาคพอลิเมอร์ (% Loading experiment; %L_{expt}) และประสิทธิภาพการกักเก็บ (% Encapsulation; %E) โดยการนำผงอนุภาคพอลิเมอร์ (W_{cap}) มาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้น นำน้ำหนักที่ได้จากการเผา (W_{BiVO₄}) มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบรรจุตั้งสมการที่ (2) เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การบรรจุทางทฤษฎี (%Loading theory; %L_{th}) ที่คำนวณได้จากสมการที่ (3) ดังนี้

$$\%L_{\text{expt}} = \left(\frac{W_{\text{BiVO}_4}}{W_{\text{cap}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\%L_{\text{th}} = \left(\frac{W_{\text{BiVO}_4}}{W_{\text{BiVO}_4} + \left(\frac{W_m \times (\% \text{conversion} - \% \text{Fp})}{100} \right)} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{Fp} = \left[\frac{\left(\frac{W_{\text{Fp}}}{W_c} \right) \times W_t}{W_m} \right] \times 100 \quad (4)$$

$$\%E = \frac{\%L_{\text{expt}}}{\%L_{\text{th}}} \times 100 \quad (5)$$

การหาปริมาณของอนุภาคพอลิเมอร์อิสระที่เกิดขึ้นในวัฏภาคน้ำจะหาในรูปของเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์อิสระ (%Free particle; %Fp) โดยชั่งน้ำหนักของสารแขวนลอย (W_s) หลังจากการสังเคราะห์ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที นำส่วนสารแขวนลอยด้านบนไปทำการอบที่ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (W_{Fp}) นำมาใช้ในการคำนวณดังสมการที่ (4) เมื่อ W_{cap} และ W_{BiVO_4} คือ น้ำหนักพอลิเมอร์ก่อนเผาและน้ำหนักอนุภาคบิสมัทวานาเดทหลังจากการเผาพอลิเมอร์

W_{Fp} คือ น้ำหนักของอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำ

W_s คือ น้ำหนักของสารแขวนลอยก่อนทำการปั่นหมุนเหวี่ยง

W_t คือ น้ำหนักขององค์ประกอบทั้งหมดก่อนการสังเคราะห์

W_m คือ น้ำหนักของมอนอเมอร์ก่อนการสังเคราะห์

3.3.4 การทดลองเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองต้นแบบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

3.3.4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย

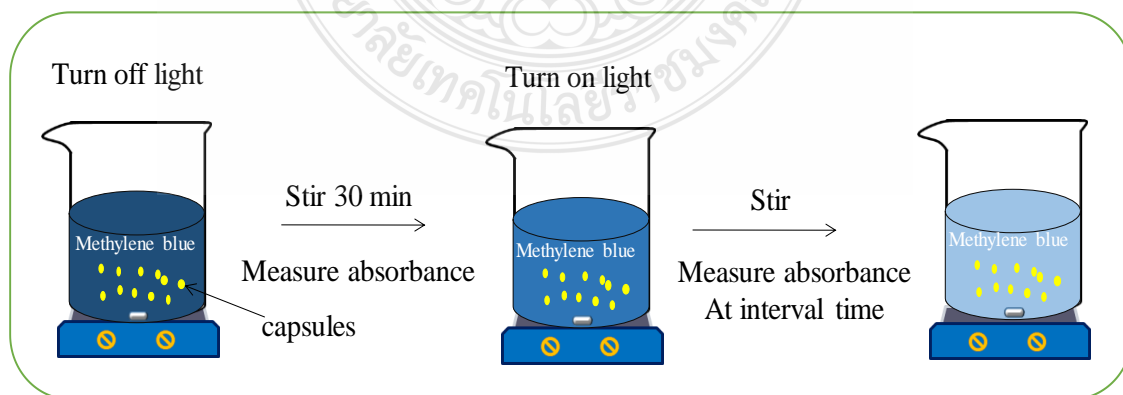
ในเบื้องต้นก่อนการนำอนุภาคพอลิเมอร์ไปเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการสลายตัวของเมทิลีนบลูด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ก่อน โดยในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายเมทิลีนบลู 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ($C_{MB,0}$) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (V_{MB}) ซึ่งเป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมชนิดต่าง ๆ และอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่บริสุทธิ์ เช่น พอลิ(เมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน), อนุภาคบิสมัทวานาเดท, พอลิ(เมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/โอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท, พอลิ(เมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/โอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท, และ พอลิ(เมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/โอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท ใส่ลงไปในสารละลายเมทิลีนบลู ทำการปั่นกวนสารละลายในที่มืดเพื่อให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลา 30 นาที แล้วปั่นกวนต่อโดยฉายแสงภายใต้แสงที่ตามองเห็นเป็นเวลา 30 นาที แสดงดังภาพที่ 3.8 โดยที่ก่อนการวัดสารละลายเมทิลีนบลูที่มีอนุภาคพอลิเมอร์ผสมต่าง ๆ จะนำไปปั่นเหวี่ยง ซึ่งอนุภาคพอลิเมอร์จะตกตะกอนอยู่ด้านล่างและสารละลายเมทิลีนบลูจะลอยอยู่ด้านบนแล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายเมทิลีนบลูวัดค่าการดูดกลืนแสง ปั่นต่ออีก 3 ชั่วโมง โดยวัดเมทิลีนบลูทุก ๆ 30 นาที แล้วคำนวณความ

เข้มข้นของเมทิลีนบลูที่ลดลง ประสิทธิภาพการสลายตัวของเมทิลีนบลูจะแสดงผลในรูปของมิลลิกรัมของสารละลายเมทิลีนบลูต่อกรัมของอนุภาคบิสมัทวานาเดท ซึ่งตรวจสอบโดยการหาปริมาณของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ในสารละลายในเวลาต่าง ๆ โดยความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ ($C_{MB,i}$) ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู(1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ซึ่งปริมาณการสลายตัวของเมทิลีนบลู (W_{MB}) ในหน่วยมิลลิกรัมของเมทิลีนบลูคำนวณได้จากสมการที่ (6) ในขณะที่ประสิทธิภาพการสลายตัวของเมทิลีนบลู (DE) จะอยู่ในรูปของมิลลิกรัมของเมทิลีนบลูต่อกรัมของอนุภาคบิสมัทวานาเดทหรือเปอร์เซ็นต์การสลายตัวที่คำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$W_{MB} \text{ (mg)} = (C_{MB,0} - C_{MB,i}) \times \frac{V_{MB}}{1,000} \quad (6)$$

$$DE = \frac{W_{MB}}{W_{BIVO4}} \text{ or } \left[\frac{(C_{MB,0} - C_{MB,i})}{C_{MB,0}} \right] \times 100 \quad (7)$$

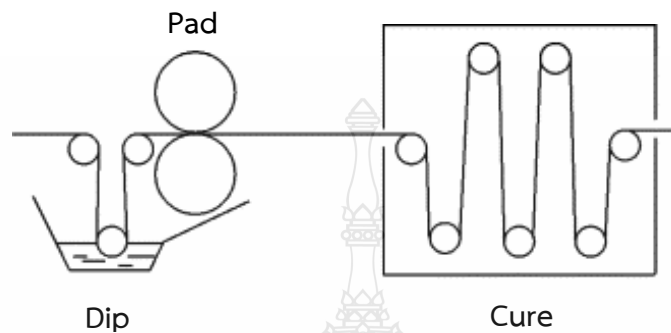
โดยที่ W_{MB} , $C_{MB,0}$, $C_{MB,i}$, V_{MB} , W_{BIVO4} และ DE คือน้ำหนักของสารละลายเมทิลีนบลูที่ลดลง (มิลลิกรัม), ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูก่อนการบำบัด (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูหลังการบำบัด ที่เวลาต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลู (50 มิลลิตร) น้ำหนักอนุภาคบิสมัทวานาเดทในอนุภาคพอลิเมอร์ผสมโดยการชั่งน้ำหนักและประสิทธิภาพการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู ตามลำดับ



ภาพที่ 3.9 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย

3.3.4.2 การเคลือบผ้าด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

ในการเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองต้นแบบ จะนำอนุภาคพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้มาใช้เคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยกระบวนการ Dip-Pad-Cure ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.10 กระบวนการ จุ่ม-อัด-อบแห้ง (Dip-Pad-Cure)

โดยในงานนี้จะทำการผสมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมกับสารเชื่อมนาโนพอลิยูริเทน (nano PU) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากนั้น นำผ้าขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร จุ่มลงในสารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมและสารตัวเชื่อมทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที นำผ้าขึ้นมารีดอัด (Pad) และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้เกิดการยึดอนุภาคให้ติดกับผ้า จะได้ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมแล้วนำไปตรวจดูลักษณะของผ้าหลังการเคลือบด้วยแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยจะเปรียบเทียบการเคลือบผ้าแบบใช้อนุภาคบิสมัทวานาเดทและอนุภาคพอลิเมอร์ผสม ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะในการเตรียมผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมโดยใช้นาโนพอลิยูริเทนเป็นสารตัวเชื่อม

Chemicals	BiVO ₄	Composite polymer particle
Capsule (g)	0.20	2.50
Nano PU (g)	0.30	0.30
Total solution (g)	100.00	100.00

จากนั้นทำการศึกษาสมบัติของผ้าหลังการเคลือบคือ เปอร์เซ็นต์การเคลือบติด (% Add on) ด้วยการชั่งน้ำหนัก ดังสมการที่ (8)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเคลือบติด} = \left(\frac{W_{f,c} - W_f}{W_{f,c}} \right) \times 100 \quad (8)$$

โดยที่ W_f และ $W_{f,c}$ คือน้ำหนัก (g) ของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการเคลือบ ตามลำดับ

สุดท้าย ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเองโดยการหยดสารละลายเมทิลีนบลู และตัวอย่างจริง คือ กาแฟ ลงบนผ้าต้นแบบที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม เปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ได้เคลือบ สังเกตความเข้มของสีบนผ้า ทำการฉายแสง และสังเกตความเข้มของสีที่เวลาต่าง ๆ

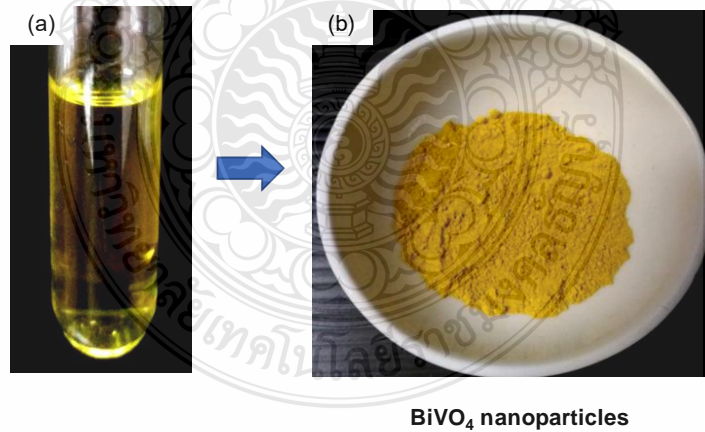


บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

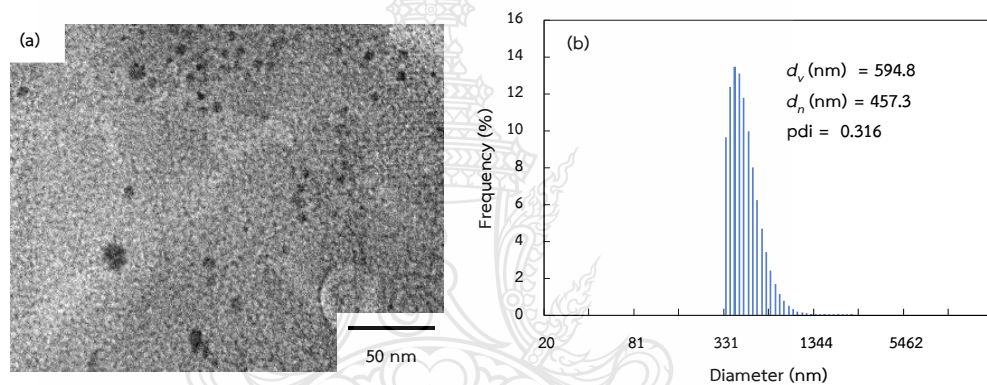
4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคบิส്മัทวานาเดท

จากการสังเคราะห์อนุภาคบิส്മัทวานาเดทที่เตรียมได้โดยวิธีสารละลายคอลลอยด์[100] โดยในกรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระ อะซีติก จะมีหมู่คาร์บอกซิล ในสถานะที่เป็นเบส จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ทำให้มีประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลที่มีไอออนลบ 4 ตัว ซึ่งจะสามารถจับกับไอออนบวกของบิส്മัทและวานาเดทไอออนให้อยู่ในโมเลกุลของกรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระ อะซีติก หลังการสังเคราะห์พบว่า สารละลายที่ได้มีสีเหลืองใส ไม่เกิดการตกตะกอน แสดงในภาพ 4.1(a) หลังจากนั้นระเหยน้ำออกแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สารที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท ดังภาพที่ 4.1(b)



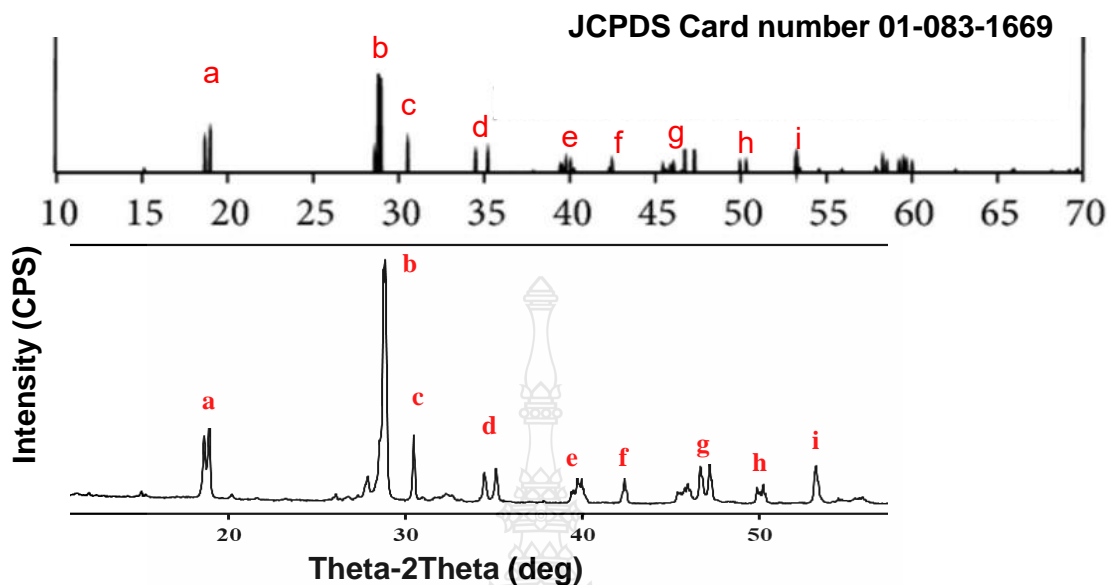
ภาพที่ 4.1 แสดงสารละลายบิส്മัทวานาเดท (a) และ อนุภาคบิส്മัทวานาเดทหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (b)

จากนั้นนำอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เตรียมได้ มาศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ดังภาพที่ 4.2(a) พบว่าอนุภาคมีลักษณะทรงกลม มีส่วนที่กระจายตัวซึ่งจะมีขนาด ประมาณ 10-20 นาโนเมตร แต่เมื่อนำบิสมัทวานาเดทมาวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระเจิงของแสงพลวัต พบว่า ขนาดอนุภาคที่ได้ประมาณ 400-600 นาโนเมตร โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัว เท่ากับ 0.32 ดังภาพที่ 4.2(b) ขนาดที่แตกต่างกันเนื่องมาจากการวัดด้วยเครื่องวัดการกระเจิงของแสงพลวัตจะวัดตัวอย่างในรูปของอิมัลชันโดยนำอนุภาคบิสมัทวานาเดทกระจายตัวในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งอนุภาคกระจายตัวได้ไม่ค่อยดีเกิดการเกาะตัวกัน ทำให้มีขนาดที่ใหญ่กว่าการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



ภาพที่ 4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (a) และ DLS ฮิสโทแกรม (b) ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท

และเมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกด้วย เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer; XRD) พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เตรียมได้ มีลักษณะโครงสร้างผลึกที่สอดคล้องกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของอนุภาคบิสมัทวานาเดทแบบโมนอคลินิก (JCPDS Card number 01-083-1699) [101] ดังภาพที่ 4.3 พีคที่สำคัญจะสังเกตได้ที่ 28.8° และ 28.9° ตามลำดับ ซึ่งเป็นหลักฐานให้เห็นว่าโครงสร้างของอนุภาคบิสมัทวานาเดทแบบโมนอคลินิกมีสมบัติโพโตแคตาไลติกที่ดี [71, 102]



ภาพที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท

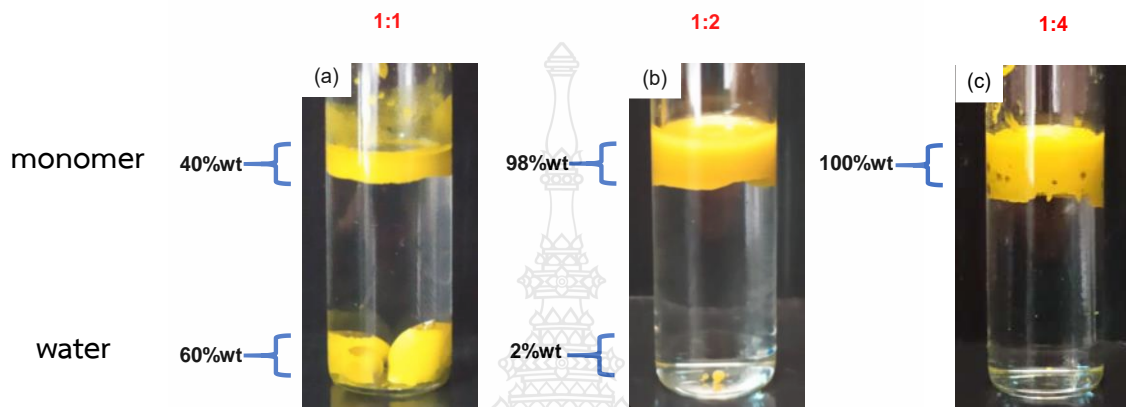
4.2 ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดท

เนื่องจากอนุภาคบิสมัทวานาเดท เป็นอนุภาคอนินทรีย์ อาจจะกระจายตัวโดยตรงในวัฏภาคมอนอเมอร์ได้ไม่ดี ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิว อนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยมี 2 วิธี คือ (1) เคลือบด้วยกรดโอเลอิก (2) ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนเพื่อให้พื้นผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น และสามารถกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคมอนอเมอร์

4.2.1 ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดท

ในกรณีของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบด้วยกรดโอเลอิก โดยเตรียมที่อัตราส่วนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:1 1:2 และ 1:4 เมื่อทำการศึกษาการแพร่ของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกที่สภาวะต่าง ๆ ระหว่างวัฏภาคของมอนอเมอร์และน้ำ (ที่ 4.4) พบว่า ความไม่หิวของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดโอเลอิก โดยที่อัตราส่วน 1:1 ความไม่หิวที่ผิวมีค่าค่อนข้างต่ำทำให้อนุภาคบิสมัทวานาเดทส่วนใหญ่ (60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กระจายตัวในวัฏภาค

น้ำ แต่เมื่อปริมาณของกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 อนุภาคบิสมันานาเดทมีความไม่มี
 ชั่วสูงพอที่จะแพร่กระจายขึ้นไปอยู่บนชั้นของวัฏภาคมอนอเมอร์ (มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
 โดยจะเลือกอัตราส่วนที่ 1:2 เป็นสถานะที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาต่อในการทดลองต่อไป เนื่องจาก
 ใช้กรดโอเลอิกในปริมาณไม่สูงมากแต่ทำให้เกือบทั้งหมดของอนุภาคบิสมันานาเดทแพร่อยู่บนชั้นของวัฏ
 ภาคมอนอเมอร์ได้



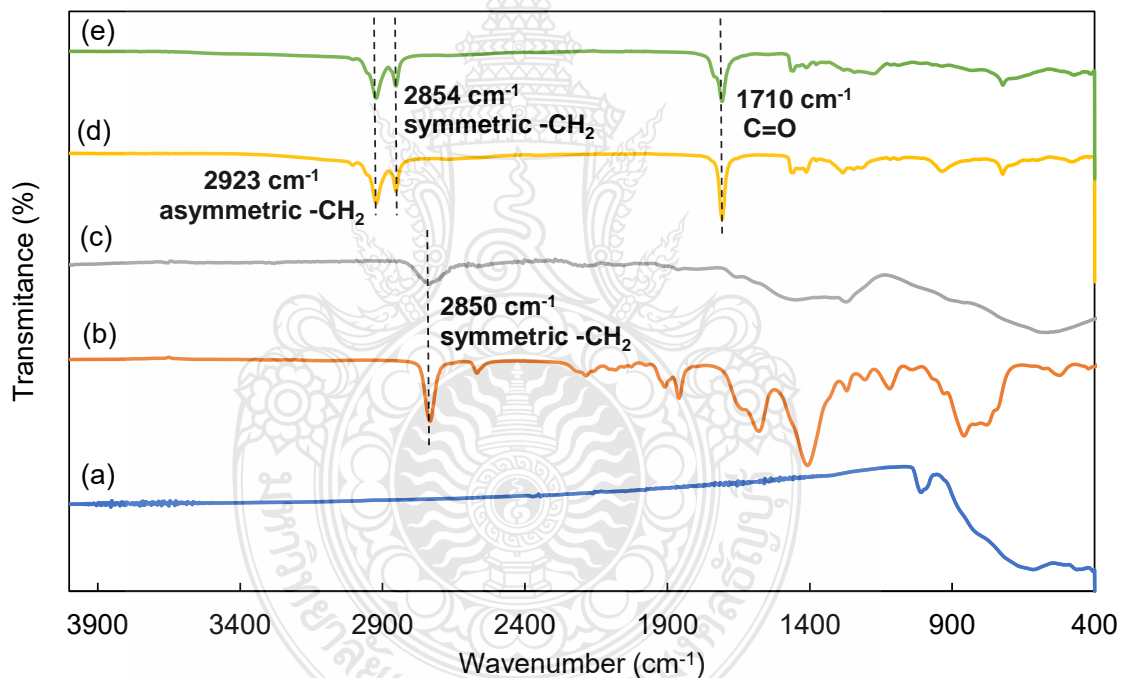
ภาพที่ 4.4 สองวัฏภาคของวัฏภาคมอนอเมอร์และวัฏภาคน้ำที่มีการกระจายตัวของบิสมันานาเดทที่
 ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วอัตราส่วนระหว่างบิสมันานาเดทต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:1 (a), 1:2 (b)
 และ 1:4 (c)

ในกรณีของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลน พบว่าผิวของอนุภาคบิสมันานาเดท
 ความไม่มีชั่วสูงเช่นเดียวกับการเคลือบด้วยกรดโอเลอิก ดังจะเห็นได้จากทั้งหมดของอนุภาคที่ถูก
 ปรับปรุงผิวแพร่กระจายขึ้นไปอยู่บนชั้นของวัฏภาคมอนอเมอร์ (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 สองวัฏภาคของวัฏภาคมอนอเมอร์และวัฏภาคน้ำที่มีการกระจายตัวของอนุภาคบิสมันานาเดทที่
 ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้ว ด้วยสารคู่ควบไฮเลน

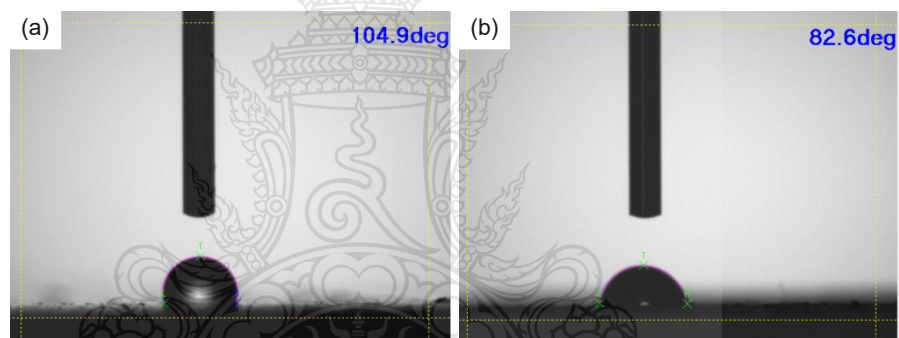
จากนั้น นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy) ดังภาพที่ 4.6 เพื่อยืนยันการเคลือบบนผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทของทั้งกรดโอเลอิกและสารคู่ควบไซเลน ในกรณีที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก (ภาพที่ 4.6e) พบว่ามีพีคที่ 2854 และ 2923 เซนติเมตร⁻¹ ที่สอดคล้องกับสมมาตรของ -CH₂ และไม่สมมาตรของ -CH₂ ในกรดโอเลอิก (ภาพที่ 4.6d) ตามลำดับ และคาร์บอนิลของหมู่คาร์บอกซิลิก พบว่ามีพีคที่ 1710 เซนติเมตร⁻¹ [103, 104] สอดคล้องกับกรดโอเลอิก ในขณะที่การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน พบว่า สเปกตรัม FTIR มีพีคที่ 2850 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งเป็นลักษณะของการสั่นของ CH ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมของสารคู่ควบไซเลน (ภาพที่ 4.6b) แสดงให้เห็นว่าที่ผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดทมีโมเลกุลของทั้งกรดโอเลอิกและสารคู่ควบไซเลนเคลือบติดอยู่



ภาพที่ 4.6 FT-IR spectra ของอนุภาคบิสมัทวานาเดท (a) ไตรเมทอกซีไซลิล โพรพิล เมทาคริเลต (MPS) (b) อนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (c) กรดโอเลอิก (d) และ อนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก (e)

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความไม่มีขี้ของอนุภาคบิสมัทวานาเดที่ปรับปรุงผิว โดยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยการนำอนุภาคทั้งสองสถานะขึ้นรูปเกิดเป็นฟิล์มบนแผ่นสไลด์และทำการหยดน้ำลงบนแผ่นฟิล์มโดยมุมสัมผัสของน้ำจะแปรผันตามความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคบิสมัทวานาเดที่ในวัฏภาคมอนอเมอร์หรือความไม่มีขี้บนผิวอนุภาค [105] ซึ่งมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไปจะหมายถึง แผ่นฟิล์มที่มีความมีขี้ค่อนข้างสูงเนื่องจากเข้ากับหยดน้ำได้ดี ในขณะที่ มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° จะบ่งบอกถึงความไม่มีขี้ของแผ่นฟิล์ม

โดยในการทดลองนี้ พบว่า อนุภาคบิสมัทวานาเดที่เคลือบกรดโอเลอิกมีความไม่มีขี้มากกว่าการเคลือบด้วยสารคู่ควบไซเลน โดยดูได้จากมีค่ามุมสัมผัสที่ 104.9 deg (ภาพที่ 4.7a) ในขณะที่ อนุภาคบิสมัทวานาเดที่ปรับแต่งด้วยสารคู่ควบไซเลน มีค่ามุมสัมผัสที่ 82.6 deg (ภาพที่ 4.7b) ดัง



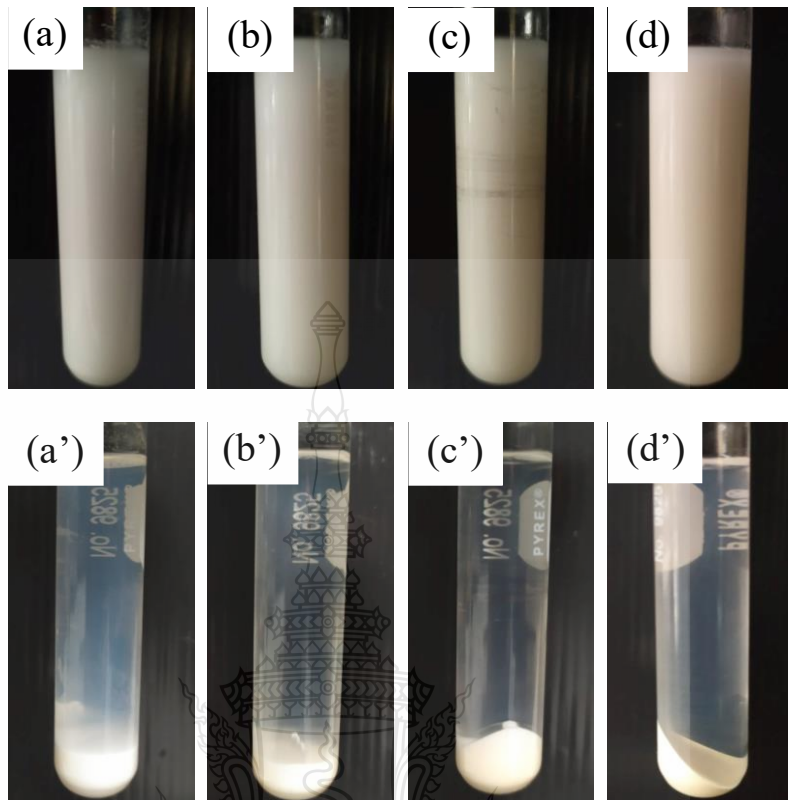
ภาพที่ 4.7 contact angle แสดงมุมสัมผัสกับน้ำของอนุภาคบิสมัทวานาเดที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดโอเลอิก (a) สารคู่ควบไซเลน (b)

เมื่อพิจารณาจากความไม่มีขี้จะเห็นได้ว่าการเคลือบผิวของอนุภาคบิสมัทวานาเดด้วยกรดโอเลอิกจะเหมาะสมกว่าการใช้สารคู่ควบไซเลน จะมีขั้นตอนที่ยุงยากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดโอเลอิกเป็นสารเคลือบผิวอนุภาคที่เหมาะสมและใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลของการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A

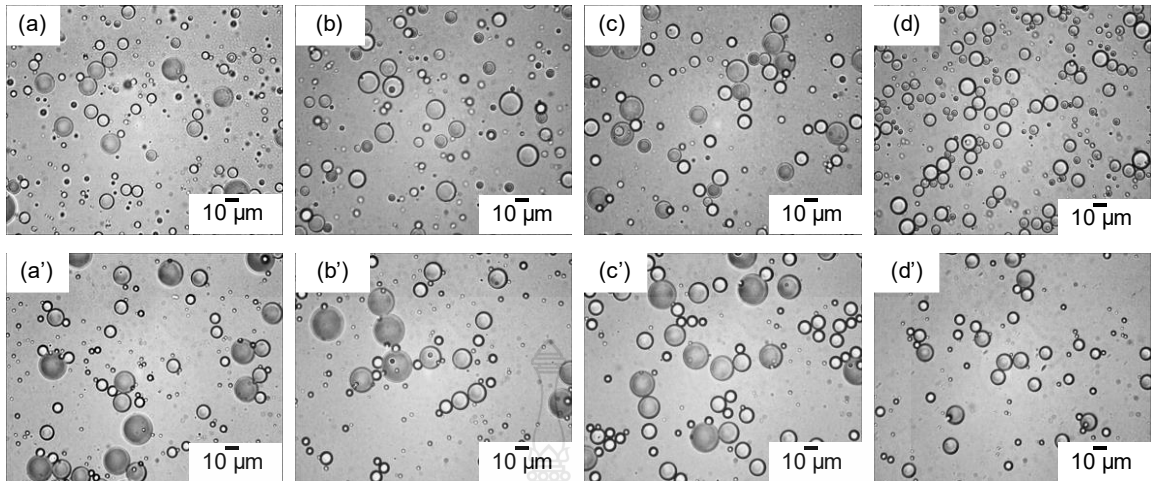
ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ในกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย ด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอโรพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยทำการศึกษาชนิดของมอนอเมอร์ คือ เมทิลเมทาคริเลต เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต ไตไวนิลเบนซีน เมทิลอะคริเลตและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต โดยใช้เมทิลเมทาคริเลตเป็นมอนอเมอร์หลักในการสังเคราะห์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และชนิดของมอนอเมอร์ในการเตรียมเปลือกพอลิเมอร์ที่เหมาะสมของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A โดยใช้อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่าง ๆ คือ เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต ที่ 80:20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่ 80:10:10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่ 70:10:10:10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิลเบนซีน ที่ 80:20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ไอโอดิฟอร์ม เป็นสารโยกย้ายสายโซ่และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่า สารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทุกสภาวะมีลักษณะเป็นน้ำนม สีขาวขุ่น ดังภาพที่ 4.8 และเมื่อนำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการปั่นเหวี่ยงด้วยอัตราความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีจะเกิดการแยกวัฏภาคโดยอนุภาคพอลิเมอร์จะตกตะกอนอยู่ด้านล่างมีลักษณะเป็นสีขาว เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคพอลิเมอร์มีค่ามากกว่าน้ำทำให้อนุภาคพอลิเมอร์ตกตะกอนอยู่ด้านล่าง เมื่อพิจารณาวัฏภาคน้ำพบว่าค่อนข้างใสแสดงว่าเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำน้อยมาก ขนาด ≤ 100 nm ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักปริมาณของอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำมีค่าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.1

เนื่องจากการใช้กลไกการสังเคราะห์ด้วยกลไกไอโอดีนทรานสเฟอโรพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งจะมีสารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีนที่ไม่ละลายน้ำทำหน้าที่ในการจับอนุมูลอิสระ ทำให้สายโซ่โพลิเมอร์มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้นจึงลดการเคลื่อนที่ออกมาในวัฏภาคน้ำ จึงสามารถควบคุมพอลิเมอร์ไรเซชันให้เกิดภายในหยดได้ดี ซึ่งจะช่วยให้การเกิดอนุภาคอิสระในวัฏภาคน้ำลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [20]



ภาพที่ 4.8 สารแขวนลอยต่าง ๆ ก่อน (a-d) และหลัง (a'-d') การปั่นเหวี่ยงที่อัตราความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ของอนุภาคพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ: พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต) 80:20 (a และ a') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) 80:10:10 (b และ b') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) 70:10:10:10 (c และ c') และพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไทไวนิลเบนซีน) 80:20 (d และ d') โดยน้ำหนัก

เมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะอนุภาคพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าทั้งหดยดมอโนเมอร์และอนุภาคพอลิเมอร์หลังสังเคราะห์มีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดใกล้เคียงกันอยู่ในระดับไมโครเมตรและมีการกระจายตัวของอนุภาคที่กว้าง แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกการเกิดอนุภาคแบบหยดอย่างมีประสิทธิภาพ มีอนุภาคอิสระน้อยสอดคล้องกับปริมาณอนุภาคอิสระที่ตรวจวัดได้ ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a-d) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a'-d') ต่าง ๆ โดยใช้ พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต) 80:20 (a และ a') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) 80:10:10 (b และ b') พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต : เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) 70:10:10:10 (c และ c') และพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) 80:20 (d และ d')

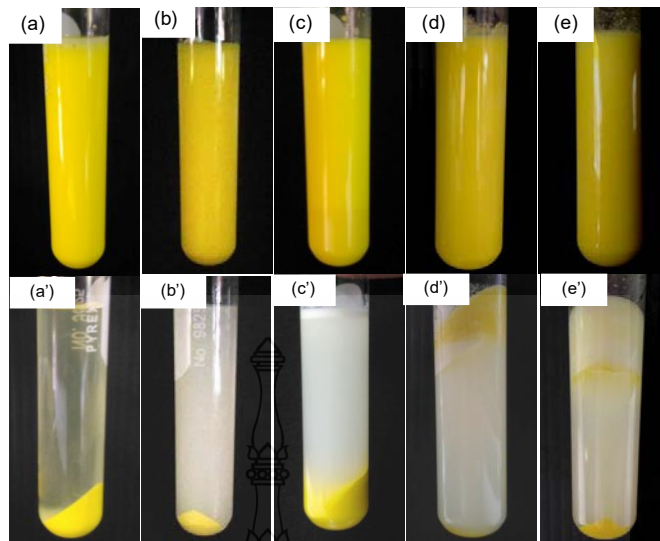
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ เปอร์เซ็นต์และขนาดอนุภาคในการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำของอนุภาคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Monomer (%wt)	Conversion(% (\pm SD*))	Free polymer particle (wt% relative to total monomer)	d_v (nm)	d_n (nm)	Pdi
MMA: EGDMA 80 : 20	88 ± 4.62	2.06	108.37	82.83	0.16
MMA: EGDMA: HEMA 80 : 10 : 10	74 ± 0.58	1.25	90.13	64.87	0.27
MMA: EGDMA: HEMA: MA 70 : 10 : 10 : 10	73 ± 1.73	0.99	86.97	63.90	0.24
MMA: DVB 80 : 20	61 ± 0.58	2.38	80.30	57.33	0.27

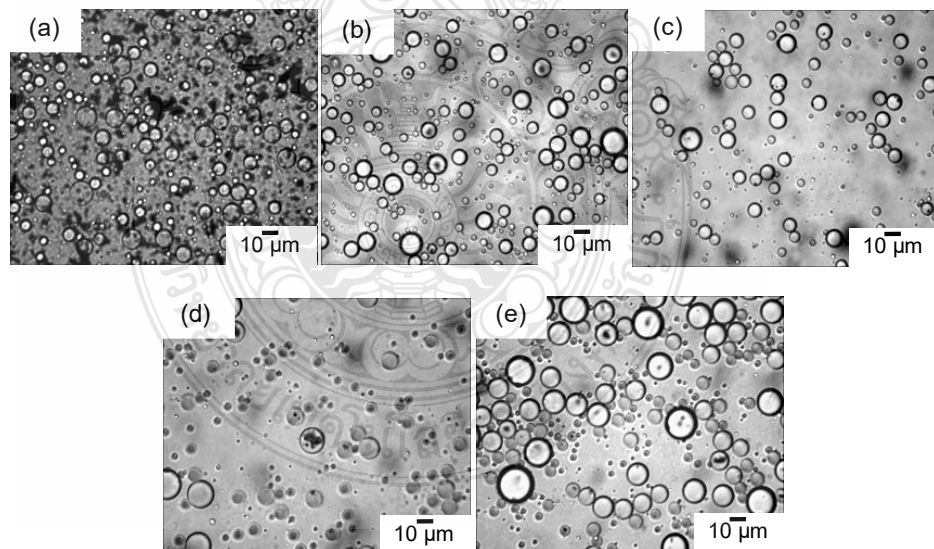
*n=3

4.3.1 ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

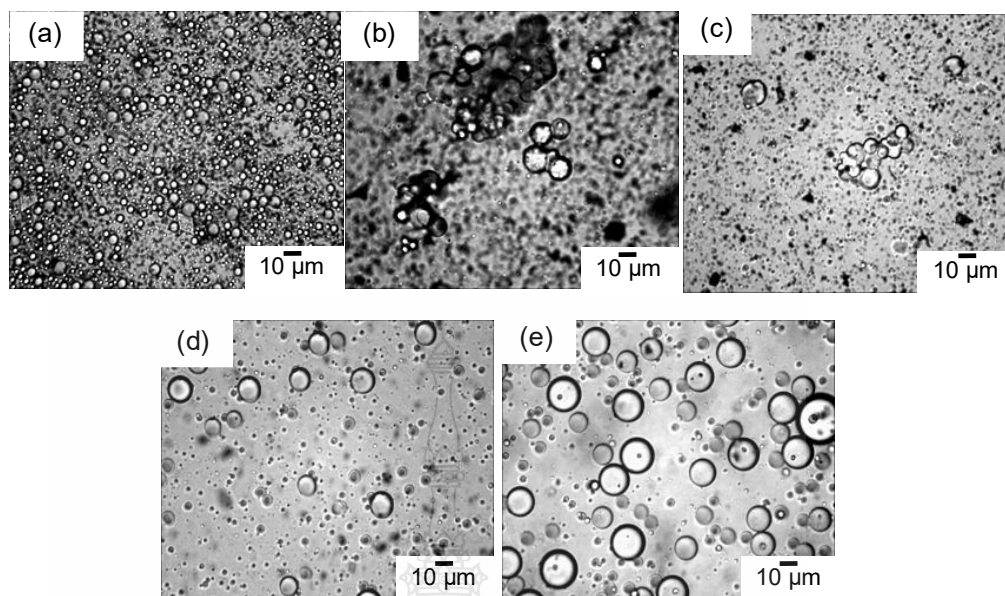
เริ่มต้นศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ยังไม่มีการปรับปรุงผิว แต่จะนำอนุภาคบิสมัทวานาเดทมาผสมกับกรดโอเลอิกที่อัตราต่าง ๆ 1:0 1:0.5 1:1 1:2 และ 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่จะใช้นอนอเมอร์ทั้งหมด 4 ชนิด คือ เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต: 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่อัตราส่วน 70:10:10:10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังการทดลองที่ 1-5 ในตารางที่ 3.5 หลังจากสังเคราะห์เสร็จจะได้สารที่มีลักษณะเป็นสีเหลือง ขุ่นและทำการปั่นเหวี่ยงที่อัตราความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พบว่าที่อัตราส่วนอนุภาคบิสมัทวานาเดทต่อกรดโอเลอิกที่ 1:0 อนุภาคตกตะกอนอยู่ด้านล่าง วัฏภาคน้ำยังคงใส เนื่องจากยังไม่มีกรดโอเลอิก แต่เมื่อปริมาณโอเลอิกเพิ่มมากขึ้นวัฏภาคน้ำจะมีความขุ่นมากขึ้น น่าจะเกิดจากมีอนุภาคอิสระมากขึ้น การมีกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้นโมเลกุลของกรดโอเลอิกอาจเคลื่อนที่ออกมาจากหยดเกิดเป็นไมเซลล์ในน้ำและเกิดอนุภาคอิสระ และสภาวะที่ 1:2 (การทดลองที่ 4) และ 1:3 (การทดลองที่ 5) นั้น จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคสีเหลืองบางส่วนลอยอยู่ชั้นบน เนื่องจากการใช้ปริมาณของกรดโอเลอิกและโพลูอินมาก จึงเกิดการแยกวัฏภาคของอนุภาคบิสมัทวานาเดทออกจากอนุภาคพอลิเมอร์และลอยขึ้นไปอยู่ด้านบน ดังภาพที่ 4.10 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะอนุภาคพอลิเมอร์ที่ตรวจสอบด้วยจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดย อนุภาคพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการกระจายตัวที่กว้าง แต่มีจำนวนของอนุภาคบิสมัทวานาเดทอยู่ในอนุภาคพอลิเมอร์น้อยมากโดยอนุภาคหยดและพอลิเมอร์มีลักษณะค่อนข้างโปร่งแสงหากมีอนุภาคบิสมัทวานาเดทอยู่ภายในอนุภาคควรจะทึบแสงได้ ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12



ภาพที่ 4.10 สารแขวนลอยของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไตเมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่อัตราส่วน 70: 10: 10: 10 ก่อน (a-e) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a'-e') โดยใช้อัตราส่วนต่างๆของอนุภาคบิสทิวานาเดทต่อกรดโอเลอิก: 1:0 (a, a'), 1:0.5 (b, b'), 1:1 (c, c'), 1:2 (d, d') และ 1:3 (e, e') ตามลำดับ

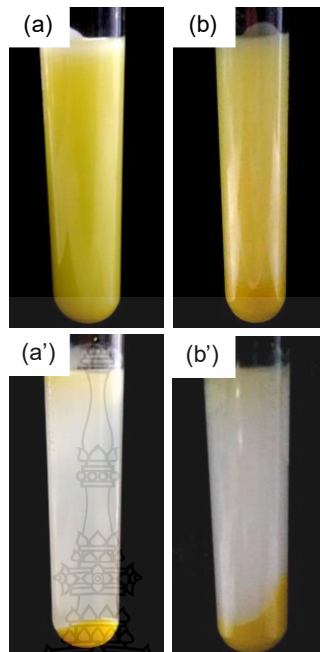


ภาพที่ 4.11 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไตเมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่อัตราส่วน 70:10:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่างๆของอนุภาคบิสทิวานาเดทต่อกรดโอเลอิก: ที่ 1:0 (a), 1:0.5 (b), 1:1 (c), 1:2 (d) และ 1:3 (e) ตามลำดับ

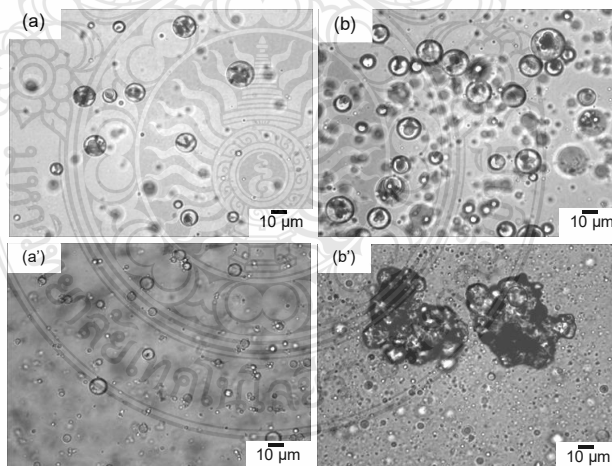


ภาพที่ 4.12 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ (เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต: ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่ อัตราส่วน 70:10:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของอนุภาคบิสมัทวานาเดตต่อกรดโอเลอิก ที่ 1:0 (a), 1:0.5 (b), 1:1 (c), 1:2 (d) และ 1:3 (e) ตามลำดับ

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอนุภาคบิสมัทวานาเดตที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกมาใช้ในการเตรียม อนุภาคพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต ที่ อัตราส่วน 80:10:10 เป็นเปลือกโดยที่อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์: อนุภาคบิสมัทวานาเดตที่ 60:40 (การทดลองที่ 6 และ 70:30 (การทดลองที่ 7) พบว่าอนุภาคพอลิเมอร์อิสระเกิดขึ้นจำนวนมากในชั้น ของน้ำดังจะเห็นได้จากชั้นน้ำมีลักษณะขาวขุ่นหลังจากปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที (ภาพที่ 4.13) นอกจากนี้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ทั้งสองสภาวะไม่สามารถคงความเสถียรได้โดยจะเกาะตัวกัน เป็นก้อนใหญ่ทั้งที่หยดมอนอเมอร์มีลักษณะทรงกลมมีความเสถียรสูง (ภาพที่ 4.14) เนื่องจากมอนอ เมอร์ที่ใช้มีสภาพขั้วค่อนข้างสูงทำให้เกิดอนุภาคอิสระในน้ำได้ง่ายซึ่งอนุภาคใหม่เหล่านี้จะมาเกาะที่ อนุภาคพอลิเมอร์ (ขนาดไมโครเมตร) ที่เกิดผ่านกลไกแบบหยดทำให้ความเสถียรเสียสภาพ ดังนั้นเพื่อ ลดปริมาณของอนุภาคพอลิเมอร์อิสระจึงทำการปรับเปลี่ยนชนิดของมอนอเมอร์ที่จะใช้นำมาเป็นเปลือก พอลิเมอร์ให้มีความชอบน้ำลดลง

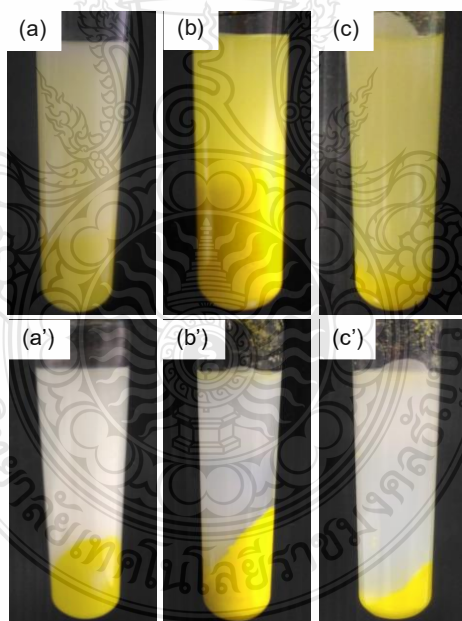


ภาพที่ 4.13 สารแขวนลอยก่อน (a และ b) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a' และ b') (เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่างๆของมอนอเมอร์ต่ออนุภาคบิสมัทวานาเดท: 60:40 (a และ a') และ 70:30 (b และ b')



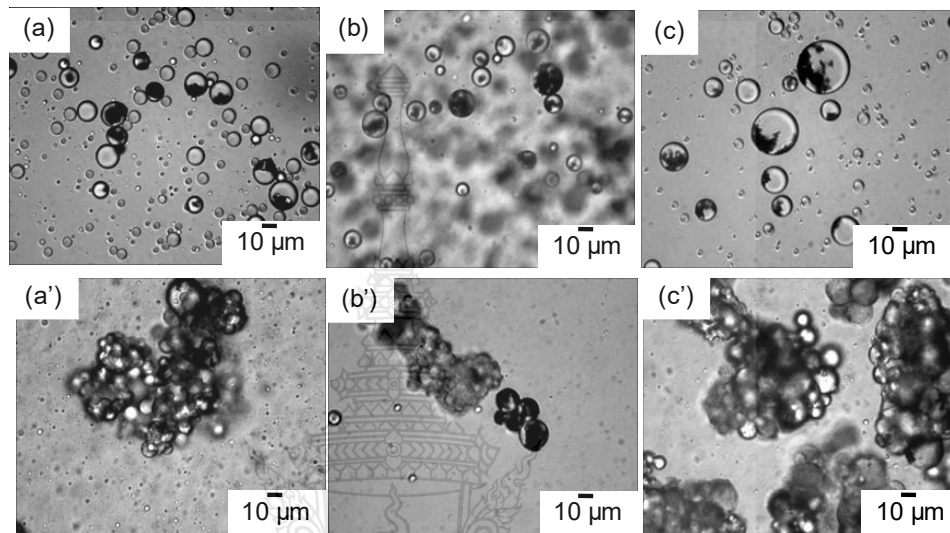
ภาพที่ 4.14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของหยดมอนอเมอร์ (a และ b) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' และ b') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต: เมทิลอะคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10 โดยใช้อัตราส่วนต่างๆของมอนอเมอร์ต่ออนุภาคบิสมัทวานาเดท: 60:40 (a และ a') และ 70:30 (b และ b')

โดยใช้เปลือกพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากเมทิลเมทาคริเลตและไดไวนิลเบนซีน (10%โดยน้ำหนักของเมทิลเมทาคริเลต) เป็นสารเชื่อมร่างแหในขณะที่จะปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์:อนุภาคบิสมาทวานาเดที่สภาวะต่าง ๆ (90:10 80:20 และ 70: 30) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่อนุภาคบิสมาทวานาเดได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วด้วยกรดโอเลอิก (การทดลองที่ 8-10) หลังจากการสังเคราะห์สารแขวนลอยที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น อนุภาคพอลิเมอร์ผสมตกตะกอนเร็ว ไม่มีความเสถียร และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยอัตราเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พบว่า ทั้งสามสภาวะ วิทยาศาสตร์น้ำยังคงมีความขุ่น ดังภาพที่ 4.15 และเมื่อนำไปทำการตรวจสอบรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า ทั้งสามสภาวะ หยดมอนอเมอร์ มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการกระจายตัวที่กว้าง และมีอนุภาคบิสมาทวานาเดอยู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์เล็กน้อย และหลังสังเคราะห์เสร็จอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเด ซึ่งไม่มีความเสถียรและเกาะตัวกันเป็นอย่างมาก ดังภาพที่ 4.16 นอกจากนี้ยังพบอนุภาคบิสมาทวานาเดบางส่วนกระจายตัวอยู่ด้านบนของสารแขวนลอย (ภาพที่ 4.15(a'-c'))



ภาพที่ 4.15 สารแขวนลอยก่อน (a - c) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a' - c') ของการใช้(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 90:10 โดยใช้อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่ออนุภาคบิสมาทวานาเดที่ 90:10 (a, a') 80:20 (b, b') และ 70:30 (c, c') เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

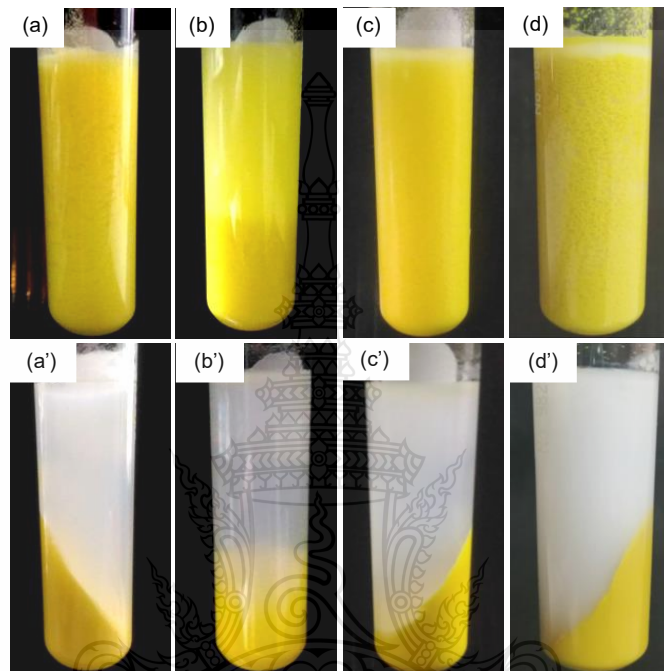
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอนุภาคบิสมีทวานาเดทไม่สามารถอยู่ภายในหยดมอนอเมอร์ได้ถึงแม้จะมีการเคลือบด้วยกรดโอเลอิก จากการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคบิสมีทวานาเดทก่อนหน้านี้พบว่าอนุภาคที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิกกระจายตัวได้ดีในโทลูอีน ในขั้นต่อไปจะทำการเติมโทลูอีนลงในวัฏภาคของน้ำมัน



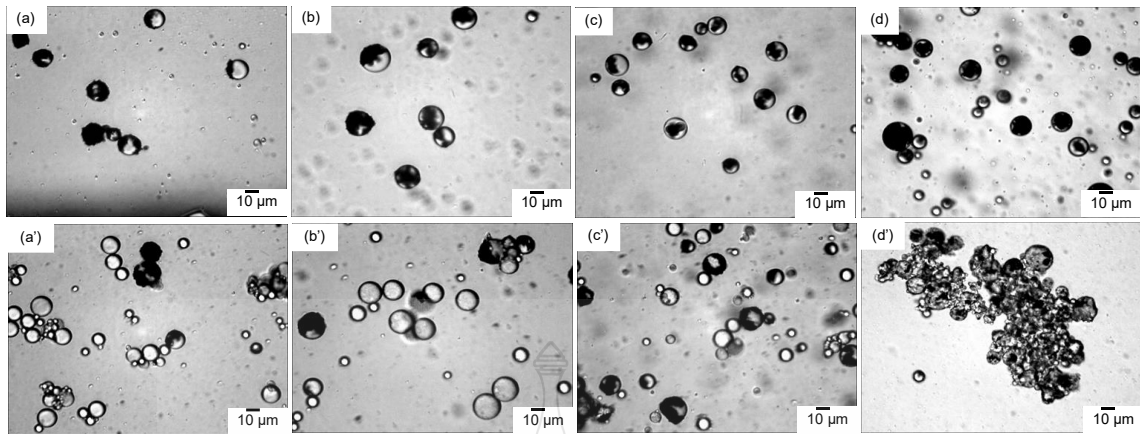
ภาพที่ 4.16 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a - c) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' - c') ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 90:10 โดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ ของมอนอเมอร์ต่ออนุภาคบิสมีทวานาเดท: 90:10 (a, a') 80:20 (b, b') และ 70:30 (c, c') เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเติมโทลูอีน (5 เท่าของอนุภาคบิสมีทวานาเดท) ลงในวัฏภาคน้ำมันที่มีเมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวของอนุภาคบิสมีทวานาเดทได้ดีขึ้น โดยจะมีการปรับเปลี่ยนปริมาณของอนุภาคบิสมีทวานาเดทที่ 10 20 30 และ 50 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ (การทดลองที่ 11-14) หลังการสังเคราะห์จะได้สารแขวนลอยที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น ตกตะกอนเร็ว ไม่มีความเสถียร และหลังจากการปั่นเหวี่ยง พบว่าวัฏภาคน้ำมันมีลักษณะค่อนข้างขุ่น ดังภาพที่ 4.17 และนำไปตรวจสอบลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าทุกสภาวะหยดมอนอเมอร์มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการกระจายตัวที่กว้าง และมีอนุภาคบิสมีทวานาเดทกระจายตัวอยู่ภายในและอาจจะเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคพอลิเมอร์ แต่หลังจากสังเคราะห์ พบว่า อนุภาคพอลิเมอร์ผสมค่อนข้างโปร่งแสงแสดงให้เห็นว่าอนุภาค

พอลิเมอร์ผสมก็ก่อก้อนอนุภาคบิส്മัทวานาเดที่ได้น้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณของอนุภาคบิส്മัทวานาเดที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ อนุภาคเกาะตัวกันเป็นก้อน ดังภาพที่ 4.18 เนื่องจากอาจเกิดจากใช้ปริมาณของอนุภาคบิส്മัทวานาเดมากเกินไป

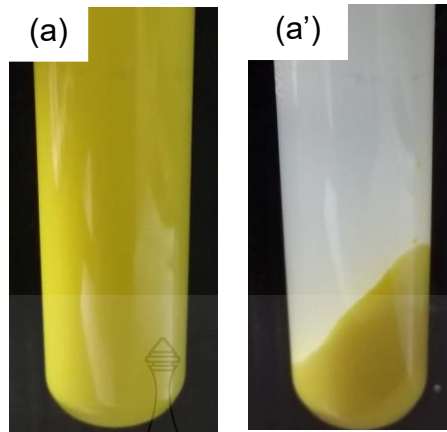


ภาพที่ 4.17 สารแขวนลอยก่อน (a-d) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a'-d') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ที่มีโทลูอิน 5 เท่าของอนุภาคบิส്മัทวานาเดที่ใช้ อนุภาคบิส്മัทวานาเดที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อมอนอเมอร์: 10 (a, a'), 20 (b, b'), 30 (c, c') และ 50 (d, d')

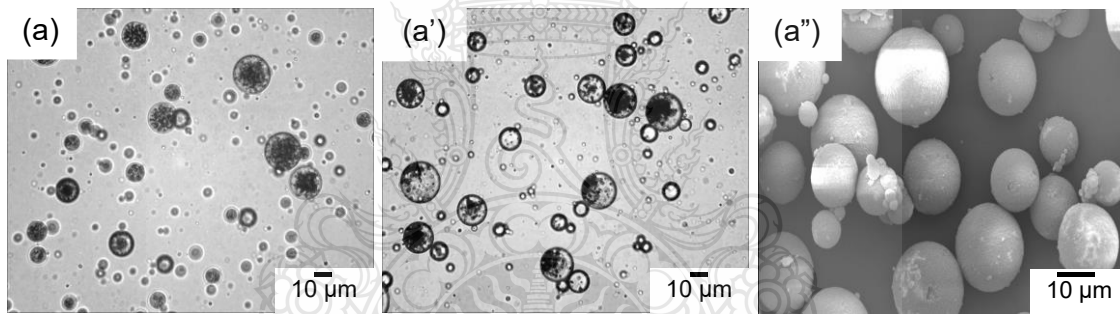


ภาพที่ 4.18 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a - d) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a' - d') ที่ใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ที่มีโทลูอีน 5 เท่าของ อนุภาคบิสฟิวเรนาเตทที่ใช้อนุภาคบิสฟิวเรนาเตทที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อมอนอเมอร์: 10 (a, a'), 20 (b, b'), 30 (c, c') และ 50 (d, d')

ในการเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคบิสฟิวเรนาเตทในวัฏภาคน้ำมัน โทลูอีนจะใช้อัตราส่วน 1:1 กับมอนอเมอร์โดยใช้อนุภาคบิสฟิวเรนาเตทที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของมอนอเมอร์ ดังที่ได้ทำการศึกษ ปริมาณของอนุภาคบิสฟิวเรนาเตทที่สามารถอยู่ในชั้นมอนอเมอร์ได้มากที่สุด พบว่า สารแขวนลอยที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น มีความเสถียร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พบว่า อนุภาคพอลิเมอร์ผสมตกตะกอนด้านล่าง ในขณะที่ชั้นน้ำมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.19 และเมื่อตรวจสอบลักษณะอนุภาคพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม อนุภาคมีความเสถียร และมีอนุภาคบิสฟิวเรนาเตทกระจายตัวอยู่ในอนุภาคพอลิเมอร์มากขึ้นดังจะ เห็นได้จากบางส่วนของที่บัสแสงมากขึ้น ดังภาพที่ 4.20b ในขณะที่แคปซูลมีผิวค่อนข้างเรียบ (ภาพ 4.20c) เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคบิสฟิวเรนาเตทพบว่า มีค่าประมาณ 35% เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้งานอนุภาคพอลิเมอร์ผสม การเพิ่มพื้นที่ผิวจึงมีความจำเป็นโดยจะทำการศึกษาการ เกิดรูพรุนของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมในขั้นต่อไป



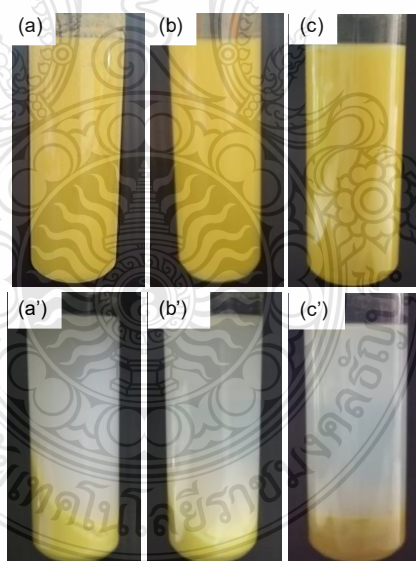
ภาพที่ 4.19 สารแขวนลอยก่อน (a) และ หลังปั่นเหวี่ยง (a') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีนที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท ที่ใช้อนุภาคบิสมัทวานาเดท 40% ของมอนอเมอร์



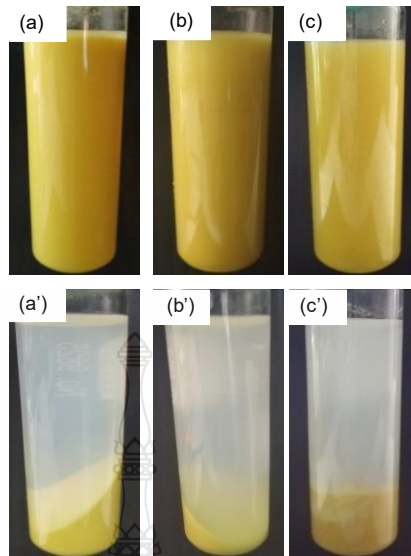
ภาพที่ 4.20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง(a, a') ของหยดมอนอเมอร์ (a) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a') และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (a'') ของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมของพอลิ (เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท ที่ใช้อนุภาคบิสมัทวานาเดท 40% ของมอนอเมอร์

4.3.2 ผลของการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่มีรูพรุน

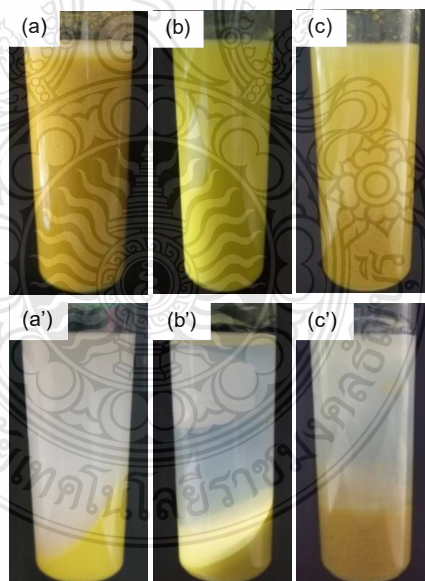
เพื่อเพิ่มโอกาสที่น้ำส้มผัสกับอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่อยู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์ผสมได้มากขึ้น จึงได้ทำการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ให้มีรูพรุนโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากขั้นที่ผ่านมาและมีการเติมพีอีจี 30 ไดโพลไฮดรอกซีสเตียเรท เฮกเซน หรือโทลูอีนซึ่งเป็นสารเกิดรูพรุนลงไปในวัฏภาคมอนอเมอร์ละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยได้ทำการศึกษาปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ปริมาณ 5 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของอนุภาคบิสมัทวานาเดท หลังสังเคราะห์พบว่าทุกสภาวะจะได้สารแขวนลอยของพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น ดังภาพที่ 4.21 - 4.23 หลังจากทำการตกตะกอนอนุภาคพอลิเมอร์ผสมด้วยการปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทมีค่าสูงกว่าน้ำ ทำให้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทตกตะกอน เมื่อพิจารณาวัฏภาคน้ำด้านบนพบว่าค่อนข้างขุ่นแสดงให้เห็นว่ามีถึงการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระบางส่วน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักปริมาณของอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคน้ำมีค่าประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบต่อมอนอเมอร์ ดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.21 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลไฮดรอกซีสเตียเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอีน (c, c')



ภาพที่ 4.22 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูปทรงที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอีน (c, c')



ภาพที่ 4.23 สารแขวนลอยก่อน (a-c) และหลังปั่นเหวี่ยง (a'-c') ของการใช้เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูปทรงที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอีน (c, c')

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ที่มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ เปอร์เซ็นต์การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระ
ในวัฏภาคน้ำ เปอร์เซ็นต์การบรรจุและประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมันทวานาเดท

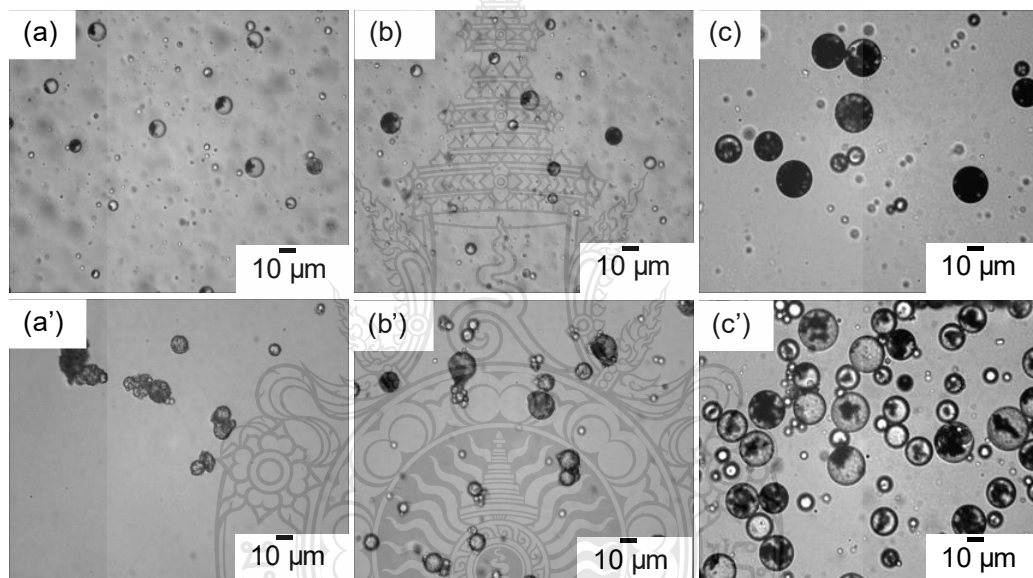
Run	Conversion (%) (±SD*)	Free polymer particle	%loading (wt%)		%Encapsulation (wt%)
			Experiment	calculation	
16	69 ±15.01	2	7	36	20
17	59 ± 5.13	2	6	40	15
18	28 ± 4.36	2	8	59	14
19	88 ± 4.58	2	9	31	29
20	77 ± 8.88	2	10	34	29
21	28 ± 2.12	2	7	58	12
22	81 ± 0.00	3	8	33	24
23	47 ± 5.66	2	10	45	22

*n=3, Run 16=5%DPHS, 17=5%hexane, 18=5%toluene, 19=8%DPHS, 20=8%hexane, 21=8%toluene, 22=10%DPHS, 23=10%hexane

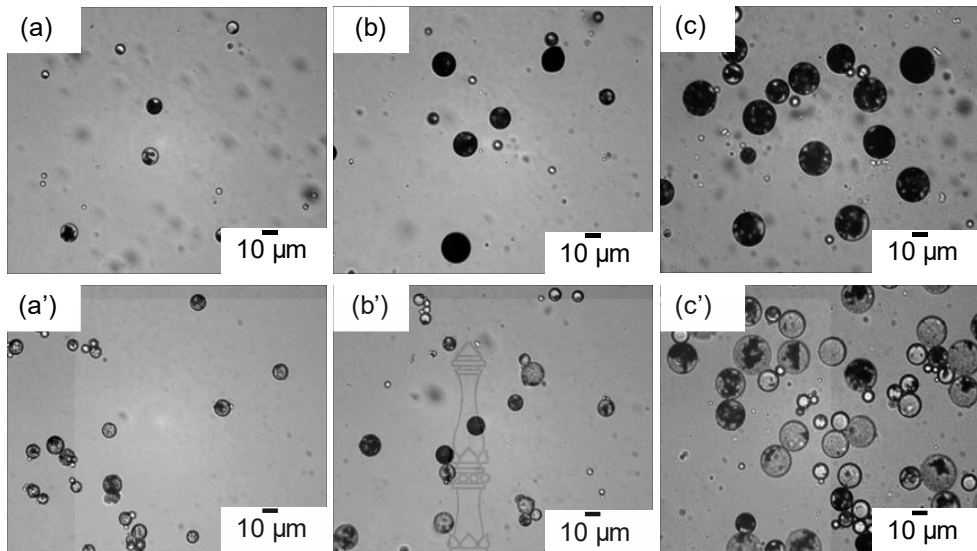
เมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมันทวานาเดทที่มีรูพรุน โดยมีการใช้สารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ปริมาณ 5, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า ในทุกสภาวะ หยดของมอนอเมอร์มีลักษณะเป็นทรงกลม และสังเกตเห็นอนุภาคบิสมันทวานาเดทกระจายตัวอยู่ภายในโดยหยดมอนอเมอร์มีสีดำที่บออยู่ภายใน ในขณะที่มีการกระจายตัวของหยดที่กว้าง ดังภาพที่ 4.24(a-c) – 4.26(a-c) หลังจากการสังเคราะห์อนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ได้ทุกสภาวะ (ภาพที่ 4.24 (a'-c') - 4.26 (a'-c')) มีขนาดไม่แตกต่างจากขนาดของหยดมอนอเมอร์แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดอนุภาคน้อยสอดคล้องกับผลของปริมาณอนุภาคอิสระที่ตรวจวัดได้ (ตารางที่4.2) อย่างไรก็ตาม ปริมาณของอนุภาคบิสมันทวานาเดทดูเหมือนจะลดปริมาณลงเมื่อเทียบกับก่อนการสังเคราะห์ดังจะดูได้จากความทึบแสงของแคปซูลลดน้อยลงทุกสภาวะ เช่นเดียวกับในสภาวะที่ไม่มีการเติมสารเกิดรูพรุน ดังนั้นเมื่อทำการหาปริมาณการบรรจุ (ตั้งสมการที่ 2) และประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคบิสมันทวานาเดทดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การบรรจุการทดลองจะน้อยกว่าทฤษฎีและมีประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมันทวานาเดทต่ำกว่า 50% ทุกการทดลอง การเพิ่มปริมาณของสารเกิดรูพรุน

ปริมาณรูพรุนที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้ประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทลดลง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนจะเห็นได้ว่าการใช้ฟิอิจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทมีประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทได้ดีกว่าโทลูอินและเฮกเซน

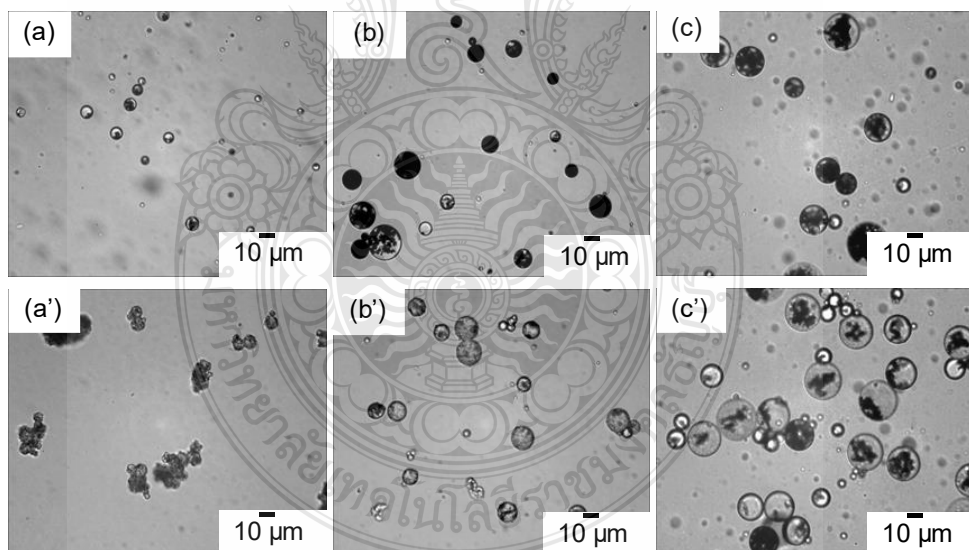
โดยประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดทของการใช้ฟิอิจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทนั้นมีค่าประมาณ 20 – 30% ดังตารางที่ 4.2 (การทดลองที่ 16,19และ22) โดยสูงกว่าสภาวะที่มีการใช้เฮกเซน มีประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดท (15 - 30%) (การทดลองที่ 17, 24 และ 23) และสภาวะที่มีการใช้โทลูอิน มีประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมัทวานาเดท (14 - 25%) (การทดลองที่ 14และ12)



ภาพที่ 4.24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาครีเลต: ไดไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: ฟิอิจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c')

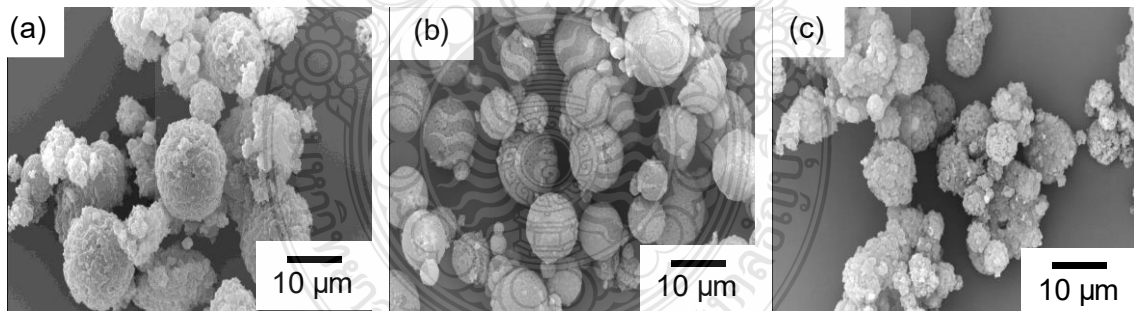


ภาพที่ 4.25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไทไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาค บิสมัทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c')



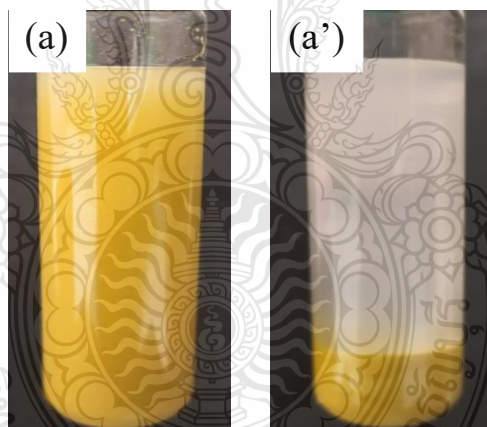
ภาพที่ 4.26 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของหยดมอนอเมอร์ (a-c) และอนุภาคพอลิเมอร์ (a'-c') ของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไทไวนิลเบนซีน)ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาค บิสมัทวานาเดทที่ใช้ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก: พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรท (a, a'), เฮกเซน (b, b') และ โทลูอิน (c, c')

การเกิดรูพรุนของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมในกรณีของการใช้พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรท [106] เกิดจากโมเลกุลของพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทที่มีสองส่วนของส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพอลิไฮดรอกซีสตีเรทและส่วนที่ชอบน้ำของพอลิเอทิลีนออกไซด์จะเคลื่อนที่ไปดูดซับที่ผิวของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมแข่งขันกับสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ภายในหยดทำให้บางส่วนของผิวจะมีพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทเกาะกระจายไปทั่วผิวอนุภาค เมื่อสิ้นสุดการสังเคราะห์จึงเกิดเป็นรูพรุน ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงลักษณะผิวและรูปร่างของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมกรณีใช้พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรท ที่ปริมาณต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าการเกิดรูพรุนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทดังภาพที่ 4.27(a-c) นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของอนุภาคผสมจะลดลงเมื่อปริมาณพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทเพิ่มขึ้นจาก 5-10% โดยที่ตำแหน่งกึ่งกลางสายโซ่ของพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทที่เป็นพอลิเอทิลีนออกไซด์ที่เคลือบที่ผิวอนุภาคจะช่วยเพิ่มความเสถียรของอนุภาค (ลดแรงดึงดูดระหว่างผิวอนุภาคและน้ำ)ร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามที่ 10%wt ของพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรท (ภาพที่ 4.27(c)) มีรูพรุนมากเกินไปทำให้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมคงรูปไว้ไม่ได้จึงเกิดการแตกของอนุภาคสอดคล้องกับภาพที่ 4.26(a') ที่อนุภาคไม่เป็นทรงกลม ดังนั้นจึงเลือกใช้ 8%wt ของพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่มีรูพรุน

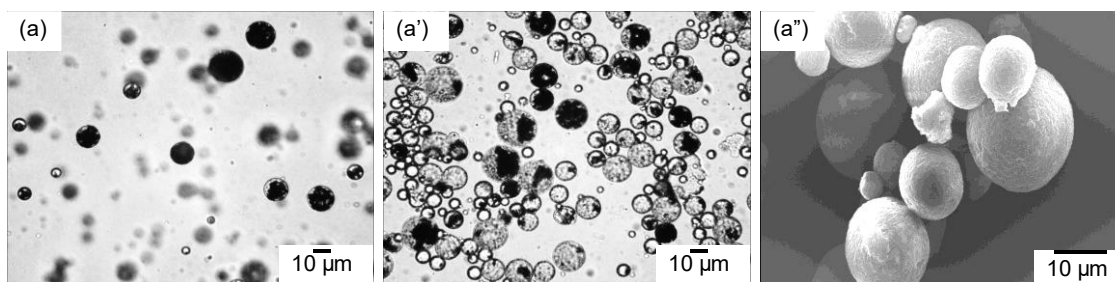


ภาพที่ 4.27 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) ที่อัตราส่วน 80:20 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยเติมพีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสตีเรทที่ 5 (a) 8 (b) และ 10 (c) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เนื่องจากเปลือกของพอลิเมอร์ผสมมีพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความไม่ชอบน้ำสูง อาจทำให้อัตราการแพร่ของน้ำเข้าไปสัมผัสอนุภาคบิสมาทวานาเดทที่อยู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์ผสมค่อนข้างต่ำ ในการแก้ไขข้อด้อยดังกล่าวนี้จึงทำการเติมมอนอเมอร์ที่มีขั้วสูงผสมเข้าไปเป็นองค์ประกอบของเปลือกอนุภาคผสมโดยใช้ 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก่อนหน้าซึ่งพบว่าสารแขวนลอยที่ได้ (ภาพที่ 4.28) มีลักษณะเป็นน้ำนมสีเหลืองเมื่อทำการตกตะกอนพบว่ามีอนุภาคอิสระเกิดน้อยมากในชั้นน้ำ (2% มอนอเมอร์) แม้ว่าจะโคพอลิเมอร์กับ 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลตที่มีความชอบน้ำสูง ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ภาพที่ 4.29 (a', a'')) ที่ขนาดของหยดมอนอเมอร์และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมไม่แตกต่างกัน อนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมมีผิวเรียบ (ภาพที่ 4.29 (a'')) มากกว่าการไม่ใช้ 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต อาจเนื่องมาจากสายโซ่พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีความชอบน้ำมากขึ้นจึงมาดูดซับที่ผิวอนุภาคได้มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคบิสมาทวานาเดท (58%) สูงกว่าการไม่ใช้ 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต



ภาพที่ 4.28 สารแขวนลอยก่อน (a) และหลังปั่นเหวี่ยง (a') เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน: 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต ที่อัตราส่วน 80:10:10 ผสมอนุภาคบิสมาทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของ ฟิอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท ที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



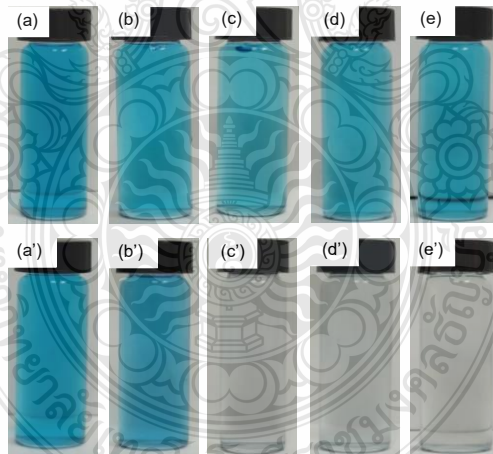
ภาพที่ 4.29 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (a และ a') ของหยดมอนอเมอร์ (a) และ อนุภาคพอลิเมอร์ (a') และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (a'') ของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมของพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไตไวนิลเบนซีน: 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต) ที่อัตราส่วน 80:10:10 ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท โดยใช้ปริมาณของ พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทที่ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.4 ผลของเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเองต้นแบบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

4.4.1 ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย

ก่อนนำอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทไปใช้ในการเตรียมผ้าทำความสะอาดตัวเอง จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทในการสลายสีย้อม โดยในงานนี้เลือกใช้เมทิลินบลูเป็นตัวย้อมสีต้นแบบ ซึ่งจะเปรียบเทียบกับ 5 สภาวะ คือ อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน) อนุภาคบิสมัทวานาเดท อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท และอนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไตไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/ไอ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทโดยติดตามการลดลงของสีย้อมด้วยเทคนิค ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของสีย้อมที่ลดลง และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมของเมทิลินบลูต่อกรัมของอนุภาคบิสมัทวานาเดท (ดังสมการที่ 6) และประสิทธิภาพการสลายตัวของเมทิลินบลู (ดังสมการที่ 7) โดยความเข้มข้นของสารละลายเมทิลินบลู เริ่มต้น คือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตรจากภาพที่ 4.30 พบว่า เมื่อยังไม่ให้แสงแก่ระบบเป็นเวลา 30 นาที ทุกสภาวะยังมีเมทิลินบลูเหลืออยู่ค่อนข้างมาก

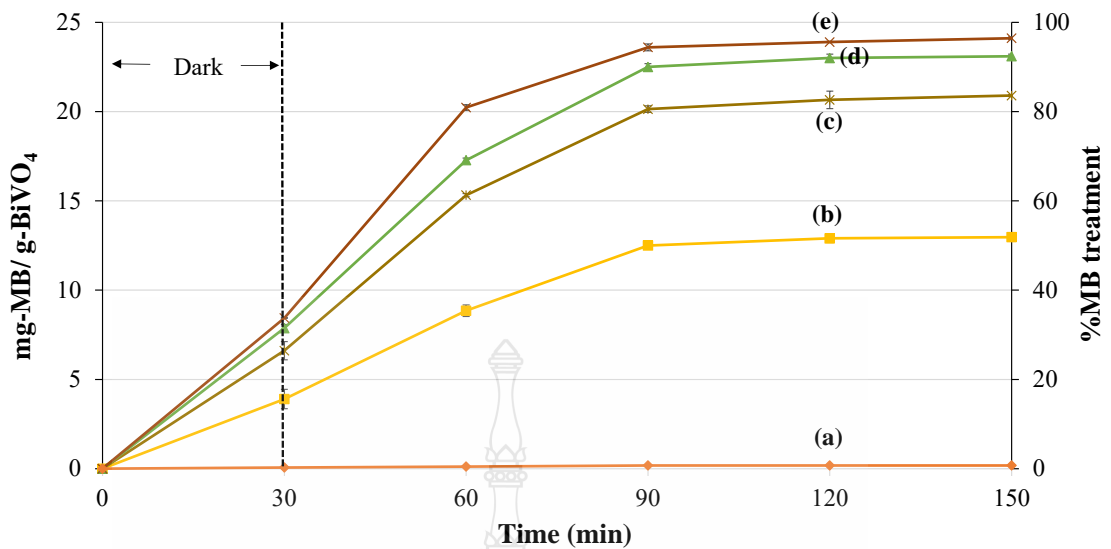
โดยมีความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ของสภาวะต่าง ๆ ดังนี้ อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน) 4.94 มิลลิกรัมต่อลิตร อนุภาคบิสม์ทวานาเดท 4.06 มิลลิกรัมต่อลิตร อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท 3.76 มิลลิกรัมต่อลิตร อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท/พีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท 3.38 มิลลิกรัมต่อลิตรและอนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท/พีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท 3.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังจะเห็นจากสีของสารละลายยังเป็นสีฟ้า (ภาพที่ 4.30(a-e)) แต่หลังจากให้แสงที่ตามองเห็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงพบว่า อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)และอนุภาคบิสม์ทวานาเดท สีฟ้าของเมทิลีนบลูจางลงเล็กน้อย (ภาพที่ 4.30 (a',b')) แต่เมื่อเป็นอนุภาคพอลิเมอร์ผสมของอนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท/พีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทและ อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/ไอ-อนุภาคบิสม์ทวานาเดท/พีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทพบว่าสีฟ้าของเมทิลีนบลูหายไป (ภาพที่ 4.30 (c'-e')) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคพอลิเมอร์ผสมต่าง ๆ สามารถกำจัดสีของเมทิลีนบลูได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4.30 สารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูเริ่มต้นที่ 5 ppm ที่แช่ด้วยวัสดุต่าง ๆ 30 นาที (a-e)และหลังการฉายแสงเป็นเวลา 120 นาที (a'-e') โดยใช้วัสดุต่าง ๆ: อนุภาคพอลิเมอร์ P(MMA-DVB) (a และ a'), อนุภาคบิสม์ทวานาเดท (b, b'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c, c') อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄/8%DPHS (d, d') และอนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB-HEMA)/ BiVO₄ /8%DPHS (e, e')

กราฟการบำบัดเมทิลีนบลูเทียบต่อเวลาโดยใช้วัสดุต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.31 ในกรณีที่ใช้พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: โดไวนิลเบนซีน) เป็นวัสดุเปรียบเทียบ อนุภาคดังกล่าวดูดซับเมทิลีนบลู (~1 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท หรือ 5% การสลายตัวของเมทิลีนบลู) ได้น้อยมาก ที่เวลา 30 นาที ก่อนการให้แสงที่ตามองเห็น ทุกวัสดุจะกระจายตัวในสารละลายเมทิลีนบลู การดูดซับเมทิลีนบลูจะเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิว (ปริมาณรูพรุน) ซึ่งพบว่าอนุภาคพอลิเมอร์ผสมทั้งที่ไม่มี (ภาพที่ 4.31(c)) มีพีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (ภาพที่ 4.31(d)) และเพิ่มความมีขั้วของเปลือก (ภาพที่ 4.31(e)) จะดูดซับเมทิลีนบลู (~7-8 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท) ได้มากกว่าอนุภาคบิส്മัทวานาเดท (~4 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท) หลังจากมีการฉายแสงที่ตามองเห็น อัตราการสลายตัวของเมทิลีนบลูที่ใช้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมจะสูงกว่าการใช้อนุภาคบิส്മัทวานาเดทเป็นอย่างมาก อาจเนื่องมาจากอนุภาคบิส്മัทวานาเดทเกิดการรวมตัวกันระหว่างการใช้งาน โดยการสลายตัวของเมทิลีนบลูในกรณีการใช้อนุภาคบิส്മัทวานาเดทจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นละช้าๆ (13 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดทหรือ 59% การสลายตัวของเมทิลีนบลู) เมื่อใช้เวลา 2 ชั่วโมง ในการฉายแสง ในกรณีของอนุภาคพอลิเมอร์ผสมทั้งสามชนิดการที่มีพีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทอนุภาคจะดูดซับเมทิลีนบลู (8 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท) ได้มากกว่าการไม่มีพีอีจี 30 ไคโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (7 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิส്മัทวานาเดท)





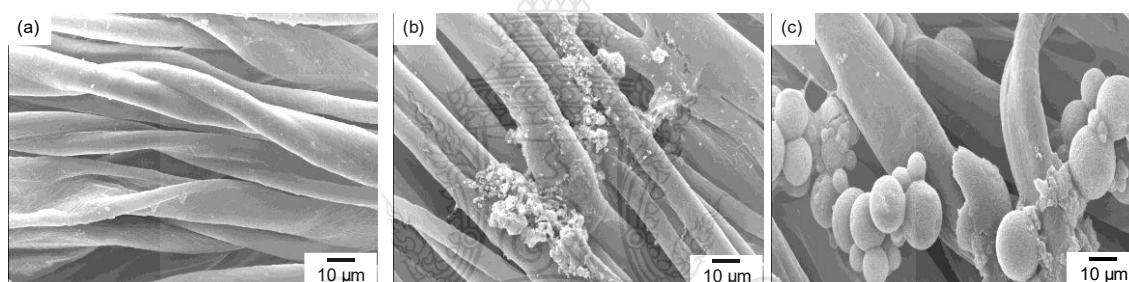
ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายตัวของสารละลายเมทิลีนบลู โดยใช้ อนุภาคพอลิเมอร์ P(MMA-DVB) (a และ a'), อนุภาคบิสมัทวานาเดท (b, b'),อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c, c'), อนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB)/BiVO₄/8%DPHS (d, d') และอนุภาคพอลิเมอร์ของ P(MMA-DVB-HEMA)/ BiVO₄ /8%DPHS (e, e')

โดยที่อนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีรูพรุนจะกำจัดเมทิลีนบลูได้สูงสุดประมาณ 20 มิลลิกรัมของเมทิลีนบลู/กรัมของอนุภาคบิสมัทวานาเดทหรือ 82% การสลายตัวของเมทิลีนบลู (ภาพที่ 4.31(c)) ในขณะที่อนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่มีรูพรุนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลีนบลูมากกว่า 93% โดยที่การที่เปลือกพอลิเมอร์มีความชอบน้ำมากกว่า (ภาพที่ 4.31(e)) จะมีประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลีนบลู (~96%) มากกว่าเปลือกที่ไม่มี 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต (~93%)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการมี 2-ไฮดรอกซี เอทิล เมทาคริเลต อยู่ในเปลือกพอลิเมอร์เป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งในการผลิต OH^{*} เนื่องจากอัตราการแพร่ของ H₂O จากด้านนอกเข้าสู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

4.4.2 การเคลือบผ้าด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท

นำอนุภาคพอลิเมอร์ผสมบิสมัทวานาเดท อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/โอะ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรทเคลือบลงบนผ้าฝ้ายเพื่อทดสอบสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง โดยภาพที่ 4.32 คือภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผ้าฝ้ายก่อนเคลือบ (a) และการเคลือบด้วยอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b) และ อนุภาคพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต-ไดไวนิลเบนซีน-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/โอะ-อนุภาคบิสมัทวานาเดท/พีอีจี 30 ไตโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท (c) จะเห็นได้ว่าอนุภาคพอลิเมอร์ผสมกระจายตัวได้ดีกว่าอนุภาคบิสมัทวานาเดทอย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าอนุภาคพอลิเมอร์ผสมกระจายตัวในน้ำก่อนการเคลือบได้ดีกว่าอนุภาคบิสมัทวานาเดทซึ่งสอดคล้องกับ %add on ที่มีค่าถึง 17 เท่าของการเคลือบด้วยอนุภาคบิสมัทวานาเดท (ตารางที่ 4.3)

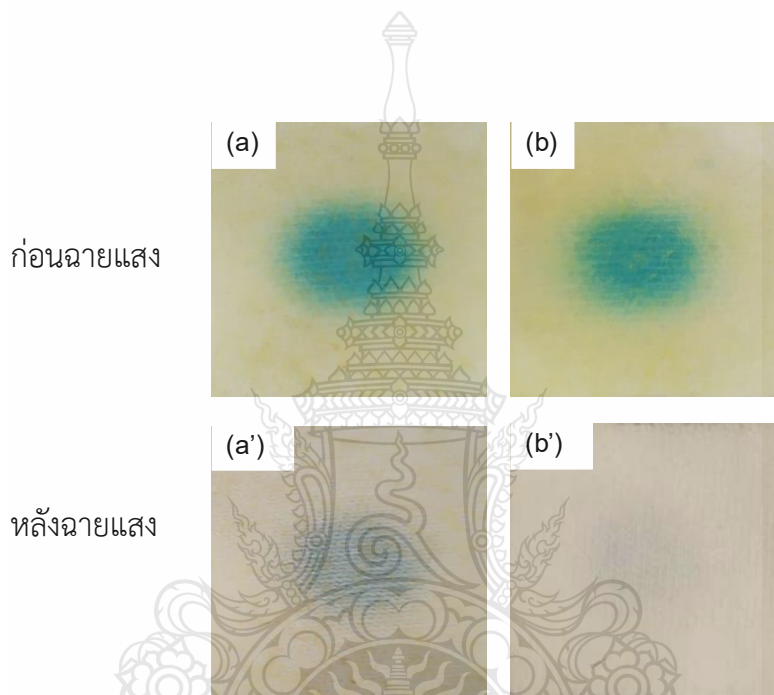


ภาพที่ 4.32 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผ้าฝ้ายก่อน (a) และหลังการเคลือบด้วยอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b) และ อนุภาคพอลิเมอร์ผสม (c)

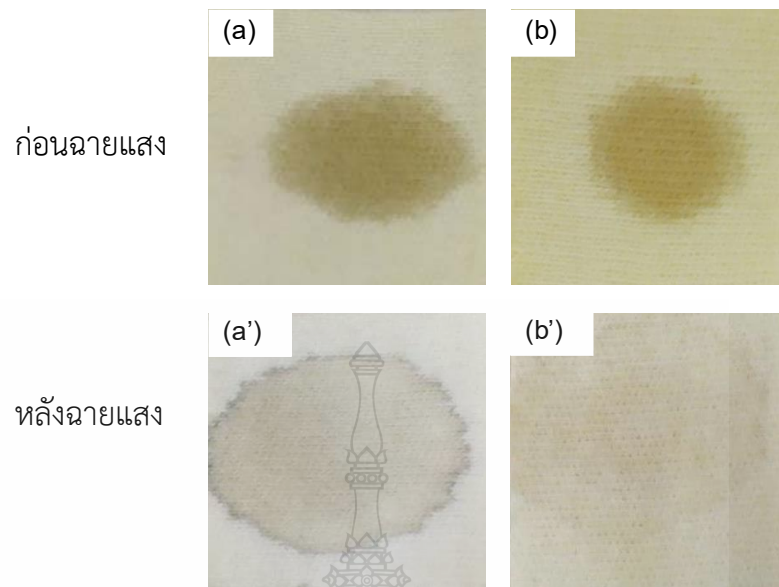
ตารางที่ 4.3 เปอร์เซนต์การเคลือบติดของอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่เคลือบอยู่บนผ้าฝ้าย

Sample	Before coating	After coating	After-Before coating	%Add on
BiVO_4	9.22	9.26	0.05	0.5
Composite polymer particle	9.17	10.03	0.86	8.5

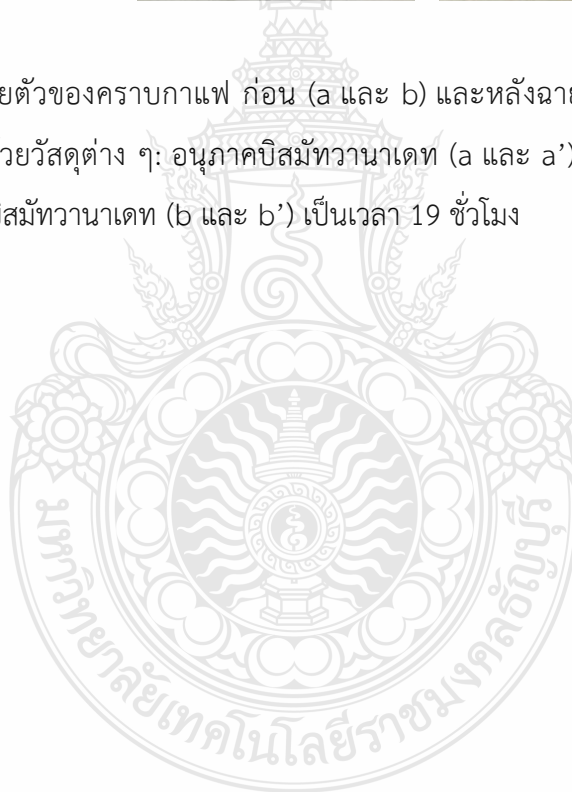
สำหรับการศึกษาการทำความสะอาดตัวเองของผ้าจะใช้สารละลายเมทิลีนบลู ภาพที่ 4.33 และภาพที่ 4.34 หยดลงบนผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมเปรียบเทียบกับอนุภาคบิสมัททวานาเดทหลังจากฉายแสงที่ตามองเห็นลงบนผ้าเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 19 ชั่วโมง สำหรับเมทิลีนบลู และกาแฟ ตามลำดับ ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสม (ภาพที่ 4.33b' และ 4.34b') มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าใช้อนุภาคบิสมัททวานาเดท (ภาพที่ 4.33a' และ 4.34a') อย่างชัดเจนในการกำจัดสี ทั้งสองชนิด



ภาพที่ 4.33 การสลายตัวของเมทิลีนบลูก่อน (a และ b) และหลังฉายแสง (a' และ b') บนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุต่าง ๆ: อนุภาคบิสมัททวานาเดท (a และ a') และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัททวานาเดท (b และ b') เป็นเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.34 การสลายตัวของคราบกาแฟ ก่อน (a และ b) และหลังฉายแสง (a' และ b') บนผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุต่าง ๆ: อนุภาคบิสมัทวานาเดท (a และ a') และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท (b และ b') เป็นเวลา 19 ชั่วโมง



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสม์ทวานาเดท โดยมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแสงที่ตามองเห็นออกซิไดซ์สารอินทรีย์สี โดยจะทำการสังเคราะห์อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสม์ทวานาเดทด้วยกระบวนการสังเคราะห์

เริ่มจากสังเคราะห์อนุภาคบิสม์ทวานาเดท โดยใช้วิธีการเตรียมแบบสารละลายคอลลอยด์โดยใช้กรดเอทิลีนไดอามีน เติตราระงับปฏิกิริยาเป็นลิแกนด์ ในการจับไอออนบวกของบิสม์ทวานาเดท ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมคือใช้บิสม์ไนเตรต: แอมโมเนียมเมตาทวานาเดท: กรดเอทิลีนไดอามีน เติตราระงับปฏิกิริยา ที่ 1:1:4 และทำปฏิกิริยาที่พีเอชประมาณ 8 จะทำให้ได้สารคอมเพล็กซ์ของไอออนบิสม์ทวานาเดท หลังจากทำการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้อนุภาคบิสม์ทวานาเดทสีเหลืองมีขนาดประมาณ 10-20 นาโนเมตร จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าอนุภาคที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ซึ่งมีสมบัติทางด้านโฟโตแคตตาไลติก ก่อนที่จะนำอนุภาคบิสม์ทวานาเดทไปกักเก็บในอนุภาคพอลิเมอร์ ผิวของอนุภาคบิสม์ทวานาเดทจะถูกดัดแปลงให้มีความไม่มีขั้วเพื่อที่จะสามารถกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของน้ำมันในเทคนิคเอ็มเอสโอทีพี โดยพบว่าการเคลือบผิวด้วยกรดโอเลอิกที่อัตราส่วน 1:2 ของอนุภาคบิสม์ทวานาเดท: กรดโอเลอิก คือสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้อนุภาคบิสม์ทวานาเดทกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคน้ำมัน ในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิคเอ็มเอสโอทีพีได้ทำการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของโคมอนอเมอร์ อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ต่ออนุภาคบิสม์ทวานาเดท ซึ่งพบว่าการใช้เปลือกอนุภาคพอลิเมอร์ผสมเป็นพอลิ(เมทิลเมทาคริเลต: ไดไวนิลเบนซีน) ที่อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์: อนุภาคบิสม์ทวานาเดทที่ 60:40 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคพอลิเมอร์ผสมมีความเสถียรทางคอลลอยด์สูง มีลักษณะเป็นทรงกลม นอกจากนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอนุภาคอิสระไฮดรอกซีของอนุภาคบิสม์ทวานาเดทที่อยู่ภายในอนุภาคพอลิเมอร์ผสม จะทำการปรับปรุงอนุภาคพอลิเมอร์ผสมให้มีรูพรุนและเพิ่มความมีขั้วที่ผิว ซึ่งพบว่าการใช้พีอีจี 30 ไดโพลีไฮดรอกซีสเตียเรท 8% เทียบต่อมอนอเมอร์ อนุภาคพอลิเมอร์ผสมมีรูพรุนจำนวนมากในขณะที่อนุภาคยังคงเสถียรไม่เกิดการแตกและเมื่อเพิ่มโคมอนอเมอร์ด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต อนุภาคบิสม์ทวานาเดทในอนุภาคพอลิเมอร์ผสมมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสีย้อมตัวอย่างเมทิลีนบลู โดยสามารถละลายเมทิลีนบลูได้

96% ในเวลา 150 นาที เมื่อนำอนุภาคพอลิเมอร์ผสมที่มีรูพรุนและมีเปลือกที่มีขี้มาทำการเคลือบลงบนผ้าฝ้ายและทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเองของผ้าโดยการหยดเมทิลีนบลูและกาแฟลงบนผ้า พบว่า ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจในการกำจัดคราบสกปรกดังกล่าวโดยที่ยังไม่ได้ทำการซัก

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดทที่มีรูพรุนด้วยกระบวนการเอ็มเอสไอทีพีและสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อผลิตผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ นอกจากนี้เนื่องจากอนุภาคพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติโฟโตแคตาไลติกจึงมีศักยภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ทั้งการต้านเชื้อจุลชีพและการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น



บรรณานุกรม

- [1] M. Guo, Q. He, A. Wang, W. Wang, and Z. Fu, "A Novel, Simple and Green Way to Fabricate BiVO₄ with Excellent Photocatalytic Activity and Its Methylene Blue Decomposition Mechanism," *Crystals*, vol. 6, no. 7, p. 81, 2016.
- [2] D. Wu *et al.*, "Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO₂ through a facile approach," *Surface and Coatings Technology*, vol. 203, no. 24, pp. 3728-3733, 2009/09/15/ 2009.
- [3] G. Doganli *et al.*, "Functionalization of cotton fabric with nanosized TiO₂ coating for self-cleaning and antibacterial property enhancement," *Journal of Coatings Technology and Research*, vol. 13, no. 2, pp. 257-265, 2016/03/01 2016.
- [4] K. Qi, W. A. Daoud, J. H. Xin, C. L. Mak, W. Tang, and W. P. Cheung, "Self-cleaning cotton," *Journal of Materials Chemistry*, 10.1039/B610861J vol. 16, no. 47, pp. 4567-4574, 2006.
- [5] A. Bozzi, T. Yuranova, and J. Kiwi, "Self-cleaning of wool-polyamide and polyester textiles by TiO₂-rutile modification under daylight irradiation at ambient temperature," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 172, no. 1, pp. 27-34, 2005/05/15/ 2005.
- [6] T. Yuranova, R. Mosteo, J. Bandara, D. Laub, and J. Kiwi, "Self-cleaning cotton textiles surfaces modified by photoactive SiO₂/TiO₂ coating," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 244, no. 1, pp. 160-167, 2006/02/01/ 2006.
- [7] P. Chatchai, A. Y. Nosaka, and Y. Nosaka, "Photoelectrocatalytic performance of WO₃/BiVO₄ toward the dye degradation," *Electrochimica Acta*, vol. 94, pp. 314-319, 2013/04/01/ 2013.
- [8] L. Xia, J. Bai, J. Li, Q. Zeng, X. Li, and B. Zhou, "A highly efficient BiVO₄/WO₃/W heterojunction photoanode for visible-light responsive dual photoelectrode photocatalytic fuel cell," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 183, pp. 224-230, 2016/04/01/ 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] P. Chatchai, S.-y. Kishioka, Y. Murakami, A. Y. Nosaka, and Y. Nosaka, "Enhanced photoelectrocatalytic activity of FTO/WO₃/BiVO₄ electrode modified with gold nanoparticles for water oxidation under visible light irradiation," *Electrochimica Acta*, vol. 55, no. 3, pp. 592-596, 2010/01/01/ 2010.
- [10] Y. Ma, H. Jiang, X. Zhang, J. Xing, and Y. Guan, "Synthesis of hierarchical m-BiVO₄ particles via hydro-solvothermal method and their photocatalytic properties," *Ceramics International*, vol. 40, no. 10, Part B, pp. 16485-16493, 2014/12/01/ 2014.
- [11] C. Yu, S. Dong, J. Zhao, X. Han, J. Wang, and J. Sun, *Preparation and characterization of sphere-shaped BiVO₄/reduced graphene oxide photocatalyst for an augmented natural sunlight photocatalytic activity*. 2016.
- [12] M. Guo, Q. He, A. Wang, W. Weimin, and H. Wang, *A Novel, Simple and Green Way to Fabricate BiVO₄ with Excellent Photocatalytic Activity and Its Methylene Blue Decomposition Mechanism*. 2016, p. 81.
- [13] W. Yin, W. Wang, L. Zhou, S. Sun, and L. Zhang, "CTAB-assisted synthesis of monoclinic BiVO₄ photocatalyst and its highly efficient degradation of organic dye under visible-light irradiation," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 173, no. 1, pp. 194-199, 2010/01/15/ 2010.
- [14] X. Q. Liu, Y. P. Guan, J. M. Xing, Z.-Y. Ma, and H. H. Liu, *Synthesis and properties of micron-size magnetic polymer spheres with epoxy groups*. 2003, pp. 731-735.
- [15] S. M. S. Namwong, A. chaiyasat, P. chaiyasat, "Influence of surfactant in the preparation of polydivinylbenzene microcapsule encapsulated octadecane (in Thai)," *Sci. Tech. RMUTT J.*, vol. 4, pp. 33-44., 2014.
- [16] P. Chaiyasat, M. Z. Islam, and A. Chaiyasat, "Preparation of poly(divinylbenzene) microencapsulated octadecane by microemulsion polymerization: oil droplets generated by phase inversion emulsification," *RSC Advances*, 10.1039/C3RA40802G vol. 3, no. 26, pp. 10202-10207, 2013.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] D. Supatimusro, S. Promdsorn, S. Thipsit, W. Boontung, P. Chaiyasat, and A. Chaiyasat, "Poly(divinylbenzene) Microencapsulated Octadecane for Use as a Heat Storage Material: Influences of Microcapsule Size and Monomer/Octadecane Ratio," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 51, no. 11, pp. 1167-1172, 2012/07/15 2012.
- [18] C. W. A. Chaiyasat, K. Songkramrod, P. Sirithip, V. Voranuch, P. Chaiyasat, "Preparation of polydivinylbenzene/natural rubber capsule encapsulating octadecane: Influence of natural rubber molecular weight and content," *Express Polymer Letters*, vol. 6, pp. 70-77, 2012.
- [19] P. Chaiyasat, S. Namwong, M. Okubo, and A. Chaiyasat, "Synthesis of micrometer-sized poly(methyl methacrylate) particles by microsuspension iodine transfer polymerization (ms ITP)," *RSC Advances*, 10.1039/C6RA19288B vol. 6, no. 97, pp. 95062-95066, 2016.
- [20] P. Chaiyasat, S. Noppalit, M. Okubo, and A. Chaiyasat, *Innovative synthesis of high performance poly(methyl methacrylate) microcapsules with encapsulated heat storage material by microsuspension iodine transfer polymerization (ms ITP)*. 2016, pp. 996-1003.
- [21] P. Chaiyasat, S. Noppalit, M. Okubo, and A. Chaiyasat, "Do encapsulated heat storage materials really retain their original thermal properties?," *Physical Chemistry Chemical Physics*, 10.1039/C4CP03458A vol. 17, no. 2, pp. 1053-1059, 2015.
- [22] S. Namwong, M. Islam, S. Noppalit, P. Tangboriboonrat, P. Chaiyasat, and A. Chaiyasat, *Encapsulation of octadecane in poly(divinylbenzene-co-methyl methacrylate) using phase inversion emulsification for droplet generation*. 2016, pp. 11-17.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [23] S. Namwong, S. Noppalit, M. Okubo, S. Moonmungmee, P. Chaiyasat, and A. Chaiyasat, "Latent Heat Enhancement of Paraffin Wax in Poly(divinylbenzene-co-methyl methacrylate) Microcapsule," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 54, no. 8, pp. 779-785, 2015/06/01 2015.
- [24] H. Kobayashi, T. Suzuki, M. Moritaka, E. Miyanaga, and M. Okubo, "Preparation of multihollow polystyrene particles by seeded emulsion polymerization using seed particles with incorporated nonionic emulsifier: effect of temperature," *Colloid and Polymer Science*, journal article vol. 287, no. 3, pp. 251-257, March 01 2009.
- [25] H. Kobayashi, E. Miyanaga, and M. Okubo, "Preparation of Multihollow Polymer Particles by Seeded Emulsion Polymerization Using Seed Particles with Incorporated Nonionic Emulsifier," *Langmuir*, vol. 23, no. 17, pp. 8703-8708, 2007/08/01 2007.
- [26] W. Zhou, J. Li, W. Wei, Z. Su, and G. Ma, "Effect of solubilization of surfactant aggregates on pore structure in gigaporous polymeric particles," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 384, no. 1, pp. 549-554, 2011/07/05/ 2011.
- [27] W.-Q. Zhou, T.-Y. Gu, Z.-G. Su, and G.-H. Ma, "Synthesis of macroporous poly(styrene-divinyl benzene) microspheres by surfactant reverse micelles swelling method," *Polymer*, vol. 48, no. 7, pp. 1981-1988, 2007/03/23/ 2007.
- [28] W.-Q. Zhou, T.-Y. Gu, Z.-G. Su, and G.-H. Ma, "Synthesis of macroporous poly(glycidyl methacrylate) microspheres by surfactant reverse micelles swelling method," *European Polymer Journal*, vol. 43, no. 10, pp. 4493-4502, 2007/10/01/ 2007.
- [29] S. Zhiraslanovna Ozkan, G. Petrovna Karpacheva, P. Aleksandrovich Chernavskii, E. Leont'evna Dzidziguri, G. Nikolaevna Bondarenko, and G. Viktorovna Pankina, "Hybrid Materials Based on Poly-3-amine-7-methylamine-2-methylphenazine and Magnetite Nanoparticles Immobilized on Single-Walled Carbon Nanotubes," *Polymers*, vol. 10, no. 5, p. 544, 2018.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [30] D. Pandita, S. Kumar, and V. Lather, "Hybrid poly(lactic-co-glycolic acid) nanoparticles: design and delivery prospectives," *Drug Discovery Today*, vol. 20, no. 1, pp. 95-104, 2015/01/01/ 2015.
- [31] J. C. Antunes, J. M. Oliveira, R. L. Reis, J. M. Soria, J. L. Gómez-Ribelles, and J. F. Mano, "Novel poly(L-lactic acid)/hyaluronic acid macroporous hybrid scaffolds: Characterization and assessment of cytotoxicity," *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, Article vol. 94, no. 3, pp. 856-869, 2010.
- [32] K. Tsuru, Y. Shirosaki, S. Hayakawa, and A. Osaka, "Sol–Gel-Derived Silicate Nano-Hybrids for Biomedical Applications," *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, vol. 36, no. 11, pp. 1683-1687, 2013.
- [33] T. Ramasamy *et al.*, "Chitosan-Based Polyelectrolyte Complexes as Potential Nanoparticulate Carriers: Physicochemical and Biological Characterization," *Pharmaceutical Research*, journal article vol. 31, no. 5, pp. 1302-1314, May 01 2014.
- [34] A. Anitha *et al.*, "Chitin and chitosan in selected biomedical applications," *Progress in Polymer Science*, vol. 39, no. 9, pp. 1644-1667, 2014/09/01/ 2014.
- [35] D. Eglin, T. Coradin, M. M. G. Guille, C. Helary, and J. Livage, "Collagen-silica hybrid materials: Sodium silicate and sodium chloride effects on type I collagen fibrillogenesis," *Bio-Medical Materials and Engineering*, Article vol. 15, no. 1-2, pp. 43-50, 2005.
- [36] T. Luo and K. L. Kiick, "Collagen-like peptides and peptide–polymer conjugates in the design of assembled materials," *European Polymer Journal*, vol. 49, no. 10, pp. 2998-3009, 2013/10/01/ 2013.
- [37] K. Vimala, K. Samba Sivudu, Y. Murali Mohan, B. Sreedhar, and K. Mohana Raju, "Controlled silver nanoparticles synthesis in semi-hydrogel networks of poly(acrylamide) and carbohydrates: A rational methodology for antibacterial application," *Carbohydrate Polymers*, vol. 75, no. 3, pp. 463-471, 2009/02/11/ 2009.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [38] J. P. de Mesquita, P. S. Patrício, C. L. Donnici, D. F. S. Petri, L. C. A. de Oliveira, and F. V. Pereira, "Hybrid layer-by-layer assembly based on animal and vegetable structural materials: multilayered films of collagen and cellulose nanowhiskers," *Soft Matter*, 10.1039/C0SM01168A vol. 7, no. 9, pp. 4405-4413, 2011.
- [39] B. Feng, H. Duan, W. Fu, Y. Cao, W. Jie Zhang, and Y. Zhang, "Effect of inhomogeneity of the electrospun fibrous scaffolds of gelatin/polycaprolactone hybrid on cell proliferation," *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, vol. 103, no. 2, pp. 431-438, 2015.
- [40] M. R. Badrossamay *et al.*, "Engineering hybrid polymer-protein super-aligned nanofibers via rotary jet spinning," *Biomaterials*, vol. 35, no. 10, pp. 3188-3197, 2014/03/01/ 2014.
- [41] S. Park *et al.*, "In situ hybridization of carbon nanotubes with bacterial cellulose for three-dimensional hybrid bioscaffolds," *Biomaterials*, vol. 58, pp. 93-102, 2015/07/01/ 2015.
- [42] S. Ali, Z. Khatri, K. W. Oh, I.-S. Kim, and S. H. Kim, "Preparation and characterization of hybrid polycaprolactone/cellulose ultrafine fibers via electrospinning," *Macromolecular Research*, journal article vol. 22, no. 5, pp. 562-568, May 01 2014.
- [43] A. Asti and L. Gioglio, "Natural and synthetic biodegradable polymers: Different scaffolds for cell expansion and tissue formation," *International Journal of Artificial Organs*, Review vol. 37, no. 3, pp. 187-205, 2014.
- [44] Y. B. Kim and G. H. Kim, "PCL/alginate composite scaffolds for hard tissue engineering: Fabrication, characterization, and cellular activities," *ACS Combinatorial Science*, Article vol. 17, no. 2, pp. 87-99, 2015.
- [45] M. Humenik and T. Scheibel, "Self-assembly of nucleic acids, silk and hybrid materials thereof," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 26, no. 50, p. 503102, 2014/11/24 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [46] M. G. Cascone, M. Laus, D. Ricci, and R. Sbarbati Del Guerra, "Evaluation of poly(vinyl alcohol) hydrogels as a component of hybrid artificial tissues," *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Article vol. 6, no. 2, pp. 71-75, 1995.
- [47] "Use of Natural Coralline Biomaterials As Reinforcing and Gas-Forming Agent for Developing Novel Hybrid Biomatrices: Microarchitectural and Mechanical Studies," *Tissue Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 589-600, 2006.
- [48] C. Radhakumary, P. D. Nair, S. Mathew, and C. P. Reghunadhan Nair, "Synthesis, characterization, and properties of poly(vinyl acetate)- and poly(vinyl alcohol)-grafted chitosan," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 104, no. 3, pp. 1852-1859, 2007.
- [49] M. Liu, W. Li, J. Rong, and C. Zhou, "Novel polymer nanocomposite hydrogel with natural clay nanotubes," *Colloid and Polymer Science*, journal article vol. 290, no. 10, pp. 895-905, July 01 2012.
- [50] I. M. Garnica-Palafox *et al.*, "Mechanical and structural response of a hybrid hydrogel based on chitosan and poly(vinyl alcohol) cross-linked with epichlorohydrin for potential use in tissue engineering," *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, vol. 25, no. 1, pp. 32-50, 2014/01/02 2014.
- [51] R. Gui, Y. Wang, and J. Sun, "Encapsulating magnetic and fluorescent mesoporous silica into thermosensitive chitosan microspheres for cell imaging and controlled drug release in vitro," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 113, pp. 1-9, 2014/01/01/ 2014.
- [52] J. Allouche, M. Boissière, C. Hélay, J. Livage, and T. Coradin, "Biomimetic core-shell gelatine/silica nanoparticles: A new example of biopolymer-based nanocomposites," *Journal of Materials Chemistry*, Article vol. 16, no. 30, pp. 3120-3125, 2006.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [53] K. Baysal, A. Z. Aroguz, Z. Adiguzel, and B. M. Baysal, "Chitosan/alginate crosslinked hydrogels: Preparation, characterization and application for cell growth purposes," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 59, pp. 342-348, 2013/08/01/ 2013.
- [54] J. Wu, Q. Ge, and P. T. Mather, "PEG-POSS Multiblock Polyurethanes: Synthesis, Characterization, and Hydrogel Formation," *Macromolecules*, vol. 43, no. 18, pp. 7637-7649, 2010/09/28 2010.
- [55] M. Boissière, J. Allouche, R. Brayner, C. Chanéac, J. Livage, and T. Coradin, "Design of iron oxide/silica/alginate Hybrid MAGnetic Carriers (HYMAC)," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Conference Paper vol. 7, no. 12, pp. 4649-4654, 2007.
- [56] S. Naficy, S. Kawakami, S. Sadegholvaad, M. Wakisaka, and G. M. Spinks, "Mechanical properties of interpenetrating polymer network hydrogels based on hybrid ionically and covalently crosslinked networks," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 130, no. 4, pp. 2504-2513, 2013.
- [57] F. Carfi Pavia, V. La Carrubba, V. Brucato, F. S. Palumbo, and G. Giammona, "Synthesis, characterization and foaming of PHEA-PLLA, a new graft copolymer for biomedical engineering," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 41, pp. 301-308, 2014/08/01/ 2014.
- [58] H. Yang *et al.*, "Facile synthesis of biodegradable and clickable polymer," *RSC Advances*, Article vol. 4, no. 45, pp. 23377-23381, 2014.
- [59] S. Ahn, Y. Kim, H. Lee, and G. Kim, "A new hybrid scaffold constructed of solid freeform-fabricated PCL struts and collagen struts for bone tissue regeneration: fabrication, mechanical properties, and cellular activity," *Journal of Materials Chemistry*, 10.1039/C2JM33310D vol. 22, no. 31, pp. 15901-15909, 2012.
- [60] R. D. Santis *et al.*, "Effects of polymer amount and processing conditions on the in vitro behaviour of hybrid titanium dioxide/polycaprolactone composites," *Biomaterials*, vol. 28, no. 18, pp. 2801-2809, 2007/01/01/ 2007.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [61] B. Gong and G. N. Parsons, "Caprolactone Ring-Opening Molecular Layer Deposition of Organic-Aluminum Oxide Polymer Films," *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, vol. 1, pp. P210-P215, 08/24 2012.
- [62] M.-W. Sa, S. E. Kim, Y.-P. Yun, H.-R. Song, and J. Y. Kim, "Fabrication of hybrid scaffolds by polymer deposition system and its in-vivo evaluation with a rat tibial defect model," *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, journal article vol. 11, no. 6, pp. 439-445, December 01 2014.
- [63] S. Ivashchenko, J. L. Escobar Ivirico, D. M. García Cruz, A. Campillo-Fernández, G. G. Ferrer, and M. M. Pradas, "Bioactive organic–inorganic poly(CLMA-co-HEA)/silica nanocomposites," *Journal of Biomaterials Applications*, vol. 29, no. 8, pp. 1096-1108, 2015.
- [64] M. M. Rahman and A. Elaissari, "Organic–Inorganic Hybrid Magnetic Latex," in *Hybrid Latex Particles: Preparation with (Mini)emulsion Polymerization*, A. M. van Herk and K. Landfester Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 237-281.
- [65] T.-Y. Liu, S.-H. Hu, D.-M. Liu, S.-Y. Chen, and I. W. Chen, "Biomedical nanoparticle carriers with combined thermal and magnetic responses," *Nano Today*, vol. 4, no. 1, pp. 52-65, 2009/02/01/ 2009.
- [66] R. Bryaskova, D. Pencheva, G. M. Kale, U. Lad, and T. Kantardjiev, "Synthesis, characterisation and antibacterial activity of PVA/TEOS/Ag-Np hybrid thin films," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 349, no. 1, pp. 77-85, 2010/09/01/ 2010.
- [67] S. Fuentes, V. Vera, F. Rivera, M. Moreno, E. Benavente, and G. Gonzalez, "Hybrid Chitosan-Mercaptopropyltrimethoxysilane Films with Ag and Au Nanoparticles: Synthesis and Properties," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 562, no. 1, pp. 229-241, 2012/08/22 2012.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [68] J. Guo, W. Yang, C. Wang, J. He, and J. Chen, "Poly(N-isopropylacrylamide)-Coated Luminescent/Magnetic Silica Microspheres: Preparation, Characterization, and Biomedical Applications," *Chemistry of Materials*, vol. 18, no. 23, pp. 5554-5562, 2006/11/01 2006.
- [69] C. Fisher, A. E. Rider, Z. J. Han, S. Kumar, I. Levchenko, and K. Ostrikov, "Applications and nanotoxicity of carbon nanotubes and graphene in biomedicine," *J. Nanomaterials*, vol. 2012, pp. 1-19, 2012.
- [70] A. Kudo, K. Omori, and H. Kato, "A Novel Aqueous Process for Preparation of Crystal Form-Controlled and Highly Crystalline BiVO₄ Powder from Layered Vanadates at Room Temperature and Its Photocatalytic and Photophysical Properties," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 121, no. 49, pp. 11459-11467, 1999/12/01 1999.
- [71] S. Tokunaga, H. Kato, and A. Kudo, "Selective Preparation of Monoclinic and Tetragonal BiVO₄ with Scheelite Structure and Their Photocatalytic Properties," *Chemistry of Materials*, vol. 13, no. 12, pp. 4624-4628, 2001/12/01 2001.
- [72] A. K. Bhattacharya, K. K. Mallick, and A. Hartridge, "Phase transition in BiVO₄," *Materials Letters*, vol. 30, no. 1, pp. 7-13, 1997/01/01/ 1997.
- [73] P. Wood and F. P. Glasser, "Preparation and properties of pigmentary grade BiVO₄ precipitated from aqueous solution," *Ceramics International*, vol. 30, no. 6, pp. 875-882, 2004/01/01/ 2004.
- [74] K. Hirota, G. Komatsu, M. Yamashita, H. Takemura, and O. Yamaguchi, "Formation, characterization and sintering of alkoxy-derived bismuth vanadate," *Materials Research Bulletin*, vol. 27, no. 7, pp. 823-830, 1992/07/01/ 1992.
- [75] J. Liu, H. Wang, S. Wang, and H. Yan, "Hydrothermal preparation of BiVO₄ powders," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 104, no. 1, pp. 36-39, 2003/11/15/ 2003.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [76] K. Hayat, M. A. Gondal, M. M. Khaled, and S. Ahmed, "Effect of operational key parameters on photocatalytic degradation of phenol using nano nickel oxide synthesized by sol-gel method," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 336, no. 1, pp. 64-71, 2011/02/14/ 2011.
- [77] A. Tücks and H. P. Beck, "The photochromic effect of bismuth vanadate pigments: Investigations on the photochromic mechanism," *Dyes and Pigments*, vol. 72, no. 2, pp. 163-177, 2007/01/01/ 2007.
- [78] X. Zhang, Z. Ai, F. Jia, L. Zhang, X. Fan, and Z. Zou, "Selective synthesis and visible-light photocatalytic activities of BiVO₄ with different crystalline phases," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 103, no. 1, pp. 162-167, 2007/05/15/ 2007.
- [79] M. A. M. J. M. Ashokkumar, and P. Arunachalam, "A review on BiVO₄ photocatalyst: Activity enhancement methods for solar photocatalytic applications," *Applied Catalysis A: General*, vol. 555, pp. 47-74, 2018/04/05/ 2018.
- [80] N. Agnihotri, R. Mishra, C. Goda, and M. Arora, *Microencapsulation – A Novel Approach in Drug Delivery: A Review*. 2012, pp. 1-20.
- [81] K. Hirech, S. Payan, G. Carnelle, L. Brujes, and J. Legrand, "Microencapsulation of an insecticide by interfacial polymerisation," *Powder Technol.*, vol. 130, pp. 324-330, 2003.
- [82] A. E. Asbahani *et al.*, "Essential oils: From extraction to encapsulation," *Int J Pharm*, vol. 483, pp. 220-243, 2015.
- [83] B. Hosseinkhani, C. Callewaert, N. Vanbeveren, and N. Boon, "Novel biocompatible nanocapsules for slow release of fragrances on the human skin," *New Biotech*, vol. 32, no. 1, pp. 40-46, 2015.
- [84] S. N. Rodrigues *et al.*, "Scentfashion®: Microencapsulated perfumes for textile application," *Chem Eng J*, vol. 149, pp. 463-472, 2009.
- [85] X. Cheng, K. Ma, R. Li, X. Ren, and T. S. Huang, "Antimicrobial coating of modified chitosan onto cotton fabrics," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 309, pp. 138-143, 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

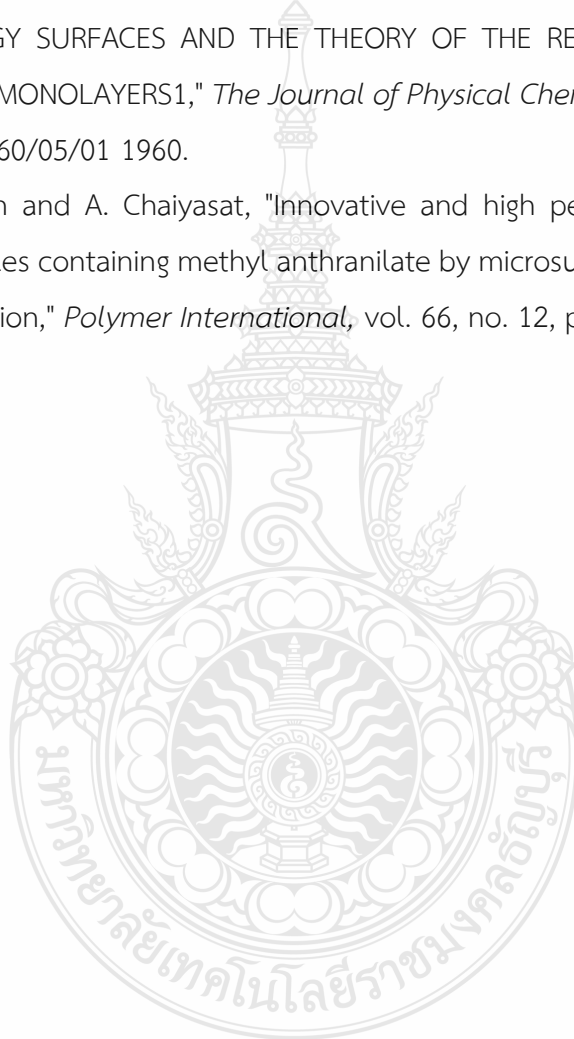
- [86] W. Ye, J. H. Xin, P. Li, K.-L. D. Lee, and T.-L. Kwong, "Durable antibacterial finish on cotton fabric by using chitosan-based polymeric core-shell particles," *J Appl Polym Sci*, vol. 102, no. 2, pp. 1787–1793, 2006.
- [87] W. Ye, M. F. Leung, J. Xin, T. L. Kwong, D. K. L. Lee, and P. Li, "Novel core-shell particles with poly(n-butyl acrylate) cores and chitosan shells as an antibacterial coating for textiles," *Polymer*, vol. 46, pp. 10538-10543, 2005.
- [88] T. Öktem, "Surface treatment of cotton fabrics with chitosan," *Color Technol*, vol. 119, no. 4, pp. 241-246, 2003.
- [89] Y. H. Kim, H.-M. Choi, and J. H. Yoon, "Synthesis of a quaternary ammonium derivative of chitosan and its application to a cotton antimicrobial finish," *Textile Res J*, vol. 68, pp. 428-434, 1998.
- [90] L. Sánchez-Silva, J. F. Rodríguez, A. Romero, and P. Sánchez, "Preparation of coated thermo-regulating textiles using Rubitherm-RT31 microcapsules," *J Appl Polym Sci*, vol. 124, no. 6, pp. 4809-4818, 2012.
- [91] N. Azizi, N. Ladhari, and M. Majdoub, "Elaboration and Characterization of Polyurethane-based Microcapsules: Application in Textile," *Asian J. Text* vol. 1, no. 3, pp. 130-137, 2011.
- [92] P. Sánchez, M. V. Sánchez-Fernandez, A. Romero, J. F. Rodríguez, and L. Sánchez-Silva, "Development of thermo-regulating textiles using paraffin wax microcapsules," *Thermochim. Acta* vol. 498, pp. 16-21, 2010.
- [93] G. Nelson, "Application of microencapsulation in textiles," *Int J Pharm*, vol. 242, no. 1-2, pp. 55-62, 2002.
- [94] B. Boh and E. Knez, "Microencapsulation of essential oils and phase change materials for applications in textile products," *Indian J Fibre Text*, vol. 31, pp. 72-82, 2006.
- [95] N. Azizia, Y. Chevalier, and M. Majdoub, "Isosorbide-based microcapsules for cosmeto-textiles," *Ind Crop Prod*, vol. 52, pp. 150- 157, 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [96] Y. Lu, H. Shang, H. Guan, Y. Zhao, H. Zhang, and B. Zhang, "Enhanced visible-light photocatalytic activity of BiVO₄ microstructures via annealing process," *Superlattices and Microstructures*, vol. 88, pp. 591-599, 2015/12/01/ 2015.
- [97] L. Karimi, M. Mirjalili, M. Yazdanshenas, and A. Nazari, *Effect of Nano TiO₂ on Self-cleaning Property of Cross-linking Cotton Fabric with Succinic Acid Under UV Irradiation*. 2010, pp. 1030-7.
- [98] P. Pisitsak, A. Samootsoot, and N. Chokpanich, "Investigation of the Self-cleaning Properties of Cotton Fabrics Finished with Nano-TiO₂ and Nano-TiO₂ Mixed with Fumed Silica," *KKU Res. J*, vol. 18(2): , pp. 200-211, 2013.
- [99] Y. Tai, L. Wang, J. Gao, W. A. Amer, W. Ding, and H. Yu, "Synthesis of Fe₃O₄@poly(methylmethacrylate-co-divinylbenzene) magnetic porous microspheres and their application in the separation of phenol from aqueous solutions," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 360, no. 2, pp. 731-738, 2011/08/15/ 2011.
- [100] S. Okunaka, H. Tokudome, Y. Hitomi, and R. Abe, "Preparation of fine particles of sheelite-monoclinic phase BiVO₄ via an aqueous chelating method for efficient photocatalytic oxygen evolution under visible-light irradiation," *Journal of Materials Chemistry A*, 10.1039/C5TA09789D vol. 4, no. 10, pp. 3926-3932, 2016.
- [101] R. Ran, J. Gamage McEvoy, and Z. Zhang, "Synthesis and Optimization of Visible Light Active BiVO₄ Photocatalysts for the Degradation of RhB," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2015, pp. 1-14, 09/30 2015.
- [102] H. Li, G. Liu, and X. Duan, "Monoclinic BiVO₄ with regular morphologies: Hydrothermal synthesis, characterization and photocatalytic properties," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 115, pp. 9-13, 05/01 2009.
- [103] K. Yang, H. Peng, Y. Wen, and N. Li, "Re-examination of characteristic FTIR spectrum of secondary layer in bilayer oleic acid-coated Fe₃O₄ nanoparticles," *Applied Surface Science*, vol. 256, no. 10, pp. 3093-3097, 2010/03/01/ 2010.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [104] J. J. Nájera and A. B. Horn, "Infrared spectroscopic study of the effect of oleic acid on the deliquescence behaviour of ammonium sulfate aerosol particles," *Physical Chemistry Chemical Physics*, 10.1039/B812182F vol. 11, no. 3, pp. 483-494, 2009.
- [105] E. G. Shafrin and W. A. Zisman, "CONSTITUTIVE RELATIONS IN THE WETTING OF LOW ENERGY SURFACES AND THE THEORY OF THE RETRACTION METHOD OF PREPARING MONOLAYERS1," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 64, no. 5, pp. 519-524, 1960/05/01 1960.
- [106] J. Pansuwan and A. Chaiyasat, "Innovative and high performance synthesis of microcapsules containing methyl anthranilate by microsuspension iodine transfer polymerization," *Polymer International*, vol. 66, no. 12, pp. 1921-1927, 2017.





ภาคผนวก



-จดอนุสิทธิบัตร IP number : 2003000813

แบบ สป/สท/จสปร/001-ก
หน้า 1 ของจำนวน 2 หน้า



คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

การประดิษฐ์
 การออกแบบผลิตภัณฑ์
 อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ขอเสนอชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
ขรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535
และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

สำนักงานเจ้าหน้าที่	
วันที่คำขอ 7 มี.ย. 2563	เลขที่คำขอ
วันที่รับคำขอ 7 มี.ย. 2563	2003000813
สิทธิบัตรดำเนินการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์	
บริเวณภาคอุตสาหกรรม	เขตที่ประกาศโฆษณา
รับออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
สถานีชื่อเจ้าหน้าที่	

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือสารที่ขอรับสิทธิบัตรในภาคอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในรายการที่แนบมาพร้อมคำขอรับสิทธิบัตร
และการดำเนินการที่ดำเนินการแล้ว

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้หรือไม่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร บุคคลธรรมดา นิติบุคคล หน่วยงานรัฐ อื่นๆ

ชื่อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ถนนวิภาวดีรังสิต

ตำบลบางเขน เขตจตุจักร อำเภอบางเขน กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศ ไทย

อีเมล rmutd@rmutd.ac.th

เลขประจำตัวประชาชน เลขทะเบียนนิติบุคคล เลขบัญชีเงินฝากธนาคาร เลขบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ เลขประจำตัวประชาชน

ในกรณีศึกษา ชื่อสารที่ผ่าน จำนวนตัวอักษร ไม่มีตัวอักษร มีตัวอักษร

4. สิ่งใดในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
 ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ผู้รับโอน ผู้ขอรับสิทธิบัตร

5. ส่วนงาน (ถ้ามี)
ชื่อ
ที่อยู่
ตำบลบางเขน
เขตจตุจักร อำเภอบางเขน กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศ ไทย

ชื่อ ส่วนงาน
ชื่อ วัสดุ
ชื่อ โครงสร้าง

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นคนเดียวกับผู้รับโอน
ชื่อ นายสมชาย ใจดี

ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนวิภาวดีรังสิต

ตำบลบางเขน เขตจตุจักร อำเภอบางเขน กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศ ไทย

อีเมล s.raj@rmutd.ac.th

เลขประจำตัวประชาชน 1 3 24 9 6 0 9 9 1 9 1 4 8

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แตกต่างจากคำขอรับสิทธิบัตรเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอไม่ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้ในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
เลขที่คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรเดิมที่ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
 คำขอรับสิทธิบัตรประดิษฐ์อย่างง่าย ผู้คิดค้นและผู้ประดิษฐ์ ของที่คิดประดิษฐ์อย่างง่าย

หมายเหตุ ในกรณีที่มีการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แล้วแต่ยังไม่ได้รับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรแล้วแต่มีผู้อื่นได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
สำหรับคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้

จำนวนประเภทสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	<input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร	สิทธิบัตรประเภท	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ	อนุสิทธิบัตร
<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับแรก)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับแก้ไข)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับแก้ไข)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 1)	<input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (สิทธิบัตร)
<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับที่ 2)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับที่ 3)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 2)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 3)	<input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (ฉบับที่ 1)
<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับที่ 4)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฉบับที่ 5)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 4)	<input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 5)	<input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2)

B. การยื่นคำขอเอกสารตามข้อ ๘ PCR เติมน้ำ (เติมน้ำ)

วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญญาที่ขอแจ้งแผนการประติมากรรมระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
B.1				
B.2				
B.3				

8.4 ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิบัตรที่ไม่มีข้อได้เปรียบที่เป็นไปได้ในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย
 ไม่ได้มีเอกสารหลักฐานเพื่อคำขอนี้ ขอขึ้นเอกสารหลักฐานเพื่อตรวจรับยื่นคำขอ

9. การแสดงการประติมากรรมแบบผลิตภัณฑ์และผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประติมากรรมที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้คิด
วันแสดง: _____ วันรับรายงานผล: _____ ผู้คิด: _____

10. การประติมากรรมเกี่ยวกับสุขภาพ

10.1 เลขขอรับยื่นคำขอ	10.2 วันมีผลภายใน	10.3 สถานะภายในประเทศ

11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอขึ้นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนยื่นยื่นคำขอ และขอจัดพิมพ์คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอ
โดยขอขึ้นในภาษา: _____
 อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน ญี่ปุ่น อื่นๆ

12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอไปยื่นตีพิมพ์เอกสารคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดหมาย และประกาศสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ สดจากวันที่
 ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ตีพิมพ์โดยกรมการค้าภายใน

13. ค่าขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย:
ก. แบบพิมพ์คำขอ 3 หน้า
ข. รายละเอียดการประติมากรรม หรือคำขอรับแบบผลิตภัณฑ์ 6 หน้า
ค. ข้อโต้แย้ง 5 หน้า
ง. รูปเขียน รูปเขียน ภาพร่าง ภาพร่าง ภาพร่างการประติมากรรม 1 หน้า
14. เอกสารประกอบคำขอ: เอกสารแนบสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร หนังสือรับรองการแสดงการประติมากรรมแบบผลิตภัณฑ์ หนังสือมอบอำนาจ เอกสารขอหนังสือเกี่ยวกับสุขภาพ เอกสารการขอรับยื่นคำขอในต่างประเทศในวันยื่นคำขอในประเทศไทย เอกสารขอตีพิมพ์และเผยแพร่สิทธิ เอกสารอื่นๆ

15. จำนวนสำเนาขอรับ:
 การประติมากรรมนี้ไม่เกี่ยวข้องกับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน การประติมากรรมนี้สัมพันธ์กับเรื่องมาก่อน

16. สถานะข้อ: ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตัวแทน

ผู้แทนการค้าต่างประเทศ: _____ | คณะกรรมาธิการ: _____ | วันที่: _____

หมายเหตุ: บุคคลที่ขอรับยื่นคำขอการประติมากรรมที่ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร โดยที่การประติมากรรมนี้เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพ จะต้องยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในอนุสิทธิบัตร สิทธิบัตรนี้
จึงขอรับยื่นคำขอ



ใบต่อแบบท้าย แบบ สป/สม/อสน/001-ก

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร (ต่อ)
สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)
ที่อยู่ ชั้น 14 อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 02 278 8200 ต่อ 8226, 8370
เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 0994000165692
อีเมล jantana@trf.or.th

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ (ต่อ)
2) ชื่อผู้ประดิษฐ์ นางปริยาภรณ์ ไชยสิทธิ์
ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เลขที่ 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
อีเมล p_chayasat@gmail.com
เลขบัตรประจำตัวประชาชน 3820500059496

3) ชื่อผู้ประดิษฐ์ นางสาวชัชชา กอรัมย์
ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เลขที่ 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
อีเมล bebegun60@gmail.com
เลขบัตรประจำตัวประชาชน 1100501181960



รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดตที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ และกรรมวิธีการผลิตการเคลือบดังกล่าว

5 สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

สาขาเคมีพอลิเมอร์ที่เกี่ยวข้องกับสูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดตที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ และกรรมวิธีการผลิตการเคลือบดังกล่าว

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

- โดยทั่วไป เทคโนโลยีโฟโตแคตาไลติกเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการกำจัดสารอินทรีย์และ
- 10 ด่างเชื้อแบคทีเรียรวมทั้งกลิ่นอับชื้น ในกรณีของผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ จะนิยมการเคลือบอนุภาคโฟโตแคตาไลติกลงบนผ้า โดยอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นหนึ่งในวัสดุโฟโตแคตาไลติก ที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต หลุมอิเล็กตรอน (electron hole; h^+) ที่มีประจุบวก จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดในแถบวาเลนซ์ (valence band; VB) เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแถบวาเลนซ์ ไปแถบการนำ (conduction band; CB) โดยหลุมอิเล็กตรอนที่มีประจุบวกจะออกซิไดซ์น้ำเกิดเป็นไฮดรอกซี แรดิคอลล
- 15 ในขณะที่เดียวกันในแถบการนำ อิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้น จะปฏิกิริยาออกซิเจน (O_2) ให้ออกเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แรดิคอลล (superoxide radical; $\cdot O_2^-$) ซึ่งซูเปอร์ออกไซด์ แรดิคอลลก็จะปฏิกิริยาน้ำซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือไฮดรอกซี แรดิคอลล เช่นกัน โดยไฮดรอกซี แรดิคอลลจะมีประสิทธิภาพสูงในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสีย้อม ได้เป็นอย่างดี รวมถึงด้านเชื้อแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามการเคลือบอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนผ้าโดยตรงยังมีข้อด้อย ทั้งในแง่ของความเสถียรของสารแขวนลอย
- 20 การกระจายตัวบนผ้าขณะทำการเคลือบ และประสิทธิภาพของสมบัติโฟโตแคตาไลติก ซึ่งสารแขวนลอยของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์มีความเสถียรทางคอลลอยด์ต่ำ ตกตะกอนและรวมตัวกันได้ง่าย หากเก็บในรูปแบบของผง เมื่อนำมากระจายในน้ำ (ก่อนการเคลือบผ้า) มักกระจายตัวได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ผู้ผ่านการเคลือบ ไม่มีความสม่ำเสมอของอนุภาคไทเทเนียม ไดออกไซด์ และเนื่องจากอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ หากเคลือบโดยตรงจะติดบนผ้าค่อนข้างยาก นอกจากนี้ สมบัติโฟโตแคตาไลติกของอนุภาคไทเทเนียม
- 25 ไดออกไซด์จะถูกเร่งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งมีอยู่ในแสงธรรมชาติเล็กน้อย (ร้อยละ 5) เมื่อเทียบกับแสงที่ตามองเห็น (ร้อยละ 45) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ และด้านเชื้อแบคทีเรีย

- บิสมัทวานาเดต (bismuth vanadate; $BiVO_4$) เป็นหนึ่งในวัสดุโฟโตแคตาไลติกที่ทำงานภายใต้การเร่งด้วยแสงที่ตามองเห็น อย่างไรก็ตามการใช้งานอนุภาคบิสมัทวานาเดตโดยตรง อาจเกิดการจับตัวเป็นก้อนและเคลือบลงบนผ้าได้ยากเช่นเดียวกับอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นการห่ออนุภาคบิสมัทวานาเดตด้วย
- 30 พอลิเมอร์ในรูปพอลิเมอร์แคปซูล (polymer capsules) หรือผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดตกับพอลิเมอร์ในรูปแบบของอนุภาคพอลิเมอร์โอบจิด เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยเทคนิคหนึ่งที่มี

ประสิทธิภาพสูงในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริดระดับไมโครเมตรที่สามารถกักเก็บอนุภาคบิสมัทนา
นาเดทได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย (suspension
polymerization) ซึ่งมีกลไกการเกิดอนุภาคแบบหยดมอนอเมอร์ (droplet nucleation) โดยจำเป็นต้อง
กระจายอนุภาคบิสมัทนาเดทในสารละลายของมอนอเมอร์ เนื่องจากบิสมัทนาเดทเป็นสารอินทรีย์ซึ่ง
ยากที่จะกระจายตัวอยู่ในสารละลายอินทรีย์ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเคลือบอนุภาคบิสมัทนาเดท ด้วยสารลด
แรงดึงผิวชนิดที่มีค่าสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน (hydrophilic-lipophilic balance;
HLB) ต่ำกว่า 6 (เหมาะสำหรับการเตรียมอิมัลชันในระบบน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion)) เช่น กรด
โอเลอิก (oleic acid: OA) กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ โอลิเออามีน (oleylamine) เป็นต้น โดย
อนุภาคบิสมัทนาเดทที่ถูกเคลือบผิวด้วยสารลดแรงดึงผิว ซึ่งจะสามารถกระจายตัวในชั้นของมอนอเมอร์ได้
สมบูรณ์

จากการสืบค้นสิทธิบัตร อนุสิทธิบัตร วารสารวิชาการ สื่อออนไลน์ ทั้งฐานข้อมูลประเทศไทยและ
ต่างประเทศ ยังไม่พบสิทธิบัตร อนุสิทธิบัตร สื่อออนไลน์ ที่มีความใกล้เคียงกับสิ่งประดิษฐ์ โดยพบงานวิจัยที่
ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มีการเตรียมวัสดุผสมของอนุภาคบิสมัทนาเดทกับพอลิโดพามีน (polydopamine)
แต่วัสดุที่ได้ไม่ใช่อนุภาคแขวนลอยและไม่ใช้วิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยการเตรียม
อนุภาคพอลิเมอร์และอนุภาคแคปซูลที่ใช้พอลิเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิไดไวโนเบนซีน ชนิดชอบน้ำ เช่น
พอลิเมทิลเมทาคริเลต และโคพอลิเมอร์ของทั้งสองชนิดที่ชอบกับไม่ชอบน้ำ ซึ่งพบว่าการสังเคราะห์โดยใช้พอลิ
เมอร์ชนิดชอบน้ำจะเกิดอนุภาคใหม่ (secondary particles) หรืออนุภาคอิสระ (free particles) ในวัฏภาค
ของน้ำแข่งขันกับการเกิดพอลิเมอร์ภายในหยดมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ใน
กรณีของแคปซูล) มีคุณภาพต่ำ เช่น แคปซูลที่มีเปลือกบาง และมีการปะปนของอนุภาคขนาดเล็ก (ที่ไม่ใช่
แคปซูล) จำนวนมาก (ประมาณ 40%) อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำกลไกการ
สังเคราะห์พอลิเมอร์แบบโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน (iodine transfer polymerization) มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า
"กระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน (suspension iodine transfer
polymerization; Suspension ITP)" เช่นการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลที่มีรสขมกับความร้อนใน
กระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย โดยไอโอดีนเรดิคัล (โมเลกุลละลายน้ำ) จะจับโพลิโกเมอร์เรดิคัล
(oligomeric radical) ในหยด/แคปซูลไม่ให้เคลื่อนที่ออกมาในชั้นน้ำ ทำให้ไม่สามารเกิดอนุภาคอิสระในน้ำ
ได้ ดังนั้นในกรณีนี้ Suspension ITP มาใช้ในการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริดผสมอนุภาคบิสมัทนา
เดท ซึ่งจะช่วยให้สามารถเตรียมอนุภาคดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะและความไม่พร้อมของการประดิษฐ์

สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทนาเดทที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี
สำหรับวัสดุสิ่งทอ ประกอบด้วย มอนอเมอร์ ตัวเริ่มปฏิกิริยา สารแยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ตัวทำละลายอินทรีย์
ช่วยการกระจายตัว สารทำให้เกิดรูพรุน อนุภาคนิวโรบิสมัทนาเดท สารลดแรงดึงผิว และน้ำปราศจาก

ไอออน ซึ่งมีการเตรียมการเตรียม ประกอบด้วย การเตรียมอนุภาคนาโนบิสฟิฟานาเดท และการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดทด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน

- ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ เพื่อพัฒนาการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดท ที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานโดยการ นำอนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริดผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดท ทั้งในรูปแบบผงและแขวนลอยในน้ำไปใช้ได้โดยตรง ซึ่งสามารถทำเป็นสีเหลืองสำหรับเคลือบผ้า และเนื่องจากสมบัติการเกิดโฟโตแคตาไลซิสของอนุภาคบิสฟิฟานาเดทที่สามารถผลิตอนุคลิออสระภายใต้สภาวะของแสงที่ตามองเห็น อนุภาคพอลิเมอร์ไฮบริดผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดท เมื่อถูกเคลือบลงบนผ้าแล้วไม่เพียงแต่ทำให้มีสีเหลืองแต่ยังสามารถทำให้ผ้าทำหน้าที่ ทำความสะอาดตัวเองได้ เพราะมีคุณสมบัติกำจัดสี
- จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดทที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ ที่เตรียมโดย กระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

- | | | | | |
|----|--|---------|----------|------------------------------------|
| 15 | - มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง | เท่ากับ | 2.0-5.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - มอนอเมอร์ชนิดที่สอง | เท่ากับ | 0.2-0.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - มอนอเมอร์ชนิดที่สาม | เท่ากับ | 0.2-0.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - ตัวริเริ่มปฏิกิริยา | เท่ากับ | 0.1-1.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน | เท่ากับ | 0.01-0.1 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| 20 | - ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว | เท่ากับ | 2.5-7.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - อนุภาคนาโนบิสฟิฟานาเดท | เท่ากับ | 1.0-5.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - สารที่ทำให้เกิดครุพุน | เท่ากับ | 0.1-1.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - สารลดแรงตึงผิว | เท่ากับ | 0.5-1.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - น้ำปราศจากไอออน | เท่ากับ | 80-90 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| 25 | สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟิฟานาเดทที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ ที่มีส่วนประกอบที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วย | | | |
| | - มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง | เท่ากับ | 4.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - มอนอเมอร์ชนิดที่สอง | เท่ากับ | 0.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - มอนอเมอร์ชนิดที่สาม | เท่ากับ | 0.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| 30 | - ตัวริเริ่มปฏิกิริยา | เท่ากับ | 0.25 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน | เท่ากับ | 0.05 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |
| | - ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว | เท่ากับ | 4.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด |

- อนุภาคนาโนบิสฟัทานาเคท เท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารที่ทำให้เกิดฟูน เท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 86.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
- 5 ทั้งนี้ มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง สามารถเลือกได้จาก เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate; MMA) หรือเอทิลเมทาคริเลต (Ethyl methacrylate; EMA) หรือ บิวทิล เมทาคริเลต (Butyl methacrylate; BMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- มอนอเมอร์ชนิดที่สอง สามารถเลือกได้จาก 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate; HEMA) หรือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (2-Hydroxyethyl acrylate; HEA) หรือ ซอร์บิแทน เมทาคริเลต (Sorbitan methacrylate; SMA) หรือ ไฮดรอกซีโพรพิล เมทาคริเลต (Hydroxypropyl methacrylate; HPMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- 10 มอนอเมอร์ชนิดที่สาม สามารถเลือกได้จาก ไดไวนิลเบนซีน (Divinyl benzene; DVB) หรือ เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต (Ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA) เอทิลีนไกลคอล ไดอะคริเลต (Ethylene glycol diacrylate; EGDA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- 15 ตัวเริ่มปฏิกิริยา สามารถเลือกได้จาก เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide; BPO) หรือ ไดคูมิล เปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) หรือ เอโซบิสไอโซบิวทีโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- สารออกยาสายโซโอดีน สามารถเลือกได้จาก ไอโอดิฟอร์ม (Iodoform) หรือ 2-ไอโอดो-2-เมทิลโพรไพโอไนท์ (2-Iodo-2-methylpropionitrile) ชนิดละลายในน้ำนั้น อย่างใดอย่างหนึ่ง
- 20 ตัวทำละลายอินทรีย์หรือช่วยการกระจายตัว สามารถเลือกได้จาก โทลูอีน (Toluene) หรือเฮกเซน (Hexane) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- อนุภาคนาโนบิสฟัทานาเคท เตรียมได้จากการเกิดสารเชิงซ้อนของ บิสมีส แคทไอออนและวานาเดต แคทไอออนทำปฏิกิริยากับกรดเอทิลีนไดเอมีน เพทระ อะซิติก (ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) ในน้ำในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 8-10 ร่วมกับอุณหภูมิสูง ก่อนจะนำมาเคลือบผิว
- 25 ด้วยกรดโอเล็ก (เพื่อให้มีความไม่ขี้ขี้) ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แบบแชนลยด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซโอดีน
- สารที่ทำให้เกิดฟูน สามารถเลือกได้จาก พีอีจี 30 ไดโพลไฮดรอกซีสเตียเรท (PEG 30 dipolyhydroxystearate; DPHS) หรือซอร์บิแทน โอลิเอท (Sorbitan Oleate) หรือซอร์บิแทน สเตียเรท (Sorbitan Stearate) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- 30 สารลดแรงตึงผิว สามารถเลือกได้จาก พอลิวินิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) หรือ พอลิสไตรีน-โค-มาลิก แอซิด (Polystyrene-co-maleic acid; PSMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง

กรรมวิธีการผลิตสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียและกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอ จากละลายกรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระอะซิติก (ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) ในน้ำในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 8-10 ที่ใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง แล้วแบ่งสารละลายออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน โดยส่วนที่หนึ่งละลายบิสฟีนอลเอ (Bisphenol A) และส่วนที่สองละลายแอมโมเนียมวานาเตด (NH₄VO₃) ก่อนจะนำทั้งสองส่วนมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่ใช้น้ำ แอมโมเนียมวานาเตด เท่ากับ 5.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด บิสฟีนอลเอ เท่ากับ 12.86 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด กรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระอะซิติกเท่ากับ 31.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด และ น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 53.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด หลังจากนั้นทำการระเหยน้ำออกจนแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยการเคลือบด้วยกรดโอเลอิก โดยการกระจายอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอในกรดโอเลอิกและโทลูอีน โดยใช้อนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด กรดโอเลอิก เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด และ โทลูอีน เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด ก่อนระเหยโทลูอีนจนเหลือเฉพาะอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก

ขั้นตอนที่ 2 สารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียและกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ โดยนำอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมากระจายตัวในวัฏภาคกระจ่าย (วัฏภาคน้ำมัน) ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง มอนอเมอร์ชนิดที่สอง มอนอเมอร์ชนิดที่สาม ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ตัวทำลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว สารลดแรงตึงผิว และสารที่ทำให้เกิดฟรอนคือ พียูจี 30 ไดพอลิไดออกซีสตีเรท จากนั้น ผสมลงในวัฏภาคต่อเนื่อง (วัฏภาคน้ำ) ที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการปั่นเตรียมหอยค้อนมอนอเมอร์ด้วยแรงเฉือนสูงในอัตราความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยของหอยค้อนมอนอเมอร์ ให้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมงแรก และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส จนครบ 5 ชั่วโมง สุดท้ายจะได้อนุภาคพอลิเมอร์ที่มีลักษณะทรงกลมขนาด 5-10 ไมครเมตร ดังรูปที่ 1 อนุภาคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จะมีลักษณะเป็นแขวนลอยสีเหลือง สามารถนำไปเคลือบบนผ้าได้โดยใช้วิธีการเคลือบปกติ คือ จุ่มอัด-อบแห้ง-อบผนึก (Pad-Dry-Cure) นอกจากนี้อนุภาคพอลิเมอร์ที่อนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอผสมอยู่ในอนุภาค มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสี (ดังรูปที่ 2)

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 สารแขวนลอย (ก) และ อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอ (ข)

หน้า 6 ของจำนวน 6 หน้า

รูปที่ 2 สารละลายสีอ้อมเมทีลีนบลูก่อนการบำบัด (ก และ ข) และหลังบำบัด (ก' และ ข') โดยใช้
อนุภาคนาโนบิสมัทวานาเดท (ก และ ก') และอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสมัทวานาเดท (ข และ
ข')

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ตีพิมพ์

5 ดึงได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์



ข้อถ้อยสัญญา

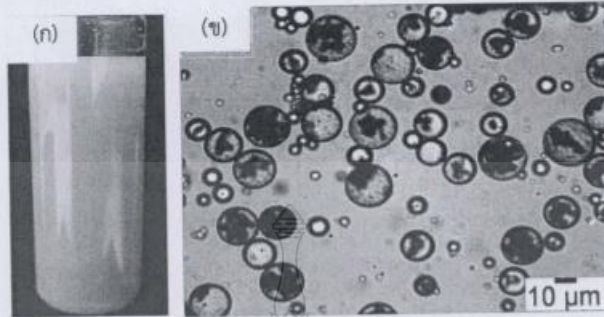
1. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสีทอง ประกอบด้วย
 - มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง เท่ากับ 2.0-5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - 5 - มอนอเมอร์ชนิดที่สอง เท่ากับ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - มอนอเมอร์ชนิดที่สาม เท่ากับ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - ตัวริเริ่มปฏิกิริยา เท่ากับ 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน เท่ากับ 0.01-0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว เท่ากับ 2.5-7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - 10 - อนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอ เท่ากับ 1.0-5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารที่ทำให้เกิดครุพูน เท่ากับ 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 80-90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
2. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสีทอง ตามข้อถ้อยสัญญา 1 ที่ซึ่งมีส่วนประกอบที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วย
 - มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง เท่ากับ 4.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - มอนอเมอร์ชนิดที่สอง เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - มอนอเมอร์ชนิดที่สาม เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - ตัวริเริ่มปฏิกิริยา เท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - 20 - สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน เท่ากับ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว เท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - อนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอ เท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารที่ทำให้เกิดครุพูน เท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
 - 25 - น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 86.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด
3. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสีทอง ตามข้อถ้อยสัญญา 1 หรือ 2 ที่ซึ่ง มอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง สามารถเลือกได้จากเมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate; MMA) หรือเอทิลเมทาคริเลต (Ethyl methacrylate; EMA) หรือ บิวทิล เมทาคริเลต (Butyl methacrylate; BMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
- 30 4. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสีสำหรับวัสดุสีทอง ตามข้อถ้อยสัญญา 1-3 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่ง มอนอเมอร์ชนิดที่สอง สามารถเลือกได้จาก 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate; HEMA) หรือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (2-Hydroxyethyl acrylate; HEA) หรือ ซอร์บิทัน เมทาคริเลต (Sorbitan

- methacrylate; SMA) หรือ ไฮดรอกซีโพรพิล เมทาคริเลต (Hydroxypropyl methacrylate; HPMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
5. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี สำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-4 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่ง มอนอเมอร์ชนิดที่สาม สามารถเลือกได้จาก
- 5 ไดไวนิลเบนซีน (Divinyl benzene; DVB) หรือ เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาคริเลต (Ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA) เอทิลีนไกลคอล ไดอะคริเลต (Ethylene glycol diacrylate; EGDA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
6. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี สำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-5 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยา สามารถเลือกได้จาก เบน
- 10 โซลิด เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide; BPO) หรือ ไดคูมิล เปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) หรือ เอโซบิสไอโซบิวทีโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile) อย่างใดอย่างหนึ่ง
7. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี สำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-6 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่ง สารยอกย้ายสายโซ่ไอโอดีน สามารถเลือกได้
- 15 จาก ไอโอดิฟอร์ม (Iodoform) หรือ 2-ไอโอดิ-2-เมทิลโพรพิโอไนไตรล์ (2-Iodo-2-methylpropionitrile) ชนิดละลายในน้ำมัน อย่างใดอย่างหนึ่ง
8. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี สำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-7 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว
- สามารถเลือกได้จาก โทลูอีน (Toluene) หรือเฮกเซน (Hexane) อย่างใดอย่างหนึ่ง
9. สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี สำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-9 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่งสารลดแรงตึงผิว สามารถเลือกได้จาก พอลิ
- 20 ไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) หรือ พอลิสไตรีน-โค-มาเลอิก แอซิด (Poly(styrene-co-maleic acid); PSMA) อย่างใดอย่างหนึ่ง
10. กรรมวิธีการผลิตสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอล A เดคที่มีฤทธิ์ใน การต้านเชื้อแบคทีเรียและกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ ตามข้อถ้อยสิทธิ 1-10 ข้อใดข้อหนึ่ง ที่ซึ่ง มี
- 25 ขั้นตอนดังนี้
- ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมอนุภาคนาโนบิสฟีนอล A เดค จากละลายกรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระ อะซีติก (ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) ในน้ำในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่
- ระหว่าง 8-10 ที่ใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง แล้วแบ่ง
- 30 สารละลายออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน โดยส่วนที่หนึ่งละลายบิสฟีนอล A ไนเตรต ($\text{B}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และ ส่วนที่สองละลายแอมโมเนียมวานาเดต (NH_4VO_3) ก่อนจะนำทั้งสองส่วนมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่ใช้ แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 5.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด บิสฟีนอล ไนเตรต เท่ากับ 12.86 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด กรดเอทิลีนไดเอมีน เทตระ อะซีติกเท่ากับ 31.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด และ น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ

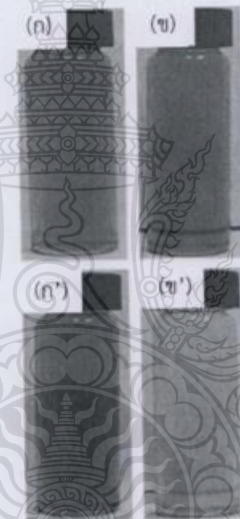
- 53.04 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด หลังจากนั้นทำการระเหยน้ำออกจนแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคบิสฟีนอลเอเพื่อให้คุณสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยการเคลือบด้วยกรดโอเลอิก โดยกระจายอนุภาคบิสฟีนอลเอในกรดโอเลอิกและโทลูอีน โดยใช้-อนุภาคนาโนบิสฟีนอลเอแตกต่างกัน 25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด กรดโอเลอิก เท่ากับ 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด และ โทลูอีน เท่ากับ 25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารละลายทั้งหมด ก่อนระเหยโทลูอีนจนเหลือเฉพาะอนุภาคบิสฟีนอลเอที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก
- ขั้นตอนที่ 2 สารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิสฟีนอลเอที่มีฤทธิ์ในการด้านเชื่อมแบคทีเรียและกำจัดสีสำหรับวัสดุสิ่งทอ โดยนำอนุภาคบิสฟีนอลเอที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมากระจายตัวในวัฏภาคกระจาย (วัฏภาคน้ำมัน) ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดที่หนึ่ง มอนอเมอร์ชนิดที่สอง มอนอเมอร์ชนิดที่สาม ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ตัวทำลายออกอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว สารลดแรงตึงผิว และสารที่ทำให้เกิดรูพรุน คือ พีอีจี 30 ไดฟอสโฟไรต์รอกซิลเดียมเรท จากนั้น ผสมลงในวัฏภาคคือนอง (วัฏภาคน้ำ) ที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการปั่นเตรียมหยดมอนอเมอร์ด้วยแรงเฉือนสูงในอัตราการบิน 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอยของหยดมอนอเมอร์ ให้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมงแรก และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียสจนครบ 8 ชั่วโมง สุดท้ายจะได้อนุภาคพอลิเมอร์ที่มีลักษณะทรงกลม ขนาด 5-10 ไมโครเมตร อนุภาคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จะมีลักษณะเป็นแขวนลอยสีเหลือง



หน้า 1 ของจำนวน 1 หน้า



รูปที่ 1



รูปที่ 2



บทสรุปการประดิษฐ์

สูตรสารเคลือบที่ประกอบด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดตที่มีฤทธิ์ในการกำจัดสี
สำหรับวัสดุสิ่งทอ และกรรมวิธีการผลิตการเคลือบดังกล่าว ประกอบด้วย มอนอเมอร์ ชนิดที่หนึ่ง มอนอเมอร์
ชนิดที่สอง มอนอเมอร์ชนิดที่สาม ตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยการ
5 กระจายตัว สารทำให้เกิดรูพรุน อนุภาคนาโนบิส്മัทวานาเดต สารลดแรงตึงผิว และ น้ำปราศจากไอออน โดย
อนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดต สามารถเตรียมได้ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอย
ด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน ซึ่งจะได้อนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูพรุนและพื้นผิวขรุขระ โดยมี
อนุภาคบิส്മัทวานาเดต กระจายตัวอยู่บนผิว ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคบิส്മัทวานาเดตกับน้ำได้มาก
ขึ้น โดยในสภาวะที่มีน้ำและการเร่งด้วยแสงในช่วงที่ตามองเห็น อนุภาคบิส്മัทวานาเดตจะผลิตไฮดรอกซี แรดิ
10 คอล ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์สีย้อม สามารถทำลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อม
ได้เป็นอย่างดี รวมถึงด้านเชื้อแบคทีเรีย โดยในขั้นตอนการเตรียมอนุภาคพอลิเมอร์ผสมอนุภาคบิส്മัทวานาเดต
ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบแขวนลอยด้วยกลไกการโยกย้ายสายโซ่ไอโอดีน อนุภาคบิส്മัทวานาเดตจะถูก
เคลือบด้วยกรดโอเลอิก เพื่อให้ผิวมีความไม่ชื้น ทำให้อนุภาคบิส്മัทวานาเดตกระจายตัวได้ดีในหยดมอนอ
เมอร์ในระหว่างการสังเคราะห์อนุภาคพอลิเมอร์



- เข้าร่วมการนำเสนอวิชาการในงาน "การประชุมวิชาการนานาชาติ PACCON 2019" โดยนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ วันที่ 7-8 กุมภาพันธ์ 2562 ณ ไบเทคบางนา กรุงเทพมหานคร

60 YEARS **MAHIDOL UNIVERSITY**
Chemistry **SCIENCE**
MAHIDOL UNIVERSITY

PACCON
PURE AND APPLIED CHEMISTRY
INTERNATIONAL CONFERENCE **2019**
Book of Abstracts

February 7 – 8, 2019
Bangkok International Trade & Exhibition Centre (BITEC)
Bangkok, Thailand

TCEB
THAILAND CONVENTION
& EXHIBITION BUREAU

PO - P - 064	Preparation and Characterization of P(MMA-DVB)/BIVO₄ Hybrid Particle for Self-Cleaning Cloth <u>Chonticha Klubchom</u> , Preeyaporn Chaiyasat, Amorn Chaiyasat*
PO - P - 065	Preparation of Silver Nanoparticles/Natural Rubber Composites and Their Antibacterial Activity <u>Phruedsaporn Taranamai</u> , Methasit Thachayothin, Aranee Teepakakorn, Watanalai Panbangrat, Philippe Daniel, Pranee Phinyocheep*
PO - P - 066	Influence of Polybutadiene-grafted Maleic Anhydride on the Properties of Acrylonitrile-Butadiene Rubber/Ethylene-Propylene Diene Rubber Blends <u>Sarawut Prasertsri</u> *, Eakkachai Saehan, Pranee Nuinu
PO - P - 067	Reinforcement of Natural Rubber with Rice Husk Silica/Molasses Carbon Powder Hybrid Fiber <u>Kritsana Wongkumamee</u> , Jitima Phaojee, Thanunya Saowapark*
PO - P - 068	Effect of Silane Coupling Agent and Compatibilizer on Physical Properties of Eucalyptus Fiber/EPDM Composites <u>Wasana Nonkrathok</u> , Salinee Siakhunthod, Nitinat Suppakarn*
PO - P - 069	Simple Microwave-assisted Synthesis of Multi-Functional Carbon Dots through Polyamidation Chemistry <u>Binhee Kwon</u> , Geumbi Jeong, Pabithra Paul, Pceerasak Praoprapat*, Jihoon Lee*, Insik In*
PO - P - 070	Synthetic Strategies of Selective Biomimetic Polymer for Human Serum Albumin <u>Suticha Chunta</u> *, Panwadee Wattanasin, Worachote Boonsriwong
PO - P - 071	Fabrication and Characterization of Chitosan/CNC Film Pressure Sensor <u>Pannatorn Boonsong</u> , Rawat Jaisutti, Jirada Singkhonrat*
PO - P - 072	Mechanical Properties of Dissolvable Microneedles Arrays for Transdermal Drug Delivery <u>Teeranut Rutwaree</u> , Supason Wanichwecharunguang*

PO

Preparation and characterization of P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particle for self-cleaning cloth

Chonticha Klubchom¹, Preeyaporn Chaiyasat^{1,2}, Amorn Chaiyasat^{1,2*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

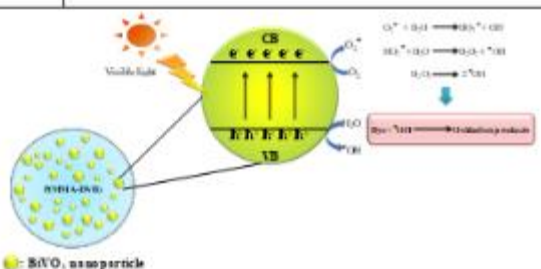
²Advanced Materials Design and Development (AMDD) Research Unit, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6,
Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

*E-mail: a_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

This research aims to study the preparation of hybrid particle by micro-suspension iodine transfer polymerization (*ms ITP*). Firstly, bismuth vanadate (BiVO₄) nanoparticles were prepared *via* an aqueous chelating method where the stable precursor solutions of Bi³⁺ and V⁵⁺ with ethylenediaminetetraacetic acid ligand were simply mixed before calcination at 500°C. The obtained BiVO₄ was spherical in shape with diameter of 594.8 nm. Secondly, the obtained BiVO₄ nanoparticles were then coated by oleic acid to present the hydrophobic surface. Thereafter, the coated BiVO₄ nanoparticles completely dispersed in oil phase containing methyl methacrylate and divinylbenzene including benzoyl peroxide initiator. After mixing oil phase with water phase containing polyvinyl alcohol, the monomer droplet containing BiVO₄ nanoparticles was generated using high shear rate. After polymerization with thermal initiation, the micrometer-sized composite hybrid particles were obtained. The encapsulation efficiency of BiVO₄ nanoparticles close to 100% measured by thermogravimetric analysis. The particle morphologies were characterized with optical micrograph and scanning electron microscope. In addition, the obtained hybrid particles were coated onto the cotton fabrics possessed self-cleaning property as the decomposition of dyes.

Keywords: hybrid particle, BiVO₄, self-cleaning, *ms ITP*



Leave blank for ID	Preparation and characterization of P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particle for self-cleaning cloth Chonticha Klubchom, Preeyaporn Chaiyasat, Amorn Chaiyasat*	Leave blank for QR code
		<p>the cotton fabrics coated by P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particles possessed self-cleaning property with •OH generated by oxidized H₂O and reduced O₂ of BiVO₄ particles.</p>



Preparation and characterization of P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particle for self-cleaning cloth

Chantira Klubthong¹, Prasopon Chaisaeng¹, Aron Chaisaeng^{2*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
²Advanced Materials Design and Development (AMDD) Research Unit, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 5, Pathumthani, Pathumthani 12110, Thailand
*E-mail: a_chaisaeng@rajmutt.ac.th
http://www.rajmutt.ac.th/index.html

Abstract

This research aims to study the preparation of hybrid particle by mini-suspension latex emulsion polymerization (m-SEP). First, bismuth vanadate (BiVO₄) nanoparticles were prepared via an aqueous chelating method where the stable precursor solutions of Bi³⁺ and V⁵⁺ with ethylenediaminetetraacetic acid ligand were simply mixed before calcination at 500°C. The obtained BiVO₄ was spherical in shape with number average diameter of 457 nm. Second, the obtained BiVO₄ nanoparticles were then coated by oleic acid (OA) to prevent the hydrophobic surface. Therefore, the coated BiVO₄ nanoparticles completely dispersed in oil phase containing methyl methacrylate (MMA) and divinylbenzene (DVB) including benzoyl peroxide initiator. After mixing oil phase with water phase containing polyvinyl alcohol, the monomer droplet containing BiVO₄ nanoparticles was generated using high shear rate. After polymerization with thermal initiation, the micrometer-sized composite hybrid particles were obtained. The encapsulation efficiency of BiVO₄ nanoparticles close to 100% measured by thermogravimetric analysis. The particle morphologies were characterized with optical micrograph and scanning electron microscope. In addition, the obtained hybrid particles were coated onto the cotton fabric to process self-cleaning property as the decomposition of dye.

Experimental

Preparation of BiVO₄ nanoparticle

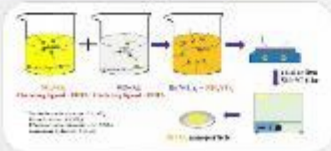


Fig.1 Schematic diagram of BiVO₄ nanoparticle preparation



Fig.2 Photos of BiVO₄ solution (a) after coagulation (b) and calcination (c) at 500°C for 6 h.



Fig.3 DLS histogram of BiVO₄ nanoparticles.

Table 2 Recipe amount of P(MMA-DVB)/BiVO₄ preparation by m-SEP

Ingredient	MMA-DVB	P(MMA-DVB)/BiVO ₄
MMA	2	1.00
DVB	2	0.50
BiVO ₄	2	0.25
Toluene	2	1.50
BPO	2	0.10
OA	2	0.02
PVA solution (30%)	2	0.50

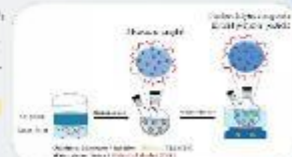


Fig.5 Schematic diagram of photo-catalytic decomposition of polymer particles prepared by m-SEP

Table 1 polymerizing study of BiVO₄ nanoparticles coated by oleic acid on styrene particle

Ingredient	BiVO ₄ : Oleic		
	1:1	1:2	1:4
MMA	0.250	0.250	0.250
DVB	0.050	0.050	0.050
BiVO ₄	0.125	0.125	0.125
OA	0.125	0.250	0.500
Toluene	0.125	0.125	0.125
H ₂ O	4.250	4.250	4.250

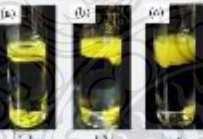


Fig.4 Photos of a binary phase of oil and water phases containing BiVO₄-coated BiVO₄ nanoparticles at various BiVO₄:OA ratios (1:1 (a), 1:2 (b) and 1:4 (c)).

Fig.6 Apparent absorption spectra of P(MMA-DVB)-BiVO₄ and P(MMA-DVB)/BiVO₄ particles prepared by m-SEP under (a) and (b) conditions that measured at 3.000 nm.

Table 3 Photocatalytic activity for P(MMA-DVB)/BiVO₄ suspension

Conversion (%) (m-SEP)	Free polymer particle (wt% relative to total monomer)	%Loading (wt%)	%Encapsulation (wt%)
98.0 ± 0.2	1.20	97	98

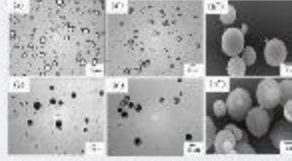


Fig.7 Optical (a) and SEM (a' and b') micrographs of monomer droplets and BiVO₄-coated polymer particles (a, b, a' and b') prepared by m-SEP. P(MMA-DVB)-BiVO₄ (a, b and a') and P(MMA-DVB)/BiVO₄ (b, b' and b'')

Fig.8 Photos of 5 ppm standard methylene blue solution before (a) and after (b and c) treatment using P(MMA-DVB)-BiVO₄ (b) and P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c) particles for 3.00 min under visible light.

Fig.9 Photos of 5 ppm standard methylene blue solution before (a) and after (b and c) treatment using P(MMA-DVB)-BiVO₄ (b) and P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c) particles for 3.00 min under visible light.

Conclusions



Cotton fabric coated by P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particles showed self-cleaning property with MB generated by oxidized H₂O₂ and active O₂ of BiVO₄ particles.



Fig.9 Photos of 5 ppm standard methylene blue solution before (a) and after (b and c) treatment using P(MMA-DVB)-BiVO₄ (b) and P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c) particles for 3.00 min under visible light.

Fig.10 Appearance of fabrics (a, a', a'') and P(MMA-DVB)/BiVO₄ coated (b, b', b'') fabric samples before (a, a' and a'') and after (b', b'' and b'') stored, and after 3.0 min visible light irradiance (c' and c'').

Reference

1. J. Casanova, S. Muzson, N. Chiba, A. Chapiro, Synthesis of microemulsion submicron latex emulsified particles by mini-suspension latex emulsion polymerization (m-SEP), *Prog Adv Mater Sci* (2016) 3562-3569.
2. H. Nohira, Application of emulsion polymerization in textiles, *International Journal of Photochemistry* (2013) 150-153.
3. D. Wu, M. Liang, J. Zhou, W. Gu, X. Zhu, C. Chen, Y. Wu, Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics coated by TiO₂ nanotubes in the presence of PVA and CTAB, *Colloid and Polym Sci* (2012) 290(6) 1759-1767.

- เข้าร่วมการนำเสนอความก้าวหน้ากิจกรรม RRI BKK forum 2019 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2562 ณ โรงแรมปทุมวันปริ้นเซส กรุงเทพมหานคร

MSD6010101

Development of self-cleaning cloth with photocatalytic composite hybrid polymer particle

Chaitida Kiatkham (Presenting), Chaisorn Anan Chaisorn
 Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Udon Thani, Thailand 42100, Thailand
 Advanced Materials Design and Development (AMDD) Research Unit, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Udon Thani, Thailand
 Email: chaitida.kiatkham@ru.ac.th
<http://www.rri.or.th/rri/ru/>

Abstract

The research aims to study the preparation of hybrid particles by micro-suspension iodine-terminated radical polymerization (ITP) from vinyl monomers (BVOs) nanoparticles were prepared via an aqueous solution method where the stable precursor solution of 2-BP and 2-VOL, ethylaluminum dichloride and ligand were strictly mixed before emulsification. The obtained BVOs nanoparticles were then coated by styre and MMA to present the hydrophobic nature. Therefore, the coated BVOs nanoparticles completely dispersed in oil phase containing methyl methacrylate (MMA) and styrene monomers (ST) including various particles surface. After mixing of oil phase with water phase containing polyvinyl alcohol, the monomer droplet containing BVOs nanoparticles was generated using high shear mixer. After polymerization with thermal initiator, the micro-suspension composite hybrid particles were obtained. The morphology, efficiency of BVOs nanoparticles close to 100% measured by microgravimetric analysis. The particle morphologies were characterized with optical micrograph and scanning electron microscope. In addition, the obtained hybrid particles were coated onto the cotton fabric possessed self-cleaning property in the decomposition of dyes.

Introduction

Objectives

- To study the preparation of hybrid particles by micro-suspension iodine-terminated polymerization.
- To study photocatalytic properties for self-cleaning cloth.

Material and Method

Preparation of BVOs nanoparticle

Preparation of photocatalytic composite hybrid polymer particle

Initiators	BVOs (0.64%)		
	1:1	1:2	1:4
MMA	0.125	0.125	0.125
DVB	0.050	0.025	0.0125
BVOs	0.125	0.125	0.125
St	0.125	0.250	0.250
Toluene	0.125	0.125	0.125
H ₂ O	4.250	4.250	4.250

Hydroxyl	Carboxylic acid	Aldehyde
OH	1.108	1.06
COOH	1.106	1.06
CHO	1.104	1.06
CHO	1.102	1.06
HO	1.100	1.06
OH	1.102	1.06
Carboxylic acid	1.100	1.06

Results & Discussion

Fig.3 Photos of BVOs solution (a) before emulsification (b) after emulsification (c) at 2000 rpm for 6 h

Fig.4 DLS histogram of BVOs nanoparticle

Fig.5 Photos of a binary phase (a) oil phase (b) and SEM (c) and (d) and water phases containing 0.64wt% micrograph of monomer droplet (e and f) and micro-BVOs nanoparticles at various BVOs: polymer ratios (g', h' and i') prepared by ITP. (j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z) as ITP: PMMA-DVB-BVOs (a' and a'') and PMMA-DVB-BVOs (b' and b'') particles

Table 3 Report conversion percent for polymer made, percent fading and percent decomposition of PMMA-DVB-BVOs suspension

Experiment	Conversion	Decomposition
1	100	100
2	100	100
3	100	100

Fig.6 Schematic diagram dye treatment in synthetic wastewater

Fig.9 Photos of 5 ppm standard methylene blue solution before (a) and after (b and c) treatment using PMMA-DVB-BVOs (a') and PMMA-DVB-BVOs (b') particles prepared by use ITP before (a, b and c) and after (d, e, f) 240 min under visible light

Fig.10 Appearance of green (a, a', a'') and PMMA-DVB-BVOs coated (b, b', b'') dye samples before (a and b) and after (a' and b') stained and after 2.5 h light illumination (a' and b'')

Conclusions

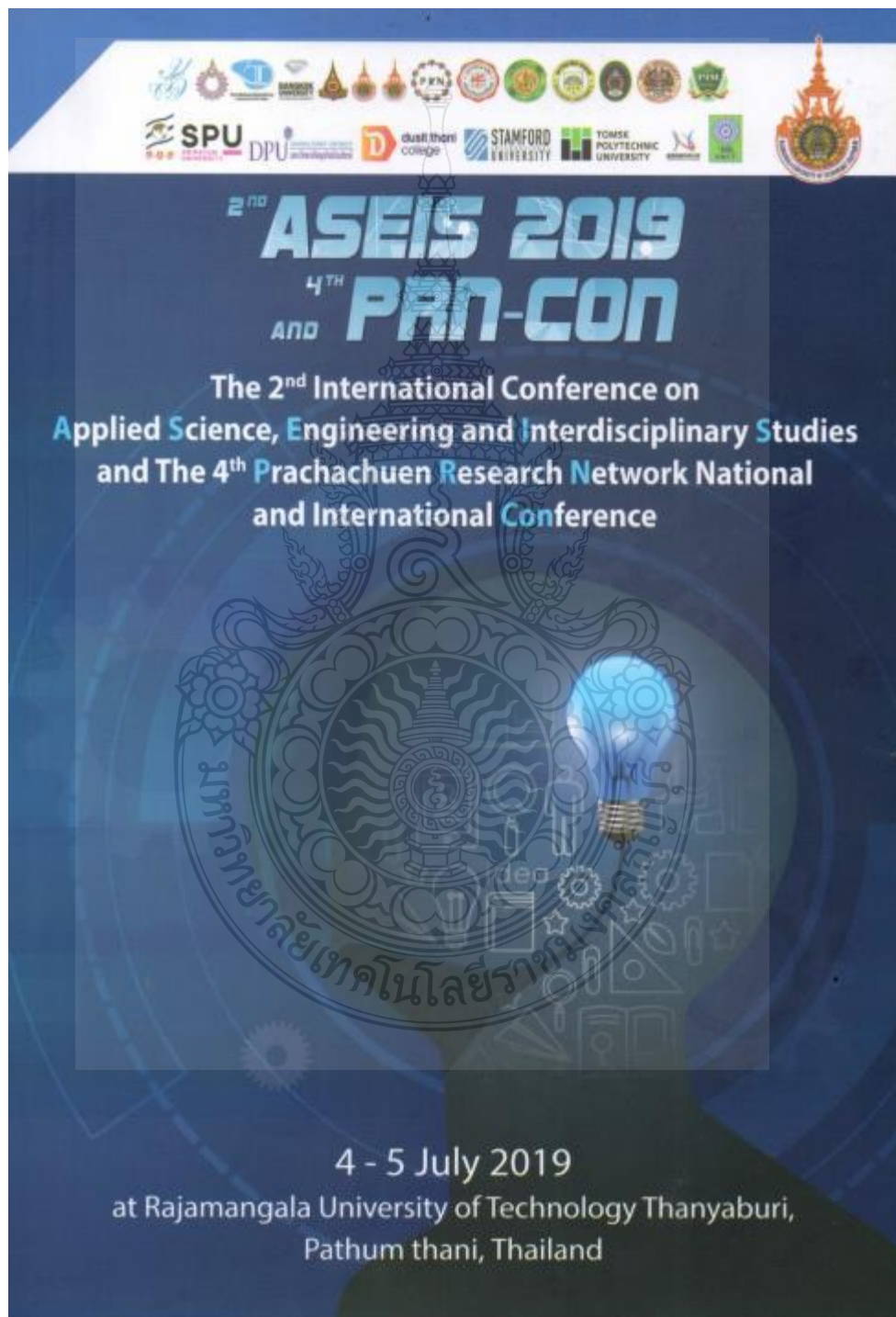
Cotton fabric coated by PMMA-DVB-BVOs (hybrid) particles possessed self-cleaning property with 100% generated by stained H₂O and mixed C₁₆H₁₄O₄ dyes.

Acknowledgements

This work was supported by the project of Research and Researchers for Industries (RRI, Thailand Research Fund (TRF) and STP (Thailand Science and Technology Research and Innovation).

(127)

- เข้าร่วมการนำเสนอวิชาการในงาน " The 2nd International Conference on Applied Science, Engineering and Interdisciplinary Studies 2019 (2nd ASEIS 2019) and The 4th Prachachuen Research Network National and International Conference (4th PRNCON)" โดยนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ วันที่ 4-5 กรกฎาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี



Self-cleaning cloth with P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particle

Chonticha Klubchom¹, Preeyaporn Chaiyasat^{1,2}, Amorn Chaiyasat^{1,2*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

²Advanced Materials Design and Development (AMDD) Research Unit, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

*E-mail: a_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

Abstract

This research aims to study the preparation of hybrid particle by micro-suspension iodine transfer polymerization (*ms ITP*). BiVO₄ nanoparticles were prepared *via* an aqueous chelating method where the stable precursor solutions of Bi³⁺ and V⁵⁺ with ethylenediaminetetraacetic acid ligand were obtained. The complex ions of Bi³⁺ and V⁵⁺ were simply mixed before calcination at 500 °C to obtain BiVO₄ nanoparticle. After that the obtained BiVO₄ nanoparticles were then coated by oleic acid to present the hydrophobic surface and dispersed in oil phase containing methyl methacrylate and divinylbenzene including benzoyl peroxide initiator. After mixing oil phase with water phase containing polyvinyl alcohol, the monomer droplet containing BiVO₄ nanoparticles was generated using high shear rate of 5,000 rpm for 5 min. After polymerization with thermal initiation, the micrometer-sized composite hybrid particles were obtained. In addition, hybrid particles coated cotton fabrics possessed distinct self-cleaning properties, such as photocatalytic decomposition of dyes.

Keyword: hybrid particle, BiVO₄, self-cleaning, *ms ITP*

Self-cleaning cloth with P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particle



Chonlita Kulsakul, Preechana Chaiyasri^{1*}, Anon Chaiyasri^{1,2}
¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Burapha University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
²Advanced Materials Design and Development (AMDD) Research Unit, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Burapha University of Technology,
 Thanyaburi, along 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
 *E-mail: prachana@bpu.ac.th
<http://www.bpu.ac.th>



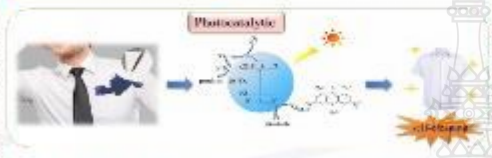
ABSTRACT

The researchers study the preparation of hybrid particle by interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP). BiVO₄ nanoparticles were prepared via aqueous solution method using as water process solutions of BiVO₄ and V⁵⁺ ions. The hybrid particles were prepared by interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP) of MMA and DVB monomers. The hybrid particles were prepared by interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP) of MMA and DVB monomers. The hybrid particles were prepared by interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP) of MMA and DVB monomers.

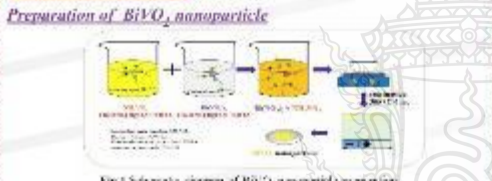
RESULTS



INTRODUCTION



EXPERIMENT



Preparation of photocatalytic composite hybrid polymer particle

Table 1. Polymerization study of BiVO₄ nanoparticles coated by organic acid on the fiber particle.

Monomers	BiVO ₄ (wt%)	Conversion (%)	Particle size (nm)
MMA	0.15	15.0	170
DVB	0.15	15.0	170
BiVO ₄	0.15	15.0	170
DA	0.15	15.0	170
Ethanol	0.15	15.0	170
H ₂ O	0.15	15.0	170

Table 2. Result content of P(MMA-DVB)/BiVO₄ preparation by an IIP.

Monomers	Conversion (%)	Particle size (nm)
MMA	15.0	170
DVB	15.0	170
BiVO ₄	15.0	170
DA	15.0	170
Ethanol	15.0	170
H ₂ O	15.0	170



REFERENCES

1. J. Chaiyasri, S. Niamsa, M. Bhanu, S. Chaiyasri, Analysis of interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP) of MMA and DVB monomers. (2019) 9500-9506.
2. S. Niamsa, Application of interpenetrating network (IPN) polymerization (or IIP) of MMA and DVB monomers. (2019) 9507-9514.
3. S. Niamsa, M. Bhanu, S. Chaiyasri, S. Chaiyasri, M. S. Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabric coated by TiO₂ through a sol-gel approach. Science and Technology (2019) 2(26), 1750-1755.

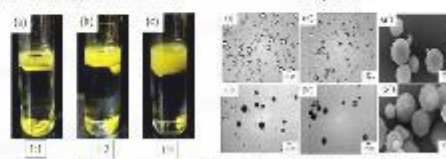


Fig.5 Photos of a cloudy phase of BiVO₄ nanoparticles (a) and (b) and water phases containing DA-coated polymer particle (c), (d), (e) and (f) prepared by BiVO₄ nanoparticles at various BiVO₄ concentrations (a) 0.15, (b) 0.30, (c) 0.45, (d) 0.60, (e) 0.75, and (f) 0.90.

Table 3. Percent conversion, percent free polymer particle, percent leaching and percent encapsulation of P(MMA-DVB)/BiVO₄ suspension.

Conversion (%)	Free polymer particle (%)	Percent leaching (%)	Percent encapsulation (%)
15.0	15.0	15.0	15.0

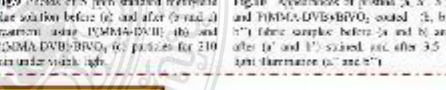


Fig.9 Photos of 5 ppm methylene blue solution before (a) and after (b and c) treatment using P(MMA-DVB) (b) and P(MMA-DVB)/BiVO₄ (c) particles for 210 minutes under visible light.



Fig.10 Apparatus of cotton (a, b, c) and P(MMA-DVB)/BiVO₄ coated (d, e, f) fabric sample before (a and b) and after (c and d) coated and after 3.5 h light illumination (e) and (f).

CONCLUSION

Cotton fabrics coated by P(MMA-DVB)/BiVO₄ hybrid particles possessed self-cleaning property with MBH generated by visible light and reduced D₅₀ of BiVO₄ particles.

Acknowledgement

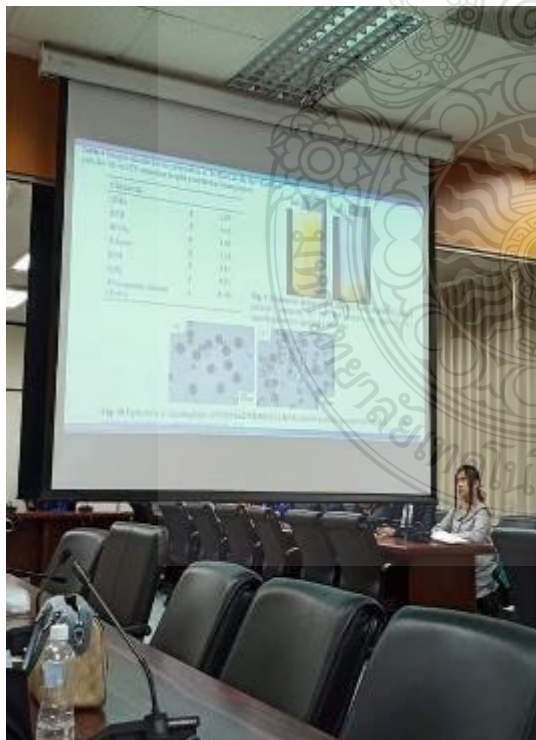
This work was supported by the project of Research and Innovation for Innovation (RRI), Thailand Research Fund (TRF) and STP Chem Solutions Co., Ltd.

- เข้าร่วมการนำเสนอวิชาการ ในงาน "The International Conference on Science Technology"
(TICST 2019) โดยนำเสนอผลงานในรูปแบบ Oral presentation วันที่ 22-24 พฤศจิกายน 2562
ณ National Pingtung University, Pingtung, Taiwan



November 23rd, 2019

Registration		1 st floor, Wu-Yu Building	
8:30-9:00			
9:00-10:00	Keynote Speaker II Prof. Sergei Ovchinnikov, <i>Russia</i>		
	“Structure and Magnetic Properties of Core-Shell Iron Oxide-Carbon Nanoparticles Modified with Ag.”	Chair: Prof. Chun-Rong Lin	International Conference Hall
10:00-10:40	Poster Setup and Coffee Break		
ORAL PRESENTATION II			
	Science Education Track Conference Room A Chair: Prof. Jang-Ho Son	Information Technology Track International Conference Hall Chair: Prof. Ren-Jean Liou	Chemistry Track Conference Room B Chair: Prof. Preeyaporn Chaivasat
10:40-12:05	O10 <i>Jang-Ho Son, Korea</i> “A Study on the Green Energy Contents in Elementary Textbooks in Korea, Japan and Taiwan.” (S26)	O18 <i>Ren-Jean Liou, Taiwan</i> “Image Recognition and Analysis of Mobile Signal Measurement Data.” (S22)	O14 <i>Jitsupa Deepho, Thailand</i> “Viscosity Approximation Methods for Split Equilibrium Problem and Fixed Point Problem for Finite Family of Nonexpansive Mappings in Hilbert Spaces.” (S23)
	O11 <i>Takekuni Yamaoka, Japan</i> “Implementation and Evaluation of Japanese High School Science Classes That	O22 <i>Chonticha Klubchom, Thailand</i> “Self-cleaning Cloth Using Poly (methyl methacrylate divinylbenzene) ₉ Bismuth Vanadate Hybrid Particles.” (S07)	O15 <i>Kanittha Yimnack, Thailand</i>
	School Science Classes That	O23 <i>Kanlapanha Rattanasaikaew, Thailand</i> “Preparation of Poly (methyl methacrylate-co-	



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชลธิชา กลั้มขม
วัน เดือน ปีเกิด	16 มีนาคม 2538
ที่อยู่	3/119 หมู่ 18 ซอยลำลูกกา 39 ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12130
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	085-825-5835
อีเมล	Chonticha_k@mail.rmutt.ac.th

