

การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนวัสดุผสมอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีน
กับไทเทเนียมไดออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่ผ่านการปรับปรุง
พื้นผิวด้วยสารควบคู่ไซเลนด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนวัสดุผสมอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีน
กับไทเทเนียมไดออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่ผ่านการปรับปรุง
พื้นผิวด้วยสารควบคู่โซเลนด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photocatalytic Bacterial Inactivation by ABS/Calcined 500 °C TiO₂
with Silane



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบนวัสดุผสมอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอิน
สไตรีนกับไทเทเนียมไดออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่ผ่าน
การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารควบคู่ไซเลนด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก

โดย

นางสาวกุลพร โชติกไกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)



.....กรรมการ
(ผศ. รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)



.....กรรมการ
(อ.ศิริพันธ์ มุราธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุผสมอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีนกับไทเทเนียมไดออกไซด์เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารควบคู่ไซเลนผ่านกระบวนการโพโตแคตาไลติก

โดย

นางสาวกุลพร โชติกไกร

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุผสมอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีนหรือพลาสติก ABS โดยผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C โดยปรับปรุงพื้นผิวของ TiO_2 ด้วยสารควบคู่ไซเลน (Silane coupling agent) อัตราส่วนการผสมของ ABS : TiO_2 : Silane ใช้หลักการของการออกแบบการทดลอง การสร้างชิ้นงานทดสอบ Silane- TiO_2 /ABS จากกระบวนการกดอัด (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 245 °C เพื่อศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโพโตแคตาไลติกตามมาตรฐานการทดสอบเชื้อแบคทีเรีย JIS Z 2801 (2010) โดยใช้แบคทีเรียอีโคไลเป็นต้นแบบของแบคทีเรีย จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนการผสม ABS 99.59 g : TiO_2 0.33 g : Silane 0.08 g มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงสุด 72 % ในระยะเวลาการฉายแสงยูวี 30 นาที อีกทั้งค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น 46.44 % และ 20.20 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพลาสติก ABS ทั่วไป

Report Title	Photocatalytic Bacterial Inactivation by ABS/Calcined 500 °C TiO ₂ with Silane
By	Miss Kullaporn Chotigkrai
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2016
Advisor	Asst.Prof. Dr. Kunlanan Kiatkittipong

ABSTRACT

This study investigated the performance of antibacterial composite materials of acrylonitrilebutadienestyrene or ABS plastic, by mixing titanium dioxide (TiO₂) calcined at 500 °C. Moreover, 500 °C calcined TiO₂ improved the surface by silane coupling agent was studied. The mixing ratios of ABS : TiO₂ : Silane is designed from the mixture design. The composite materials were created by compression molding at 245 °C. The photocatalytic inhibition of bacteria under UV light irradiation is investigated according to the standard JIS Z 2801 (2010). *E. coli* is chosen as a model of bacteria. The mixing ratio of ABS 99.59 g : TiO₂ 0.33 g : Silane 0.08 g showed the highest inhibition of the bacteria to 72 % under UV light radiation for 30 minutes. For the mechanical properties, yield strength and young's modulus increased to 46.44 % and 20.20 % when compared with normal ABS.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วมคือ ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและเสนอแนวทางการแก้ปัญหาโครงการนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นางสาวอัจฉรีย์พรรณ สนิทไทย และ นางสาวกัลยรัตน์ วินยางค์กุล ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะในการแก้ไขข้อผิดพลาด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม คณบดี รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการหมัก และ นางอัสนี วิจิตรระกะ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด ตลอดจนเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการสำหรับทำโครงการนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมืออาคารปฏิบัติการพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่อำนวยความสะดวกสถานที่สำหรับการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุก ๆ ด้าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำโครงการนี้

ผู้จัดทำ

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูปภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเรื่องพลาสติก.....	6
2.2 วัตถุดิบจากธรรมชาติสำหรับการผลิตพลาสติก.....	6
2.2.1 ปีโตรเลียม.....	6
2.2.2 ก๊าซธรรมชาติ.....	7
2.2.3 ถ่านหินและลิกไนต์.....	7
2.2.4 พีชและน้ำมันพีช.....	7
2.2.5 แร่ธาตุต่าง ๆ.....	7
2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน.....	7
2.3.1 ปฏิกิริยาแอดดิชันพอลิเมอไรเซชัน หรือการเกิดพอลิเมอร์ด้วยการเติม (Addition polymerization).....	7
2.3.1.1 การเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยการเติมอนุมูลอิสระ (Radical polymerization).....	7
2.3.1.2 การเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยการเติมแคตไอออน (Cationic Polymerization).....	8
2.3.1.3 การเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยการเติมแอนไอออน (Anionic Polymerization).....	8
2.3.2 ปฏิกิริยาคอนเดนเซชันพอลิเมอไรเซชัน (Condensation Polymerization).....	8
2.4 ประเภทของพลาสติก.....	8
2.4.1 เทอร์โมพลาสติก.....	8
2.4.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก.....	9
2.5 เทอร์โมพลาสติก.....	9

หัวข้อ

หน้า

2.5.1 ชนิดของเทอร์โมพลาสติก.....	10
2.6 พลาสติกอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS).....	10
2.6.1 คุณสมบัติของพลาสติก ABS	11
2.6.2 โครงสร้างของพลาสติก ABS	11
2.6.3 การนำพลาสติก ABS ไปประยุกต์ใช้.....	12
2.7 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก.....	12
2.7.1 การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine)...	12
2.7.2 การขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดหรือเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder).....	13
2.7.3 การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ความร้อน.....	13
2.7.4 การขึ้นแผ่นด้วยการรีด (Calendering).....	13
2.7.5 การขึ้นรูปด้วยการจุ่ม (Dipping)	13
2.7.6 การหล่อแบบ (Casting).....	14
2.8 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO ₂).....	14
2.8.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TiO ₂	14
2.8.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล	14
2.8.3 ความปลอดภัยของ TiO ₂	15
2.8.4 ประโยชน์ของไททาเนียมไดออกไซด์.....	15
2.8.5 ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์แบ่งตามโครงสร้างของผลึก	16
2.8.5.1 รูไทล์ (Rutile)	16
2.8.5.2 อนาเทส (Anatase).....	16
2.8.5.3 บรูคไคท์ (Brookite).....	17
2.9 สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling silane)	17
2.9.1 สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน (Silane coupling agent)	18
2.9.2 กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็นโครงสร้างร่างแหด้วยไซเลนและน้ำ (Silane wattercrosslink technique).....	19
2.10 อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (Amino propyl triethoxysilane, Silane)	20
2.10.1 คุณสมบัติทางกายภาพของ Amino propyl triethoxysilane	20
2.10.2 บรรจุภัณฑ์และการจัดเก็บ	21
2.11 ปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Photocatalytic and Antibacterial).....	21
2.11.1 น้ำ.....	21
2.11.2 ออกซิเจนหรือตัวออกซิแดนท (Oxidants).....	21
2.11.3 แคตาลิสต์	21

หัวข้อ	หน้า
2.11.4 พลังงานแสง.....	23
2.12 เชื้อแบคทีเรีย (Bacteria)	24
2.12.1 ขนาดและรูปร่างของแบคทีเรีย	24
2.12.1.1 บาซิลลัส (Bacillus).....	24
2.12.1.2 ทรงกลมหรือค็อกคัส (Coccus).....	24
2.12.1.3 สไปโรคีท (Spirochete).....	24
2.12.2 โครงสร้างของแบคทีเรีย.....	25
2.12.3 ชนิดของแบคทีเรีย	25
2.12.3.1 แบ่งตามการติดสีแกรม (Gram stain).....	25
2.12.3.2 แบ่งตามรูปร่างของแบคทีเรีย	25
2.12.3.3 แบ่งตามการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย	25
2.12.4 การเกิดโรค	26
2.12.5 ความรุนแรงของโรค.....	26
2.13 เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (Escherichia coli, <i>E.coli</i>).....	26
2.14 การทดสอบเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ด้วยวิธีการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ (Total plate count).....	28
2.14.1 ค่าที่ได้จากการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน.....	28
2.14.2 วิธีการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน	28
2.14.3 การเจือจางตัวอย่าง.....	29
2.15 วัสดุผสม (Composite materials).....	30
2.15.1 โพลีเมอร์คอมโพสิต (polymer matrix composites- PMCs).....	30
2.15.2 เซรามิกคอมโพสิต (ceramic matrix composites- CMC).....	30
2.15.3 เมทัลคอมโพสิต (metal matrix composites- MMC)	30
2.16 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test).....	31
2.17 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	32
2.17.1 หลักการทำงานของ SEM.....	33
2.18 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD).....	33
2.18.1 หลักการทำงานของ XRD.....	34
2.19 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET).....	35
2.19.1 พื้นที่ผิวจำเพาะและการกระจายขนาดของรูพรุน	35
2.19.2 การจำแนกขนาดรูพรุนของวัสดุ	36
2.20 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	37
2.21 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38

หัวข้อ	หน้า
2.21.1 การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก.....	38
2.21.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ TiO ₂	38
2.21.3 การศึกษาสารควบคู่โซเลน	39
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	40
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง	40
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเผาไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 500 °C.....	40
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการปรับปรุงผิวของไททาเนียมไดออกไซด์โดยการผสมโซเลน	41
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์.....	41
3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน.....	41
3.1.5 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน.....	41
3.1.6 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับยับยั้งแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของชิ้นงาน.....	41
3.1.7 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการยับยั้งแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของชิ้นงาน	42
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	42
3.3 การตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน	42
3.2.1 ขั้นตอนการเผาไททาเนียมไดออกไซด์	42
3.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงผิวของไททาเนียมไดออกไซด์โดยการผสมโซเลน	43
3.2.3 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์	43
3.2.4 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน.....	43
3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	44
3.2.6 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน.....	44
3.2.7 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับยับยั้งแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของชิ้นงาน	44
3.2.8 ขั้นตอนการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของชิ้นงาน.....	45
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	47
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ	47
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกล	50
4.3 ผลการศึกษาศามารถของ Silane-TiO ₂ /ABS ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก ก.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 สมบัติ ข้อดีและข้อเสียของพลาสติก	1
ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกบางชนิด.....	1
ตารางที่ 1.3 อัตราส่วนผสมพลาสติก ABS, TiO ₂ (500 °C) และ Silane	3
ตารางที่ 1.4 แผนการดำเนินโครงการ	4
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไฮเลนและการนำไปใช้งานกับพอลิเมอร์ ชนิดต่าง ๆ.....	18
ตารางที่ 3.1 สัดส่วน TiO ₂ (500 °C) และ Silane	43
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของพลาสติก ABS , TiO ₂ (500 °C) และ Silane	44
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสม ABS (g) : TiO ₂ (g) : Silane (g)	51
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสม ABS (g) : TiO ₂ (g) : Silane (g)	53
ตารางที่ ข-1 ค่า Yield strength ของ Silane-TiO ₂ /ABS ตามอัตราส่วนต่าง ๆ	63
ตารางที่ ข-2 ค่า Young's Modulus ของ Silane-TiO ₂ /ABS ตามอัตราส่วนต่าง ๆ.....	63
ตารางที่ ข-3 ตารางผลสรุปการนับเชื้อแบคทีเรีย E.coli ของ Silane-TiO ₂ /ABS ตามอัตราส่วน ต่าง ๆ กัน.....	64
ตารางที่ ข-4 ตารางสรุปผลการนับเชื้อแบคทีเรีย E.coli ของ Silane-TiO ₂ /ABS ตามอัตราส่วน ต่าง ๆ กันโดยคิดเป็นเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น 100 เพอร์เซ็นต์.....	65

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างเทอร์โมพลาสติก.....	9
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพลาสติกเทอร์โมเซต.....	9
รูปที่ 2.3 โครงสร้างพลาสติก ABS.....	11
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของโมโนเมอร์ชนิด อะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอิน และสไตรีน.....	11
รูปที่ 2.5 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO ₂).....	14
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของผลึกแต่ละชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์.....	17
รูปที่ 2.7 ลักษณะการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับฟิลเลอร์.....	18
รูปที่ 2.8 กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์โดยใช้ไซเลนและน้ำ.....	20
รูปที่ 2.9 โครงสร้างสูตรอะมิโนพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน.....	20
รูปที่ 2.10 ผลงานของการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์.....	21
รูปที่ 2.11 กลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์.....	22
รูปที่ 2.12 รูปร่างของแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ.....	24
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบคทีเรีย.....	25
รูปที่ 2.14 รูปร่างของเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i>	27
รูปที่ 2.15 การเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ.....	29
รูปที่ 2.16 การเจือจางตัวอย่าง.....	29
รูปที่ 2.17 ดัมเบลล์ (Dumbbell).....	31
รูปที่ 2.18 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงดึง.....	32
รูปที่ 2.19 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	32
รูปที่ 2.20 หลักการทำงานของ SEM.....	33
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้อง SEM.....	33
รูปที่ 2.22 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD).....	34
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างกราฟ XRD.....	34
รูปที่ 2.24 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	35
รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของเครื่อง XRD.....	35
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของ BET plot.....	36
รูปที่ 2.27 เครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET).....	36
รูปที่ 2.28 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง.....	37
รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินโครงการ.....	40
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ชั้นที่ 1) ถึงชั้นที่ 3).....	45
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ชั้นที่ 4) ถึงชั้นที่ 6).....	46
รูปที่ 4.1 สันฐานวิทยาของอนุภาค TiO ₂	47
รูปที่ 4.2 สันฐานวิทยาของอนุภาค TiO ₂ (Calcined 500 °C).....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาอนุภาคของ TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane.....	48
รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของพลาสติก ABS ผสมกับ TiO_2 (Calcined 500 °C).....	49
รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของพลาสติก ABS ผสมกับ TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิว ด้วย Silane	49
รูปที่ 4.6 โครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 ก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C	50
รูปที่ 4.7 โครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane	50
รูปที่ 4.8 กราฟค่า Yield strength (MPa) ของ Silane- TiO_2 /ABS ที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ....	52
รูปที่ 4.9 กราฟค่า Young's modulus (MPa) ของ Silane- TiO_2 /ABS ที่อัตราส่วนการผสม ต่าง ๆ	52
รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์เชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ที่ลดลงของชิ้นงาน ตามอัตราส่วนต่าง ๆ กันภายใต้ การฉายแสง UV ในระยะเวลา 30 นาที.....	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ภาชนะ อุปกรณ์สุขภัณฑ์ เครื่องมือแพทย์ เส้นใยสำหรับผลิตสิ่งทอ ชิ้นส่วนของยานยนต์ กระจุกเครื่องสำอาง ฝักบัวและสายยาง รองเท้า เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้สำนักงานต่าง ๆ ซึ่งพบว่าการใช้งานพลาสติกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากกำลังการผลิต 3,600 ตันในปี พ.ศ. 2513 จนถึงปัจจุบันมีกำลังการผลิตมากถึง 3 ล้านตันต่อปี และมีโรงงานอุตสาหกรรมประมาณ 5,000 โรงงานทั่วประเทศและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น [1] เนื่องจากคุณสมบัติ เช่น แข็งแรง ทนการสึกกร่อน เบา ซึ่งโดดเด่นกว่าวัสดุประเภทโลหะและเซรามิก โดยแสดงสมบัติข้อดีและข้อเสียของพลาสติกตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติ ข้อดีและข้อเสียของพลาสติก

สมบัติของพลาสติก	ข้อดี	ข้อเสีย
จุดหลอมเหลวต่ำ	แปรรูปง่าย	ใช้ที่อุณหภูมิสูงไม่ได้
ยึดได้มาก	เหนียว	การคืบเกิดง่ายและความแข็งแรงครากต่ำ
ความหนาแน่นต่ำ	เบา	ความแข็งแรงโครงสร้างต่ำ
นำความร้อนต่ำ	เป็นฉนวนความร้อน	การกระจายความร้อนไม่ดี
ความต้านทานไฟฟ้า	ฉนวนไฟฟ้า	ไม่นำไฟฟ้า
โปร่งใส(บางชนิด)	ใช้ทางแสง	เสื่อมเมื่อได้รับแสงแดด
ใส่สีได้ง่าย	ไม่ต้องทาสี	หาสีเหมือนกันยาก
ไวต่อการละลาย	สามารถใช้เป็นสารละลาย	จะมีผลต่อตัวทำละลาย
ติดไฟ	ทำละลายกากได้	อาจทำให้เกิดควันและไฟ

(แหล่งที่มา : http://polymericmaterials.blogspot.com/2009/11/blog-post_08.html)

นอกจากนี้พลาสติกแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกบางชนิด

ชื่อย่อ	ชื่อทางเคมี	คุณสมบัติ	การใช้งาน
ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene	แข็งแรงทนทาน ขึ้นรูปง่าย ทนสารเคมีกรดต่าง เหนียว โปร่งแสง ทนความร้อนได้พอควร	อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ หมวกกันน็อก อุปกรณ์กีฬา เครื่องโทรศัพท์ คีย์บอร์ด

ชื่อย่อ	ชื่อทางเคมี	คุณสมบัติ	การใช้งาน
			คอมพิวเตอร์ ถ้วย ถาด อาหาร
PE	Polyethylene	ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศ ผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทน ความร้อนได้พอควร	ท่อน้ำ ถัง ถุง ขวด แทน รองรับสินค้า
PS	Polystyrene	โปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ สำนักงาน
PVC	Polyvinylchloride	ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร และป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส	ขวดบรรจุน้ำมันและไขมัน บรรจุอาหาร ขวดบรรจุ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์
Nylon	Nylon	มีความเหนียวมาก	แผ่นแลมినेटสำหรับทำ ถุงพลาสติกบรรจุอาหาร แบบสุญญากาศ
PET	Polyethylene terephthalate	เหนียวมากโปร่งใส ราคาแพง	แผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุ อาหาร

(แหล่งที่มา : <http://www.thaiplastic2012.com/>)

จากตาราง 1.2 แสดงให้เห็นว่าพลาสติก ABS มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศ ยืดหยุ่น และแข็งแรงทนทาน ทำให้สามารถขึ้นรูปง่าย จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุที่มีราคาสูง อย่างไรก็ตามการใช้งานในที่สาธารณะ หรือในที่หรืออุปกรณ์ที่ต้องปลอดภัย อาจเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและบริโภค

เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (*Escherichia coli*, *E.coli*) ซึ่งก่อให้เกิดโรคลำไส้ร่วง และส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร โดยทั่วไปการกำจัดเชื้อแบคทีเรียถูกทำโดยการให้ความร้อนหรือการใช้สารเคมี เช่น สารฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือสารอนุพันธ์ของฟีนอล (Phenol derivatives) แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีโดยตรงอาจเป็นอันตรายโดยก่อให้เกิดมะเร็ง ทำให้เกิดการระคายเคือง และทำให้เกิดระเบิดได้ ดังนั้นจึงต้องใช้อย่างระมัดระวังอีกทั้งเมื่อนำไปใช้งานกับวัสดุประเภทพลาสติกอาจทำให้สารซึม ผ่านพลาสติกได้ ดังนั้นกระบวนการโฟโตแคตตาไลติก จึงเป็นแนวทางสำคัญในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนการดำเนินการที่ต่ำ โดยวิธีที่สามารถกำจัดหรือยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจะเกิดขึ้นได้จากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเช่น ZnO หรือ TiO₂ ให้พลังงานแสงที่มากกว่าแบนด์แกปของตัวเร่งนั้น ๆ เพื่อทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนจากเวเลนซ์แบนด์ขึ้นไปที่คอนดักชันแบนด์ ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลซึ่งเป็นตัวการไปทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย [2]

ในปัจจุบัน TiO₂ นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเนื่องจากเสถียรต่อสารเคมี ไม่มีความเป็นพิษ ราคาถูก มีพลังงานแบนด์แกปอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 3.20 eV และมีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากการศึกษาผลของ [3] การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใน TiO_2/ABS ที่ผ่านมา โดยเผา TiO_2 ณ อุณหภูมิ 300 °C, 500 °C และ 800 °C พบว่า TiO_2 ที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 °C สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดเนื่องจากอิทธิพลของการเผา ส่งผลให้ TiO_2 มีความเป็นผลึกของเฟส Anatase ที่มากขึ้นและส่งผลต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกโดยการช่วยลดการรวมตัวกันของโฮล (Recombination) ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลมากขึ้นและสามารถฆ่าแบคทีเรียได้มากขึ้น

สารควบคู่ไซเลน (Silane coupling agent) เป็นสารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานระหว่างวัสดุจำพวกเรซินและสารเสริมแรงต่าง ๆ โดยหมู่ OR ของ Silane จะจับกับแขนของหมู่ซิลานอลใน TiO_2 และหมู่อะมิโนของ Silane จะจับกับวัสดุเรซินซึ่งในที่นี้คือพลาสติก ABS ซึ่งจะส่งผลทำให้ TiO_2 มีการกระจายตัวดีขึ้นของอนุภาคในเนื้อพลาสติก ABS

ดังนั้นโครงงานนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพลาสติก ABS โดยการผสม TiO_2 (500 °C) และ Silane ลงไปในเนื้อพลาสติก ABS เพื่อศึกษาผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกภายใต้การฉายแสงในช่วงยูวีตามมาตรฐาน JIS Z 2801(2010) และเมื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกลยังอยู่ภายใต้มาตรฐานอุตสาหกรรม ASTM D638

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมพลาสติก ABS, TiO_2 (500 °C) และ Silane ที่ทำให้การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของส่วนผสมพลาสติก ABS, TiO_2 (500 °C) และ Silane

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 อุณหภูมิในการเผาไททาเนียมไดออกไซด์ คือ 500 °C
- 1.3.2 อัตราส่วนผสม ABS (g) : TiO_2 (g) : Silane (g) แบ่งออกเป็น 10 การทดลองดังตารางที่ 1.3 *

โดยกำหนดให้

ABS	มีค่าระหว่าง 99.50 – 100.00 กรัม
TiO_2	มีค่าระหว่าง 0.00 – 0.50 กรัม
Silane	มีค่าระหว่าง 0.00 – 0.50 กรัม

ตารางที่ 1.3 อัตราส่วนผสมพลาสติก ABS, TiO_2 (500 °C) และ Silane

อัตราส่วนผสม	ABS (g)	TiO_2 (g)	Silane (g)
1	100.00	0.00	0.00
2	99.75	0.00	0.25
3	99.50	0.00	0.50
4	99.84	0.08	0.08
5	99.59	0.08	0.33

อัตราส่วนผสม	ABS (g)	TiO ₂ (g)	Silane (g)
6	99.68	0.16	0.16
7	99.50	0.25	0.25
8	99.75	0.25	0.00
9	99.59	0.33	0.08
10	99.50	0.50	0.00

* การออกแบบส่วนผสมระหว่างพลาสติก ABS, TiO₂ และ Silane ด้วยวิธี Mixture design

1.3.3 ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกตามมาตรฐาน JIS Z 2801 (2010)

1.3.4 ทดสอบการต้านทานแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D638

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมพลาสติก ABS, TiO₂ (500 °C) และ Silane ของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

1.4.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ระยะเวลาโครงการประมาณ 9 เดือน (สิงหาคม 2559 – เมษายน 2560) ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แผนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	ระยะเวลา 9 เดือน								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	←→								
2.เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง TiO ₂ เพาที่อุณหภูมิ 500 ° C			←→						
3.นำชิ้นงานตัวอย่างไปผสมซิลเลนตามสัดส่วนที่ต้องการ				←→					
4.ทดลองขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก					←→				
5.ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน						←→			
6.ทดสอบสมบัติทางกายภาพของอนุภาคและชิ้นงาน						←→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	ระยะเวลา 9 เดือน								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
7.ทดสอบความสามารถในการ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นงาน						←	→		
8.สรุปผลและปรับปรุงการทดลอง									↔
9.จัดทำรูปเล่มปริิญาานิพนธ์									↔



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเรื่องพลาสติก [4]

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มนุษย์รู้จักมานานกว่า 130 ปี และนำมาใช้ประโยชน์ แทน โลหะ ไม้ หรือวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ทำเส้นใยสำหรับผลิตสิ่งทอ หล่อเป็นลำเรือ และชิ้นส่วนของ ยานยนต์ ภาชนะ และวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ และเครื่องใช้อื่น ๆ

ปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน จะพบเห็นพลาสติกในรูปของผลิตภัณฑ์ ที่หลากหลาย ตั้งแต่แปรงสีฟัน หวี กล่องใส่สบู่ ขวด และกระปุกเครื่องสำอาง เครื่องประดับของสตรี หัวก๊อกน้ำ ฝักบัวและสายยาง ประตู ห้องน้ำ เสื้อผ้า กระดุม ถุงเท้า รองเท้า เครื่องใช้ไฟฟ้า วิทยุ โทรทัศน์ ถ้วย จาน โต๊ะ เก้าอี้ เครื่องตกแต่งบ้าน สีทาบ้าน กระเบื้องมุงหลังคาแบบโปร่งแสง ชิ้นส่วน รถยนต์ และพาหนะอื่น ๆ กระเป่า เครื่องใช้สำนักงานต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์การแพทย์ และชิ้นส่วน อวัยวะเทียม

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น โดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม มาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน (ถ่าน) กับก๊าซ ไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิด มาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อ ๆ กันเป็นเส้นสายยาวมากจนได้วัสดุที่มีสมบัติเป็นพลาสติก พลาสติกที่เกิดจากสารประกอบที่ต่างกันจะมีสมบัติแตกต่างกันไปด้วย และพลาสติกบางชนิดอาจเกิดจากสารประกอบ มากกว่า 1 ชนิดก็ได้

อุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทย เริ่มมีมาตั้งแต่ประมาณ พ.ศ. 2500 ในระยะแรกมีการ นำเข้าพลาสติกเรซินจากต่างประเทศมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก ต่อมาใน พ.ศ. 2506 ได้มีการ ก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกขนาดใหญ่ขึ้น แต่ยังคงต้องนำเข้า เรซินจากต่างประเทศเช่นกัน จนกระทั่งใน พ.ศ. 2514 ประเทศไทยจึงสามารถผลิตพลาสติกเรซินคือ พีวีซีได้เองเป็นชนิดแรก ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตพลาสติกได้อีกหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิสไตรีน และพอลิเอสเตอร์

2.2 วัตถุดิบจากธรรมชาติสำหรับการผลิตพลาสติก [4]

วัตถุดิบที่สำคัญ ที่ใช้สำหรับการผลิตพลาสติกคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน แร่ธาตุต่าง ๆ เป็น ส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจผลิตจากน้ำมันพืช และส่วนต่าง ๆ ของพืชได้เช่นกัน

2.2.1 ปิโตรเลียม

ปิโตรเลียมเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญ ที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมพลาสติกแทบทุกชนิด ประเทศไทยมีแหล่งผลิตปิโตรเลียมหลายแห่ง แต่ไม่มีการนำมาทำประโยชน์ ในด้านผลิตภัณฑ์พลาสติก มีเพียงการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และสามารถ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ที่สำคัญ ได้แก่ สารในกลุ่มโอเลฟิน (Olefins) เช่น มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน และเพนเทน และสารในกลุ่มอะโรแมติก (Aromatics) เช่น เบนซีน และอนุพันธ์ ของเบนซีน สารทั้ง 2 กลุ่ม สามารถนำมาผลิตมอนอเมอร์ได้มากมายหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติที่พบในประเทศไทย มีส่วนประกอบเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ที่สำคัญคือ มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน เป็นส่วนใหญ่ สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ ใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเอทิลีน มอนอเมอร์ และโพรพิลีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารเริ่มต้น สำหรับการผลิตพลาสติกหลายชนิด

2.2.3 ถ่านหินและลิกไนต์

ประเทศไทยมีแหล่งลิกไนต์สำคัญ 2 แห่งคือ ที่แม่เมาะ จังหวัดลำปาง และที่จังหวัดกระบี่ ประโยชน์ของลิกไนต์ นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว ยังใช้ผลิตเบนซีน และอนุพันธ์ของเบนซีน เช่น สไตรีนมอนอเมอร์ ได้ด้วย

2.2.4 พืชและน้ำมันพืช

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกบางชนิด ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของพืช และน้ำมันพืช เช่น เซลลูโลส เซลลูลิก และกรดไขมันต่าง ๆ

2.2.5 แร่ธาตุต่าง ๆ

สินแร่บางชนิด เช่น ถ่านโค้ก และหินปูน เป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอะเซทิลีน นอกจากนี้ คลอรีนที่ผลิตได้จากน้ำทะเล ตลอดจนแร่ใยหินได้นำมาใช้ สำหรับผลิตพลาสติกเสริมแรง

วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเริ่มต้นสำหรับการผลิตพลาสติกที่ได้จากแหล่งต่างๆ มีลักษณะเป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเดี่ยว เรียกว่า มอนอเมอร์ ที่สำคัญ ได้แก่ เอทิลีน ไวนิลคลอไรด์ ไวนิลฟลูออไรด์ โพรพิลีน บิวทาไดอีน เบนซีน ไซลีน ฟีนอล ยูเรีย และฟอร์มัลดีไฮด์

2.3 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชัน

2.3.1 ปฏิกริยาแอดดิชันพอลิเมอไรเซชัน หรือการเกิดพอลิเมอร์ด้วยการเติม (Addition polymerization)

เป็นปฏิกริยาที่เติมอนุมูลอิสระ (Free radical) หรือไอออน (Ion) เข้าไปในโมเลกุล ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นและดำเนินต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ (Chain reaction) แบ่งขั้นตอนของปฏิกริยาได้ดังนี้

- ขั้นเริ่มต้นเส้นสาย (Chain initiation)
- ขั้นขยายเส้นสาย (Chain propagation)
- ขั้นปรับปรุงเส้นสาย (Chain modification)
- ขั้นยุติปฏิกริยา (Chain termination)

ปฏิกริยาแบบนี้แบ่งออกตามลักษณะของตัวเริ่มต้นได้ 3 แบบ คือ

2.3.1.1 การเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยการเติมอนุมูลอิสระ (Radical polymerization)

ปฏิกริยาเริ่มต้นด้วยอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกริยาต่อเนื่องไปจนกระทั่งถึงขั้นยุติปฏิกริยา การใช้อนุมูลอิสระเป็นตัวเริ่มปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การผลิตพีวีซี พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) พอลิเมทิลเมทาครีเลต (Perspex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยการเติมแคตไอออน (Cationic Polymerization)

เนื่องจากมอนอเมอร์บางชนิดมีโอกาสที่จะรับโปรตอน (H^+) ได้ง่าย เมื่อรับเข้าไปแล้วก็จะทำให้ตัวมันกลายเป็นแคตไอออนไปซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นได้ ปฏิกิริยานี้มีความไวมาก แม้ว่าจะมีสารที่เป็นตัวกำเนิดโปรตอนเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่เนื่องจากกระบวนการนี้จะต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อที่จะให้ได้โมเลกุลใหญ่ ๆ ปฏิกิริยานี้จึงไม่เป็นที่นิยมนัก เนื่องจากการทำที่อุณหภูมิต่ำมักสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ทั้งนี้ยกเว้นการผลิตยางบิวทิล

2.3.1.3 การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยการเติมแอนไอออน (Anionic Polymerization)

สารประเภทแอนไอออนหรือคาร์แบนไอออน (Carbanions) สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่มีพันธะคู่ได้โดยง่าย เมื่อเกิดการรวมตัวขึ้น ก็จะทำให้โมเลกุลที่เกิดขึ้นใหม่ เป็นแอนไอออนไปด้วย แล้วดำเนินปฏิกิริยาต่อ ๆ ไป เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น ๆ ส่วนใหญ่มักใช้โลหะเอไมด์ (Metal amides) โลหะแอลคอกไซด์ (Metal alkoxides) หรือโลหะอิสระ (Free metals) บางชนิดเป็นสารเริ่มปฏิกิริยานี้

2.3.2 ปฏิกิริยาคอนเดนเซชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Condensation Polymerization)

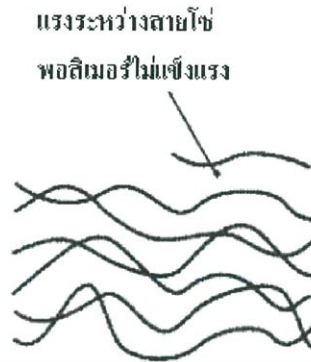
ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ต้องขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่ใช้ ตัวกลางของปฏิกิริยา และธรรมชาติของมอนอเมอร์ เป็นปฏิกิริยารวมตัวของมอนอเมอร์ และสูญเสียโมเลกุลน้ำของออกจากส่วนต่อของโมเลกุลมอนอเมอร์ 2 โมเลกุล เช่น ปฏิกิริยาของเฮกซะเมทิลีนไดอะมีน (Hexamethylenediamine) และกรดอะดิพิค (Adipic acid) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไนลอน 6,6 (Nylon 6,6)

2.4 ประเภทของพลาสติก [4]

การจำแนกประเภทของพลาสติกตามลักษณะ และสมบัติของพอลิเมอร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1 เทอร์โมพลาสติก

วัสดุประเภทนี้ส่วนใหญ่มักได้จากปฏิกิริยาแอดดิชันพอลิเมอร์ไรเซชัน พลาสติกในกลุ่มนี้จะอ่อนนิ่มจนไหลได้เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ และเมื่อเย็นตัวลงจะกลับแข็งคงรูปเช่นเดิมได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน เป็นต้น โดยแสดงโครงสร้างของพลาสติกดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเทอร์โมพลาสติก

(แหล่งที่มา : <http://www.thaigoodview.com/files/u5613/5.gif>)

2.4.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก

เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันพอลิเมอร์เซชัน พลาสติกประเภทนี้จะอ่อนนุ่มจนไหลได้ เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอในครั้งแรก และเมื่อเย็นตัวลงจะกลับแข็งคงรูปแต่จะทำได้เพียงครั้งเดียว ไม่สามารถทำได้หลายครั้งเหมือนกับวัสดุเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างของพลาสติกประเภทนี้ได้แก่ เบกกาไลต์ เมลามีน ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ซิลิโคน โดยแสดงโครงสร้างของพลาสติกดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพลาสติกเทอร์โมเซต

(แหล่งที่มา : <http://www.thaigoodview.com/files/u5613/5.gif>)

2.5 เทอร์โมพลาสติก [4]

เทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นพลาสติกที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะอ่อนตัวลง และเมื่อได้รับความเย็นพลาสติกนี้ก็จะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ นำมาหลอมซ้ำใหม่ได้ด้วยความร้อน มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ ละลายได้ดีในการละลายบางชนิด สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดในขณะที่พลาสติกกำลัง อ่อนตัวและไหลไปด้วยความร้อนและความดัน เข้าไปในแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ หลังจากทีพลาสติกไหลเข้าไปจนเต็มแม่พิมพ์แล้ว เมื่อลดอุณหภูมิและถอดออกจากแม่พิมพ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์

ตามที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้แล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบดและหลอมละลายด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก

2.5.1 ชนิดของเทอร์โมพลาสติก

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) เป็นพลาสติกที่มีไอน้ำผ่านได้เล็กน้อยแต่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้ดี เป็นพลาสติกที่นำมาใช้งานมากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถู ขวด แท่นรองรับสินค้า
- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) เป็นพลาสติกที่มีไอน้ำผ่านได้เล็กน้อย มีลักษณะแข็งกว่าพอลิเอทิลีนทนต่อสารไขมันและความร้อนสูง สามารถใช้ทำแผ่นพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน และหลอดดูดพลาสติก เป็นต้น
- พอลิสไตรีน (Polystyrene : PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะบาง ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอสมควร นิยมทำเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น
- SAN (Styrene-acrylonitrile) มีลักษณะโปร่งใส นิยมใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น
- ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) มีคุณสมบัติคล้ายกับพอลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง นิยมนำมาผลิตถ้วยพลาสติก ถาดพลาสติก เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC) ไอน้ำและอากาศสามารถซึมผ่านได้พอสมควร และสามารถป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส นิยมนำมาใช้เป็นขวดบรรจุน้ำมันและขวดปรุงอาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ ไวน์ เบียร์ ใช้ทำเป็นแผ่นพลาสติก ห่อเนยแข็ง ทำแผ่นแลมినेटชั้นในของถุงพลาสติก เป็นต้น
- ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก ทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ใช้สำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ
- พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) มีลักษณะเหนียว โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ บรรจุเครื่องดื่มและอาหาร
- พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate : PC) มีลักษณะโปร่งใส แข็งแรง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี สามารถทนความร้อนสูง ทนกรดแต่ไม่ทนด่าง ไม่เป็นรอยและคราบอาหาร นิยมทำเป็นถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารสำหรับเด็ก

2.6 พลาสติกอะคริโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) [5]

พลาสติกอะคริโลไนไตรล์บิวตะไดอินสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่ง มันเป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิดที่ใช้ในชีวิตประจำวันตั้งแต่สินค้าไฮเทคเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ ไม้เป่าผม จนกระทั่งของเด็กเล่นอย่างตัวต่อเลโก้ (Lego) เป็นต้น เพราะใช้พลาสติกชนิดนี้เป็นวัสดุสำหรับตัวกล่อง (Case) หรือตัวสินค้าภายนอก

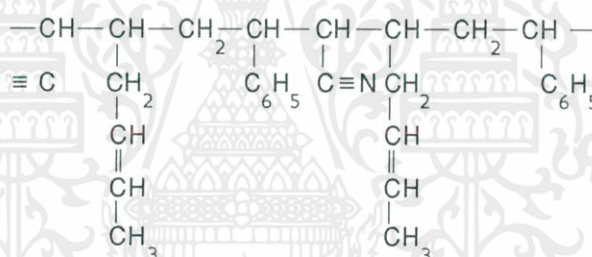
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 คุณสมบัติของพลาสติก ABS

พลาสติกทั่วไปจะมีลักษณะแข็งแต่เปราะแตกหักง่ายหรือถ้ามีลักษณะแข็งเหนียวก็จะมีลักษณะอ่อนนิ่มไม่อยู่ทรง แต่พลาสติก ABS แตกต่างจากพลาสติกทั่วไปเพราะเป็นพลาสติกที่มีความสมดุลทั้งในเรื่องความแข็งและความเหนียว สามารถคงสภาพรูปร่างได้ดี ทำให้มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี และยังทนต่อแรงเสียดสี ความร้อน สารเคมีได้ดีกว่าพลาสติกธรรมดาทั่วไป มีช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้งานได้กว้างนั้นคือ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $80\text{ }^{\circ}\text{C}$

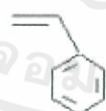
2.6.2 โครงสร้างของพลาสติก ABS

พลาสติก ABS แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ได้มาจากการทำปฏิกิริยาของโมโนเมอร์ 3 ชนิด คือ สไตรีน (Styrene), อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) และโพลิบิวตะไดอิน (Polybutadiene) โดยแสดงโครงสร้างของแต่ละโมโนเมอร์แต่ละชนิดดังรูปที่ 2.4 ซึ่งโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดล้วนส่งผลต่อคุณสมบัติของพลาสติก ABS โดยสไตรีนช่วยให้เนื้อพลาสติกมีพื้นผิวเป็นมันเงาสวยงาม และสามารถตัดแต่งรูปทรงได้ง่าย อะคริโลไนไตรล์ช่วยให้ทนความร้อนและสารเคมี บิวตะไดอินช่วยให้มีความทนทานต่อแรงกระแทกกระแทก ผู้ผลิตพลาสติก ABS จึงสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเพื่อให้พลาสติก ABS ที่ผลิตมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

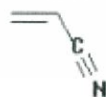


รูปที่ 2.3 โครงสร้างพลาสติก ABS

(แหล่งที่มา : http://www.trueplookpanya.com/data/product/uploads/other4/SCI_MP_4_14.png)



Styrene



Acrylonitrile



Butadiene

รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของโมโนเมอร์ชนิด อะคริโนไตรล์ บิวตะไดอิน และสไตรีน

(แหล่งที่มา : <http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/77/cool51-02.jpg>)

2.6.3 การนำพลาสติก ABS ไปประยุกต์ใช้

- ในอุตสาหกรรมรถยนต์ พลาสติกที่จะนำมาใช้จะต้องมีมาตรฐานคุณภาพสูงโดยที่จะต้องคงสภาพรูปร่างได้ดีไม่โค้งงอหรือบิดตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเค้นหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมา ซึ่งพลาสติก ABS มีคุณสมบัติที่ทนต่อสภาพดังกล่าวได้สูงจึงเหมาะกับการใช้เป็นชิ้นส่วนในรถยนต์
- สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ ABS เป็นโครงภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนต่อการขีดข่วนเสียดสีเวลาใช้งาน และยังมีความสวยงามสามารถทำความสะอาดได้ง่าย
- อุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬา ท่อส่งก๊าซ หมวกกันน็อก โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.7 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก [4]

วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกมีหลายวิธี แต่ที่สำคัญและนิยมในวงการอุตสาหกรรมพลาสติกมีดังต่อไปนี้

2.7.1 การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine)

เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แบบพิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เป็นที่นิยมแพร่หลาย มีส่วนประกอบสำคัญคือ

- ฮอปเปอร์ (Hopper)
อุปกรณ์ส่วนนี้มีลักษณะเป็นกรวยขนาดใหญ่ เป็นส่วนที่ใช้บรรจุเม็ดพลาสติก และสารเติมแต่งเพื่อป้อนเข้าเครื่องฉีดพลาสติก
- กระบอฉีดและสกรู (Injector and screw)
เป็นส่วนสำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก ทำหน้าที่หลอมเหลวพลาสติก และสร้างแรงดันเพื่อฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ประกอบด้วยกระบอตรงติดอยู่กับที่ ส่วนต้นของกระบอเป็นที่ติดตั้งฮอปเปอร์ ตรงส่วนกลาง และส่วนปลายของกระบอ มีเครื่องให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ปลายของกระบอจะต่อเข้ากับหัวฉีด ภายในของกระบอนี้เป็นสกรูที่มีความยาวสั้นกว่ากระบอเล็กน้อย มีลักษณะเป็นเกลียวหยาบหมุนป้อนส่วนผสมของพลาสติกให้เคลื่อนที่เข้าสู่กระบอ สามารถเคลื่อนถอยหลัง และดันกลับเพื่อเพิ่มแรงดันให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์
- หัวฉีด (Nozzle)
เป็นส่วนต่อปลายกระบอฉีดพลาสติกเข้ากับช่องทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์หัวฉีดมีรูขนาดเล็กเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ด้วยความรวดเร็ว

- **มอเตอร์ขับเคลื่อน (Driven motor)**
มอเตอร์ขับเคลื่อน อาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกสำหรับหมุนสกรู และขับเคลื่อนสกรูเพื่อฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์
- **แม่พิมพ์ (Mold)**
เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตแม่พิมพ์ โดยทั่วไปมักออกแบบให้มี 2 ชั้นเพื่อให้สะดวกต่อการถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ นอกจากนี้ต้องมีช่องทางไหลของพลาสติกหลอมเหลวออกจากหัวฉีดเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์เรียกว่า สปรู (sprue)
- **ตัวหนีบยึดแม่พิมพ์ (Hydraulic clamp unit)**
ตัวหนีบยึดแม่พิมพ์ซึ่งมักเรียกกันว่า แคลมป์ เป็นกลไกสำหรับเปิดและปิดฝาแม่พิมพ์ขับเคลื่อนด้วยกำลังไฮดรอลิก อุปกรณ์ส่วนนี้ยังรวมทั้งอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่ออุ่นแม่พิมพ์ก่อนฉีดและอุปกรณ์ทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัวก่อนถอดออกจากแม่พิมพ์
- **ชุดควบคุมกลาง (Central control)**
เป็นชุดควบคุมเครื่องจักรรวมทุกส่วนได้แก่ อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมความดัน และอุปกรณ์ตั้งเวลา

2.7.2 การขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดหรือเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยการรีดนี้มีลักษณะคล้ายกับวิธีแรก แต่แตกต่างกันตรงที่เอกซ์ทรูเดอร์ไม่มีส่วนแม่พิมพ์ และอุปกรณ์ควบสำหรับแม่พิมพ์ ตรงปลายกระบอกฉีดพลาสติกจะติดตั้งตาย (Die) ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องรีดพลาสติกออกมาเป็นเส้นหรือแผ่นที่มีรูปหน้าตัดตามรูปตาย การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้สามารถประยุกต์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากมายเช่น ท่อหรือเส้นพลาสติก ฟิล์ม แผ่นหรือแท่งพลาสติกที่มีรูปหน้าตัดพิเศษ

2.7.3 การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ความร้อน

เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกในลักษณะนี้มักมีลักษณะไม่ซับซ้อนนัก และมักเรียกชื่อตามลักษณะวิธีการคือ

- การหล่อแบบพิมพ์แบบลดความดัน (Vacuum molding)
- การหล่อแบบพิมพ์แบบอัด (Compression molding)
- การหล่อแบบพิมพ์แบบถ่ายเท (Transfer molding)
- การหล่อแบบพิมพ์แบบขยายตัวด้วยความร้อน (Thermal expansion molding)

2.7.4 การขึ้นแผ่นด้วยการรีด (Carlendering)

เป็นการขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยลูกกลิ้งชุดละไม่น้อยกว่า 3 ลูกขึ้นไป โดยลูกกลิ้ง 2 ลูกแรกจะมีอุปกรณ์ให้ความร้อนทำให้พลาสติกอ่อนนิ่มแล้วถูกอัดรีดออกมาเป็นแผ่น

2.7.5 การขึ้นรูปด้วยการจุ่ม (Dipping)

เป็นการขึ้นรูปอย่างง่ายมักใช้กับพลาสติกชนิดพลาสติกซอลเช่น ฟิล์มตามเครื่องมือช่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 การหล่อแบบ (Casting)

การขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบมักนิยมใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีขนาดใหญ่เช่น เรือเร็ว ตัวถังรถยนต์ ถึงเก็บน้ำ รูปปั้น เป็นต้น

2.8 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) [6]

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) ดังรูปที่ 2.5 เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียมที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้าคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ไททานิกแอนไฮไดรด์ (Titanic anhydride) และไททาเนีย (Titania)

ไททาเนียมเป็นแร่ที่ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่เหมืองคอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ti มีเลขอะตอม 22 มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อสภาพกัดกร่อนของคลอรีน น้ำทะเล และกรด-ด่างได้ดี ไททาเนียมไดออกไซด์โดยธรรมชาติจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ิลเมไนต์ (Ilmenite) หรือลิวโซซิน (Leucocene) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี Rutile beach sand



รูปที่ 2.5 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2)

(แหล่งที่มา : <http://www.siamchemi.com>)

2.8.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TiO_2

- มวลโมเลกุล 79.9 กรัม/โมล
- ความหนาแน่น 3.84 - 4.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
- จุดเดือด 2,500 °C
- จุดหลอมเหลว 1,850 °C
- ไม่ละลายน้ำ

2.8.2 คุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

- สถานะภาพเป็นของแข็งสีขาว
- พื้นที่ผิว 50 ตารางเมตร/กรัม
- ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 20 นาโนเมตร
- ความหนาแน่น 130 กรัม/ลิตร

- ความถ่วงจำเพาะ 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร
- Modulus of Rupture 140 MPa
- กำลังแรงกด 680 MPa
- Poisson's Ratio 0.27
- Fracture Toughness $3.2 \text{ Mpa}\cdot\text{m}^{-1/2}$
- Shear Modulus 90 GPa
- Modulus of Elasticity 230 GPa
- Micro hardness (HV0.5) 880
- ค่าความต้านทาน (Resistivity, 25°C) $10^{12} \text{ ohm}\cdot\text{cm}$
- ค่าความต้านทาน (Resistivity, 700°C) $2.5 \times 10^4 \text{ ohm}\cdot\text{cm}$
- Dielectric Constant (1MHz) 85
- Dissipation factor (1MHz) 5×10^{-4}
- Dielectric strength 4 kVmm^{-1}
- Thermal expansion (RT-1000°C) 9×10^{-6}
- Thermal Conductivity (25°C) 11.7 WmK^{-1}

2.8.3 ความปลอดภัยของ TiO_2

- การกินจากอุบัติเหตุ (Ingestion) มีความเป็นอันตรายต่ำ
- การสูดดม (Inhalation) ทำให้เกิดอาการคัน และอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจในระยะยาว
- การสัมผัสผิวหนัง (Skin) มีความเป็นอันตรายต่ำ สามารถล้างออกได้
- การสัมผัสส่นัยน์ตา (Eyes) มีความเป็นอันตรายต่ำ มีอาการแสบ คันเล็กน้อย สามารถล้างออกได้

2.8.4 ประโยชน์ของไททาเนียมไดออกไซด์

ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มากมักใช้ในรูปของผลึกแบบรูไทล์ (Rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่าง ๆ ซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทส (Anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงขั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่าง ๆ ได้แก่

- ใช้สำหรับสารให้สี

อุตสาหกรรมสีที่เกี่ยวข้อง มักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน ด้วยคุณสมบัติให้สารสีขาว สามารถดูดกลืน และหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยึดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสงและความร้อน รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของสีสำหรับงานพิมพ์ งานศิลปะ เนื่องจากมีคุณสมบัติให้สีขาวสว่าง

- ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์

มักใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้ว กระจก อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา การผลิตสุญญากาศ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงคุณสมบัติที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนี้การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกทาง

- เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

- ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติมีค่าคงที่ทางไฟฟ้า และค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง

- ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง

เครื่องสำอางบางยี่ห้อมีการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมสำหรับทำหน้าที่ให้ผิวง่ายดีสีขาว มีคุณสมบัติทึบแสง สามารถสะท้อน และหักเหแสงได้สูง และสะท้อนรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผิว ผลิตภัณฑ์ที่พบใช้เป็นส่วนผสมมาก ได้แก่ ครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด แป้งรองพื้น และทาตัม เป็นต้น

- ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ

สามารถใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษหรือใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับแสง และความร้อนจะแตกตัวให้สาร และรังสีที่มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถกำจัดของเสียหรือมลพิษในน้ำ และอากาศ รวมถึงการกำจัด และต้านเชื้อจุลินทรีย์

2.8.5 ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์แบ่งตามโครงสร้างของผลึก

ชนิดไททาเนียมไดออกไซด์แบ่งตามโครงสร้างของผลึกแสดงดังรูปที่ 2.6 ได้แก่

2.8.5.1 รูไทล์ (Rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนัล (Tetragonal) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง

2.8.5.2 อนาเทส (Anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนัล (Tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงมากกว่า 915 °C จะเปลี่ยนโครงสร้างของผลึกเป็นแบบรูไทล์

2.8.5.3 บรูคโคท (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) เป็นชนิดที่พบน้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

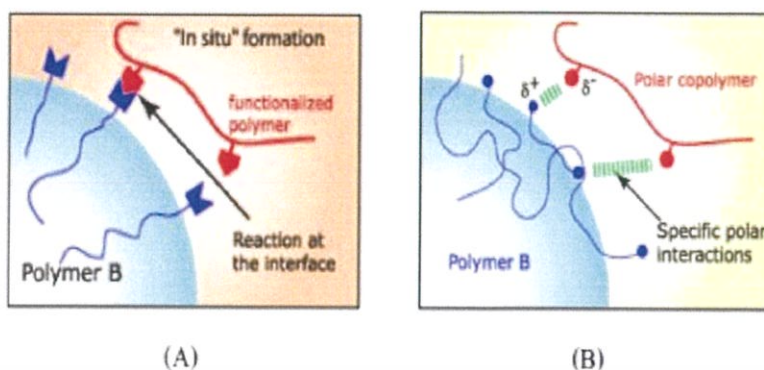


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของผลึกแต่ละชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์
(แหล่งที่มา : <http://www.siamchemi.com>)

2.9 สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling agent) [7]

สารควบคู่ปฏิกิริยา คือสารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดีเมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาจะช่วยลดแรงดึงผิว หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิดได้ดีขึ้น แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วย โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

- Reactive coupling agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวฟิลเลอร์โดยใช้สารที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสองเฟสซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น โมเลกุลของสารควบคู่ปฏิกิริยาจะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิกหรือหมู่อีพอกซี
- Non-reactive coupling agents เป็นการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำหน้าที่ลดแรงดึงผิว เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวโดยการสร้างแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์หรือเกิดพันธะไฮโดรเจน แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับฟิลเลอร์

(A) Reactive coupling agents (B) Non-reactive coupling agents

(แหล่งที่มา : นิลุบล ผือกบัวขาว)

2.9.1 สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน (Silane coupling agent)

สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน นำมาใช้เป็นสารควบคู่มานานกว่า 50 ปีสำหรับปรับปรุงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสและฟิลเลอร์นิยมนำมาใช้กับพลาสติกได้หลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งช่วยให้ฟิลเลอร์สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยมีโครงสร้างทั่วไป คือ Y-R-Si-X₃ เมื่อ

X = Alkoxy Group (Methoxy, Ethoxy or Acetoxy) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของฟิลเลอร์

Y = Organofunctional Group (Amino, Vinyl, Epoxy or Methacryl etc.) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์

R = Alkly Group เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับ Si

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลนและการนำไปใช้งานกับพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ

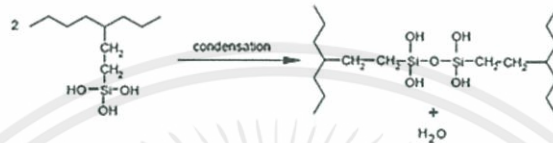
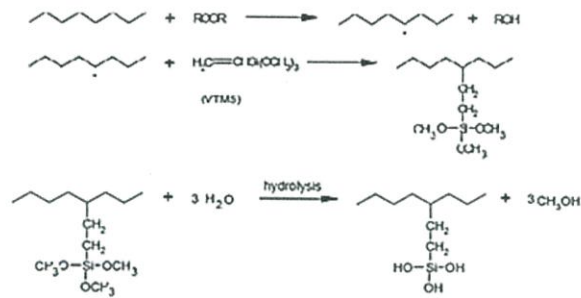
สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน	ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้สารควบคู่
1. Vinyl triethoxy silane 2. Vinyl-tris (2-methoxy) silane 3. 3-Metha acyloxypropyltrimethoxysilane	Unsaturated Polyesters, Polyolefins, PVC, PS, ABS, SAN and PMMA
4. 3-Aminopropyltriethoxysilane	Epoxy, Phenolic and Melamine Resins, PA, PHR, PP, PE, PMMA and PC

สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน	ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้สารควบคู่
5. 3-Glycidoxypropyltrimethoxy silane	Epoxy, Phenolic and Melamine Resins, Unsaturated Polyesters, PUR, PC, PS, ABS, SAN, PA, PP, PE and Polysulfides
6. 3-Mercaptopropytrimethoxy silane	Phenolic and Epoxy Resins, PVC, PS, EPPM,

(แหล่งที่มา : Sigma-Aldrich Co. LLC, Chemical Book (online))

2.9.2 กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็นโครงสร้างร่างแหด้วยไซเลนและน้ำ (Silane water crosslink technique)

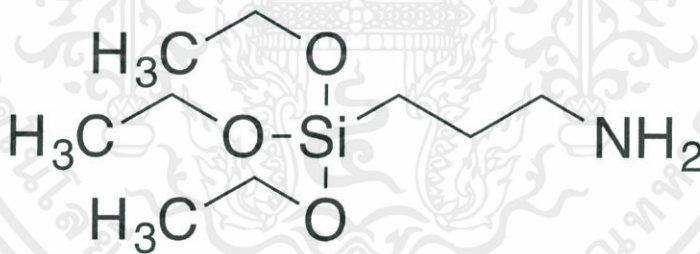
กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่โดยใช้ไซเลนและน้ำของพอลิเมอร์เป็นหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากมีข้อดีหลายประการได้แก่ เป็นกระบวนการที่ง่าย ลงทุนต่ำ และสามารถเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วสามารถเพิ่มสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ให้สูงขึ้นได้ มีการประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมหุ้มฉนวนไฟฟ้าแรงสูง อุตสาหกรรมผลิตท่อจากพอลิเมอร์ ไม่เทียมที่ผลิตจากพลาสติก โฟมพลาสติก อุตสาหกรรมเส้นใย และสิ่งทอ เป็นต้น ไซเลนที่นิยมใช้กันทั่วไปในกระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่พอลิเมอร์มีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งานกับพอลิเมอร์แต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 กระบวนการเชื่อม ขวางสายโซ่เป็นระบบร่างแหในขั้นตอนแรกคือ ขั้นตอนของการกราฟท์ไซเลน เป็นการเกิดอนุมูลอิสระเพื่อเริ่มปฏิกิริยาโดยการสลายตัวจากความร้อนของสารเปอร์ออกไซด์ โดยหลักการสามารถสันนิษฐานได้ว่าอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจนของสายโซ่พอลิเมอร์สุดท้ายเกิดเป็นการกราฟท์ไซเลนของพอลิเมอร์ ขั้นตอนต่อมาคือการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่กราฟท์ด้วยไซเลนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยความชื้นของน้ำโดยกระบวนการควบแน่นก่อตัวขึ้นจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เชื่อมต่อกันโดยพันธะซิล็อกเซน (Si-O-Si) กลไกการเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็นโครงสร้างร่างแห ด้วยไซเลนและน้ำของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์โดยใช้ซิลเลนและน้ำ
(แหล่งที่มา : การศึกษาสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยการเติมสารควบคู่ปฏิกิริยาโดย
เสกสรรค์หัตถ์ และ นฤตล จงใจหาญ)

2.10 อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีซิลเลน (Amino propyl triethoxysilane, Silane) [8]

นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พลาสติก (ได้แก่สาย Glass fiber เสริมแรงพลาสติก) ผลิตภัณฑ์ยาง เรซินหล่อโลหะ เป็นต้น มีสูตรโมเลกุลคือ $C_9H_{23}NO_3Si$ ซึ่งแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างสูตรอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีซิลเลน
(แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/\(3-Aminopropyl\)triethoxysilane](https://en.wikipedia.org/wiki/(3-Aminopropyl)triethoxysilane))

2.10.1 คุณสมบัติทางกายภาพของ Amino propyl triethoxysilane

- น้ำหนักโมเลกุล : 221.37
- (CAS เลขที่: 919-30-2 (A-1100, KBE-903, OFS-6011, Ameo))
- แบบฟอร์มทางกายภาพ : Liquid
- ไร้สี : Colorless
- ความถ่วงจำเพาะที่ 25/25 °C : 0.9420
- จุดเดือด °C : 217 °C
- ดัชนีหักเห, ND 25 °C : 1.420-1.422

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

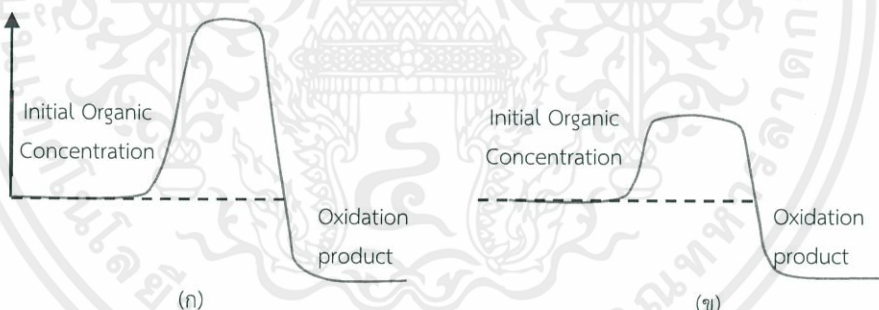
- จุดวาบไฟ, Pensky-Martens ปิดคัพ (1), °C : 96 °C

2.10.2 บรรจุภัณฑ์และการจัดเก็บ

Amino propyl triethoxysilane มักบรรจุในถัง 25 กิโลกรัมหรือ ISO tank ถูกปิดผนึก ควรเก็บไว้ในที่เย็น และห่างจากไฟ

2.11 ปฏิกริยาโฟโตแคตตาไลติกและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Photocatalytic and Antibacterial) [9]

กระบวนการโฟโตแคตตาไลติก (Photocatalytic process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แคตตาไลสต์ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ โดยการกระตุ้นด้วยแสง แคตตาไลสต์นี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.10 แสดงการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารอินทรีย์ที่มีแคตตาไลสต์และไม่มีแคตตาไลสต์ รูปที่ 2.10 (ก) แสดงพลังงานกระตุ้น (Activation Energy, E_a) ของปฏิกิริยาที่ไม่มีแคตตาไลสต์ซึ่งมีค่ามาก และพลังงานของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าพลังงานของสารอินทรีย์ พลังงานกระตุ้นนี้จะลดลงในปฏิกิริยาที่มีแคตตาไลสต์ถึงแม้ว่าพลังงานของสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์ยังคงเท่าเดิมดังรูปที่ 2.10 (ข) แคตตาไลสต์นี้จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยการลดพลังงานกระตุ้น อีกทั้งยังตอบสนองต่อแสงดังกล่าวคือ จะเกิดการกระตุ้นได้โดยการถ่ายทอดพลังงานที่มีมากกว่าพลังงานแบนด์แกป (Band Gap)



รูปที่ 2.10 พลังงานของการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์

(แหล่งที่มา : http://www.nakhamwit.ac.th/pingspong_web/React_Rate/ra_clip_image004_0000.jpg)

โดยปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกต้องมีองค์ประกอบคือ

2.11.1 น้ำ

2.11.2 ออกซิเจน หรือ ออกซิแดนท์

2.11.3 แคตตาไลสต์

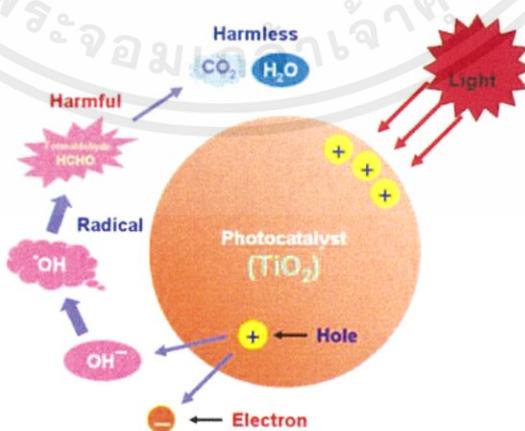
ชนิดของแคตตาไลสต์ในปฏิกิริยา Photocatalysis ได้แก่

- โลหะตัวนำ (Transition Metal) เช่น ทองแดง โคโรเมียม นิกเกิล เป็นต้น
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ แคดเมียม

ซัลไฟด์ (CdS) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งองค์ประกอบของโลหะตัวนำและสารกึ่งตัวนำจะประกอบด้วยวาเลนซ์แบนด์ (Valence Band) และ คอนดักชันแบนด์ (Conduction Band) ในโลหะตัวนำจะมีวาเลนซ์แบนด์ และ คอนดักชันแบนด์ติดกัน แต่ในสารกึ่งตัวนำวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์จะไม่ติดกัน โดยเกิดเป็นช่องว่าง ซึ่งเรียกว่าแบนด์แกป (Band Gap) เมื่ออิเล็กตรอน (Electron, e^-) ที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ได้รับพลังงานโฟตอนจากแสง ($h\nu$) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ในขณะที่บริเวณวาเลนซ์แบนด์จะเกิดโฮล (Hole, h^+) ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในวาเลนซ์แบนด์ ส่วนคอนดักชันแบนด์ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาจากวาเลนซ์แบนด์เคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระทั่ว คอนดักชันแบนด์เช่นกัน ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล (Electron – Hole Pairs, e^-/h^+) สามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างวาเลนซ์แบนด์ และ คอนดักชันแบนด์ได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะว่ามีแบนด์แกป เหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้ e^-/h^+ รวมตัวกันใหม่ได้ง่าย สำหรับโลหะตัวนำ ในทางตรงกันข้ามนั้นการรวมตัวกันใหม่ของ e^-/h^+ ในสารกึ่งตัวนำเกิดได้ยาก เพราะว่ามีแบนด์แกปคั่นอยู่ ทำให้คู่อิเล็กตรอน e^-/h^+ แยกจากกันได้นาน ข้อแตกต่างของพลังงานแบนด์แกปของโลหะตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และฉนวนแยกได้ยาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย ได้แก่ ระดับพลังงานแบนด์แกป ระดับพลังงานคอนดักชันแบนด์ และระดับพลังงานวาเลนซ์แบนด์ ปฏิริยาโฟโตแคตะไลติกในน้ำประกอบด้วยแสงที่ส่องผ่านน้ำไปยังตัวแคตตาลิสต์ ซึ่งมีพลังงานโฟตอน ($h\nu$) ที่สูงกว่าพลังงานแบนด์แกปของตัวแคตตาลิสต์ ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจากวาเลนซ์แบนด์ ให้เคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ ผลคือ ทำให้เกิด e^-/h^+ ซึ่งจะวิ่งกระจายอยู่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ปฏิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวคอนดักชันแบนด์และปฏิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลายเกิดขึ้นดังนี้ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากคอนดักชันแบนด์ไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (Electron Acceptor) ในสารละลายจะเกิดปฏิริยารีดักชัน (Reduction) ส่วนอีกด้านหนึ่งคือ วาเลนซ์แบนด์ซึ่งมี h^+ จะเกิดปฏิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยตัวสารละลายทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron Donor) ในสภาวะปกติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของอิเล็กตรอนที่คอนดักชันแบนด์ไม่มีศักยภาพพอที่จะบำบัดสารอินทรีย์ได้ แต่เนื่องจากในระบบบำบัด มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ (O_2) ออกซิเจนนี้จะเป็นตัวรับ e^- เกิดปฏิริยารีดักชัน ได้เป็น Superoxide Radical ($O_2^{\cdot-}$) ซึ่งเป็นตัวออกซิเดนต์ที่แรงมาก สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ แต่ในทางตรงกันข้าม h^+ ที่วาเลนซ์แบนด์เป็นตัวออกซิเดนต์ที่แรงมากเช่นกัน



รูปที่ 2.11 กลไกของปฏิริยาโฟโตแคตะไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์
(แหล่งที่มา : <http://anouchemistry.blogspot.com/2010/12/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.4 พลังงานแสง

การฉายแสงในกระบวนการ Photocatalytic นั้นเป็นการให้พลังงานกับระบบในรูปของพลังงานโฟตอน (Photon Energy) มากพอที่จะทำปฏิกิริยาขึ้นได้ ซึ่งพลังงานดังกล่าวนี้ เรียกว่า พลังงานกระตุ้น (Activation Energy) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานควอนตัม (Quantum Energy) , จูล
	h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) = 6.625×10^{-34} , จูล·วินาที
	ν	คือ ความถี่ของคลื่นแสง, เฮิรตซ์ หรือ วินาที ⁻¹
	λ	คือ ความยาวคลื่นแสง , นาโนเมตร
	c	คือ ความเร็วของคลื่นแสงคือ 2.997×10^8 , เมตร/วินาที

ความยาวคลื่นแสงที่คนมองเห็น (Visible หรือ แสงขาว) อยู่ในช่วง 380 – 750 นาโนเมตร ส่วนความยาวคลื่นของแสงอุลตราไวโอเล็ต (UV) อยู่ในช่วง 100 – 400 นาโนเมตร ซึ่งรังสียูวีนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

- คลื่นยาว (Long Wave UV, UV-A) อยู่ในช่วง 400 – 320 นาโนเมตร
- คลื่นกลาง (Middle Wave UV, UV-B) อยู่ในช่วง 320 – 280 นาโนเมตร
- คลื่นสั้น (Short Wave UV, UV-C) อยู่ในช่วง 280 – 200 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 200 นาโนเมตร มีความสำคัญน้อยมาก เพราะรังสีอยู่ในช่วง Vacuum UV ซึ่งจะถูกดูดกลืนในอากาศจนหมดในช่วงระยะทางสั้นๆ ที่แสงเดินทาง

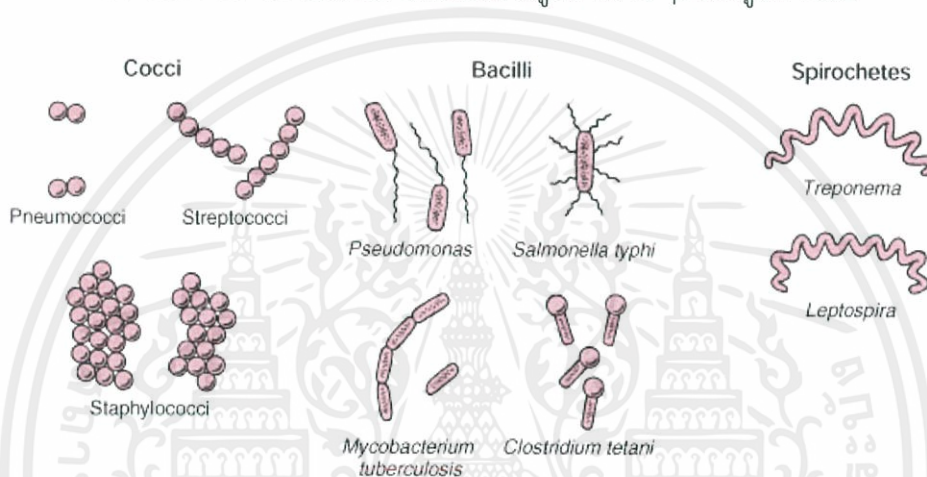
แสงอาทิตย์มีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก ความเข้มของแสงยูวีและแสงขาวที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกจะถูกทำให้ลดลงอย่างมากในชั้นบรรยากาศจากการดูดกลืนและการกระเจิงของแสง ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 320 นาโนเมตร ความเข้มของแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการดูดกลืนโดยโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (สูงจากพื้นผิวโลกในช่วงประมาณ 10 – 35 ไมล์) และที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 288 นาโนเมตร มีรังสีที่แผ่มาถึงพื้นโลกน้อย ดังนั้นแสง UV ที่ส่องมายังพื้นโลกจึงมีขีดจำกัดในกระบวนการโฟโตแคตะไลติกที่ใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวแคตาลีสต์นั้น เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์ มีพลังงานแบนด์แกป ประมาณ 3.2 โวลต์ ดังนั้นการให้พลังงานกับระบบจึงต้องให้พลังงานมากกว่าหรือเท่ากับพลังงานแบนด์แกป ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกจึงจะเกิดขึ้นได้ ซึ่งช่วงของแสง UV ที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร จะให้ค่าพลังงานที่มากกว่าหรือเท่ากับพลังงานแบนด์แกปของไททาเนียมไดออกไซด์ แต่เนื่องจากแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลกมีช่วงแสงที่เป็น UV ในปริมาณน้อยมาก คือ เฉพาะช่วง 350 – 400 นาโนเมตรเท่านั้น ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่มุ่งเน้นการปรับปรุงไททาเนียมไดออกไซด์ให้มีความสามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงแสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้หลอดไฟ UV ในกระบวนการโฟโตแคตะไลติก

2.12 เชื้อแบคทีเรีย (Bacteria) [10]

แบคทีเรีย (Bacteria) คือจุลินทรีย์ ที่เป็นเซลล์แบบโพรแคริโอติก (Prokariotic cell) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (Microorganism) มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม แบคทีเรียบางชนิดสามารถทำให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ ในขณะเดียวกันก็มีแบคทีเรียบางชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถอยู่เป็นอิสระนอกร่างกายมนุษย์ได้ มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่จำเป็นจะต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของมนุษย์เพื่อการดำรงชีวิต

2.12.1 ขนาดและรูปร่างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียมีขนาด 0.5-10 ไมครอน (micron) มีรูปร่างต่าง ๆ กันดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รูปร่างของแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ

(แหล่งที่มา : <http://www.ibri.org/RRs/RR051/51Fitplace.html>)

แบคทีเรียมีรูปร่างหลายแบบ ดังนี้

2.12.1.1 บาซิลลัส (Bacillus) มีรูปร่างเป็นท่อนหรือเป็นแท่ง เช่น Bacillus, Clostridium, Pseudomonas, Salmonella สเตรปโทบาซิลลัส (Streptobacillus) เมื่อแบ่งเซลล์แล้วเรียงตัวต่อเป็นสายยาว ท่อนโค้ง (Curverod) เช่น Vibrio

2.12.1.2 ทรงกลมหรือค็อกคัส (Coccus) เช่น

- ไมโครค็อกคัส (Micrococcus) เป็นแบคทีเรีย เซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก
- ดิพโลค็อกคัส (Diplococcus) เมื่อแบ่งเซลล์แล้วติดกันเป็นคู่
- สเตรปโทค็อกคัส (Streptococcus) แบ่งตัว เรียงตัวเป็นสายยาว เหมือนโซ่
- สเตรฟีโลค็อกคัส (Staphylococcus) เป็นลักษณะของ เซลล์ทรงกลมแบ่งตัวหลาย

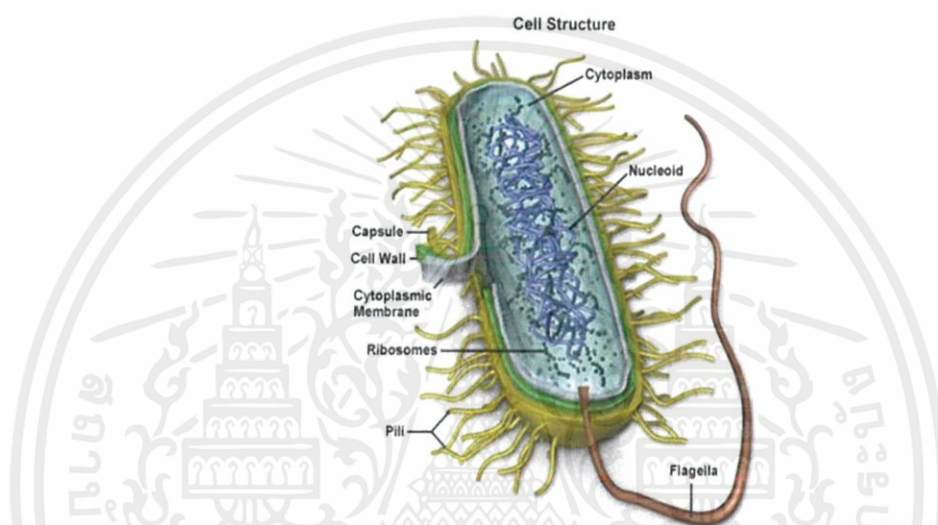
ระนาบอยู่ติดกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น เช่น Staphylococcus aureus

2.12.1.3 สไปโรคีท (Spirochete) รูปร่างบิดเป็นเกลียว ผนังเซลล์ยืดหยุ่นได้ เช่น Campylobacter jejuni

2.12.2 โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียทุกชนิดมีโครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบเซลล์ ได้แก่

- ผนังเซลล์ (Cell wall)
- เซลล์เมมเบรน (Cell membrane)
- ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)
- โครโมโซมเดี่ยว (Single chromosome)
- ไรโบโซม (Ribosomes)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบคทีเรีย

(แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0197>)

2.12.3 ชนิดของแบคทีเรีย [11]

การแบ่งชนิดของแบคทีเรียสามารถแบ่งได้หลายแบบเช่น

2.12.3.1 แบ่งตามการติดสีย้อมแกรม (Gram stain) ถ้าติดสีน้ำเงินเรียกว่าแบคทีเรียชนิด

แกรมบวก (Gram positive bacteria) ถ้าติดสีแดงเรียกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (Gram negative bacteria) ดังได้กล่าวแล้ว

2.12.3.2 แบ่งตามรูปร่างของแบคทีเรีย

2.12.3.3 แบ่งตามการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย ทั้งนี้ชนิดต่าง ๆ ของแบคทีเรียทำให้มีความแตกต่างในด้านต่าง ๆ เช่น แบคทีเรียที่ต้องใช้ ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเรียกว่า แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) แบคทีเรียที่ไม่ต้องใช้ใช้ออกซิเจนในการดำรง ชีวิตเรียกว่า แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.4 การเกิดโรค

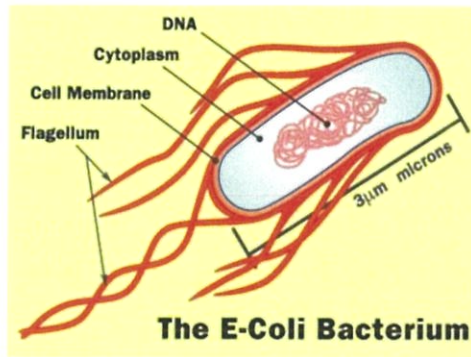
- แบคทีเรียชนิดแกรมบวกมักทำให้เกิดโรคแบบติดเชื้อเป็นหนองที่ผิวหนัง ทางเดินหายใจส่วนต้น (จมูกและลำคอ) และปอดบวม
- แบคทีเรียชนิดแกรมลบมักทำให้เกิดโรคที่ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินปัสสาวะและถุงน้ำดี
- แบคทีเรียชนิดแอโรบิกมักทำให้เกิดโรคในอวัยวะที่มีออกซิเจนพอเพียงเช่น ผิวหนัง ช่องปาก ปอด ทางเดินหายใจ กระเพาะปัสสาวะ
- แอนแอโรบิกแบคทีเรียมักทำให้เกิดโรคในบริเวณที่มีออกซิเจนน้อยเช่น เชื้อบาดทะยัก (โรคบาดทะยัก) ซึ่งเป็นแอนแอโรบิกแบคทีเรียชนิดหนึ่งทำให้เกิดโรคในแผลลึกที่ถูกตะปูตำหรือการติดเชื้อในช่องท้องที่เกิดจากการทะลุของลำไส้ เป็นต้น

2.12.5 ความรุนแรงของโรค

- แบคทีเรียชนิดแกรมบวกที่รูปร่างเป็นคอคคัส มักทำให้เกิดการอักเสบเป็นหนองที่ผิวหนัง ต่อมนทอนซิล ทางเดินหายใจ ปอด ออกรวมทั้งจะไม่รุนแรง และรักษาได้ผลดีด้วยยาปฏิชีวนะในกลุ่มเพนิซิลลิน (Penicillin)
- แบคทีเรียชนิดแกรมลบที่รูปร่างเป็นบาซิลลัส มักทำให้เกิดโรคในทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ไต ถุงน้ำดี ไส้ติ่ง (โรคไส้ติ่งอักเสบ) การรักษายากกว่าเพราะมักดื้อต่อยาปฏิชีวนะ (เชื้อดื้อยา) และมีโอกาสที่เชื้อจะแพร่ไปในกระแสเลือด (โลหิต ภาวะพิษติดเชื้อ) เกิดภาวะช็อกตามมาได้
- แบคทีเรียชนิดแอโรบิกมักทำให้เกิดโรคที่ผิวหนัง ช่องปาก ทางเดินหายใจ ปอด ออกรวมทั้งไม่รุนแรง และรักษาหายได้ด้วยยาปฏิชีวนะที่ใช้ยู่ทั่วไป
- แบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงขึ้น เช่นโรคบาดทะยักเพราะมีการสร้างสารพิษออกมาจากเชื้อแบคทีเรียที่มีผลต่อระบบประสาท (Neurotoxin) สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ การติดเชื้อแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกในช่องท้องมักจะดื้อต่อยาปฏิชีวนะทั่วไป และต้องใช้ยาปฏิชีวนะชนิดพิเศษที่เฉพาะเจาะจงต่อแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้การรักษาไม่ค่อยได้ผล

2.13 เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (*Escherichia coli*, *E.coli*) [12]

เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (*Escherichia coli*, *E. coli*) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) รูปร่างเป็นแท่ง (Rod shape) ดังรูปที่ 2.14 ไม่สร้างสปอร์เป็น Facultative anaerobe เจริญได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน อยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae และเป็นแบคทีเรียที่จัดอยู่ในกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform) ประเภท Fecal coliform ซึ่งเป็นโคลิฟอร์มที่พบในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น จึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สัญลักษณ์ของอาหารและน้ำ



รูปที่ 2.14 รูปร่างของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli*

(ที่มา : https://th.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli)

โดยมีตัวอย่างอาหารที่เกี่ยวข้อง เช่น

ผัก ผลไม้ สัตว์น้ำ สมุนไพร ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น กุ้งจ่อมกุ้งแห้ง กระจายตำผงสำเร็จรูป *E.coli* ส่วนใหญ่ไม่ใช่จุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) แต่บางชนิดที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (Food poisoning) หรือเรียกว่า Enterovirulent *Escherichia coli* group (EEC group) มี 4 ประเภทคือ

- Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC)

เป็น *E. coli* ซึ่งทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ อาการทั่วไปคือ ท้องร่วง ปวดท้อง ไข้ต่ำ คลื่นไส้ และ อ่อนเพลีย การติดเชื้อหรือแสดงอาการต่อเมื่อได้รับเชื้อเข้าไปประมาณ 100 ล้าน ถึง 10 พันล้าน เซลล์ โดยระหว่างการเจริญจะสร้างสารพิษที่ทำให้เกิดการหลั่งของของเหลว (Fluid secretion) แห้งที่พบคือน้ำที่ปนเปื้อน แล้วไปปนเปื้อนต่อในอาหาร หรือจากคนป่วยที่สัมผัสหรือปรุงอาหาร ถ้ารับเชื้อเข้าไปมาก จะมีอาการภายใน 24 ชั่วโมง ทั้งนี้การระบาดมีไม่บ่อยนัก หากมีการปฏิบัติทางสุขลักษณะที่ดี ปัจจุบันการวิเคราะห์เชื้อตัวนี้ในอาหารทำได้โดยใช้ gene probe ซึ่งใช้เวลา 3 วัน หรือใช้วิธีทดสอบสารพิษโดยทั่วไป ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 7 วัน

- Enteropathogenic *E. coli* (EPEC)

เป็น *E.coli* ชนิดที่ถือว่าเป็นเชื้อโรคที่ระบาดโดยมีความรุนแรงที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการขับสารพิษทั่วไปของ EEC ชนิดอื่น EPEC แพร่ไปในคนและสัตว์หลายชนิด เช่น วัวควาย และหมู มักเป็นโรคที่เป็นกับเด็ก ทำให้อุจจาระร่วงเป็นน้ำหรือเป็นเลือด คล้ายกับอาการที่เกิดจากเชื้อ *Shigella* ซึ่งเรียกว่า ชิกะทอกซิน (Shigatoxin) ด้วยเช่นกัน ปริมาณเชื้อที่ก่อโรค อาจในปริมาณต่ำ Dysenteriae หรือมากกว่า 10^6 อาหารที่พบเชื่อนี้คือ เนื้อวัวและเนื้อไก่ดิบ และจากน้ำปนเปื้อนที่นำมาขงนมให้เด็ก และหากเด็กติดเชื้อนี้ อาจทำให้เกิดการขาดน้ำ และอัตราการเสียชีวิต อาจสูงถึงร้อยละ 50 ในประเทศโลกที่สาม

- Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC) หรือ *E. coli* 0157:H7

พิษที่สร้างโดย *E. coli* 0157:H7 เป็นประเภท Verotoxin ที่คล้ายกับ Shigatoxin ที่สร้างโดย *Shigella dysenteriae* ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่เยื่อของลำไส้ ความรุนแรงคือทำให้เกิดลำไส้ใหญ่อักเสบจนตกเลือด (hemorrhagic colitis) อาการคือ ปวดท้องรุนแรง อุจจาระร่วงเป็นตอนแรก แต่กลายเป็นมูกเลือดต่อมา อาจมีอาเจียนบ้าง และมีไข้ต่ำหรือไม่มี อาหารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เนื้อบด หรือแฮมเบอร์เกอร์ดิบหรือไม่ค่อยสุก นอกจากนี้ยังอาจพบในหน่ออัลฟัลฟา น้ำผลไม้ที่ไม่ผ่านการฆ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อ ไส้กรอกหมูปนเนื้อวัว (Dry-cured salami) ผักกาดหอม เนื้อสัตว์ป่า (Game meat) และน้ำมันดิบ บางครั้งคนไข้อาจมีอาการจากการมีสารในปัสสาวะปะปนในเลือด (Hemolytic uremic syndrome: HUS) ที่มีลักษณะพิเศษคืออาจทำให้ไตวายถาวรได้

- Enteroinvasive *E. coli* (EIEC)

ทำให้เกิดอาการคล้ายของโรคบิดจากเชื้อ *Shigella dysenteriae* หรือบิดมีตัว (Bacillary dysentery) ทำให้ท้องร่วงโดยมีเลือดหรือมูกในอุจจาระของผู้ที่ติดเชื้อ ปริมาณเชื้อที่ทำให้เกิดอาการประมาณ 10 เซลล์ (เท่ากับ *Shigella*) อาหารที่เกี่ยวข้อง ยังไม่ชัดเจน แต่มีรายงานว่าเกี่ยวกับเนื้อแฮมเบอร์เกอร์ และน้ำมันที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เวลาฟักตัว ประมาณ 12 ถึง 72 ชั่วโมง

2.14 การทดสอบเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ด้วยวิธีการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ (Total plate count) [13]

Standard plate count หรือ วิธีตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐานเรียกย่อว่า SPC อาจเรียกว่า Aerobic plate count (APC) หรือ Total viable count (TVA) หรือปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด

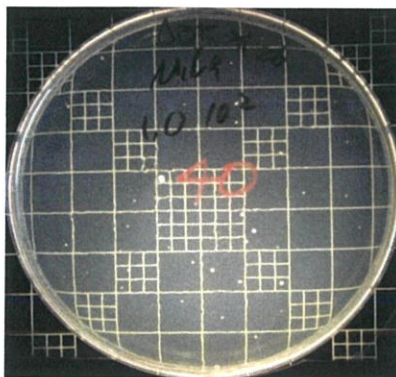
Standard plate count วิธีการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ ที่นิยมใช้สำหรับการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ (Microbial population count) ที่มีชีวิต อยู่ในวัตถุติด เช่น การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันดิบผลิตภัณฑ์อาหาร สิ่งแวดล้อม บริเวณผลิตอาหาร พื้นผิวสัมผัสอาหาร (Food contact surface) น้ำ อากาศ

2.14.1 ค่าที่ได้จากการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน

การตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน เป็นการนับปริมาณโคโลนี (Colony) ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า หรือมองเห็นด้วยแว่นขยาย ซึ่งมาจากเซลล์ของจุลินทรีย์จะถูกตรึงอยู่กับที่ เจริญเติบโต และแบ่งตัวจากเซลล์เดี่ยว เป็นหลายๆ เซลล์อยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อโดยค่าที่ได้จากการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐานคือ Colony forming unit (CFU)

2.14.2 วิธีการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน

- เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient agar) ในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish)
- ในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบฟิล์มแห้ง (Compact dry plate)



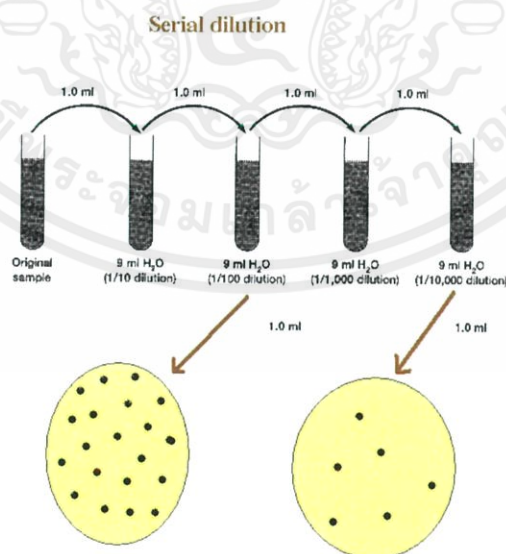
รูปที่ 2.15 การเลียงเชื้อในจานเลียงเชื้อ

(แหล่งที่มา : http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Microbiology/Meat_Milk/Milk/Milk_count.htm)

2.14.3 การเจือจางตัวอย่าง

โดยทั่วไปการนับจำนวนจุลินทรีย์จะนับเฉพาะจานอาหารที่มีจำนวนเซลล์ระหว่าง 25-250 เซลล์ เพื่อให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหาร อยู่ในช่วงดังกล่าว ไม่มากหรือน้อยเกินไปจึงต้องนำตัวอย่างมาเจือจางเป็นลำดับด้วยวิธี Serial dilution โดยการทำให้ Serial dilution คือเจือจางตัวอย่างเชื้อเริ่มต้นโดยทั่วไปทำเป็นลำดับ ลำดับละ 10 เท่า

- ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างแต่ละ Dilution 1 ml.ใส่ในจานเพาะเชื้อเทอาหารวุ้น (Nutrient agar) ลงในจาน
- ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ให้วุ้นแข็งกว่าจานลง บ่ม (Incubate) 48 ชั่วโมง
- นับโคโลนี (Colony) โดยใช้แว่นขยาย นำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น Colony Forming Unit (CFU)



รูปที่ 2.16 การเจือจางตัวอย่าง

(แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>)

2.15 วัสดุผสม (Composite materials) [14]

คอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก จะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่ม หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (Base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือโพลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง โดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับ ความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.15.1 โพลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer matrix composites- PMCs) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก ไฟเบอร์กลาส ต่าง ๆ โพลิเมอร์คอมโพสิตมีโพลิเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

2.15.2 เซรามิกคอมโพสิต (Ceramic matrix composites- CMC) คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ททราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตมีความก้าวหน้า (Advanced composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

2.15.3 เมทัลคอมโพสิต (Metal matrix composites- MMC) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เมทัลคอมโพสิตมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

แม้ว่าคอมโพสิตมีขอบข่ายกว้างครอบคลุมวัสดุ 3 ประเภทข้างต้น แต่ในที่นี้ขอกกล่าวถึงเฉพาะโพลิเมอร์คอมโพสิตเท่านั้น

โพลิเมอร์บางชนิด เช่น อีพ็อกซี และโพลีเอสเตอร์มักมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากโพลิเมอร์เหล่านี้มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ เป็นต้น แต่โพลิเมอร์มีจุดเด่นเรื่องขึ้นรูปง่าย สามารถขึ้นรูปทรงที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ขณะที่วัสดุเช่น แก้ว อะรามิด (Aramide) และโบรอน (Boron) มีจุดเด่นเรื่องความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงกด (Compressive strength) สูง แต่ว่าวัสดุที่กล่าวมานั้นเมื่อปรากฏในรูปของ ของแข็ง แล้ว สมบัติเด่นเหล่านี้ปรากฏออกมาได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากวัสดุสามารถแตกหักจาก ความเค้น (Stress) ได้ง่ายเพียงแค่ผิวของวัสดุมีรอยตำหนิขนาดเล็กเท่านั้น

ดังนั้นการผสมโพลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนจะทำให้วัสดุมีสมบัติดีขึ้น เพราะเป็นการรวมเอาจุดเด่นของวัสดุโพลิเมอร์ กับจุดเด่นของเส้นใยเสริมแรง เข้าไว้ด้วยกัน โดยเนื้อหลักของโพลิเมอร์ทำหน้าที่กระจายแรง ที่กระทำต่อวัสดุลงไประหว่าง เส้นใยแต่ละเส้น และโพลิเมอร์ยังทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไม่ให้เสียหาย เนื่องจากการเสียดสีและ การกระแทก ผลของการรวมโพลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง ทำให้วัสดุโพลิเมอร์คอมโพสิตมีจุด เด่นหลายอย่าง ได้แก่ มี



รูปที่ 2.18 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงดึง

(แหล่งที่มา : <https://www.be2hand.com/upload/200907/200907-07-171608-1.jpg>)

2.17 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) [16]

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น ข้อดีของเครื่อง SEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่าย

เอ็ม วอน เอนเดนนี่ (M Von Andenne) สร้างเสร็จในปี ค.ศ. 1938 โดยใช้ศึกษาผิวของเซลล์หรือผิวของตัวอย่างวัตถุที่นำมาศึกษา โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ ทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ



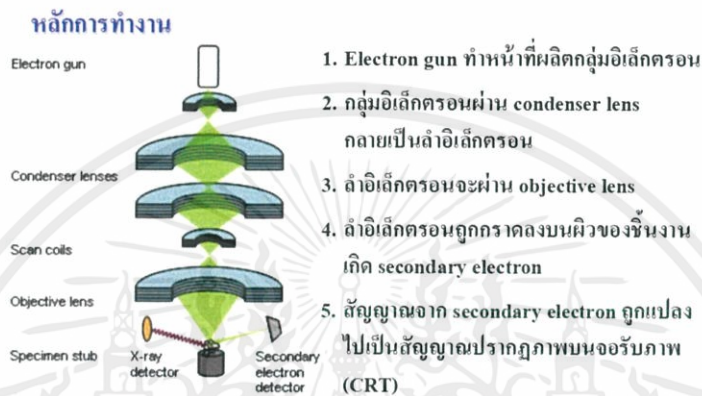
รูปที่ 2.19 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

(แหล่งที่มา : <http://www.rdi.ku.ac.th/cl/webpages/microscopeinstru.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

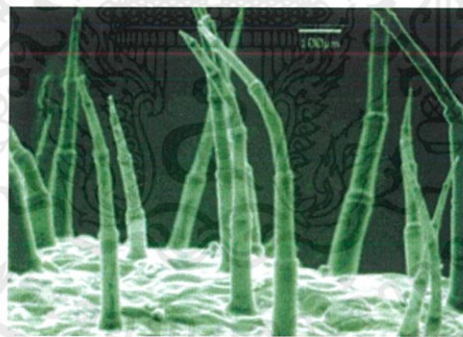
2.17.1 หลักการทำงานของ SEM

เกิดจากการที่ Primary electron วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น Back-scatter electron, รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ Secondary electron เป็นต้น และในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน Secondary electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพ (Cathode ray tube) เพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ โดยภาพที่ออกมา นั้นจะมีลักษณะ 3 มิติ จากนั้นจะบันทึกภาพลง Photographic



รูปที่ 2.20 หลักการทำงานของ SEM

(แหล่งที่มา : <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/2576-electron-microscope>)



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้อง SEM

(แหล่งที่มา : <http://www.rw.ac.th/~kruchon/lesson/light/topic5-serm2.htm>)

2.18 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) [17]

XRD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ สารประกอบและแร่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้สามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสี ที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on

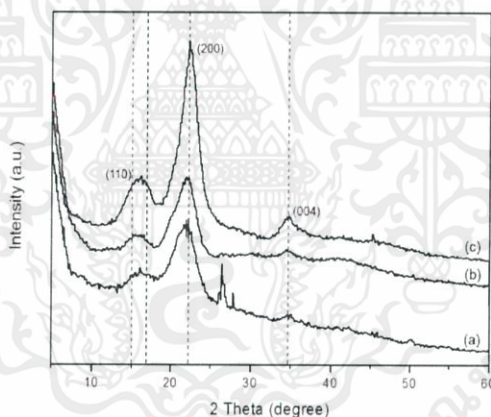
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบแตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิด จะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัวเปรียบเช่นเดียวกับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.22 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

(แหล่งที่มา : <http://www.proton.rmutphysics.com/science-news/index.php>)



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างกราฟ XRD

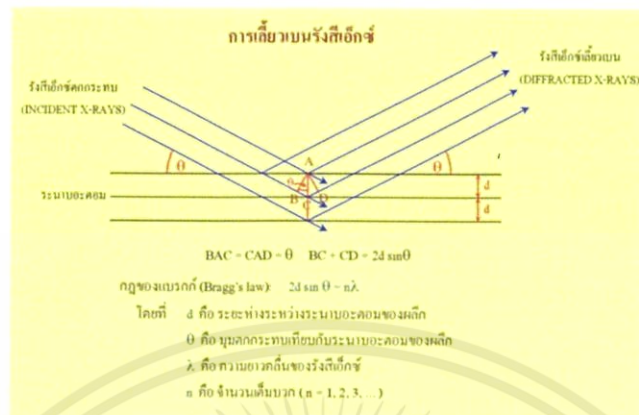
(แหล่งที่มา : <http://pubs.sciepub.com/jmpc/2/1/1/>)

2.18.1 หลักการทำงานของ XRD

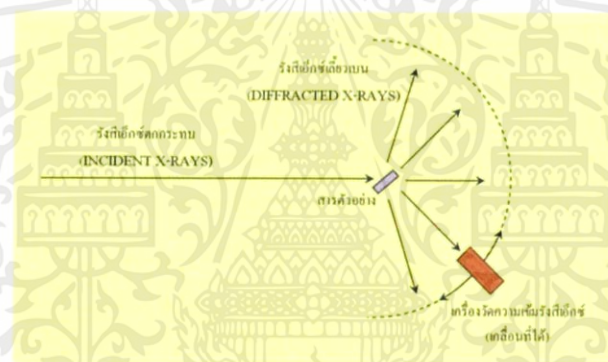
XRD ย่อมาจากคำว่า X-ray Diffractometer เครื่องมือชนิดนี้อาศัย หลักการเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุ หรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสี สะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ จากหลักการเบื้องต้นในปี ค.ศ. 1912 นาย W.L.Bragg ได้นำมาทำการศึกษา รูปแบบโครงสร้างผลึก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้น เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชันขึ้นในปี 1948 และพัฒนามาจนกระทั่งมีการนำเอาคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงาน และวิเคราะห์ประมวลผล เพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น

จากหลักการทำงานของ XRD มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์วัสดุที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เหล็ก สูตรทางเคมีคือ Fe แต่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างผลึกหลายรูปแบบ เช่น Body center cubic (BCC), Face center cubic (FCC) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้สามารถบอกได้ว่าหลักตัวอย่างมีโครงสร้างแบบใด



รูปที่ 2.24 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
 (แหล่งที่มา : <http://www.slri.or.th/th/index.php>)



รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของเครื่อง XRD
 (แหล่งที่มา : <http://www.slri.or.th/th/index.php>)

2.19 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) [18]

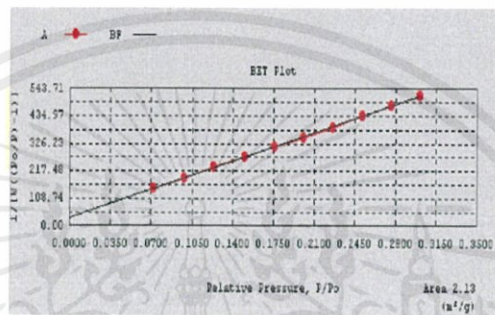
การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) และการกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) รวมถึงปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (Total pore volume) นั้นจะอาศัยการใช้สมการจากทฤษฎีที่เหมาะสมมาคำนวณ ซึ่งได้มาจากข้อมูลดิบ ของกราฟไอโซเทอม (Isotherm) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) กับปริมาตรหรือน้ำหนักของก๊าซที่ถูกดูดซับ (Adsorption) และการคายซับ (Desorption) ของวัสดุนั้น ๆ

2.19.1 พื้นที่ผิวจำเพาะและการกระจายขนาดของรูพรุน

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ตามทฤษฎีของ BET (The Brunauer-Emmett-Teller) ใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยมีสมมติฐานว่าการดูดซับของก๊าซเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวไม่จำเพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่ง และอีกสมมติฐานหนึ่ง คือ ก๊าซที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับบนพื้นผิวได้ดีกว่าการที่ก๊าซเกิดตึงดูด

กันเอง (ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ใช้ก๊าซไนโตรเจน, N_2) โดยปกติในการ ตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องในการใช้ทฤษฎีของ BET กับสารตัวอย่างสามารถทราบได้จากตัวบ่งชี้ที่ได้จากการทดสอบ ดังนี้

- ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรง
- ค่าคงที่ของ C (C -Values) โดยปกติจะอยู่ในช่วง 50 –300 ซึ่งค่าคงที่ C ที่ค่าน้อยกว่า 50 แสดงว่าก๊าซเกิดการดึงดูดกันเองด้วย นอกจากนี้จะไปดูดซับบนพื้นผิวของของแข็งตามสมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีของ BET ส่วนกรณีที่ค่าคงที่ C มีค่ามากกว่า 300 มาก ๆ แสดงว่าการดูดซับของก๊าซบนพื้นผิวของของแข็งเกิดขึ้นได้ดีมากหรือมีบางจุดบนพื้นผิวที่ ดูดซับได้ดีกว่าบริเวณอื่น
- ค่า Coefficient of correlation ของเส้นกราฟ ต้องมีค่าน้อยเท่ากับ 0.999



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของ BET plot

(แหล่งที่มา : <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/files/presentation/Technique>)

2.19.2 การจำแนกขนาดรูพรุนของวัสดุ

จะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ

- กลุ่ม Micropore มีขนาดน้อยกว่า 20 อังสตรอม (2×10^{-9} เมตร)
- กลุ่ม Mesopore มีขนาดอยู่ในช่วง 20 อังสตรอม (2×10^{-9} เมตร) – 500 อังสตรอม (5×10^{-8} เมตร)
- กลุ่ม Macropore มีขนาดมากกว่า 500 อังสตรอม (5×10^{-8} เมตร)



รูปที่ 2.27 เครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET)

(แหล่งที่มา : http://www.chemtech.sc.chula.ac.th/facilities_detail.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งแรงและความแข็งตึง (Stiffness) สูง สามารถขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

2.16 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) [15]

เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกล เพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) โดยใช้การกัดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบต่าง ๆ และนำไปทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งปกติแล้วจะดึงด้วยแรงดึงสม่ำเสมอตามข้อกำหนดในแต่ละมาตรฐาน ในหนึ่งทิศทาง (Uni-axial) จนชิ้นงานขาดออกจากกัน ระหว่างการทดสอบเครื่องจะวัดการยืดตัวของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการยืดตัวในรูปของกราฟความเค้นและความเครียด และคำนวณค่าต่าง ๆ เชิงวิศวกรรม อันได้แก่ ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัว

การทดสอบแรงดึงของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วเริ่มจากการนำวัสดุมาเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่าง ทั้งเป็นวัสดุที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูปหรือขึ้นรูปแล้ว การเตรียมเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งส่วนใหญ่จะเตรียมเป็นลักษณะรูปร่างคล้ายดัมเบลล์ (Dumbbell) คือปลายทั้งสองด้านจะมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณส่วนกลางของชิ้นตัวอย่าง ทั้งนี้เพื่อให้การดึงเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ และขาดบริเวณตรงกลาง



รูปที่ 2.17 ดัมเบลล์ (Dumbbell)

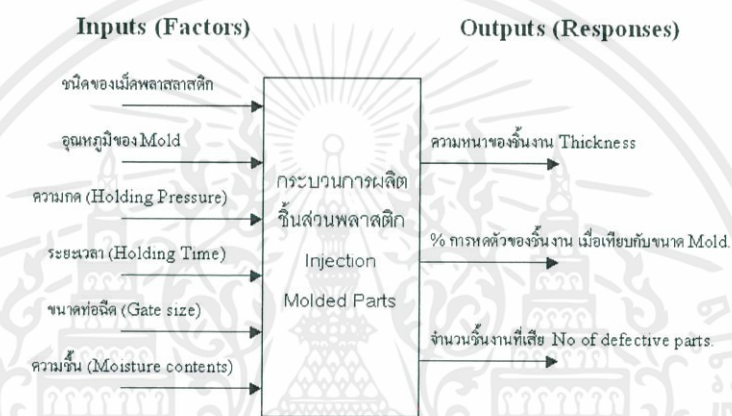
(ที่มา : <https://www.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th>)

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงดึง เรียกว่า เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) เครื่องมือดังกล่าวนี้ จะมีปากสำหรับจับชิ้นตัวอย่างอยู่ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ยึดติดกับแท่นเครื่อง ส่วนที่ 2 ยึดติดกับตัววัดแรง (load cell) และสามารถเคลื่อนที่ได้ ในการทดสอบนั้นจะต้องนำชิ้นตัวอย่างที่เตรียม ใส่ระหว่างปากจับทั้งสองข้าง โดยจับที่ส่วนปลายของชิ้นตัวอย่าง แล้วล็อคให้แน่น หลังจากนั้นจึงดึงให้ปากจับส่วนที่ 2 เคลื่อนที่ห่างออกไป โดยปลายอีกข้างหนึ่งของชิ้นตัวอย่างยังอยู่กับที่ ชิ้นตัวอย่างที่กำลังยืดออกจะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นตัวอย่างนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมา ได้แรงที่วัดออกมา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) การทดสอบจะต้องดึงชิ้นตัวอย่างจนขาดออกจากกัน แรงต้านสูงสุดของชิ้นตัวอย่างได้เท่าไร ผลที่ได้จากตัววัดแรงก็จะได้เท่านั้น นั่นก็หมายความว่าชิ้นตัวอย่างทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของตัวเองที่ทนได้ก่อนขาดจากกัน

2.20 การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) [19]

Design of experiment (DOE) มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (Factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น

กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกัน ผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 2.28 ปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง
(แหล่งที่มา : http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.htm)

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางปัจจัยก็ไม่อาจจะควบคุมได้แม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบท่อกระบวนการก็ตาม จึงต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติ ในการออกแบบการทดลองจึงเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวไม่สามารถปล่อยให้เปลี่ยนไปตามธรรมชาติได้ เพราะมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise จึงจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะที่เดียวกันจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นได้ วิธีวัดก็มีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continues data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยกรนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่จะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากรูปที่ 2.28 ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั่นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคน คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนิ เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัว

2.21 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.21.1 การศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก

Jingpong Li และคณะ [20] ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไม้ไผ่ที่ผ่านการเคลือบด้วย TiO_2 โดยวิธีการเคลือบ TiO_2 บนพื้นผิวของไม้ไผ่โดยการไฮโดรไลซิสของ H_3BO_3 ที่เวลาแตกต่างกัน ๓ อุณหภูมิห้อง จากผลการศึกษาพบว่ายิ่งใช้เวลาในการไฮโดรไลซิสนานเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดผลึก Anatase ของ TiO_2 ที่มากขึ้นตามมา อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบไม้ไผ่ธรรมดา กับไม้ไผ่ที่เคลือบด้วย TiO_2 จะเห็นความแตกต่างว่า ไม้ไผ่ที่เคลือบด้วย TiO_2 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 4 เดือน พบว่าสภาพของไม้ไผ่ที่เคลือบด้วย TiO_2 ยังคงมีสภาพที่เหมือนเดิมและไม่มีเชื้อรามาเกาะบนไม้ไผ่

ขณะที่ Giovanni De Filpo และคณะ [21] ได้ศึกษาการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนไม้โดยการเคลือบ TiO_2 ที่มีการผสมทองบาง ๆ ลงไป โดยการทดลองจะใช้ประเภทของไม้ 8 ประเภท และนำไปทดลองกับเชื้อรา 2 ชนิดด้วยกัน จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำไม้ไปทิ้งไว้บนเพลาที่มีแบคทีเรียอยู่ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าบนไม้ไม่มีเชื้อรามาเกาะ

นอกจากนี้ ชลดา ธีรการณวงศ์ [22] ได้ศึกษาวัสดุฆ่าเชื้อแบคทีเรีย TiO_2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของ TiO_2 และประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต จากผลการศึกษาพบว่า กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียเกี่ยวข้องกับไฮดรอกซิลแรดิคอลทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของโมเลกุลของจุลินทรีย์ เป็นผลทำให้เซลล์เมมเบรนถูกทำลายและตายในที่สุด

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าการฆ่าเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นได้เพราะมีตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง นั่นก็คือ TiO_2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีกรนำโครงสร้างผลึกแบบ Anatase มาใช้งานมากกว่าโครงสร้างแบบ Rutile (เนื่องจาก Bandgap ที่น้อยกว่าจึงอาจทำให้เกิดการ Recombination) อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยาจำเป็นที่จะต้องมีการมีพลังงานแสงเข้ามาเกี่ยวข้องจึงจะสามารถเกิดการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้

2.21.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อ TiO_2

ชวิศร์ ธีรณย์เมงกุล [23] ได้ศึกษาการปรับแต่งผิวหน้าของ TiO_2 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โดยมีวิธีการทดลองคือการนำ TiO_2 โด๊ปด้วยอะตอมของธาตุซิลเฟอร์ จากนั้นจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 °C, 500°C และ 600 °C จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้การดูดกลืนแสงในช่วงแสงขาว (Visible light) มีมากขึ้น แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลเสียคือจะไปทำให้ขนาดอนุภาคของ TiO_2 ใหญ่ขึ้น และมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่ลดลง แต่จะเป็นการเพิ่มโครงสร้างผลึกแบบ Anatase มากขึ้น อีกทั้งทำให้การจัดเรียงสัณฐานวิทยาเป็นระเบียบมากขึ้นอีกด้วย

ขณะที่ O.Comakli และคณะ [24] ได้ศึกษาการเคลือบ TiO_2 บนผิวของ Commercial pure titanium (CP-Ti) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางด้านทันตกรรมสามารถนำไปใช้กับสิ่งมีชีวิตได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้ CP-Ti มีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น เพื่อโดยมีวิธีการทดลองคือการนำ TiO_2 ไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน จากผลการศึกษาพบว่ายิ่งเพิ่มอุณหภูมิมาก

ขึ้น ค่าความแข็ง ค่า Modulus ความขรุขระของพื้นผิว ก็จะมีเพิ่มมากขึ้นด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ดีที่สุดคือ 900°C เนื่องจากที่อุณหภูมินี้ ค่า Friction coefficient มีค่าต่ำที่สุด (การวิจัยนี้ต้องการค่า Friction coefficient ต่ำ ๆ เพราะเมื่อนำไปใช้ในวงการแพทย์จะไม่เกิดการเสียดสีกับร่างกายนั่นเอง)

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา TiO_2 ทำให้โครงสร้างผลึก พื้นผิว และรูพรุนของ TiO_2 เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและการนำไปใช้งานในด้านต่างๆตามความต้องการ โดยการเผา TiO_2 ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 700°C ขึ้นไปจะทำให้ โครงสร้างผลึกจากเฟส Anatase เปลี่ยนไปเป็น Rutile อีกทั้งการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โครงสร้างผลึกของ Anatase เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

2.21.3 การศึกษาสารควบคู่ไซเลน

Masami Hashimoto และคณะ [25] ได้ศึกษาการผสม การผสม TiO_2 กับสารยึดติดประเภท (methacryloxy) propyltrimethoxysilane (g-MPS) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 บน high density polyethylene หรือ HDPE โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของ HDPE เมื่อทำการเติมสารยึดติดลงไป โดยจากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระหว่าง HDPE และ HDPE ที่มีการปรับปรุงแล้ว พบว่าค่า Tensile strength และค่า Young's modulus มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 49 MPa และ 7.5 GPa เป็น 65 MPa และ 10 MPa

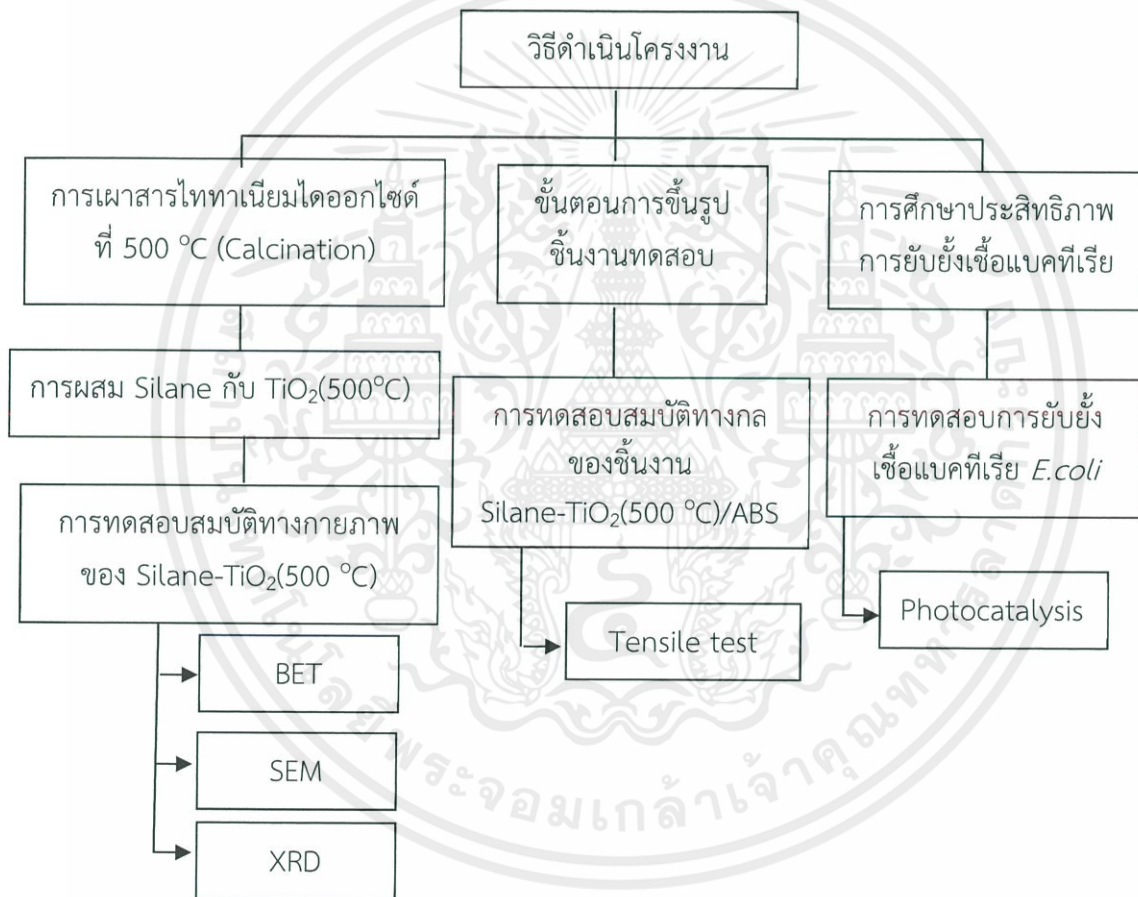
ขณะที่ สีหราน ลาวาเกิน และคณะ [26] ได้ศึกษาการผสม TiO_2 กับสารยึดติดประเภท Silane-69 ในอัตราส่วน 1% และ 3% เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* โดยมีวิธีการทดลองคือการนำสเปร์ย์ TiO_2 ที่ผสม Silane-69 ตามอัตราส่วน 1% และ 3% พ่นลงบนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จากการศึกษาค้นพบว่า TiO_2 ที่ผสม Silane-69 ตามอัตราส่วน 1% และ 3% สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ร้อยละ 57% และ 53% ตามลำดับ โดย Silane-69 จะทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง ทำให้วัสดุพอลิเมอร์มีความแข็งแรง (Tensile strength) สูงขึ้นอีกทั้งช่วยปรับปรุงพื้นผิวของ TiO_2 ให้กระจายตัวได้ดีขึ้นอีกด้วย

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเติมสารควบคู่ไซเลนส่งผลต่อคุณสมบัติพอลิเมอร์ ซึ่งสารควบคู่ไซเลนมีด้วยกันหลากหลายประเภทตามความต้องการในการใช้งาน โดยสารควบคู่ไซเลนจะช่วยเพิ่มการกระจายตัวของ TiO_2 บนพอลิเมอร์ อีกทั้งปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุให้ดีขึ้นด้วย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

โครงการนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียอีโคไล (*Escherichia coli*, *E.coli*) ด้วยวิธีการโฟโตแคตะไลติก บนพลาสติกอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) โดยมีการเติมไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) ที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 °C และเติมสารคูกุวไซเลน (Amino propyl triethoxysilane, Silane) เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของ TiO_2 ในพลาสติก ABS เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียอีโคไล (*Escherichia coli*, *E.coli*) โดยขั้นตอนในการศึกษาเบื้องต้น มีดังนี้



รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการโครงการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเผาไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 500 °C

- 1) ไททาเนียมไดออกไซด์ เกรดอุตสาหกรรม (โดยบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด)
- 2) เตาเผาความร้อนสูง
- 3) ถ้วยระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ซ้อนตักสาร
- 5) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการปรับปรุงผิวของไททาเนียมไดออกไซด์โดยการผสมไซเลน

- 1) ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 ° C
- 2) น้ำ DI
- 3) เครื่องปั่นกวนสารละลาย
- 4) เตาเผาความร้อนสูง
- 5) ไซเลน (Amino propyl triethoxysilane)
- 6) เอทานอลเข้มข้น 99.99 % mole

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์

- 1) เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)
- 2) เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
- 3) เครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET)

3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

- 1) เม็ดพลาสติก ABS เกรด PA - 717C (โดยบริษัท CHI MEI CORPORATION ประเทศไต้หวัน)
- 2) ไททาเนียมไดออกไซด์
- 3) เครื่องผสมเม็ดพลาสติกแบบปิด (Internal Mixture)
- 4) เครื่องกดอัดพลาสติก (Compression Machine)
- 5) เครื่องบดเม็ดพลาสติก
- 6) แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET)
- 7) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 8) ซ้อนตักสาร

3.1.5 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน

- 1) เครื่องทดสอบการต้านทานแรงดึง (Tensile Test Machine)

3.1.6 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับยับยั้งแบคทีเรีย *E.coli* ของชิ้นงาน

- 1) Stock Phosphate Buffer Solution (PBS)
- 2) Tryptic Soy Broth (TSB)
- 3) Plate Count Agar (PCA)
- 4) Beef extract
- 5) Peptone
- 6) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- 7) น้ำกรอง
- 8) น้ำกลั่น
- 9) หลอดทดลองพร้อมฝาจาก

- 10) ขวดเอ็ม
- 11) ขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 12) ขวดรูปชมพู่ 50 มิลลิลิตร
- 13) เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 14) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ รุ่น Tommy
- 15) เครื่องชั่ง

3.1.7 วัสดุและอุปกรณ์ในขั้นตอนการยับยั้งแบคทีเรีย *E.coli* ของชิ้นงาน

- 1) ชิ้นงานขนาด 5×5 เซนติเมตร
- 2) แบคทีเรีย *E.coli*
- 3) แผ่นพลาสติกใส PET ขนาด 4 × 4 เซนติเมตร
- 4) Stock Phosphate Buffer Solution (PBS)
- 5) อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA)
- 6) แอลกอฮอล์ 95% (Alc. 95%)
- 7) แอลกอฮอล์ 70% (Alc. 70%)
- 8) น้ำกลั่น
- 9) หลอดทดลองพร้อมฝาจุก
- 10) ปิเปต 10 มิลลิลิตร
- 11) ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 12) ไมโครปิเปต
- 13) ลูบเปียเชื้อ
- 14) จานเพาะเชื้อ
- 15) เครื่องชั่ง
- 16) ตู้บ่มเชื้อ ยี่ห้อ Heraeus
- 17) เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10VIS
- 18) เครื่อง Autoclave รุ่น Tommy
- 19) ตู้ปลอดเชื้อ (Biohazard Laminar Flow รุ่น HUB 120 S Boss Tech)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเผาไททาเนียมไดออกไซด์

- 1) ชั่งไททาเนียมไดออกไซด์ 20 กรัม ลงในถ้วยระเหยสาร
- 2) เผาไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
ตั้งเวลา Preheat 15 นาที
- 3) นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและเตรียมชิ้นงานพลาสติก Silane-TiO₂/ABS

3.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงผิวของไททาเนียมไดออกไซด์โดยการผสมซิลเลน

- 1) นำเอทานอลปริมาณ 1.25 มิลลิลิตร และ น้ำ DI ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกันใน ปีกเกอร์
- 2) นำปีกเกอร์ไปปั่นกวนสารให้เข้ากัน 10 นาที
- 3) จากนั้นชั่ง TiO_2 และ ซิลเลน ตามสัดส่วนตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วน TiO_2 (500 °C) และ Silane

TiO_2 (500°C) (g)	silane (g)
0.00	0.00
0.00	0.25
0.00	0.50
0.08	0.08
0.08	0.33
0.16	0.16
0.25	0.25
0.25	0.00
0.33	0.08
0.50	0.00

- 4) ปั่นกวนสารโดยใช้เครื่องปั่นกวนเป็นเวลา 45 นาที
- 5) อบในเตาเผาความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 6) ชูดผง Silane- TiO_2 (500 °C) ออกจากกระเบื้อง เก็บไว้ในขวดรอการทดลองในขั้นต่อไป

3.2.3 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไททาเนียมไดออกไซด์

- 1) ศึกษาสัณฐานวิทยาของ TiO_2 (500 °C) และการกระจายตัวของ TiO_2 (500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ในเนื้อพลาสติก ABS ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
- 2) ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของ TiO_2 (500 °C) และ TiO_2 (500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)
- 3) ศึกษาขนาดและพื้นที่ผิวของ TiO_2 (500 °C) และ TiO_2 (500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET)

3.2.4 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ขั้นตอนการผสมพลาสติก

- 1) นำเม็ดพลาสติก ABS ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 2) ชั่งน้ำหนักไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมซิลเลนแล้วและเม็ดพลาสติก ABS สำหรับผสม ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนในตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของพลาสติก ABS , TiO₂ (500 °C) และ Silane (อัตราส่วนการผสมออกแบบมาจาก โปรแกรมมินิแทป โดยกำหนดช่วงปริมาณของสารที่ต้องการ)

ABS (g)	TiO ₂ (500 °C) (g)	Silane (g)
100.00	0.00	0.00
99.75	0.00	0.25
99.50	0.00	0.50
99.84	0.08	0.08
99.59	0.08	0.33
99.68	0.16	0.16
99.50	0.25	0.25
99.75	0.25	0.00
99.59	0.33	0.08
99.50	0.50	0.00

3) นำเม็ดพลาสติก ABS กับ TiO₂ ไปผสมในเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 250 °C ความเร็วรอบในการผสม 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที

4) นำพลาสติก ABS ผสม จากเครื่องผสมแบบปิดใส่ในเครื่องบดเม็ดพลาสติก

3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

นำเม็ด ABS ผสมไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ซึ่งเม็ดพลาสติก ABS ผสม ปริมาณ 30 กรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์ชิ้นงานทดสอบ โดยใช้แม่พิมพ์ตามมาตรฐาน ASTM D638 [27] และ The standard JIS Z 2801(2010) [28]

3) ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 250 °C ที่ความดัน 125 kg/cm³ ให้ความร้อนก่อนอัดขึ้นรูป (Preheating) 5 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป (Pressing) 5 นาที และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Rapid cooling) โดยแทนหล่อเย็นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นรอให้ชิ้นงานเย็นตัวในอุณหภูมิห้อง

3.2.6 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน

1) ทดสอบการต้านทานแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D638

3.2.7 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับยับยั้งแบคทีเรีย *E.coli* ของชิ้นงาน

1) เตรียมสารละลาย Phosphate Buffer Solution (PBS) ในขวดวัดปริมาตรขนาด 2000 มิลลิลิตร โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 17.0 กรัม และดูดสารละลายจาก Stock Phosphate Buffer Solution 2.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกรอง ถ่ายใส่หลอดทดลอง หลอดละ 9 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลาย TSB ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยชั่ง TSB 30.0 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกรอง ถ่ายใส่ขวดรูปชมพู่ ขวดละ 250 มิลลิลิตร

3) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ในขวดวัดปริมาตรขนาด 2000 มิลลิลิตร โดยชั่ง PCA 47.0 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกรองถ่ายใส่ขวดเอ็ม ขวดละ 100 มิลลิลิตร

4) เตรียมสารละลาย 1/500 NB ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร โดยชั่ง Beef Extract 0.015 กรัม Peptone 0.05 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.005 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดดูแรนขนาด 500 มิลลิลิตร

5) เตรียมน้ำกลั่นใส่ขวดดูแรนขนาด 250 มิลลิลิตร

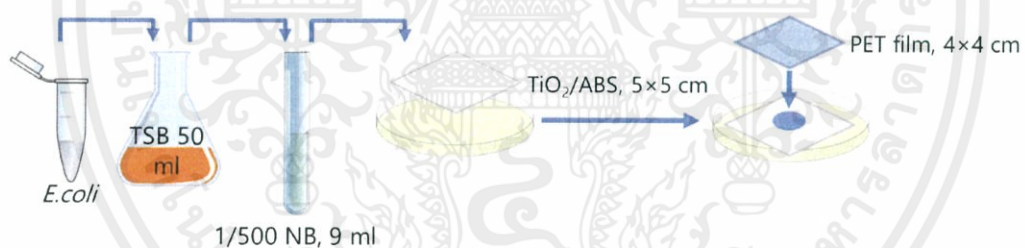
6) นำข้อ 1) - 5) ไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

3.2.8 ขั้นตอนการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ของชิ้นงาน

1) เชื้อเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ด้วยลูปเชื้อลงในสารละลาย TSB ปิดด้วยสำลีและกระดาษฟรอยด์ นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 32 ± 0.5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) ปิเปตสารละลายแบคทีเรีย *E.coli* ในข้อ 1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลาย 1/500 NB ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.2 - 0.3 ซึ่งความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* อยู่ที่ 2.5×10^8 ถึง 10×10^8 CFU/ml

3) เตรียมชิ้นงานลงในจานเพาะเชื้อ ปิเปต *E.coli* ในข้อ 2) ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงบนชิ้นงาน วางทับด้วยแผ่นพลาสติกใส PET ปิดฝาจานเพาะเชื้อ นำไปฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5, 15 และ 30 นาที ตามลำดับ

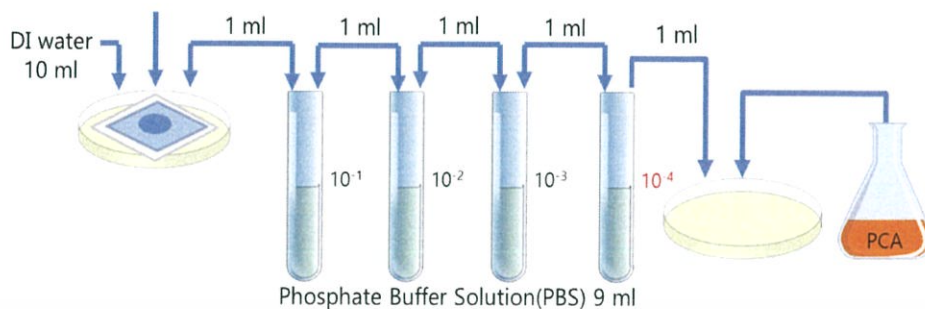


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ขั้นที่ 1) ถึงขั้นที่ 3)

4) หลังจากฉายแสงยูวี นำสำลีออก ปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ ปิดฝาเขย่าจานเพาะเชื้อให้ *E.coli* บนชิ้นงานผสมกับน้ำกลั่น

5) ทำการเจือจาง *E.coli* ที่ความเข้มข้น 0.1 0.01 0.001 และ 0.0001 ตามลำดับ โดยปิเปต *E.coli* ในข้อ 4) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย PBS ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้ตัวอย่าง *E.coli* ที่เข้มข้น 0.1 เท่า จากนั้นปิเปตตัวอย่าง *E.coli* ที่เข้มข้น 0.1 เท่า ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย PBS ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้ตัวอย่าง *E.coli* ที่เข้มข้น 0.01 เท่า และทำการเจือจางตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.3

6) ปิเปตสารละลายแบคทีเรีย *E.coli* ในข้อ 5) ที่ความเจือจาง 10^{-4} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA และพอลิเพลท รอจนกระทั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA แข็ง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 32 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมานับเชื้อ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ชั้นที่ 4) ถึงชั้นที่ 6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

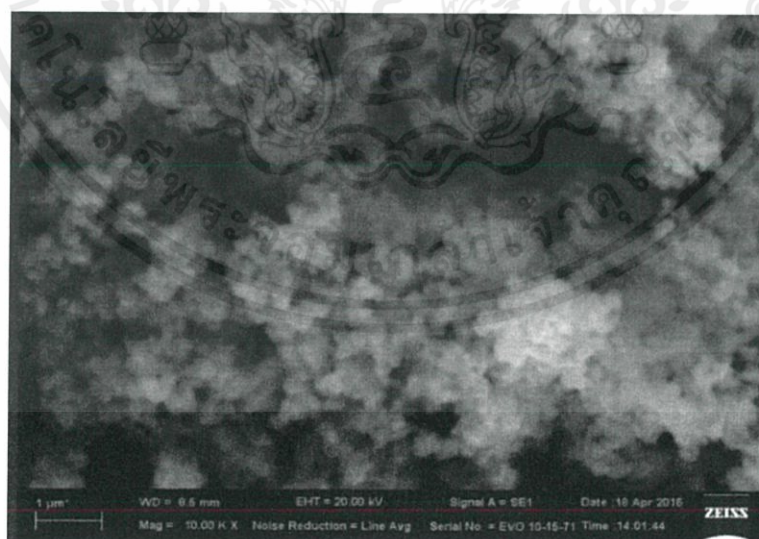
การศึกษามีทั้งหมด 3 การทดลอง คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพ การศึกษาสมบัติทางกล และการศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Silane-TiO₂ /ABS

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาอนุภาค TiO₂ ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของอนุภาค TiO₂ รูปที่ 4.1 , TiO₂ (Calcined 500 °C) ในรูปที่ 4.2 และ Silane - TiO₂ (Calcined 500 °C) ในรูปที่ 4.3

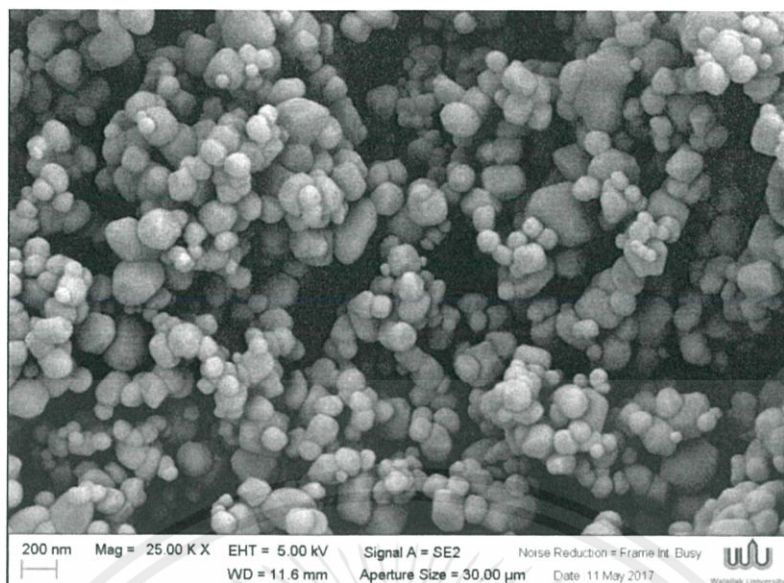
อนุภาคของ TiO₂ มีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกลมๆ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 180 nm เมื่อนำ TiO₂ ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C พบว่าอนุภาค TiO₂ (Calcined 500 °C) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณเพิ่มขึ้นเป็น 290 nm ซึ่งจะทำให้มีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเผา TiO₂ ที่ 500 °C จะทำให้อนุภาคของ TiO₂ มีความเป็นผลึก Anatase ที่มากขึ้น และมีการจัดเรียงผลึกที่เป็นระเบียบมากขึ้น

จากการศึกษาอนุภาคของ Silane - TiO₂ (Calcined 500 °C) พบว่าอนุภาค TiO₂ จับตัวกับสารควบคู่โซเลน โดยมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย Hui Pan และคณะ [29] ศึกษาการกระจายตัวของ TiO₂ เมื่อเติมสารควบคู่ชื่อ Octadecyltrimethoxysilane โดยผลการทดลองพบว่าขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้นเพียงเล็กน้อย และ TiO₂ มีการกระจายตัวดีขึ้นเมื่อเทียบกับ TiO₂ ที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุง

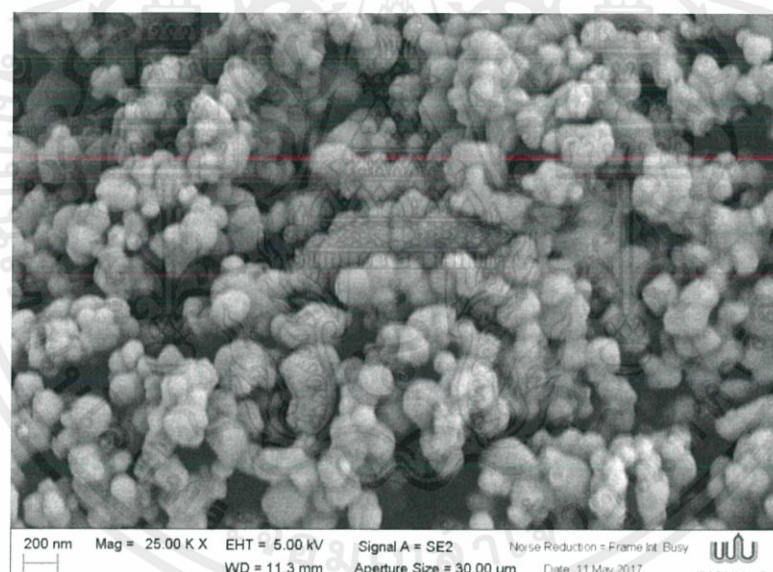


รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของอนุภาค TiO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



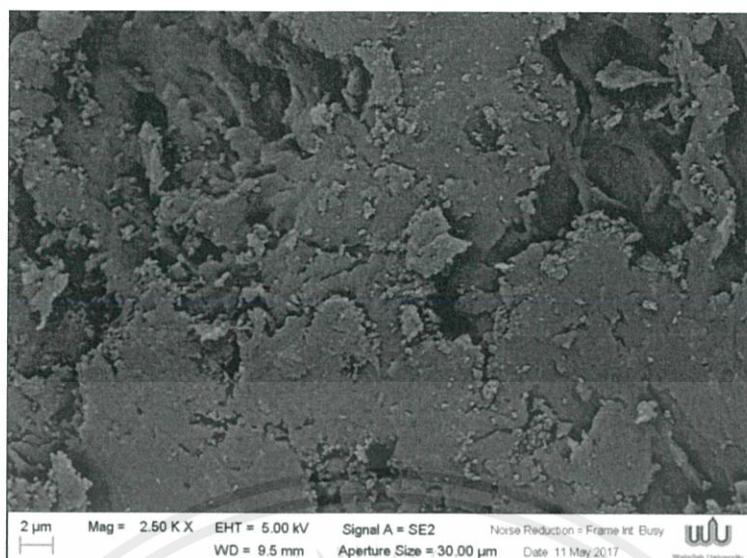
รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของอนุภาค TiO_2 (Calcined 500 °C)



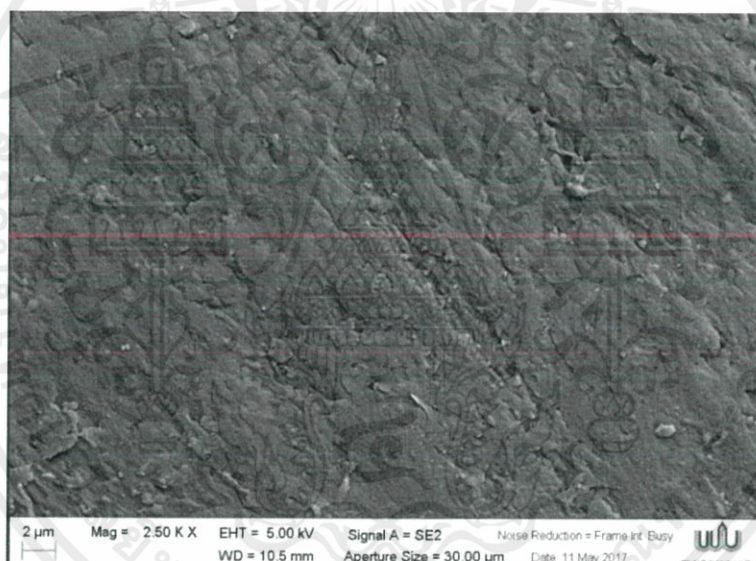
รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาอนุภาคของ TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane

การศึกษาสัณฐานวิทยาของ TiO_2/ABS ในรูปที่ 4.4 และ Silane- TiO_2/ABS ในรูปที่ 4.5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของ TiO_2 ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ในเนื้อพลาสติก ABS พบว่า การกระจายตัวของ TiO_2 (Calcined 500 °C) ในเนื้อพลาสติก ABS มีลักษณะการกระจายตัวที่แคบ และยังคงมีการเกาะกลุ่มของ TiO_2 แต่เมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane พบว่ามีการกระจายตัวของ TiO_2 ในเนื้อพลาสติก ABS ที่ดีขึ้น เนื่องจากสารคู่ควบไซเลนจะไปทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของ TiO_2 และพลาสติก ABS ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาค TiO_2 ที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของพลาสติก ABS ผสมกับ TiO_2 (Calcined 500 °C)



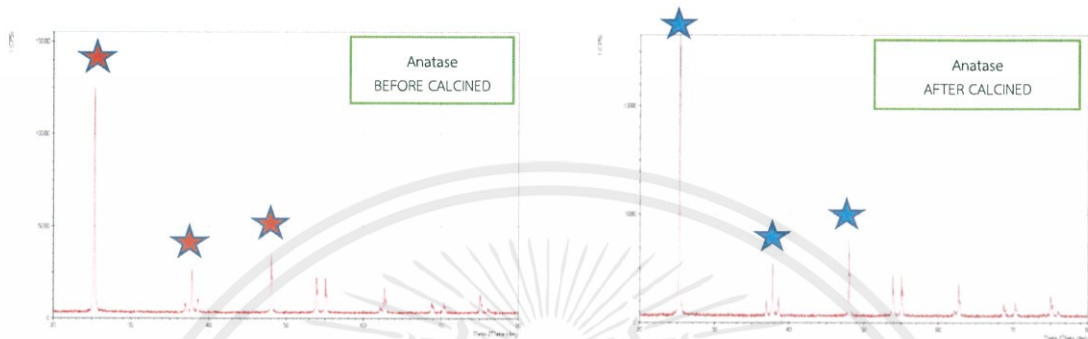
รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของพลาสติก ABS ผสมกับ TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane

การศึกษาพื้นที่ผิวของอนุภาค TiO_2 , TiO_2 (Calcined 500 °C) และ Silane - TiO_2 (Calcined 500 °C) พบว่าอิทธิพลจากการเผา TiO_2 ที่ 500 °C ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) ของ TiO_2 ลดลงจาก 20.17 m^2/g เหลือเพียง 8.54 m^2/g ซึ่งสอดคล้องกับผลการเผาที่ทำให้อนุภาคของ TiO_2 มีขนาดใหญ่ขึ้น และจากผลการทดลองก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า ขนาดของ TiO_2 (Calcined 500 °C) และ Silane - TiO_2 (Calcined 500 °C) มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย พื้นที่ผิวของ Silane - TiO_2 (Calcined 500 °C) มีค่าประมาณ 7.23 m^2/g ผลของพื้นที่ผิวหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก

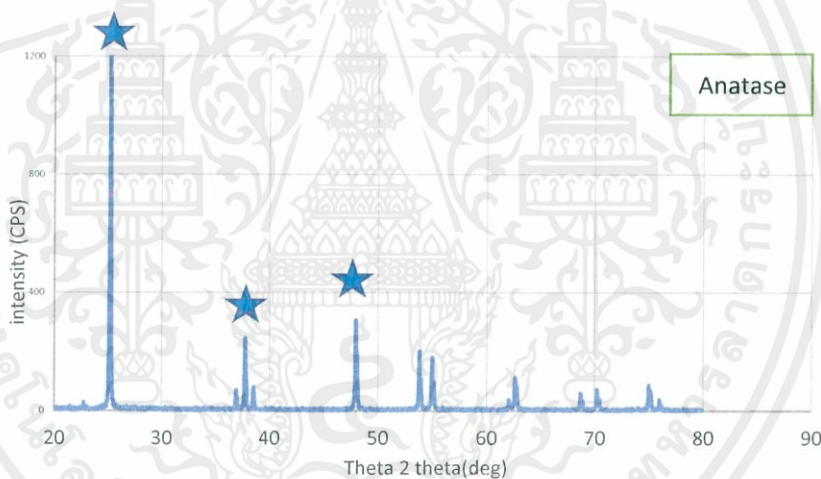
จากการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 โครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 (Calcined 500 °C) ดังรูปที่ 4.6 และ พบว่าการนำ TiO_2 ไปผ่านการเผาที่ 500 °C โครงสร้างผลึกของสารยังคงเป็นเฟส Anatase โดยการดูพิคของกราฟ XRD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังคงขึ้นพีคที่ 2Theta(deg) เหมือนเดิม อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้น กราฟ XRD จะมีค่า Intensity (a.u.) ที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า TiO_2 มีความเป็นผลึกของเฟส Anatase ที่มากขึ้นนั่นเอง และจากโครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ดังรูปที่ 4.7 พบว่า โครงสร้างผลึกยังคงมี พีคที่ 2Theta(deg) เหมือนเดิมเพราะการเติม Silane ไม่ได้ทำให้โครงสร้างผลึกของสารเปลี่ยนไป (ไม่สามารถตรวจให้เห็นพีคของสาร Silicon ได้)



รูปที่ 4.6 โครงสร้างผลึกของ TiO_2 ก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C



รูปที่ 4.7 โครงสร้างผลึกของอนุภาค TiO_2 (Calcined 500 °C) ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกล

การทดสอบความต้านทานแรงดึง สำหรับงานวิจัยนี้เตรียมชิ้นงานจากกระบวนการกดอัดซึ่ง ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลกับพลาสติก ABS ที่ผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 Calcined 500 °C) ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ซึ่งการทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบความสามารถของวัสดุ ทราย/ที่จะทนทานต่อแรงดึงยึดออกจากกันก่อนที่จะเกิดการเสียหาย โดยจะบ่งบอกได้ด้วยค่าความเค้น (Strain), ความเครียด (Stress) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus) ของชิ้นงาน โดยมีผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D683 จำนวน 10 ตัวอย่าง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสม ABS (g) : TiO₂ (g) : Silane (g)

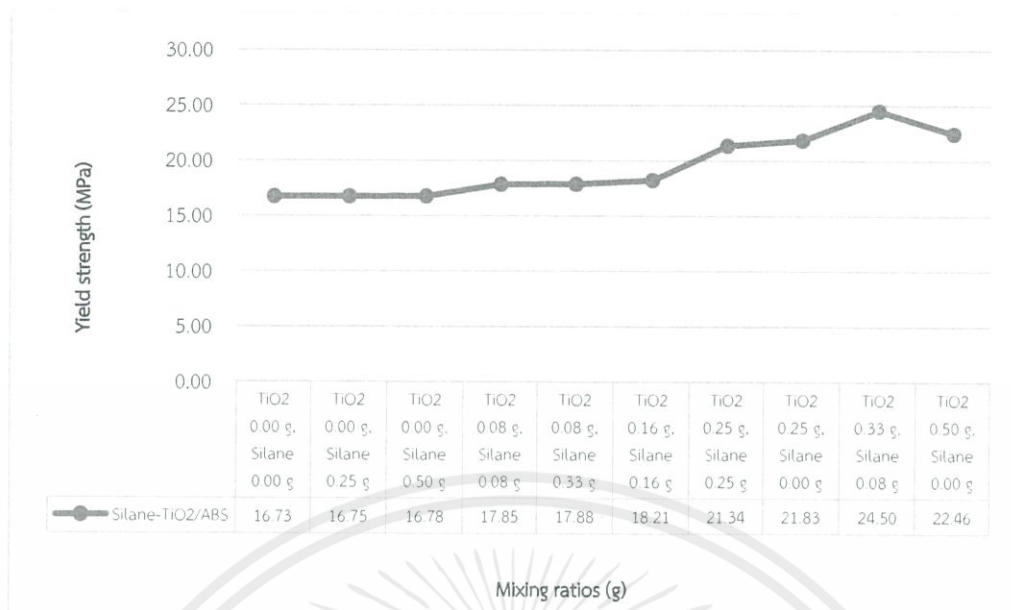
อัตราส่วนผสม	ABS (g)	TiO ₂ (g)	Silane (g)
1	100.00	0.00	0.00
2	99.75	0.00	0.25
3	99.50	0.00	0.50
4	99.84	0.08	0.08
5	99.59	0.08	0.33
6	99.68	0.16	0.16
7	99.50	0.25	0.25
8	99.75	0.25	0.00
9	99.59	0.33	0.08
10	99.50	0.50	0.00

ค่า Yield strength (MPa) แสดงถึงความสามารถต้านทานแรงดึงของวัสดุ และค่า Young's modulus (MPa) แสดงถึงความสามารถต้านทานแรงดัดโค้งของวัสดุ จากการทดสอบพบว่า การเติมปริมาณ TiO₂ ที่มากขึ้นจะทำให้ค่า Yield strength (MPa) และค่า Young's modulus (MPa) ของ Silane-TiO₂/ABS เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ พลาสติก ABS ธรรมดา ดังรูป 4.8 และ 4.9 เพราะ TiO₂ เป็นสารประเภทโลหะ ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานเมื่อนำไปผสมกับพลาสติก ABS จึงทำให้สมบัติทางกลเพิ่มมากขึ้น

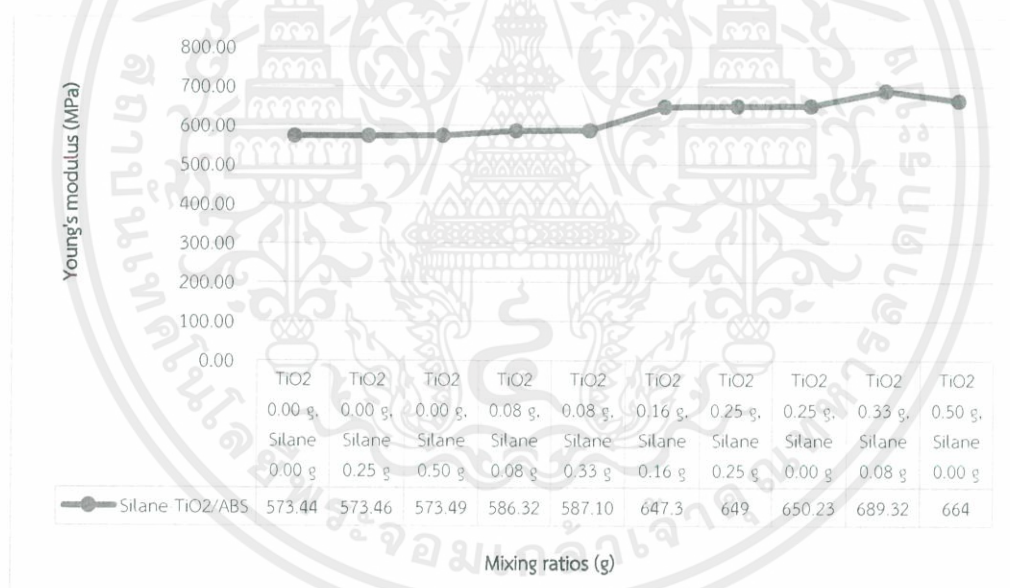
จากผลการทดลองอัตราส่วน ABS 99.59 g : TiO₂ 0.33 g : Silane 0.08 g มีค่าต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นจาก 16.73 MPa และ 573.44 MPa เป็น 24.73 MPa และ 689.32 MPa โดยมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นถึง 46.44 % และ 20.20 % ตามลำดับ

จากปริมาณของ TiO₂ ที่ 0.50 กรัม จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการเติม TiO₂ ที่มากเกินไปจะทำให้การผสม TiO₂ ในเนื้อพลาสติก ABS ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันกับพลาสติกจึงทำให้สมบัติทางกลของทั้งสองค่าลดลง

ผลของการเติม Silane เพื่อเข้าไปปรับปรุงพื้นผิวของ TiO₂ พบว่า จากการวิเคราะห์ปริมาณของ Silane (ปริมาณ TiO₂ เท่ากัน) ค่า Yield strength (MPa) และค่า Young's modulus (MPa) ของ Silane-TiO₂/ABS เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะสารควบคู่ไฮดรอกซิลช่วยให้บริเวณผิวสัมผัสของ TiO₂/ABS เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง และส่งผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุ



รูปที่ 4.8 กราฟค่า Yield strength (MPa) ของ Silane-TiO₂/ABS ที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ



รูปที่ 4.9 กราฟค่า Young's modulus (MPa) ของ Silane-TiO₂/ABS ที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

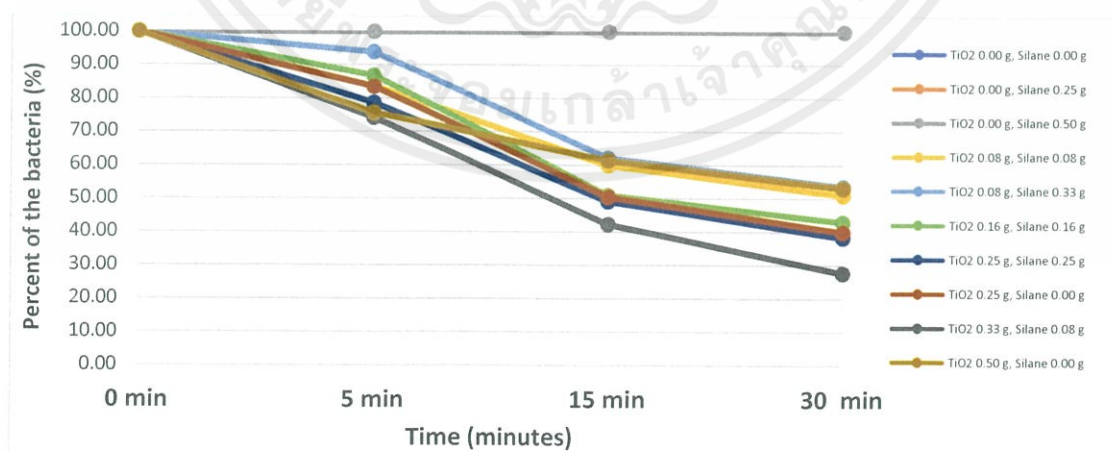
4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Silane-TiO₂/ABS

ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *E.coli* บนพลาสติก Silane-TiO₂/ABS ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกตามมาตรฐาน JIS Z 2801(2010) จำนวน 10 ตัวอย่าง ได้แก่

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสม ABS (g) : TiO₂ (g) : Silane (g)

อัตราส่วนผสม	ABS (g)	TiO ₂ (g)	Silane (g)
1	100.00	0.00	0.00
2	99.75	0.00	0.25
3	99.50	0.00	0.50
4	99.84	0.08	0.08
5	99.59	0.08	0.33
6	99.68	0.16	0.16
7	99.50	0.25	0.25
8	99.75	0.25	0.00
9	99.59	0.33	0.08
10	99.50	0.50	0.00

การทดลองพบว่าทุกตัวอย่างของ Silane-TiO₂/ABS เมื่อระยะเวลาในการฉายแสงยูวีเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* บนชิ้นงานลดลงเรื่อย ๆ



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์แบคทีเรีย *E.coli* ที่ลดลงของชิ้นงาน ตามอัตราส่วนต่าง ๆ กันภายใต้การฉายแสง UV ในระยะเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* บนชิ้นงาน Silane-TiO₂/ABS โดยการนำเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้น 10⁸ Cell/mL หยดลงบนชิ้นงาน Silane-TiO₂/ABS ขนาด 5 × 5 cm ในจานเพาะเชื้อ เคลือบเชื้อให้กระจายทั่วชิ้นงานและนำไปฉายแสงยูวีที่เวลา 0, 5, 15, 30 นาที เพื่อศึกษาผลการกำจัดแบคทีเรีย *E. coli* ของชิ้นงาน Silane-TiO₂/ABS ซึ่งมีอัตราส่วนการผสมของ ABS : TiO₂ : Silane ที่ต่างกันไปตามสูตร Mixture design โดยจากรูปที่ 4.10 พบว่าการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* แปรผันตรงกับเวลาที่เพิ่มมากขึ้นในการฉายแสงบนชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงาน Silane-TiO₂/ABS ที่มีอัตราส่วนของ ABS 99.59 g : TiO₂ 0.33 g : Silane 0.08 g ให้ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุดจากจำนวนเชื้อแบคทีเรียเริ่มที่ 275 โคโลนี เหลือ 76 โคโลนี คิดเป็น 72% ในระยะเวลาการฉายแสง UV 30 นาที

โดยการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของ TiO₂ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกโดยมีกลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ด้วยไฮดรอกซิลเรดิคัลทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของแบคทีเรียทำให้เซลล์เมมเบรนถูกทำลายและตายในที่สุด

การผสมสารคู่ควบ Silane ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่าง TiO₂ และพลาสติก ABS โดยหมู่ OR ของไฮดรอกซิลจะไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของ TiO₂ ทำให้อนุภาคของ TiO₂ เข้ากับพลาสติก ABS ได้ดีขึ้น เมื่อเกิดการกระจายตัวของ TiO₂ ที่เป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้เมื่อเกิดการฉายแสง UV ไปบนพลาสติก ABS จึงไม่เกิดการบดบังหรือการรวมตัวเป็นกระจุกของ TiO₂ จึงเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* บนชิ้นงาน Silane-TiO₂/ABS ดีขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอีโคไล (*E.coli*) ของพลาสติกอะครีโลไนไตรล์ บิวตะไดอินสไตรีน (ABS) ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำการปรับปรุงพื้นผิวของ TiO_2 ด้วยสารควบคู่ไซเลนชื่อ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (3-Amino propyl triethoxysilane) โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมของ ABS : TiO_2 : Silane ตามสูตรที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เพื่อหาอัตราส่วนการผสมที่ดีที่สุด ที่ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกภายใต้การฉายแสง UV ในเวลา 30 นาที บนชิ้นงาน Silane- TiO_2 /ABS รวมถึงศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การศึกษาสัณฐานวิทยาของอนุภาค TiO_2 และการกระจายตัวของ TiO_2 ในเนื้อพลาสติก ABS ก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การศึกษาโครงสร้างผลึกและพื้นที่ผิวของอนุภาค TiO_2 ก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วย Silane ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) และเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) ตามลำดับ อีกทั้งศึกษาสมบัติทางกล ได้แก่ การต้านทานแรงดึง (Yield strength) และการต้านทานแรงดัดโค้ง (Young's modulus) ของชิ้นงาน Silane- TiO_2 /ABS เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก ABS ธรรมดา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่าเมื่อนำอนุภาค TiO_2 ไปเผาที่ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะทำให้ขนาดอนุภาคของ TiO_2 ใหญ่ขึ้นจาก 180 nm เป็น 290 nm ซึ่งผลของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลง แต่อย่างไรก็ตามการเผาจะส่งผลดีต่อความเป็นผลึกที่มากขึ้นของเฟส Anatase และการปรับปรุงพื้นผิวของ TiO_2 (Calcined $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) ด้วย Silane ในเนื้อพลาสติก ABS พบว่า มีการกระจายตัวของ TiO_2 (Calcined $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) ในเนื้อพลาสติกที่ดีขึ้น

จากการศึกษาสมบัติทางกลพบว่าชิ้นงาน Silane- TiO_2 /ABS มีค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดัดโค้งที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก ABS ธรรมดา โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการทดสอบสมบัติทางกลคือ ABS 99.59 g : TiO_2 0.33 g : Silane 0.08 g ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นจาก 16.73 MPa และ 573.44 MPa เป็น 24.73 MPa และ 689.32 MPa โดยมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นถึง 46.44% และ 20.20% ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* บนชิ้นงาน Silane- TiO_2 /ABS ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยดังนี้ พลังงานแสง ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสง UV ที่ค่ามากกว่า Band gap ของ TiO_2 (Anatase) 3.20 eV ทำให้สามารถเกิดการกระตุ้นของอิเล็กตรอนจากเวเลนซ์แบนด์ไปคอนดักชันแบนด์ได้ นอกจากนี้ความเป็นผลึกของ Anatase ที่มากขึ้นจะช่วยลดการกลับปรวมตัวกันใหม่ของโฮล (Recombination) อีกทั้งเมื่อทำการเติมสารควบคู่ไซเลนลงไปจะทำให้ TiO_2 เกิดการกระจายตัวในเนื้อพลาสติก ABS และส่งผลต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่ดีขึ้น เพราะอนุภาคของ TiO_2 จะไม่จับตัวกันเป็นกระจุกในเนื้อพลาสติก ABS จึงไม่เกิดการบดบังของแสงนั่นเอง

จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงาน Silane- TiO_2 /ABS ที่มีอัตราส่วนการผสม ABS 99.59 g : TiO_2 0.33 g : Silane 0.08 g สามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ 275 โคโลนี เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียง 76 โคลิโคน คิดเป็น 72% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่สุดเมื่อเทียบอัตราส่วนอื่น ๆ จากการศึกษาในครั้งนี้นำมาให้ความสัมพันธ์และสภาวะที่เหมาะสมในการผสม Silane-TiO₂/ABS ที่มีสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติทางกลที่ดีขึ้น ทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ที่ต้องการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของพลังงานแสงเพราะ TiO₂ มีแบนด์แกปในช่วงของการใช้แสง UV ซึ่งในด้านการนำไปใช้งานควรปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถเกิดในช่วงของแสงขาวได้ (Visible light)

5.2.2 ควรศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ในเรื่องของปริมาณของสารควบคู่ไซเลนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเพราะสารควบคู่ไซเลนมีด้วยกันหลายชนิดและมีการใช้งานที่แตกต่างกันไปตามวัสดุที่ต้องการเติมแต่ง

5.2.3 การนำชิ้นงานไปสร้างอุปกรณ์ควรคำนึงถึงด้านความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นหลัก

บรรณานุกรม

- [1] อุตสาหกรรมเม็ดพลาสติก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : www.thaifita.com/thaifita/Portals/0/File/vol4Ch_9_plastic.doc. 7 มกราคม 2560.
- [2] กลไกการกำจัดแบคทีเรียด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.chemtrack.org/Board-Detail.asp?TID=0&ID=182>. 7 มกราคม 2560.
- [3] นันทน์ภัส หล่มน้อย,& ธนธรณ์ จันทโรทัย. 2015. Photocatalytic Antibacterial Surface on ABS: Effect of TiO₂ and Calcination.
- [4] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. ความรู้ทั่วไปของพลาสติก.(ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book =28&chap =8&page=chap8.htm>. 7 มกราคม 2560.
- [5] พลาสติกอะครีโลไนไตรล์บิวตะไดอินส์ไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://mymemomy.wordpress.com/2007/11/23/พลาสติก-abs-คืออะไร>. 7 มกราคม 2560.
- [6] ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO₂). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.siamchemi.com>. 24 มกราคม 2560.
- [7] สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling silane) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://docs.google.com/file/d/0BzEBLu>. 25 มกราคม 2560.
- [8] อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีซิลเลน (Amino propyl triethoxysilane, Silane). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.silanecouplingagent.com/th/>. 26 มกราคม 2560.
- [9] ปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Photocatalytic and Antibacterial). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : www.nano.kmitl.ac.th/files/nano.../2557/.../04-วัสดุนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.pdf. 24 มกราคม 2560.
- [10] เชื้อแบคทีเรีย (Bacteria). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0197>. 24 มกราคม 2560.
- [11] ชนิดของแบคทีเรีย. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://haamor.com/th>. 25 มกราคม 2560.
- [12] เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (Escherichia coli, E.coli) . (ออนไลน์).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1125/escherichia-coli-e-coli>. 25 มกราคม 2560.
- [13] วิธีตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1561/standard-plate-count>. 25 มกราคม 2560.
- [14] วัสดุผสม (Composite materials) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-question-answer/169>. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [15] การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th/2014-09.../24-tensile-test-of-metal>. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [16] การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/2576-electron-microscope-1?groupid=426>. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [17] การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/x-ray-analysis-instrument-menu/item/87>. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [18] การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/files/presentation/Technique>. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [19] การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.htm. 4 กุมภาพันธ์ 2560.
- [20] Jingpeng Li., HuiYu., ZaixingWu., JinWang., shengHe., JianJi.,...Chundein. 2016. Room temperature synthesis of crystalline anatase TiO₂ on bamboo timber surface and their short-term antifungal capability under natural weather conditions. *Colloids and Surfaces A : Physicochem*, 2016 ,117-123.
- [21] Giovanni De Filpo., Anna Maria Palermo., Francesca Rachiele., Fiore Pasquale Nicoletta. 2013, Preventing fungal growth in wood by titanium dioxide nanoparticles. *International Biodeterioration & Biodegradation*,2013, 217-222.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [22] ชลดา ชีรการุณวงศ์., 2012. Titanium Dioxide: Antibacterial Material. *KKU Sci. J.*, 2012, 40(4) 1049-1058.
- [23] O.Comakli., T.Yetim., & Colik. 2014. The effect of calcination temperatures on wear properties of TiO₂ coated CP-Ti. *Surface&coating technology*, 2014 , 34-39.
- [24] Chavis Karunmethakul, 2549, Modification of titanium dioxide surfaces to enhance photocatalytic activity. King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok.
- [25] Masami Hashimoto., 2006, Enhancement of mechanical strength of TiO₂/HDPE composites for bone repair with silane-coupling treatment, *Material research bulletin*,515-524.
- [26] Seehararch Larpkern., Sitthisuntorn Supothina., Paradee Chuaybamroong., 2013, Appropriate binder for titanium dioxide coating onto fluorescent lamps for microorganism removal from the air, *KKU res*, 2013, 270-279
- [27] ASTM International ASTM D638-02a Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. USA 2003;46-58.
- [28] Yukichi F. JIS Z 2801 (SIAA/JSA) Antibacterial products-Test for antibacterial activity and efficacy. 2010. Japan.
- [29] Hui Pan., 2013., Preparation and characteristic of TiO₂ nanoparticles surface-modified by Octadecyltrimethoysilane ., *Indian journal engineering*.,561-567.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณอัตราการลดลงของแบคทีเรีย *E.coli* เป็นเปอร์เซ็นต์

เมื่อได้ปริมาณแบคทีเรียที่เวลาต่าง ๆ ให้นำมาคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียเริ่มต้นโดย

สมการ ก-1

$$\% \text{ ของแบคทีเรียที่เวลาใด ๆ } = \frac{\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่เวลาใด ๆ (โคโลนี)}}{\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น (โคโลนี)}} \times 100$$

ตัวอย่างเช่น

วัดปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ 0 นาที (เชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น) ได้เท่ากับ 250 โคโลนี

วัดปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ 5, 15 และ 30 นาที ได้เท่ากับ 200, 123 และ 99 โคโลนี

ดังนั้นเมื่อนำมาคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียเริ่มต้นจะได้ว่า

$$\% \text{ ของแบคทีเรียที่เวลา 5 นาที } = \frac{200 \text{ (โคโลนี)}}{250 \text{ (โคโลนี)}} \times 100 = 80 \%$$

$$\% \text{ ของแบคทีเรียที่เวลา 15 นาที } = \frac{123 \text{ (โคโลนี)}}{250 \text{ (โคโลนี)}} \times 100 = 49 \%$$

$$\% \text{ ของแบคทีเรียที่เวลา 30 นาที } = \frac{99 \text{ (โคโลนี)}}{250 \text{ (โคโลนี)}} \times 100 = 39 \%$$

ดังนั้นหากต้องการทราบว่าอัตราการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย(%) เป็นเท่าใดให้นำ

$100 - (\% \text{ ของแบคทีเรียที่เวลาใด ๆ})$ หมายความว่าเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่างนี้ลดลงถึง

$$(100 - 39) = 61 \% \text{ นั่นเอง}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่า Yield strength ของ Silane-TiO₂/ABS ตามอัตราส่วนต่าง ๆ

Yield strength	
Mixing Ratios	Yield stress (MPa)
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.00 g	16.73
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.25 g	16.75
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.50 g	16.78
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.08 g	17.85
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.33 g	17.88
TiO ₂ 0.16 g, Silane 0.16 g	18.21
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.25 g	21.34
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.00 g	21.83
TiO ₂ 0.33 g, Silane 0.08 g	24.50
TiO ₂ 0.50 g, Silane 0.00 g	22.46

ตารางที่ ข-2 ค่า Young's Modulus ของ Silane-TiO₂/ABS ตามอัตราส่วนต่าง ๆ

Young's Modulus	
Mixing ratios	Young's Modulus (MPa)
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.00 g	573.44
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.25 g	573.46
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.50 g	573.49
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.08 g	586.32
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.33 g	587.10
TiO ₂ 0.16 g, Silane 0.16 g	647.30
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.25 g	649.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Young's Modulus	
Mixing ratios	Young's Modulus (MPa)
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.00 g	650.23
TiO ₂ 0.33 g, Silane 0.08 g	689.32
TiO ₂ 0.50 g, Silane 0.00 g	664.00

ตารางที่ ข-3 ตารางผลสรุปการนับเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ของ Silane-TiO₂/ABS ตามอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนการผสม TiO ₂ และ Silane	จำนวนเชื้อแบคทีเรียที่เวลาต่าง ๆ			
	0 นาที	5 นาที	15 นาที	30 นาที
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.00 g	218	218	218	218
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.25 g	250	250	250	250
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.50 g	256	256	256	256
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.08 g	279	233	167	142
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.33 g	256	240	159	137
TiO ₂ 0.16 g, Silane 0.16 g	287	239	146	123
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.25 g	267	210	128	102
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.00 g	218	195	111	87
TiO ₂ 0.33 g, Silane 0.08 g	275	204	116	76
TiO ₂ 0.50 g, Silane 0.00 g	230	174	141	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ตารางสรุปผลการนับเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ของ Silane-TiO₂/ABS ตามอัตราส่วนต่างๆ กันโดยคิดเป็นเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น 100 เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนการผสม TiO ₂ และ Silane	จำนวนเชื้อแบคทีเรียที่เวลาต่าง ๆ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์)			
	0 นาที	5 นาที	15 นาที	30 นาที
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.00 g	100.00	100.00	100.00	100.00
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.25 g	100.00	100.00	100.00	100.00
TiO ₂ 0.00 g, Silane 0.50 g	100.00	100.00	100.00	100.00
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.08 g	100.00	83.51	59.86	50.90
TiO ₂ 0.08 g, Silane 0.33 g	100.00	93.75	62.11	53.52
TiO ₂ 0.16 g, Silane 0.16 g	100.00	83.28	50.87	42.86
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.25 g	100.00	78.65	47.94	38.20
TiO ₂ 0.25 g, Silane 0.00 g	100.00	89.45	50.92	39.91
TiO ₂ 0.33 g, Silane 0.08 g	100.00	74.18	42.18	27.64
TiO ₂ 0.50 g, Silane 0.00 g	100.00	75.65	61.30	53.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้