

การเตรียมและ characterization ของฟิล์มของพอลิไคลอโรไคน์
ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง
Preparation and Characterization of Polyvinyl chloride film with
Titanium dioxide additive

นายวราชน ขัตติยาภิรักษ์
นางสาววิภาดา ไชยทอง
นางสาววิภาพร ดวงมณีศรี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2535

การสังเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม
พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง
**Preparation and Characterization of Polyvinyl chloride film with
Titanium dioxide additive**

นายวรรณ	ปัญญาสิทธิ์
นางสาววิกานดา	ไตรทอง
นางสาววิภาพร	ดวงมุลตรี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

**Preparation and Characterization of Polyvinyl chloride film with
Titanium dioxide additive**

Mister Worachon Panyasit

Miss Wikarnda Traithong

Miss Wipapon Duongmoontri

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY – ANALYTICAL INSTRUMENTATION
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012**

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

Preparation and Characterization of Polyvinyl chloride film with Titanium dioxide additive

ชื่อนักศึกษา วรชน ปัญญาสิทธิ์

วิกานดา ไตรทอง



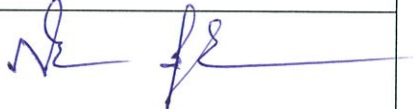
วิภาพร ดวงมุลตรี

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม เครื่องมือวิเคราะห์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สามารถ คงทวีเลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม เครื่องมือวิเคราะห์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง
ชื่อนักศึกษา	นายวรชน ปัญญาสิทธิ์ นางสาววิกานดา ไตรทอง นางสาววิภาพร ดวงมุลตรี
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สามารถ คงทวีเลิศ

บทคัดย่อ

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีแนวโน้มเติบโตมากในการใช้งานเป็นวัสดุประกอบ โดยเฉพาะเมื่อมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มของวัสดุประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง (PVC/TiO₂) โดยการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO₂) ที่ 1.5%, 2.0%, 2.5%, และ 3.0% โดยน้ำหนักตามลำดับ แผ่นฟิล์มของวัสดุประกอบถูกขึ้นรูปโดยวิธีหล่อแผ่นบาง (Tape Casting) การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มจะมีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของ TiO₂ เพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวสูงสุดของฟิล์มวัสดุประกอบพบที่ 275.61 °C โดยมีสัดส่วนของ TiO₂/PVC เป็น 3.0% โดยน้ำหนัก จากนั้นสมบัติทางกายภาพของฟิล์มวัสดุประกอบถูกศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวัดมุมสัมผัสภาพโครงสร้างทางจุลภาคแสดงให้เห็นการกระจายของ TiO₂ ที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มร้อยละของ TiO₂ จาก 1.5 ไปถึง 2.5 และ เริ่มมีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ร้อยละ 3.0 นอกจากนี้ค่ามุมสัมผัสก็เพิ่มขึ้นจาก 82.36° ถึง 89.83° (1.5 ถึง 2.5 %) และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ TiO₂ จากร้อยละ 2.5 ถึง 3.0 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดแสดงให้เห็นว่าร้อยละของค่าการส่องผ่านของแผ่นฟิล์ม PVC/TiO₂ มีค่า 56.4% ถึง 46.5% (1.5 ถึง 3.0% TiO₂) ผลทดสอบสมบัติทางเคมีโดยการทดสอบกรด-เบส ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางด้านน้ำหนัก ผลจากเครื่องทดสอบแรงดึงพบว่ามีการรับน้ำหนักได้สูงสุดที่สูงสุดคือ 9.4391 N ที่ PVC/TiO₂ (3.0 %wt)

คำสำคัญ: พอลิไวนิลคลอไรด์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ วัสดุประกอบ

Title	Preparation and Characterization of Polyvinyl chloride film with Titanium dioxide additive
Students	Mister Worachon Panyasit Miss Wikarnda Traithong Miss Wipapon Duongmoontri
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Industrial Chemistry - Analytical Instrumentation
Academic Year	2012
Advisor	Dr. Samart Kongtaweelert

ABSTRACT

Polyvinyl chloride is promising polymer materials in composite applications, especially with Titanium dioxide (TiO_2) additive. This special project is to synthesize Polyvinyl chloride composite films with TiO_2 additive at 1.5%, 2.0%, 2.5% and 3.0% wt. respectively. The composite films were shaped by a tape casting method. A study of the thermal properties by Thermal Gravimetric Analysis (TGA) showed that the degradation temperatures were increasing while increasing ratio of TiO_2 . The highest degradation temperature of composite film was found at 275.61°C with TiO_2/PVC ratio 3.0%wt. The physical properties of composite films were investigated by Scanning Electron Microscope (SEM) and Contact Angle Meter. The scanning electron micrograph was showed that the increasing surface distribution of TiO_2 powders from 1.5 to 2.5 % and the agglomeration of TiO_2 particles were form at 3.0% wt. Therefore, the contact angle also increasing from 82.36° to 89.83° (1.5 to 2.5 %) and slightly increasing while increased TiO_2 percent from 2.5 to 3.0%. The Fourier transforms infrared spectroscopy (FT-IR) result was showed that PVC/ TiO_2 film was 56.4% to 46.5% (1.5 to 3.0% TiO_2), the chemical testing showed that acid-base testing was not shown significant trend in differentiated weighting. Moreover, the Tensile Testing Machine test showed that Maximum Load 9.4391 N at PVC/ TiO_2 (3.0%wt).

Keywords: PVC; TiO_2 ; composite.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็เพราะความกรุณาจาก ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ให้โอกาสในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ให้ข้อมูล คำแนะนำ และช่วยตรวจทานการดำเนินการโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งสำหรับ ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ และ ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร ที่ช่วยเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบ และอาจารย์ที่เข้ารับฟังการนำเสนอโครงการพิเศษทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและเสนอความคิดเห็นต่างๆ ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และเจ้าหน้าที่ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์งานต่างๆจนโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ทุกคนในครอบครัว ที่ได้อบรมสั่งสอนและเพื่อนๆ เป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาด้านความคิด ในการดำเนินการโครงการพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้การศึกษาดูแลระยะเวลา 4ปี กราบขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

นายวรชน ปัญญาสิทธิ์

นางสาววิกานดา ไตรทอง

นางสาววิภาพร ดวงมุลตรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	3
2.1.1 สมบัติทั่วไปของไทเทเนียมและไทเทเนียมไดออกไซด์	5
2.1.2 คุณลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาแบบ ใช้แสงร่วม	6
2.2 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride : PVC)	8
2.2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ PVC	8
2.2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 การสังเคราะห์ PVC	9
2.2.4 ส่วนประกอบของ PVC compound	10
2.2.5 การเสื่อมสภาพทางความร้อนของ PVC	12
2.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฟิล์ม PVC โดยมี TiO ₂ เป็นสารเติมแต่ง	14
2.3.1 สมบัติไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์	14
2.4 เครื่องมือและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์	16
2.4.1 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)	16
2.4.2 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermo gravimetric analysis, TGA)	17
2.4.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)	17
2.4.4 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)	18
2.4.5 เครื่องวัดมุมสัมผัส(Contact Angle meter)	20
2.4.6 เครื่องทดสอบแรงดึง(Tensile Testing Machine)	22
2.4.7 การทดสอบการแช่กรด-เบส	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
Jae-Hun Yang และคณะ (2006)	23
SungminCho(2001)	23
U. Gesenhues	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

M. Veronelliและคณะ (1999) 24

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ 26

3.2 เครื่องมือ 26

3.3 สารเคมี 26

3.4 วิธีการทดลอง 27

3.4.1 การเตรียม PVC 27

3.4.2 การเตรียม ฟิล์ม PVC/TiO₂ ที่ความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 wt% 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง 29

4.2 การสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

4.2.1 สมบัติทางความร้อน 30

4.2.1.1 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน(TGA) 30

4.2.2 สมบัติทางกายภาพ 36

4.2.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) 36

4.2.3 สมบัติเชิงกล 39

4.2.3.1 เครื่องวัดมุมสัมผัส(Contact Angle) 39

4.2.3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) 41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.4 สมบัติทางเอกลักษณะ	45
4.2.4.1 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FT-IR)	45
4.2.4.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)	46
4.2.5 สมบัติทางเคมี	47
4.2.5.1 การทดสอบกรด-เบส	47

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก.	55
ภาคผนวก ข.	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานไทเทเนียมไดออกไซด์	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์: (a) อนาเทส, (b) รูไทล์, และ (c) บรูคไคท์	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง	7
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์	8
รูปที่ 2.5 การเตรียมคลอรีนจากการทำอิเล็กโทรไลต์ (electrolyze) โซเดียมคลอไรด์	10
รูปที่ 2.6 การเตรียมไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์จากเอทิลีนและคลอรีน	10
รูปที่ 2.7 การเตรียมไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์จากเอทิลีนและกรดไฮโดรคลอริก	10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างและค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมในโมเลกุลของ PVC	12
รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งที่มีการแตกตัวออกของพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับ คลอรีนใน โมเลกุลของPVC	12
รูปที่ 2.10 กลไกการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์แบบอนุมูลอิสระ	13
รูปที่ 2.11 กลไกการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์แบบคู่ประจุ	14
รูปที่ 2.12 การจัดโครงสร้างการจับยึดบนพื้นผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ในขณะ มีความเป็นไฮโดรฟิลิก (Fujishima and Zhang, 2005)	14
รูปที่ 2.13 การจัดโครงสร้างการจับยึดบนพื้นผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ในขณะ มีความเป็นไฮโดรฟิลิก (Fujishima and Zhang, 2005)	15

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของผลสเปกตรัม FT-IR ของ PVC	16
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA	17
รูปที่ 2.16 Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	18
รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเครื่อง SEM	19
รูปที่ 2.18 SEM micrographs of pure and Doped TiO ₂ calcined at 450° C SEM of pure TiO ₂	20
รูปที่ 2.19 เมื่อบ่มสัมผัสน้ำ 0 องศาให้พื้นผิวเปียก เมื่อบ่มสัมผัสน้ำ 180 องศา หยคน้ำจะไม่เปียกพื้นผิว	20
รูปที่ 2.20 การวัดค่ามุมสัมผัส(contact angle) ของของเหลวบนพื้นผิว	21
รูปที่ 2.21 เครื่อง Universal Testing Machine	22
รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการทดลอง	28
รูปที่ 4.1 แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์และแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง	29
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์	30
รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสลายตัวของ PVC เมื่อได้รับความร้อน	31

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป จากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5 %wt	31
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป จากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.0 %wt	32
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป จากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.5%wt	32
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป จากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 3.0%wt	33
รูปที่ 4.8 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์	36
รูปที่ 4.9 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1.5wt%	36
รูปที่ 4.10 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 2.0wt%	37

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 2.5%wt และ 3.0%wt	38
รูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดมุมสัมผัสของ PVC และ PVC/TiO ₂ ที่สัดส่วนต่างๆ	39
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง (Load, N) กับเวลา (Time, sec) PVC และ PVC/TiO ₂ ที่สัดส่วนต่างๆ	42
รูปที่ 4.14 กราฟแสดง FT-IR spectra ของ PVC และ TiO ₂ /PVC	45
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นต่างๆ	46
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแช่กรด-เบส	48
รูปที่ 4.17 การทำปฏิกิริยาของ โซเดียมไฮดรอกไซด์กับไทเทเนียมไดออกไซด์	48

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบของอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว และร้อยละน้ำหนักของสารที่สูญเสียไป	34
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวัดมุมสัมผัสของ PVC และ PVC/TiO ₂ ที่สัดส่วนต่างๆ	40
ตารางที่ 4.3 แสดงผล Tensile Testing ของ PVC และ PVC/TiO ₂ ที่สัดส่วนต่างๆ	41
ตารางที่ 4.4 แสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันบางชนิด	45
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนทำการทดสอบ และหลังทำการทดสอบด้วยเบส	47
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนทำการทดสอบ และหลังทำการทดสอบด้วยกรด	47
ตารางที่ ก-1 สมบัติทางกายภาพของไทเทเนียม	55
ตารางที่ ก-2 สมบัติทางกายภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์	56
ตารางที่ ก-3 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของอนาเทส	57
ตารางที่ ก-4 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของรูไทล์	57
ตารางที่ ก-5 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของบรูคไคท์	58
ตารางที่ ข-1 แสดงมวลของ TiO ₂ และมวลของ PVC ที่ความเข้มข้นต่างๆ	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลาสติกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีสมบัติที่ดี เช่น มีน้ำหนักเบา ขึ้นรูปได้ง่าย ราคาถูกและยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพให้แตกต่างด้วยการเติมสารบางชนิดทำให้ได้สารที่มีสมบัติที่ต้องการ

พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride , PVC) จัดเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้แพร่หลายเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ไม่ติดไฟง่าย ทนทานและยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย กล่าวคือสามารถผลิตวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีความอ่อนตัวหรือมีความแข็งแรงให้เหมาะสมแก่การใช้งาน อีกทั้งยังสามารถผลิตให้มีความใสหรือทึบตามต้องการได้อีกด้วย แต่พอลิไวนิลคลอไรด์ก็ยังมีสมบัติบางอย่างไม่ดีเท่าที่ควร เช่น อุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อน ดังนั้นจึงได้หาตัวเติมแต่งเพื่อให้สมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ถูกเติมจะเป็นสารประเภท สเตบิลไลเซอร์ (Stabilizer) จะช่วยป้องกันการเสื่อมสลายของวัสดุพอลิเมอร์เมื่ออยู่ภายใต้ความร้อน รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และอากาศ การเสื่อมเหล่านี้สังเกตจากการเปลี่ยนสี สมบัติทางเชิงกลลดลง การเกิดรอยร้าวที่ผิววัสดุเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างของสาร สเตบิลไลเซอร์ ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อให้สีเหลือง สีนํ้าตาลและสีแดง หรือสารคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) เป็นตัวดูดซับการแผ่รังสีของอัลตราไวโอเล็ตและมีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูงทำให้สมบัติของวัสดุทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น [1]

ปัจจุบันได้มีการนำสารสังเคราะห์จาก ไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการยับยั้งและฆ่าเชื้อโรคในน้ำและอากาศ เนื่องจากสารสังเคราะห์จากไทเทเนียมไดออกไซด์นี้มีสมบัติทางด้านโฟโตแคตะลิสต์ที่ดี โดยกลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตะลิสติก เริ่มจากเมื่อมีแสงมากระทบไทเทเนียมไดออกไซด์ อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจาก Valence band ไป Conduction band ส่งผลให้โมเลกุลของออกซิเจนมีพลังงานเพิ่มขึ้น และเราเรียกออกซิเจนตัวนี้ว่า Super oxygen กระบวนการที่ถูกกระตุ้นนี้เกิดขึ้นหลังจากเกิดช่องว่าง (Vacancy) เมื่อประจุบวกหลุดออกไปหรือที่เรียกว่า Hole (h+) และ Hole (h+) นี้ทำให้เกิดการ Oxidizing อย่างรุนแรงหรือทำให้เกิด Hydroxyl radical จากนั้น Super

oxygen กับ Hydroxyl radical นี้จะไปสลายสารอินทรีย์ต่างๆแตกตัวออกกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ จึงสามารถใช้ในการฆ่าเชื้อโรค เช่นเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อราได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ ให้มีความสามารถในการใช้งานได้โดยการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารเติมแต่ง เพื่อให้ได้วัสดุประกอบที่ป้องกันการสลายตัวทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์โดยจะมุ่งเน้นศึกษาถึงสัดส่วนของ PVC/ TiO_2

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
2. เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
4. เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการเตรียมฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
2. เตรียมฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
4. สรุปสถานะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1. เข้าใจถึงหลักการและวิธีการเตรียมฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
2. ทราบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
3. ทราบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2
4. ทราบสัดส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มวัสดุประกอบ PVC/ TiO_2

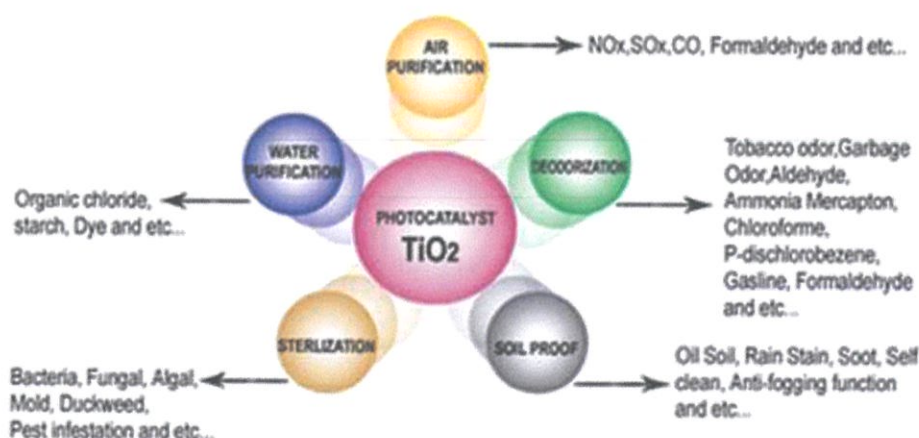
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไททาเนียมหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน ไทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี มีความเป็นพิษต่ำ ราคาไม่แพงมากและสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์ที่อีกหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไทเทเนียมไดออกไซด์ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photocatalysis) เป็นต้น

เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าดัชนีการหักเหของแสงที่สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน (Silicon solar cell) และในอุปกรณ์ทางการมองเห็นชนิดแผ่นบาง (Thin film optical device) หลายชนิด ไทเทเนียมไดออกไซด์ยังถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ (Gas sensor) เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามองค์ประกอบของก๊าซที่สภาวะบรรยากาศ เช่น สามารถใช้ตรวจสอบก๊าซออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทน เป็นต้น นอกจากนี้ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถเข้ากับร่างกายมนุษย์ได้ จึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทางชีวภาพ เช่น กระดูกเทียม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานไทเทเนียมไดออกไซด์

(ที่มา: <http://www.tekon.com/green/Photocatalyst.html>)

นอกจากไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพสูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมแล้วยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่แสงร่วม) ได้คืออีกด้วย โดยสามารถใช้เป็นทั้งตัวเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยา (Promoter) และตัวรองรับ (Support)

ซึ่งกระบวนการที่ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา เช่น การกำจัดสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) การกำจัดสารประกอบสารอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น ไดออกซิน สารประกอบคลอรีน การผลิตไฮโดรเจนด้วยปฏิกิริยา Gas shift reaction กระบวนการสังเคราะห์สาร Fischer-Tropsch การกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ (H_2S หรือ SO_2) เป็นต้น

ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกึ่งตัวนำซึ่งมีแถบช่องว่างพลังงาน 3.2 eV โดยแถบช่องว่างนี้จะขยายกว้างมากขึ้นเมื่อมีอนุภาคแสง (photons) ตกกระทบ ซึ่งจะส่งผลให้อิเล็กตรอนย้ายตำแหน่งจากแถบวาเลนซ์ (Valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนี้

ไฮดรอกซิลประจุลบ + ไฮโดรเจนประจุบวก \rightarrow ไฮดรอกซิล ออกซิเจน

ไฮดรอกซิล ออกซิเจน + อิเล็กตรอนประจุลบ \rightarrow ออกซิเจนประจุลบ

เมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ตกกระทบไปยังไทเทเนียมไดออกไซด์จะส่งผลให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล และซูเปอร์ออกไซด์ประจุลบซึ่งมีอนุภาคในการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ (VOCs) ที่มาเกาะติดอยู่บนผิวหน้าของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalyst) ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อีกทั้งยังช่วยกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา และเชื้อโรคชนิดอื่นๆ ได้อีกเช่นกัน เทคโนโลยี PCO (Photocatalytic Oxidation) จะช่วยประหยัดพลังงาน ยืดอายุการใช้งาน และลดการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องฟอกอากาศ [2]

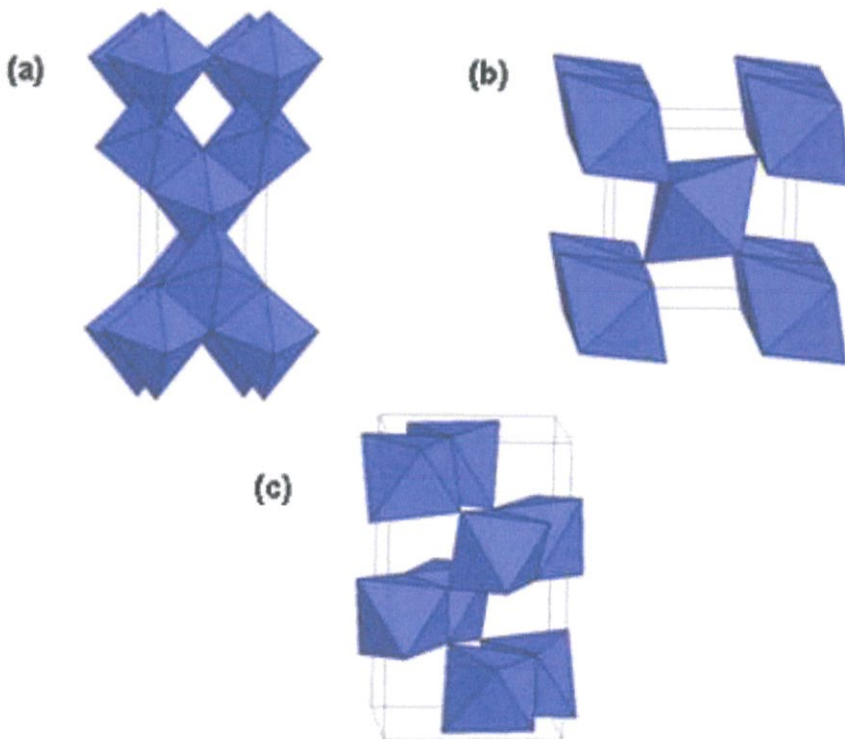
ไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ถูกพบมานานหลายทศวรรษ เป็นสารที่มีประโยชน์หลากหลาย เช่น ใช้ในยาสีฟันและสีทาอาคาร ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่ปลอดภัยและถูกใช้ในเครื่องสำอางค์ ลิปสติก ครีมกันแดด แป้ง สบู่ หรือใช้ในผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารและผสมในยาสูบ

2.1.1 สมบัติทั่วไปของไทเทเนียมและไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พบตามธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างผลึก 3 ชนิดหลักคือ

1. อนาเทส (Anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal)
2. รูไทล์ (Rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal)
3. บรูคไคท์ (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic)

โครงสร้างผลึกอนาเทส รูไทล์และบรูคไคท์ สามารถแสดงได้ในรูปของ TiO_2 ที่เป็นปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมสองอันประกบกันหรือออกตะฮีดรอล (Octahedral) โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากการบิดตัวของแต่ละออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกันและจากรูปแบบการเรียงตัวของออกตะฮีดรอล โดยโครงสร้างผลึกอนาเทสเกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอล ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลและโครงสร้างผลึกบรูคไคท์เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล [3]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์: (a) อนาเทส, (b) รูไทล์, และ (c) บรูคไคท์

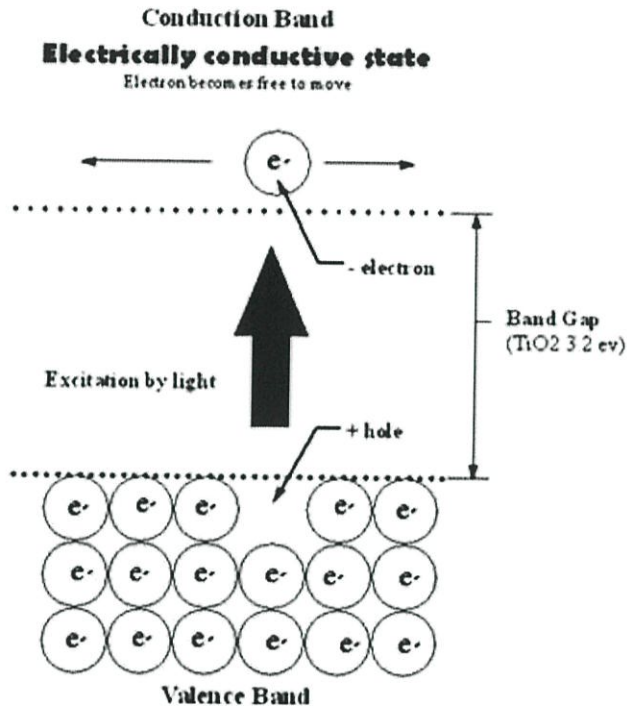
ถึงแม้ว่าโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์มีอยู่หลายชนิดตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่อนาเทสและรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึกที่พบเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอนาเทสสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์ได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส นับจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากอนาเทสเป็นรูไทล์เป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่จะกำหนดประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่แสงร่วม) หรือเซรามิกที่ใช้ทำเยื่อแผ่นบาง (Membrane) โดยนอกจากอุณหภูมิแล้วยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกดังกล่าวได้แก่ ความดัน ปริมาณของผลึก ความไม่สมบูรณ์ของผลึกและขนาดของผลึก

ในการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม โครงสร้างผลึกทั้งอนาเทสและรูไทล์เป็นที่นิยมนำมาศึกษากันโดยทั่วไป สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมโดยปกติแล้ว โครงสร้างผลึกอนาเทสให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ แต่อย่างไรก็ตามในบางปฏิกิริยาโครงสร้างผลึกรูไทล์หรือโครงสร้างผลึกผสมระหว่างอนาเทสและรูไทล์ (เช่น อนาเทส 70-75% และรูไทล์ 30-25%) ถูกรายงานว่าให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอนาเทส โดยทั้งนี้ทั้งนั้นมีตัวแปรหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้แก่ พื้นที่ผิวการกระจายตัวของรูพรุน ขนาดของอนุภาคผลึก และที่สำคัญมากคือ วิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์

2.1.2 ลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม

เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์จึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อมๆกัน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าพลังงานแบนด์แกป (Band gap energy) ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพลังงานแบนด์แกปของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับ โดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุดของคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) จะเป็นระดับของศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทาง

กลับกันระดับของพลังงานที่สูงที่สุดของวาเลนซ์แบนด์ (Valence band) จะเป็นระดับศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโฮล (Hole) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปแล้ว



รูปที่ 2.3 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง Photocatalysis มาจากส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ Photo และ Catalysis โดยที่ Catalysis หมายถึงกระบวนการที่สารมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนแปลงอัตราของปฏิกิริยาเคมีโดยที่ตัวเองไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือสูญหายไปภายหลัง สารที่ทำหน้าที่ Catalysis เรียกว่า Catalyst ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการทำปฏิกิริยาด้วยการลดพลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

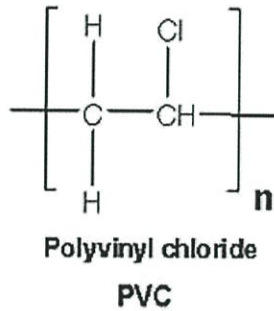
Photocatalysis คือการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้แสงในการกระตุ้นสาร Catalyst ให้เปลี่ยนแปลงอัตราของปฏิกิริยาเคมีโดยที่ตัวสารเร่งเองไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเกิดปฏิกิริยาทางเคมีนั้น และ Photocatalyst ก็คือสารตัวเร่งนั่นเอง

คลอโรฟิลล์ Chlorophyll II เป็นตัวอย่างหนึ่งของ Photocatalyst ในธรรมชาติ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง Chlorophyll II และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ คือ Chlorophyll II จะอาศัยแสงในการเปลี่ยนน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นออกซิเจนและกลูโคส แต่ในทางตรงกันข้ามไทเทเนียมไดออกไซด์จะอาศัยแสงในการสลายสารอินทรีย์ใดๆให้กลายเป็น น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

2.2 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride : PVC) [5]

2.2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์

พอลิไวนิลคลอไรด์จัดเป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน เพราะไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดมีขั้ว ไม่ติดไฟและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงซึ่งโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยคือ



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์

จากโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของพอลิไวนิลคลอไรด์จะเห็นว่ามิอะตอมใหญ่ของคลอรีนต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอมในโครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์จึงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์มีความสามารถในการ pack ตัวเข้าหากันเพื่อเกิดผลึกได้น้อย (steric hindrance effect) พอลิไวนิลคลอไรด์จึงเป็น semi-crystalline polymer ที่มีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 5-10% เท่านั้น ซึ่งช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิไวนิลคลอไรด์จะอยู่ที่ประมาณ 212°C นอกจากนี้ อะตอมของคลอรีนโมเลกุลยังก่อให้เกิดสภาพขั้ว (dipole moment) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์จึงส่งผลให้พอลิไวนิลคลอไรด์มีอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ประมาณ 87°C ซึ่งค่อนข้างสูงและมีความแข็งของโมเลกุลมาก ดังนั้นจึงเป็นการยากในการนำเอาพอลิไวนิลคลอไรด์เพียงอย่างเดียวไปผ่านกระบวนการผลิต ดังนั้นการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปเพื่อช่วยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์จึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การเติมสารหล่อลื่น (lubricant) จะส่งผลให้พอลิไวนิลคลอไรด์สามารถไหลได้ง่ายขึ้น สารทำให้อ่อนตัว (plasticizer) ช่วยเปลี่ยนสมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์จากแข็งเปราะเป็นอ่อน สารทำให้เสถียรต่อความร้อน (heat stabilizer) เพื่อลดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ในระหว่างกระบวนการผลิต ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ คือ ท่อน้ำ ผนังเทียม ฉนวนหุ้มสายไฟ ขวด รองเท้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ และอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

2.2.2 สมบัติทางฟิสิกส์ [6]

- ความหนาแน่น 1380 kg/m³
- Young's modulus (E) 2900-3300 MPa
- Tensile strength (σ_t) 50-80 MPa
- Elongation @ break 20-40%
- Notch test 2-5 kJ/m²
- Glass temperature 87 °C
- Melting point 212 °C
- Vicat B1 85 °C
- Heat transfer coefficient (λ) 0.16 W/(m•K)
- Effective heat of combustion 17.95 MJ/kg
- Linear expansion coefficient (α) 8-10-5/K
- Specific heat (c) 0.9 kJ/(kg•K)
- Water absorption (ASTM) 0.04-0.4

2.2.3 การสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์

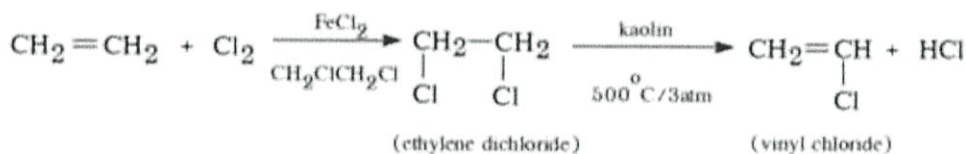
พอลิไวนิลคลอไรด์สามารถสังเคราะห์ได้โดยอาศัยกลไกแบบฟรีเรดิคัล (Free radical) โดยเทคนิคที่ใช้เตรียมมีหลายวิธี เช่นแบบบัลค์ (bulk) แบบอิมัลชัน (emulsion) และแบบแขวนลอย (suspension polymerisation) ซึ่งการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลให้พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพ (physical properties) และความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน โดยเทคนิคที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม ได้แก่ การพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย เนื่องจากสามารถนำพอลิไวนิลคลอไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พอลิไวนิลคลอไรด์ทั้งแบบอ่อน (flexible) และแข็ง (rigid) ได้

สำหรับการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์ในอุตสาหกรรมนั้นจะเริ่มจากการนำสารตั้งต้นคือน้ำมันดิบ หรือก๊าซธรรมชาติและโซเดียมคลอไรด์ มาเตรียมโมโนเมอร์ (monomer) สำหรับสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งก็คือ ไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ (vinyl chloride monomer; VCM) ก่อน จากนั้นจึงนำเอา VCM ที่เตรียมได้มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerisation) เพื่อผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ออกมามีรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงขั้นตอนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรมจะเห็นว่า น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติจะถูกนำมาเตรียมเป็นส่วนของสารไฮโดรคาร์บอน ที่จะนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนจนเกิดการสลายตัว (cracking) เป็นเอทิลีน (ethylene ; C₂H₄) ซึ่งจะถูกนำมาทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เตรียมจากการทำอิเล็กโทรไลต์ (electrolyze) โซเดียมคลอไรด์ (รูปที่ 2.5) เพื่อเตรียม VCM โดยนำเอทิลีนมาทำปฏิกิริยากับคลอรีน

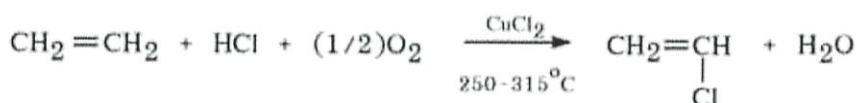
แล้วทำปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอรีเนชัน (Dehydrochlorination) ตามรูปที่ 2.6 ในขั้นนี้คลอรีน ถูกใช้ไปเพียงครึ่งโมลเท่านั้น เหลืออีกครึ่งโมลซึ่งออกมาในรูปของกรดไฮโดรคลอริก ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความเปลี่ยนแปลงคลอรีน จึงนำกรดไฮโดรคลอริก ไปทำปฏิกิริยาออกซิคลอรีเนชัน (oxychlorination) ดังรูปที่ 2.7 เพื่อเตรียม VCM ได้อีกทางหนึ่ง



รูปที่ 2.5 การเตรียมคลอรีนจากการทำอิเล็กโทรไลต์ (electrolyze) โซเดียมคลอไรด์



รูปที่ 2.6 การเตรียมไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์จากเอทีลินและคลอรีน



รูปที่ 2.7 การเตรียมไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์จากเอทีลินและกรดไฮโดรคลอริก

2.2.4 ส่วนประกอบของพอลิไวนิลคลอไรด์

พอลิไวนิลคลอไรด์โดยทั่วไปจะถูกนำมาผสมกับสารเติมแต่งบางชนิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของพอลิไวนิลคลอไรด์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ตัวอย่างของสารเติมแต่งที่ใช้ในพอลิไวนิลคลอไรด์มีหน้าที่ คือ

Plasticizers เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความอ่อน (flexible) ให้กับพอลิเมอร์ โดยการเข้าไปลดอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน จึงสามารถช่วยเปลี่ยนสมบัติของพอลิเมอร์จากแข็งเปราะเป็นอ่อน มีความยืดหยุ่นและเหนียว สำหรับ plasticizers ที่ดีนั้นต้องสามารถผสมเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้ดี อีกทั้งยังต้องอยู่ในพอลิเมอร์ ได้นานไม่ซึมระเหยออกไปได้ง่าย โดยสามารถแบ่ง plasticizers ออกได้เป็น 2 ชนิดคือ *แบบภายใน* (เข้าไปเกิดพันธะกับพอลิเมอร์แล้วทำให้โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป เช่นการทำให้ความสมมาตรของโมเลกุลพอลิไวนิลคลอไรด์เสียไปด้วยการเติมไวนิลอะซิเตตให้เข้าไปเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน) และ *แบบภายนอก* (ผสมหรือละลายอยู่ในพอลิเมอร์ แล้วช่วยลดแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์) ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น plasticizer ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น phthalates, adipates และ polymeric plasticisers

Heat stabilizers เป็นสารที่ช่วยป้องกันไม่ให้พอลิเมอร์ เกิดการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน ในระหว่างการผลิต และยังช่วยให้อายุของผลิตภัณฑ์ที่ทำได้อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยกลไกการทำงานของ heat stabilizers ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น heat stabilizer ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น lead compounds เกลือของ Cd, Ba, และ Organotin compounds

Lubricant เป็นสารหล่อลื่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ สารหล่อลื่นแบบภายนอก จะทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์กับผิวโลหะของเครื่องที่กำลังใช้ผลิต (friction reducing effect) โดยการเกิดเป็นฟิล์มคั่นเอาไว้ ซึ่งช่วยลดการติดของพอลิเมอร์กับเครื่องมือ และ ป้องกันการเสีयरูปของพอลิเมอร์หลอม (prevention of melt fraction) เนื่องจากฟิล์มของสารหล่อลื่น มีผลทำให้อัตราการเลื่อนผ่านผนังโลหะของพอลิเมอร์ (wall slippage) มีเพิ่มมากขึ้น และต้านการ เกาะติดของพอลิเมอร์ที่ผนัง (stick-slip effect) และ สารหล่อลื่นภายใน เป็นสารที่สามารถผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ ซึ่งจะทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ลดลง (viscosity reduction) ส่งผลให้พอลิเมอร์ มีความสามารถในการไหลดีขึ้น นอกจากนี้ยังลดแรงเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์ลงด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานในระหว่างการได้รับแรงเฉือนมีลดลง (reduction of heat dissipation) แต่สารหล่อลื่นภายในมีผลให้อุณหภูมิการเสีयरูปด้วยความร้อนของพอลิเมอร์ (heat distortion temperature) ลดต่ำลงด้วย

ดังนั้นการเติมสารหล่อลื่นภายในจึงควรเติมในปริมาณน้อยๆ (โดยทั่วไปประมาณ 0.3-3%) ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น external lubricant เช่น paraffin wax และ polyethylene wax สารที่นิยมนำมาใช้เป็น internal lubricant ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น fatty acid esters และ glycerol esters สำหรับตัวอย่างสารที่เป็นได้ทั้ง external lubricant และ internal lubricant เช่น fatty acid salt (e.g. calcium stearate)

Filler มักเป็นสารที่มีราคาถูก เติมเข้าไปเพื่อเพิ่มปริมาตรของผลิตภัณฑ์ เป็นการลดต้นทุน ในการผลิต ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น filler ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น แคลเซียม คาร์บอเนต และ China clay

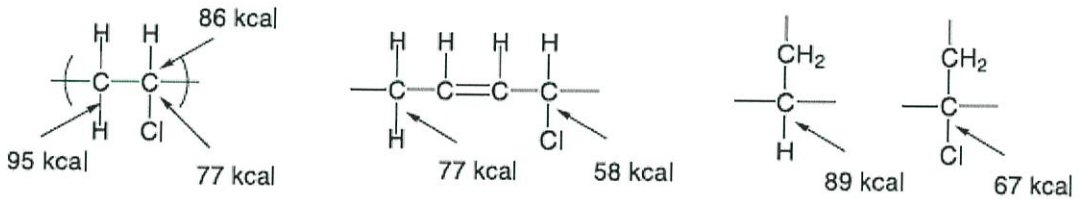
Pigments เป็นสีอินทรีย์หรือสีอนินทรีย์ที่ผสมเข้ากับพอลิไวนิลคลอไรด์ให้ออกมาเป็นสี สวยงาม แต่ทำให้ขุ่น และทนต่อสภาวะอากาศได้ดีขึ้น ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น pigments ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์

Processing aids เป็นสารช่วยขึ้นรูปที่มักใช้ในพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็งเป็นหลัก มันทำให้กระบวนการขึ้นรูปสามารถทำได้ง่ายขึ้น โดยเปลี่ยนพฤติกรรมไหลของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ อุณหภูมิขึ้นรูปประมาณ 190°C จากการไหลแบบ plug flow ซึ่งสามารถเลื่อนผ่านผนัง (wall-slipping) ได้ง่าย เป็น shear flow ซึ่งเกิดจากการเข้าไปเพิ่มสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสารช่วย ขึ้นรูป ทำให้พอลิเมอร์ได้รับแรงเฉือนและเกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น processing aids ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น ABS materials

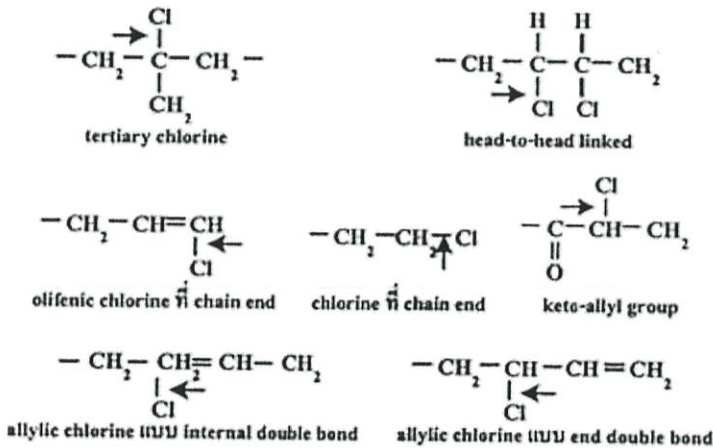
Impact modifier เป็นสารช่วยปรับปรุงความสามารถในการรับแรงกระแทกให้กับ พอลิเมอร์ ทำให้พอลิ-เมอร์มีความเหนียวมากขึ้น ด้วยการช่วยดูดซับพลังงานที่เกิดจากการกระแทก เอาไว้ ตัวอย่างของสารที่นิยมนำมาใช้เป็น impact modifier ในพอลิไวนิลคลอไรด์ เช่น chlorinated polyethylene (CPE) และ methyl methacrylate/ butadiene/styrene copolymer (MBS)

2.2.5 การเสื่อมสภาพทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ (Thermal Degradation of PVC)

กลไกสำคัญในการเกิดการสลายตัวทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ คือ การเกิดปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ (Dehydrochlorination) โดยเมื่อ PVC ไม่มีสารเพิ่มเสถียรภาพและได้รับความร้อนสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้มีการแตกตัวแบบขจัดโซ่ด้านข้าง โดยจะเกิดกรดไฮโดรคลอริกขึ้น กรดไฮโดรคลอริกมีผลทำให้ปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอรีนชันเกิดเร็วขึ้น คือ มันทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอัตโนมัติ (Auto-catalyst) และเรียกกระบวนการแตกตัวดังกล่าวว่า เทอมอลดีไฮโดรคลอรีนชัน (Thermal dehydrochlorination) ซึ่งการแตกตัวของพันธะที่จะเกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของพันธะ แสดงในรูปที่ 2.8 และจะสามารถเกิดขึ้นได้หลายตำแหน่งซึ่งเป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับคลอรีน สำหรับการหลุดของอะตอมคลอรีนจะเกิดขึ้นง่ายที่บริเวณที่อยู่ใกล้ตำแหน่งพันธะคู่ที่เรียกว่า “Allylic chlorine และ Tertiary chlorine” แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมในโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์



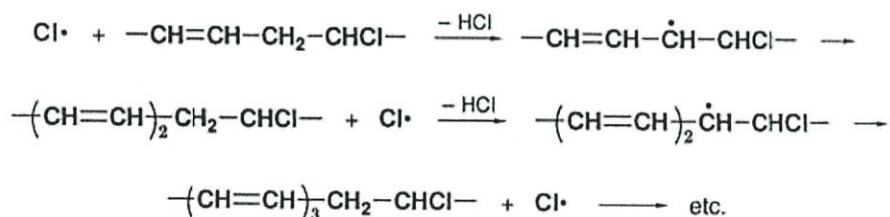
รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งที่มีการแตกตัวของพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับคลอรีนในโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์

ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนอะตอมของคลอรีนจะแตกตัวออกไปก่อน จากนั้นจะไปดึงอะตอมของไฮโดรเจนข้างเคียงให้หลุดออกมากลายเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ และจะมีการเกิดเป็นพันธะคู่หลายๆ ตำแหน่งขึ้นในสายโซ่ของพอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งลำดับของพันธะคู่จะยาวขึ้นเรื่อยๆ เรียกกลไกที่เกิดขึ้นนี้เป็นแบบ zipper ในที่สุดสายโซ่จะกลายเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง (Polyconjugate) หรือที่เรียกว่าพอลิอิน (Polyene) การเกิดพันธะคู่ขึ้นนี้ทำให้พอลิเมอร์เกิด

การเปลี่ยนสี (Discoloration) เป็นสีเข้มขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลไหม้และสีดำ เนื่องจากโครงสร้างลักษณะดังกล่าวจะมีหมู่ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวีและแสงในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ เรียกว่า โคร-โมฟอร์ (Chromophore) นอกจากนี้สมบัติทางกลของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของพอลิไวนิลคลอไรด์จะลดลงแต่ความสามารถในการนำไฟฟ้าจะมากขึ้นเนื่องจากโครงสร้างเคมีแบบพอลิอินจะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ออกจากสายโซ่พอลิไวนิลคลอไรด์ทำให้เกิดเป็นพอลิอินซินั้นมีการนำเสนอไว้หลายรูปแบบแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ การเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical mechanism) และการเกิดปฏิกิริยาแบบคู่ประจุ (Ion pair mechanism) โดยแต่ละปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้

1. กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical mechanism)

ปฏิกิริยาเริ่มต้น โดยอาศัยอนุมูลอิสระจากตัวกระตุ้นหรือจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการเริ่มต้น จากนั้นอนุมูลอิสระนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อยู่ในสายโซ่หลักให้หลุดออกมา ทำให้มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในสายโซ่ ส่งผลต่อให้อะตอมของคลอรีนที่อยู่ข้างเคียงถูกขจัดให้หลุดออกมาด้วย ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะคู่ และสำหรับคลอรีนที่หลุดออกจะกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่อไป แสดงในรูปที่ 2.10 จากนั้นตัวกลางที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาขั้นแผ่ขยาย (Propagation) ต่อโดยอนุมูลอิสระของคลอรีนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนแรก จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อยู่ตำแหน่งติดกันเกิดเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งการขจัดอะตอมของไฮโดรเจนนี้ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นในสายโซ่อีกครั้ง และส่งผลให้อะตอมของคลอรีนที่อยู่ติดกันถูกขจัดให้หลุดออกมาเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาต่อได้อีก ส่วนสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดเป็นพันธะคู่เกิดขึ้นตามลำดับปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้ต่อไปอย่างต่อเนื่องตลอดสายโซ่



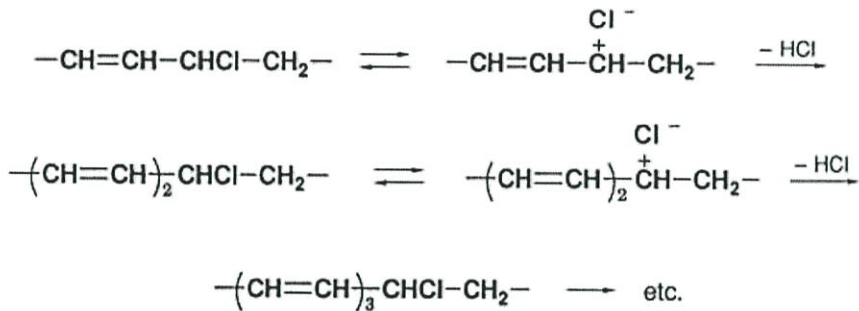
รูปที่ 2.10 กลไกการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ แบบอนุมูลอิสระ

ปฏิกิริยาขั้นแผ่ขยายนั้นจะเกิดการหยุดหรือยับยั้งปฏิกิริยา เมื่อมีการดึงอะตอมของคลอรีนหรือไฮโดรเจนจากโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์ตัวอื่นเข้ามาทำปฏิกิริยา หรือเกิดปฏิกิริยากันเองของอนุมูลอิสระระหว่างสายโซ่พอลิไวนิลคลอไรด์เกิดเป็นโครงสร้างเคมีแบบตาข่ายเกิดขึ้น

2. กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบคู่ประจุ (Ion pair mechanism)

โดยเริ่มต้นจากปฏิกิริยาการแตกตัวเป็น ไอออน (Ionization) ของสารตั้งต้น แสดงในรูปที่ 2.11 โดยอะตอมของคลอรีนจะถูกขจัดออกมาจากสายโซ่พอลิไวนิลคลอไรด์อย่างรวดเร็วและเกิด

เป็นประจุลบขึ้น (Cl) ส่วนคาร์บอนในสายโซ่จะเกิดเป็นประจุบวก (Carbonation) จากนั้นประจุลบของคลอรีนจะไปดึงไฮโดรเจนที่อยู่ติดกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งมีประจุบวกให้หลุดออกมาแล้วเกิดเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์เช่นเดียวกับในกรณีเกิดแบบปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ หลังจากนั้นสายโซ่พอลิเมอร์ที่ได้จะกลายเป็นพันธะคู่เกิดขึ้นพร้อมกับเกิดปฏิกิริยาการขจัดคลอรีนตัวถัดไปให้หลุดออกมาและเกิดเป็นประจุลบของคลอรีนขึ้นอีกครั้งปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ในลักษณะเช่นนี้

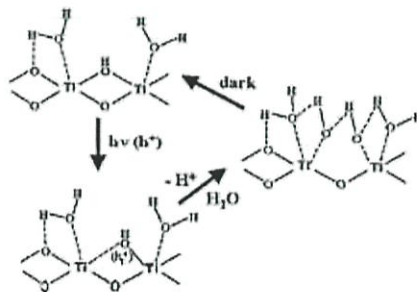


รูปที่ 2.11 กลไกการขจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ แบบคู่ประจุ

2.3 สมบัติเบื้องต้นของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง [7]

2.3.1 สมบัติไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

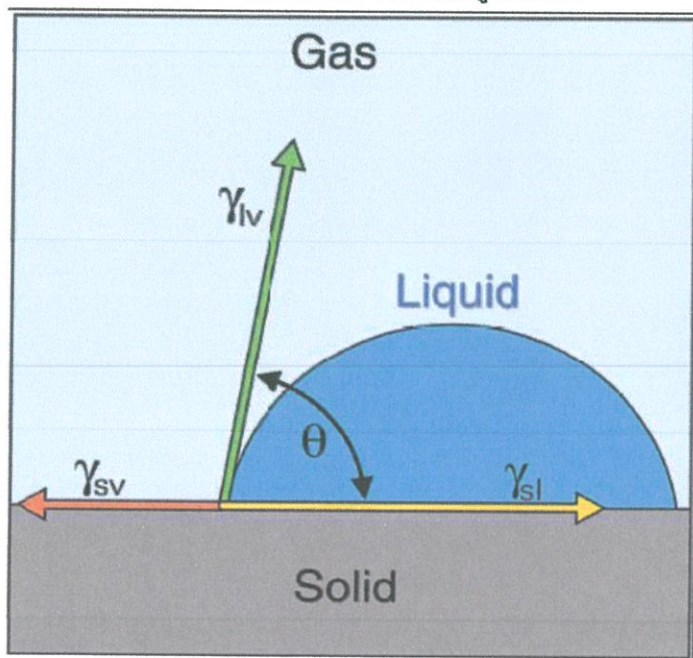
ความเป็นไฮโดรฟิลิก (ชอบน้ำ) ของไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกค้นพบโดยบังเอิญในปี 1995 พบว่า ฟิล์มผสมด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์มีสมบัติไฮโดรฟิลิกสูง โดยมุมสัมผัสของน้ำประมาณ 0° หลังจากให้รังสียูวี พบว่ารังสียูวีช่วยเพิ่มให้เกิดไฮโดรฟิลิกสูงซึ่งเป็นสมบัติทางธรรมชาติของผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ กลไกของกระบวนการดังกล่าว เป็นผลจากพื้นฐานของการสร้างพื้นผิวหมู่ไฮดรอกซิลขึ้นมาใหม่ภายใต้รังสียูวี แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การจัดโครงสร้างการจับยึดบนพื้นผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ในขณะมีความเป็นไฮโดรฟิลิก (Fujishima and Zhang, 2005)

สมบัติไฮโดรโฟบิกหรือสมบัติไม่ชอบน้ำ และสมบัติไฮโดรฟิลิกหรือสมบัติชอบน้ำ การอธิบายสมบัติทั้งสองนี้ โดยสมการของ Young ที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวของของแข็ง ของเหลวและไอสมบัติทั้งสองบ่งบอกด้วยมุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างหยดน้ำกับ

อากาศ และของแข็ง (รูปที่ 2.13) มุมสัมผัส คือ มุม θ วัสดุที่มีสมบัติไฮโดรฟิลิกถูกนำมาใช้งาน หลายๆด้าน เช่น การทำความสะอาดพื้นผิวได้ง่ายขึ้นในปี 2001 สมบัติไฮโดรฟิลิกและกระบวนการ Photocatalytic self-cleaning glazing กำลังได้รับความนิยมในแถบตลาดยุโรปมีผลิตภัณฑ์ที่มีเคลือบ ด้วยชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อได้รับรังสียูวี ไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนและโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล และสามารถ สลายสารอินทรีย์ หรือดูดซับสารพิษไว้ที่ผิวเพื่อกำจัดออกต่อไปยังเล็กรอนจากการกระตุ้นของแสง จับโมเลกุลของออกซิเจน ขณะที่หลุมประจุบวก กระจายออกไปยังผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่ง จะไปจับกับแลตทิซอะตอมออกซิเจนจากนั้นหลุมประจุบวกจับด้วยพันธะอ่อนๆ ระหว่างอะตอม Ti กับแลตทิซออกซิเจนส่วนตัวอื่นๆจะจับกับโมเลกุลของน้ำรวมตัวเป็นหมู่ไฮดรอกซิลใหม่ ซึ่งใน ภาวะไม่มีแสงหมู่ไฮดรอกซิลจะถูกดูดซับจากพื้นผิวทำให้เกิดเป็น H_2O_2 หรือ $H_2O + O_2$ กระบวนการเพิ่มความเป็นไฮโดรฟิลิก มีความแตกต่างจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ การ นำความเป็นไฮโดรฟิลิกไปใช้ เช่น การป้องกันการเกิดฝ้าบนกระจกหรือแก้วซึ่งฝ้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศกลายเป็นหยดน้ำขนาดเล็กจำนวนมากทำให้เกิดการ กระจิงของแสง หากพื้นผิวกระจกมีความเป็นไฮโดรฟิลิกสูง หยดน้ำก็จะไม่เกิดขึ้นแต่หยดน้ำจะ รวมตัวกันกลายเป็นฟิล์มบาง ทำให้ไม่เกิดการกระจิงแสงดังรูปที่ 2.13



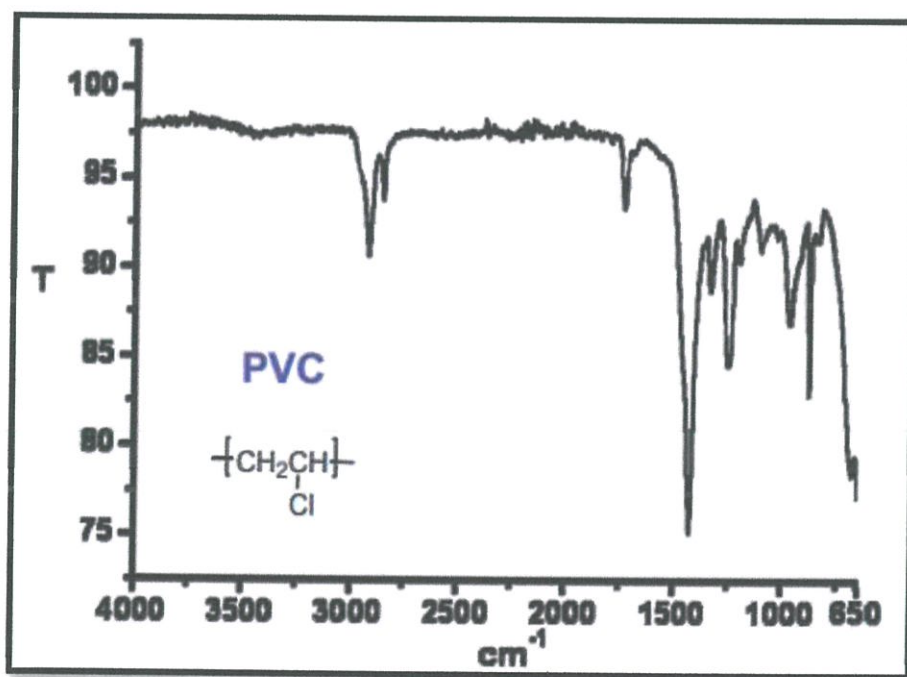
รูปที่ 2.13 แสดงการวัดค่ามุมสัมผัส

ความเป็นไฮโดรฟิลิกช่วยให้เกิดกระบวนการ Self - cleaning บนไทเทเนียมไดออกไซด์และถูก นำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น การนำไปทำโครงสร้างค้ำนอกรอาคาร การนำไปใช้ทางถนน

2.4 เครื่องมือและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.1 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) [8]

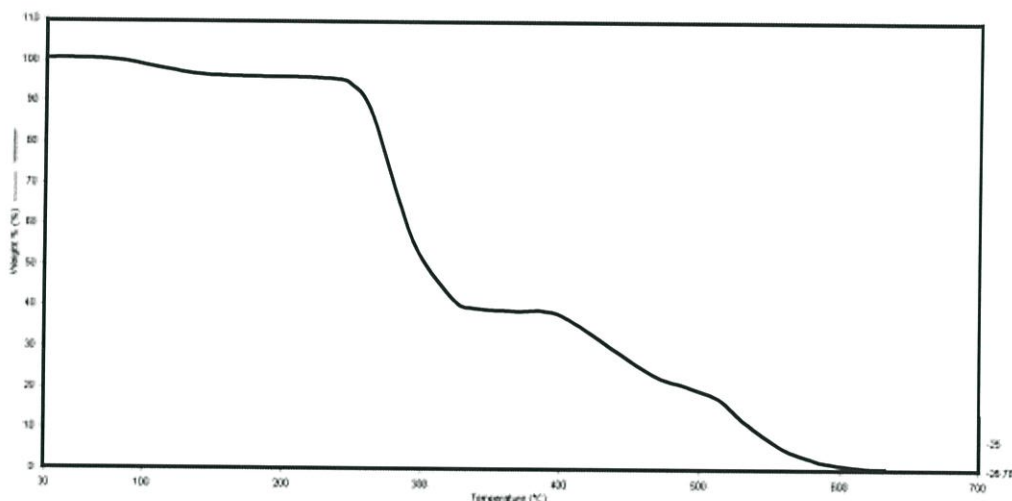
FT-IR เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) โดย เป็นเครื่องที่พัฒนามาจากเครื่อง IR Spectrophotometer โดยมีการใช้ระบบทางเดินแสงแบบ Interferometer แทนระบบทางเดินแสงแบบเก่า ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น มีความไวในการวิเคราะห์มากขึ้นและใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยลง เทคนิคนี้สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันคร่าว ๆ ในสารที่ไม่ทราบว่าเป็นสารอะไรเช่นสารที่วิเคราะห์นี้อาจจะมี หมู่ hydroxyl(-OH) methyl (-CH₃) หรือ carbonyl (-CO) แต่ถ้าจะใช้เทคนิคนี้ในการระบุว่าเป็นสารชนิดใด ต้องนำผลที่ได้ซึ่งเป็นสเปกตรัม (spectrum) ของสารนั้นไปเทียบกับสเปกตรัมของสารที่ทราบอยู่แล้ว (reference) ถ้ามีสเปกตรัมเหมือนกันก็จะเป็นสารเดียวกัน เช่น สเปกตรัมของพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของผลสเปกตรัม FT-IR ของพอลิไวนิลคลอไรด์

2.4.2 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) [9]

TGA เป็นวิธีเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความเสถียรของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยใช้พื้นฐานการวัดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (thermobalance) ในระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติ หรือก๊าซเฉื่อยจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง และอุณหภูมิ การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์ หรือที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลาย แต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ ข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์ เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหย หรือสารเติมแต่งที่ไ้ส่ลงไปในพอลิเมอร์อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น การสลายตัวทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA

2.4.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) [10]

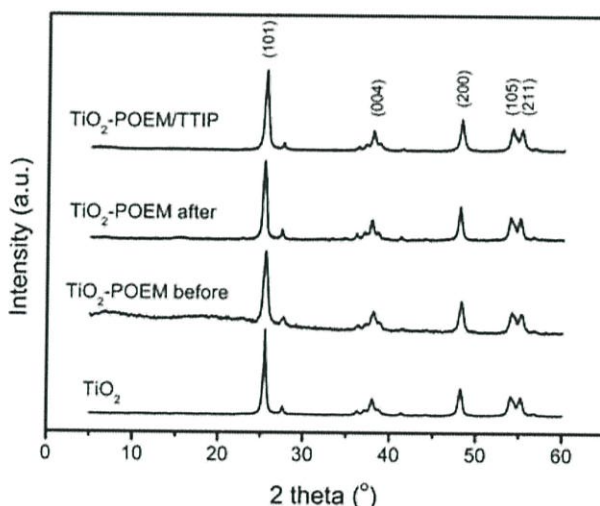
เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ เทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอกซ์มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างโดยไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method)

เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสี X ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองศาในการเลี้ยวเบนของรังสี X จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมี

ขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากันทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ซึ่งจะทำให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง

นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่างปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้นของสารประกอบในสารตัวอย่าง อีกทั้งความหนาของฟิล์มได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.16

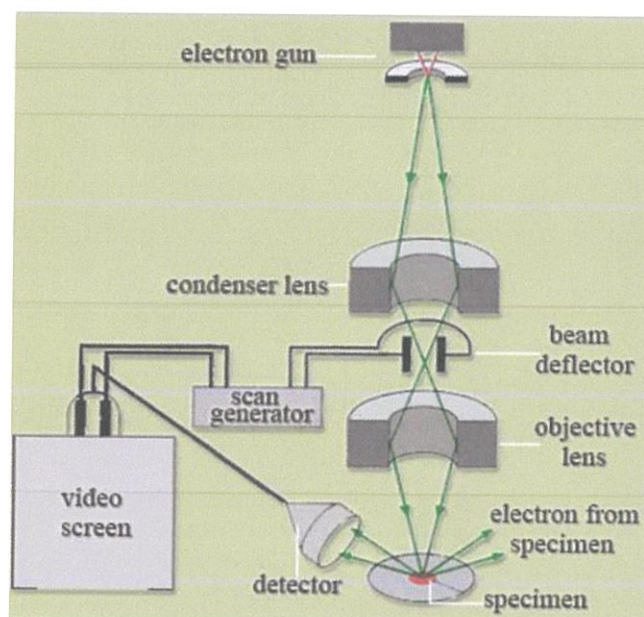
ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก็คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณ หรือ หองค์ประกอบตัวอย่าง ที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องจากสารตัวอย่างกลุ่มนี้จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แต่เราอาจสามารถให้ XRD คำนวณหา ปริมาณของส่วนที่เป็น Amorphous ในตัวอย่างว่ามีสัดส่วนกี่ % ได้ โดยใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน



รูปที่ 2.16 Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

2.4.4 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) [11]

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจแสดงดังรูป 2.17 ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

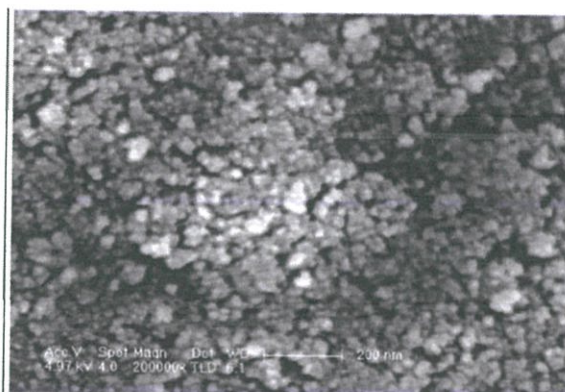


รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเครื่อง SEM

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

ข้อดีของเครื่อง SEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่าย

อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง SEM สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 SEM micrographs of pure and doped TiO_2 calcined at 450°C SEM of pure TiO_2

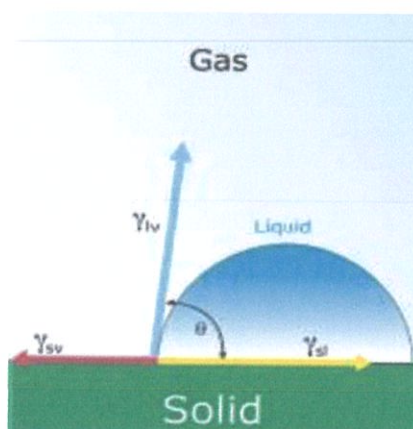
2.4.5 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle meter) [12]

ค่ามุมสัมผัส (contact angle) ค่ามุมสัมผัส คือ มุมระหว่างเส้นสัมผัสของหยดของเหลวที่ไม่เคลื่อนที่บนพื้นผิว โดยจุดเริ่มต้นอยู่ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสของทั้งอากาศ ของเหลวและของแข็ง และการวัดค่ามุมสัมผัส (contact angle, θ_c) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง การทดสอบมุมสัมผัส

จากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมุมสัมผัส (Contact Angle) ดังรูป พื้นผิวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ซึ่งทั้งสองกรณีสามารถเป็นผลให้พื้นผิวคงความสะอาดได้ด้วยตัวเอง

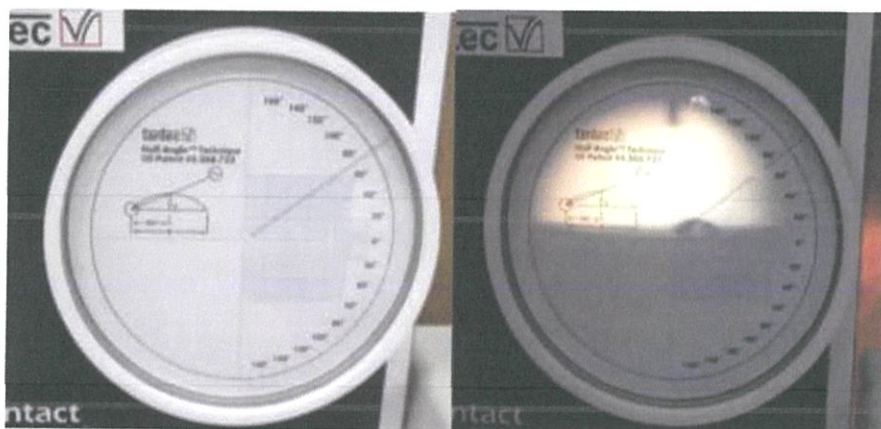
1. เมื่อมุมสัมผัสเข้าใกล้ 0 องศา จะทำให้น้ำแผ่กระจายเปียกทั่วพื้นผิว (Hydrophilic)
2. เมื่อมุมสัมผัสเข้าใกล้ 180 องศา น้ำจะคงอยู่เป็นหยดไม่เปียกพื้นผิว (Hydrophobic)

พื้นผิวความเป็น Hydrophilic และ Hydrophobic สามารถวัดมุมสัมผัสได้ดังรูปที่ 2.19 และ



รูปที่ 2.19 เมื่อมุมสัมผัสใกล้ 0 องศา มีผลให้พื้นผิวเปียก เมื่อมุมสัมผัสใกล้ 180 องศา หยดน้ำจะไม่เปียกพื้นผิว

การทดสอบมุมสัมผัสจะใช้วิธีที่เรียกว่า sessile drop หยดของเหลวจะถูกหยดออกจากหลอดฉีดยาขนาดเล็ก ลงบนพื้นผิววัสดุที่ต้องการทดสอบ โดยการนำเอาพื้นผิวขึ้นไปสัมผัสกับหยดที่แขวนอยู่ที่ปลายเข็มฉีดยา เพื่อให้ได้ของเหลวเพียงหยดเดียวที่สัมผัสกับผิววัสดุ จากนั้นแสงจะถูกส่องผ่านหน้าของเหลวและภาพของหยดของเหลวจะตกลงบนฉากรับภาพซึ่งอยู่ด้านหลังหยดของเหลว มุมสัมผัสจะถูกวัดโดยใช้ฉากวัดมุม (protractor) ที่ติดอยู่กับฉากรับภาพ ค่ามุมสัมผัสจะขึ้นกับพลังงานพื้นผิวและแรงตึงผิวของของเหลว ถ้าพื้นผิวมีการเปียกที่สมบูรณ์กับของเหลว หยดของเหลวจะแผ่ออกไปทั่วพื้นผิวทำให้มุมสัมผัสมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ขณะเดียวกัน ถ้าพื้นผิวสามารถเปียกโดยของเหลวได้ไม่คืนัก มุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับพื้นผิวก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-180 องศา โดยที่ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงแสดงว่าผิวสัมผัสมีสมบัติสะท้อนน้ำดี แต่ถ้ามุมสัมผัสของน้ำต่ำแสดงว่าพื้นผิวถูกทำให้เปียกง่าย โดยค่ามุมสัมผัสจะสามารถวัดด้วยเครื่อง Contact Angle Meter ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การวัดค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็งด้วยเครื่อง Contact Angle Meter

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta$$

โดย γ_{sv} คือ แรงตึงผิวของของแข็งกับไอน้ำที่จุดสมดุล

γ_{lv} คือ แรงตึงผิวของของเหลวกับไอน้ำที่จุดสมดุล

γ_{sl} คือ แรงตึงผิวระหว่างของแข็งและของเหลว

การเปียกผิวที่สมบูรณ์ (เช่น น้ำบนแก้วที่สะอาด) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่ามุมสัมผัส (contact angle, θ) เท่ากับศูนย์องศา หรือค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ขยาย (spreading coefficient, λ) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

$$\lambda = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} \geq 0$$

ถ้าเป็นพื้นผิวที่มีส่วนประกอบ 2 ชนิด จะประยุกต์ใช้ Cassie's equation ได้ดังสมการ

$$\cos \theta_c = f_1 \cos \theta_1 + f_2 \cos \theta_2$$

โดย θ_c คือ ค่ามุมสัมผัส (contact angle)

θ_1 คือ ค่ามุมสัมผัสของส่วนประกอบที่ 1 บริสุทธิ์กับของเหลว

θ_2 คือ ค่ามุมสัมผัสของส่วนประกอบที่ 2 บริสุทธิ์กับของเหลว

f_1 คือ สัดส่วนพื้นผิวของส่วนประกอบที่ 1

f_2 คือ สัดส่วนพื้นผิวของส่วนประกอบที่ 2

2.4.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) [13]

สมบัติต้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นตัวบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ จะเตรียมให้อยู่ในรูปของคิมเบล (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D 638, Type I การทดสอบทำได้โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปจับยึดด้วยหัวจับขนาด 5 กิโลนิวตัน ที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน แล้วทำการดึงชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ดังรูปที่ 2.21 ด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่ออนาที จนชิ้นงานแยกขาดจากกัน โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain)



รูปที่ 2.21 เครื่อง Universal Testing Machine

2.4.7 การทดสอบการแช่กรด-เบส

เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแผ่นฟิล์มที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา โดยการนำไปแช่กรด 1 M ของ HCl และเบส 1M ของ NaOH ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 TiO₂ thin-films on polymer substrates and their photocatalytic activity [14]

Jae-Hun Yang และคณะ(2006)ได้ศึกษาเรื่องการเตรียมฟิล์มบางของไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนวัสดุฐาน เช่น โลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ อาจมีกระบวนการที่ใช้ในการเคลือบอยู่หลายกระบวนการด้วยกัน เช่น กระบวนการ CVD, Dip coating, Spin coating, Arc ion plating และ Spray coating เป็นต้น โดยได้มีการศึกษาการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนพอลิเมอร์ ด้วยกระบวนการต่างๆเหล่านี้เช่น ได้มีการศึกษาเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนพอลิเมอร์ (ABS)โดยการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี โซล - เจล ที่อุณหภูมิ 80°C และใช้วิธีการ Dip coating จากการศึกษาพบว่า การใช้จำนวนการเคลือบ 3 ครั้งโดยมีความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 0.3 % ฟิล์มจะไม่เกิดการแตก (Cracking) และมีสมบัติการติดกันระหว่างชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์และพอลิเมอร์ติดกันได้ดีด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดี

2.5.2 Solid-phase photocatalytic degradation of PVC-TiO₂ polymer composites [15]

Sungmin Cho (2001) ในการศึกษาฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ฝังตัวอยู่ จะเตรียมที่ (0-2wt %) และถูกตรวจสอบการย่อยสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงภายใต้บรรยากาศปกติและบรรยากาศในโตรเจน และได้้นำฟิล์มประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งและฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์บริสุทธิ์มาเปรียบเทียบการสลายตัว ซึ่งได้นำมาตรวจสอบกับเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เช่น SEM, FT-IR, UV-Vis, X-ray ซึ่งพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฝังตัวอยู่ในพอลิไวนิลคลอไรด์จะทำให้มีการเพิ่มการสลายตัวเพิ่มขึ้นและเมื่อฉายรังสีที่ฟิล์มประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลและน้ำหนักของสารลดลง ในขณะที่ฉายรังสีภายใต้บรรยากาศในโตรเจนเกิดการย่อยสลายน้อย ในการสลายตัวฟิล์มประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสงมีการขยายตัวของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในบริเวณ

รอบๆ เป็นผลให้ฟิล์มประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งเกิดการกระเจิงของแสงได้อย่างรวดเร็วถือเป็นการตอบสนองต่อพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีศักยภาพที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคู่แสงในพอลิเมอร์

2.5.3 Influence of titanium dioxide pigments on the photodegradation of poly (vinyl chloride) [16]

U. Gesenhues ได้ศึกษาผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของ rutile ด้วยการกระตุ้นแสงโดยศึกษาความเสถียรที่มีต่อแสงเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อการสลายตัวของพอลิไวนิลคลอไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับ blanc fixe โดยทำการเติมสารที่เจือลงไปและทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-VIS spectroscopy จะมีการถ่ายโอนออกซิเจนจากพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ไปยังพอลิเมอร์ที่ได้ทำการทดสอบ (PVC) จากการสูญเสียความเงางามในช่วงของการฉายรังสีแห่งพอลิเมอร์จะมีความสุกก่อน ดังนั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ จะมีความสามารถในการป้องกันรังสี UV และสมบัติของการเกิด photocatalytic ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นผิวที่ขรุขระโดยการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาพื้นฐาน ในการฉายรังสีจะเกิด photooxidation ของพอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งจะหยุดนิ่งเมื่อความเข้มรังสีลดลงที่ 50% ของการสลายตัว ดังนั้นพื้นที่ป้องกันรังสี UV โดยรอบของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบ rutile จะมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคครึ่งยิวีที่ปลดปล่อยอย่างเหมาะสมจากการคำนวณทางทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าการตรวจสอบดังกล่าวขึ้นอยู่กับความสามารถในการกระจายของมัน

2.5.4 Influence of thermal dehydrochlorination on the photooxidation kinetics of PVC samples [17]

M. Veronelli และคณะ(1999) ตัวอย่างพอลิไวนิลคลอไรด์ถูก dehydrochlorinated ด้วยความร้อนภายใต้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน HCl จะถูกตรวจสอบ 9 ตัวอย่างที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อย HCl (จาก 0.03-2.0% ของการกำจัด HCl เมื่อครบ 100% จะแสดงการกำจัดรวมทางทฤษฎีของ HCl) ตัวอย่างเหล่านี้จะถูกตรวจสอบลักษณะด้วยเครื่อง Raman และ UV-Vis spectroscopy เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรากฏตัวของลำดับ conjugated เมื่อเกิด photooxidation ของพอลิไวนิลคลอไรด์ผลที่ได้จะแสดงการปรากฏตัวของลำดับ conjugated เป็นความร้อนสลายตัวของตัวอย่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (Raman spectroscopy จะแสดงลำดับความยาวของ conjugated

แล้วนั้นจะได้อัตรา dehydrochlorination ที่ต่ำกว่า 0.01%) จะไม่มีผลอย่างใดอย่างหนึ่งหรือกลไก จลนพลศาสตร์ของ photooxidation ของพอลิไวนิลคลอไรด์

การย่อยสลายทางความร้อนและการเกิดออกซิเดชันในการย่อยสลายของพอลิไวนิล คลอไรด์เป็นกลไกแตกต่างโดยสิ้นเชิงทั้งในช่วงแรกของการย่อยสลายและในผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลาย ลำดับเหล่านี้จะมีความยาวเฉลี่ยของ conjugate 15 พันธะ แม้ที่ร้อยละต่ำมาๆของการ dehydrochlorination

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
3. กระจกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. กระจกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
5. หลอดหยด
6. ครกหินอ่อน
7. แท่งแก้ว
8. กรวย
9. จานเพาะเชื้อ
10. ซ้อนตักสาร
11. แท่งแม่เหล็ก
12. เครื่องปั่นกวน

3.2 เครื่องมือ

1. เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum GX
2. เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Pyris 1
3. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS
4. กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1455vp
5. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle meter) ยี่ห้อ Contact Angle System OCA รุ่น Dataphysics
6. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) ยี่ห้อ LLOYD Instrument รุ่น LR5K

3.3 สารเคมี

1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)
2. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
3. สารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เกรด Analytical reagent ของบริษัท Fisher Scientific

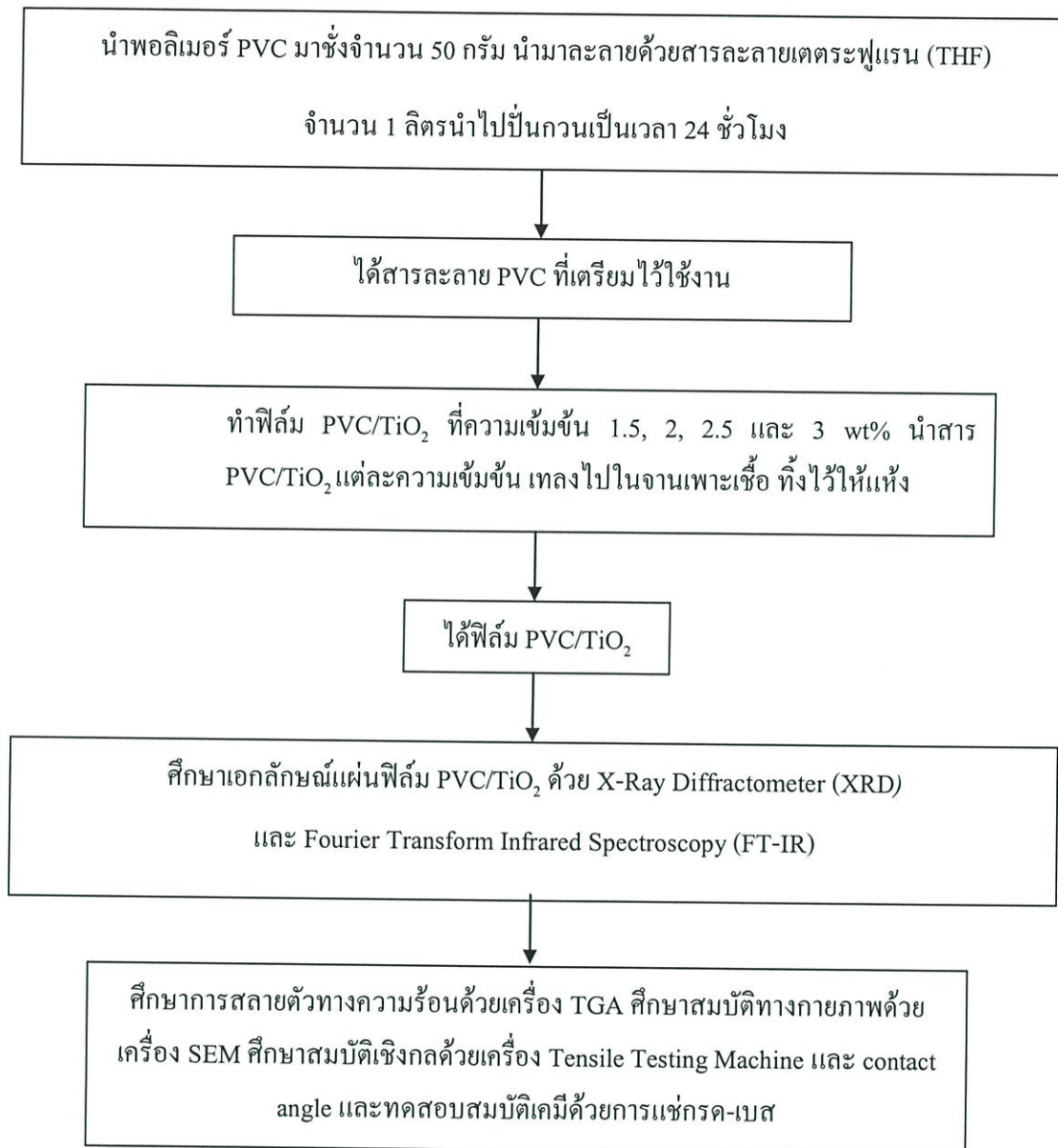
3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมการเตรียมสารละลายตั้งต้นพอลิไวนิลคลอไรด์

1. การเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์โดยชั่งพอลิไวนิลคลอไรด์ 50 กรัมละลายด้วยสารละลายเตตระฟูแรน (THF) จำนวน 1 ลิตร
2. นำสารที่ได้มาปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. เมื่อปั่นกวนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาเก็บใส่ขวดเพื่อนำไปใช้งาน

3.4.2 การเตรียมฟิล์ม PVC/TiO₂ที่มีความเข้มข้น 1.5, 2, 2.5 และ 3 wt%

1. โดยนำไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) มาบดด้วยครกหินอ่อนเพื่อให้ละเอียด
2. จากนั้นนำไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่บดละเอียดแล้วไปชั่งจำนวน 75 ,100,125 และ 150 มิลลิกรัม
3. นำไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่ชั่งได้ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลายพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เตรียมไว้จะได้สาร PVC/TiO₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆ
4. นำสารที่ได้มาทำเป็นฟิล์ม โดยนำสาร PVC/TiO₂ แต่ละความเข้มข้น มาจำนวน 5 มิลลิลิตรจากนั้นเทลงไปในจานเพาะเชื้อ ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 2 วัน
5. นำ PVC/TiO₂ ที่แห้งแล้วมาลอกออกจากจานเพาะเชื้อ จะได้ฟิล์มของแต่ละความเข้มข้น
6. นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง FT-IR, XRD ทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA ทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่อง SEM ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine และ contact angle และทดสอบสมบัติเคมีด้วยการแช่กรด-เบส



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการทดลอง

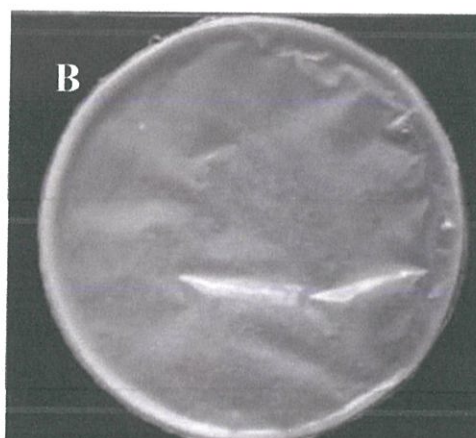
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งจะสังเคราะห์แผ่นฟิล์มที่มีความเข้มข้น 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 wt% โดยแผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะขาวขุ่นขึ้นตามลำดับเว้นแต่แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่ถูกเติมไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีลักษณะโปร่งใสดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 (A) แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์

(B) แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

4.2 การสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

เมื่อทำการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งของแต่ละความเข้มข้น จากนั้นทำการศึกษาหาสมบัติต่างๆดังนี้

- สมบัติทางความร้อน ทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คือ เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

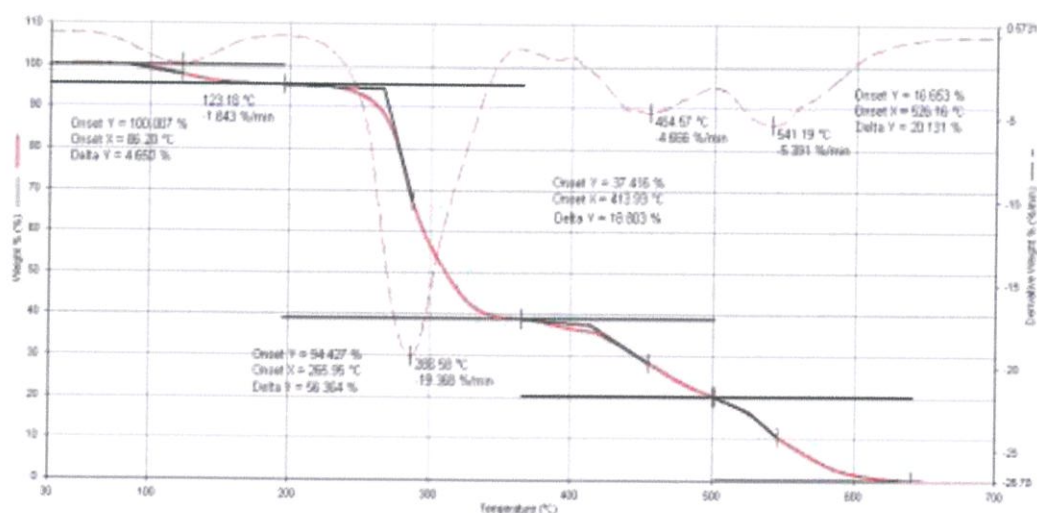
- สมบัติทางกายภาพ ทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- สมบัติเชิงกล ทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คือ เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle) และเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)
- สมบัติทางเอกลักษณะ ทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คือ เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier transforms infrared spectroscopy, FT-IR) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)
- สมบัติทางเคมี เป็นการทดสอบการทนกรด-เบส

4.2.1 สมบัติทางความร้อน

4.2.1.1 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

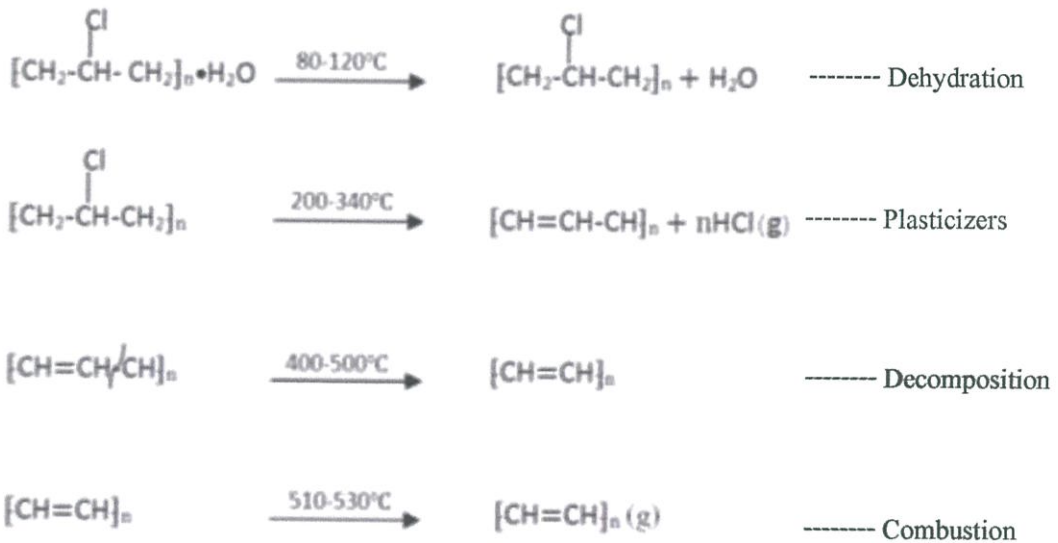
สำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyser ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 โดยเตรียมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างของแผ่นฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาประมาณ 1-5 มิลลิกรัมแล้วบรรจุลงในจาน (Pan) ที่แขวนอยู่บน Micro balance แล้วทำการทดสอบโดยการตั้งโปรแกรมทดสอบให้ความร้อนต่อชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิเริ่มต้น 30°C จนถึงอุณหภูมิ 600°C ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

จากการนำแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์และแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง ที่ความเข้มข้น 1.5%wt, 2.0%wt, 2.5%wt และ 3.0%wt ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA จะแสดง Thermogram ดังต่อไปนี้

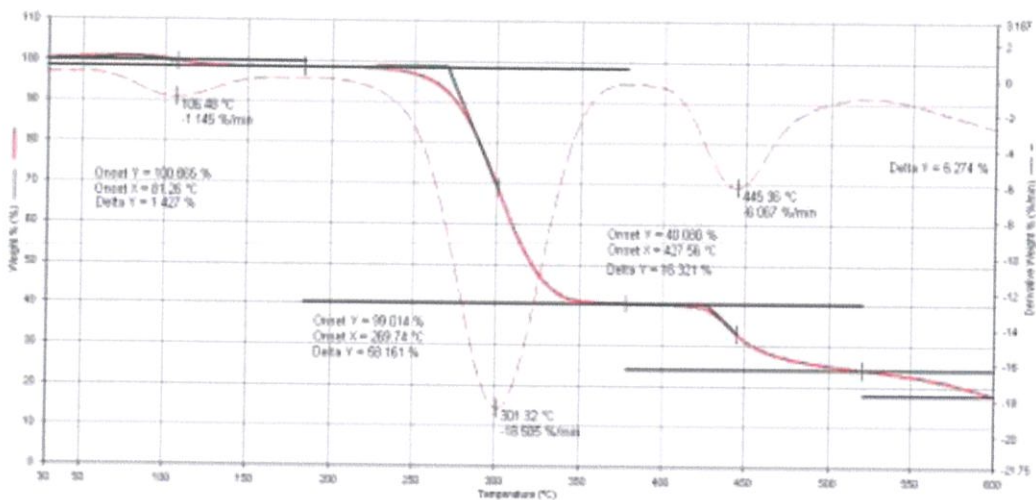


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์

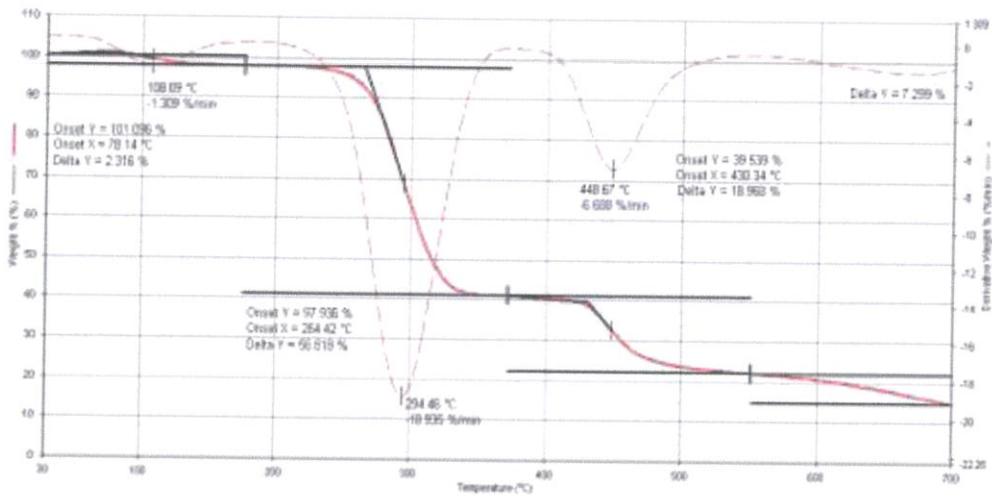
การสลายตัวของพอลิไวนิลคลอไรด์เกิดขึ้นทั้งหมด 4 อุณหภูมิ เมื่อได้รับความร้อนในช่วงแรกจะเกิดการคายน้ำ (Dehydration) ที่อุณหภูมิ 86.20°C จากนั้นจะเกิดการระเหยของ HCl (Plasticizers) จะระเหยไปที่อุณหภูมิ 256.95 °C ต่อมา Polymer จะเกิดการแยกออกเป็น ส่วน (Decomposition) ที่อุณหภูมิ 413.93 °C และเกิดการเผาไหม้ (Combustion) ที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือ 526.16 °C ตามลำดับดังสมการการสลายตัวทางความร้อนดังนี้



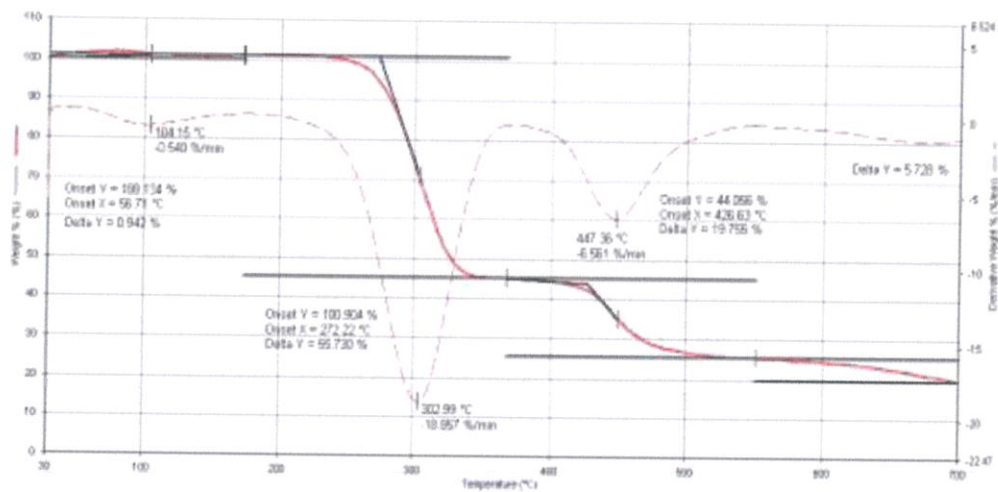
รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสลายตัวของพอลิไวนิลคลอไรด์เมื่อได้รับความร้อน[18]



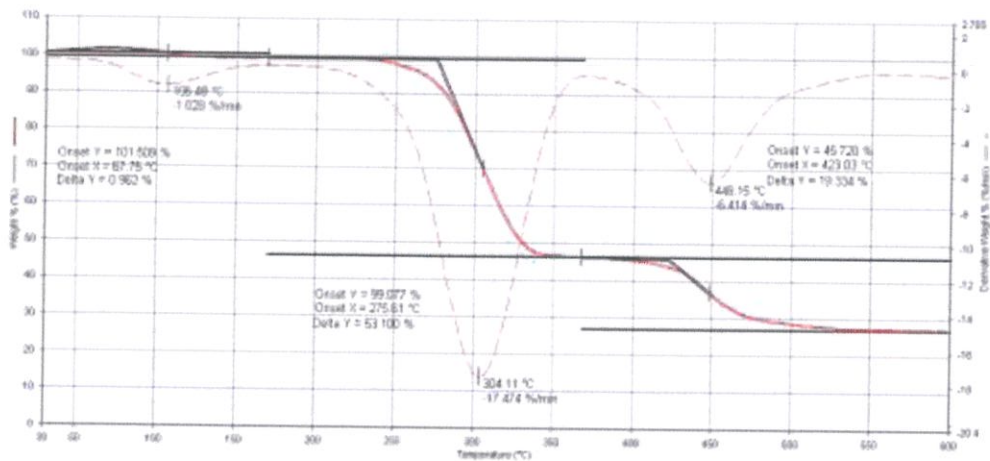
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5 %wt



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.0 %wt



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.5 %wt



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 3.0 %wt

จากรูปที่ 4.2 พบว่าการสลายตัวของพอลิไวนิลคลอไรด์จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วงหลัก คือ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 86.20 °C 256.95 °C 413.93 °C และ 526.16 °C โดย % weight lost ที่แต่ละอุณหภูมิ คือ 4.650% 56.364% 18.803% และ 20.131% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการสลายตัวของ PVC/TiO₂ (1.5%wt) จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 81.26 °C 269.74 °C และ 427.56 °C ตามลำดับ โดย % weight lost ที่แต่ละอุณหภูมิ คือ 1.427% 58.161% และ 16.321% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการสลายตัวของ PVC/TiO₂ (2.0%wt) จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 78.14 °C 264.42 °C และ 430.34 °C ตามลำดับ โดย % weight lost ที่แต่ละอุณหภูมิ คือ 2.316% 56.818% และ 18.968% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าการสลายตัวของ PVC/TiO₂ (2.5%wt) จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 56.71 °C 272.22 °C และ 426.63 °C ตามลำดับ โดย % weight lost ที่แต่ละอุณหภูมิ คือ 0.942% 55.730% และ 19.755% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการสลายตัวของ PVC/TiO₂ (3.0%wt) จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 67.75 °C 275.61 °C และ 423.03 °C ตามลำดับ โดย % weight lost ที่แต่ละอุณหภูมิคือ 0.962% 53.100% และ 19.334% ตามลำดับ

จากแผนภาพการสลายตัวทางความร้อน ที่แสดงการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์และ PVC/TiO₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะสรุปค่าอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวและร้อยละน้ำหนักของสารที่สูญเสียไปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบของอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวและร้อยละน้ำหนักของสารที่สูญเสียไป

การเปลี่ยนแปลง ขั้นที่	ความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ในพอลิไวนิลคลอไรด์ (%wt)									
	0		1.5		2.0		2.5		3.0	
	อุณหภูมิ ที่เริ่ม สลายตัว (°C)	weight lost (%)	อุณหภูมิ ที่เริ่ม สลายตัว (°C)	weight lost (%)	อุณหภูมิ ที่เริ่ม สลายตัว (°C)	weight lost (%)	อุณหภูมิ ที่เริ่ม สลายตัว (°C)	weight lost (%)	อุณหภูมิ ที่เริ่ม สลายตัว (°C)	weight lost (%)
1	86.20	4.650	81.26	1.427	78.14	2.316	56.71	0.942	67.75	0.962
2	256.95	56.364	269.74	58.161	264.42	56.818	272.22	55.730	275.61	53.100
3	413.93	18.803	427.56	16.321	430.34	18.968	426.63	19.755	423.03	19.334
4	526.16	20.131	-	-	-	-	-	-	-	-

เมื่อมีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในพอลิไวนิลคลอไรด์มีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนในการสลายตัวโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyser จะเห็นได้ว่าผลการทดลองใน

การเปลี่ยนแปลงขั้นที่ 1 มีการระเหยของน้ำในอุณหภูมิต่ำลง เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5%wt, 2.0%wt, 2.5%wt และ 3.0%wt จะมีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงจาก 86.20 °C เป็น 81.26 °C 78.14 °C 56.71 °C และ 67.75 °C ตามลำดับ และมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไป โดยที่ความเข้มข้น 2.5 %wt ของไทเทเนียมไดออกไซด์ในพอลิไวนิลคลอไรด์มีอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวและร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไปน้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปทำให้เกิดการมีรูพรุนเปิดพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้มีการเกิดการระเหยของน้ำได้ง่ายขึ้น หรือเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

การเปลี่ยนแปลงขั้นที่ 2 มีการหลุดออกของคลอไรด์ในอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้น 1.5%wt, 2.0%wt, 2.5%wt และ 3.0%wt จะมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นจาก 256.95°C เป็น 269.74°C 264.42°C 272.22°C และ 275.61 °C ตามลำดับ เนื่องจาก

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ทำให้ความร้อนที่ส่งเข้าไปในระบบถูกดูดซับด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์จึงทำให้ PVC/TiO₂ ที่ความเข้มข้นต่างๆมีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงชันกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์หรือมีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้นนั่นเองและมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไป โดยที่ความเข้มข้น 3.0 %wt มีร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไปน้อยที่สุดและมีอุณหภูมิที่สลายตัวสูงที่สุดด้วย

การเปลี่ยนแปลงขั้นที่ 3 มีการ Decomposition ในอุณหภูมิสูงชัน เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในความเข้มข้น 1.5%wt, 2.0%wt, 2.5%wt และ 3.0%wt จะมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นจาก 413.93°C เป็น 427.56°C 430.34°C 426.63°C และ 423.03°C ตามลำดับ และมีแนวโน้มการลดลงของร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไป โดยที่ความเข้มข้น 2.0 %wt ของไทเทเนียมไดออกไซด์ในพอลิไวนิลคลอไรด์มีอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวสูงที่สุดและที่ความเข้มข้น 1.5 %wt ของไทเทเนียมไดออกไซด์ในพอลิไวนิลคลอไรด์มีร้อยละน้ำหนักที่สูญเสียไปน้อยที่สุด เนื่องจาก PVC/TiO₂ มีความเสถียรทางความร้อนมากกว่าแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขั้นที่ 2

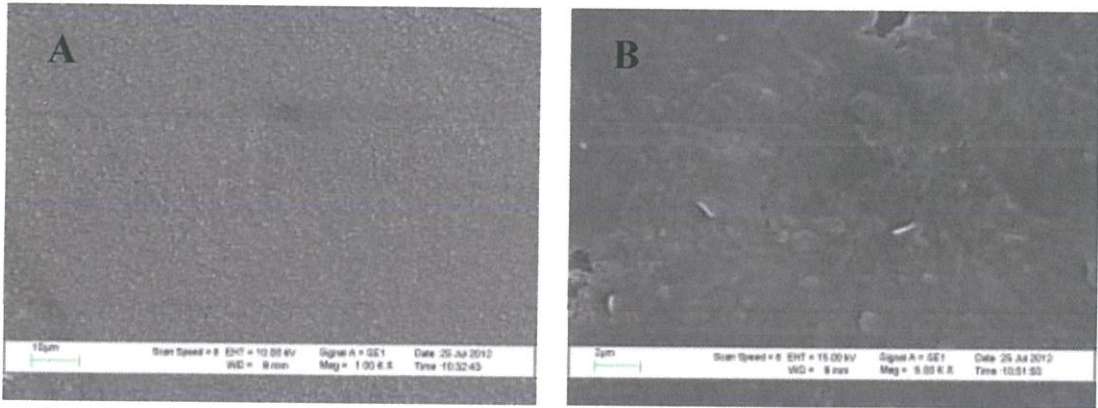
การเปลี่ยนแปลงขั้นที่ 4 เกิดการ Combustion โดยที่แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 526.16°C แต่เมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5%wt, 2.0%wt, 2.5%wt และ 3.0%wt จะพบแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง และไม่พบ peak ของการเกิด Combustion จึงคาดว่าน่าจะมีอุณหภูมิในการเกิด Combustion ของ PVC/TiO₂ ที่มากกว่า 600 °C จากผลการทดลองถ้าต้องการพบการเกิด Combustion ของ PVC/TiO₂ ควรขยายช่วงของอุณหภูมิในการวิเคราะห์ให้กว้างกว่า 600 °C ขึ้นไป

จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปพอลิไวนิลคลอไรด์จะช่วยให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์

4.2.2 สมบัติทางกายภาพ

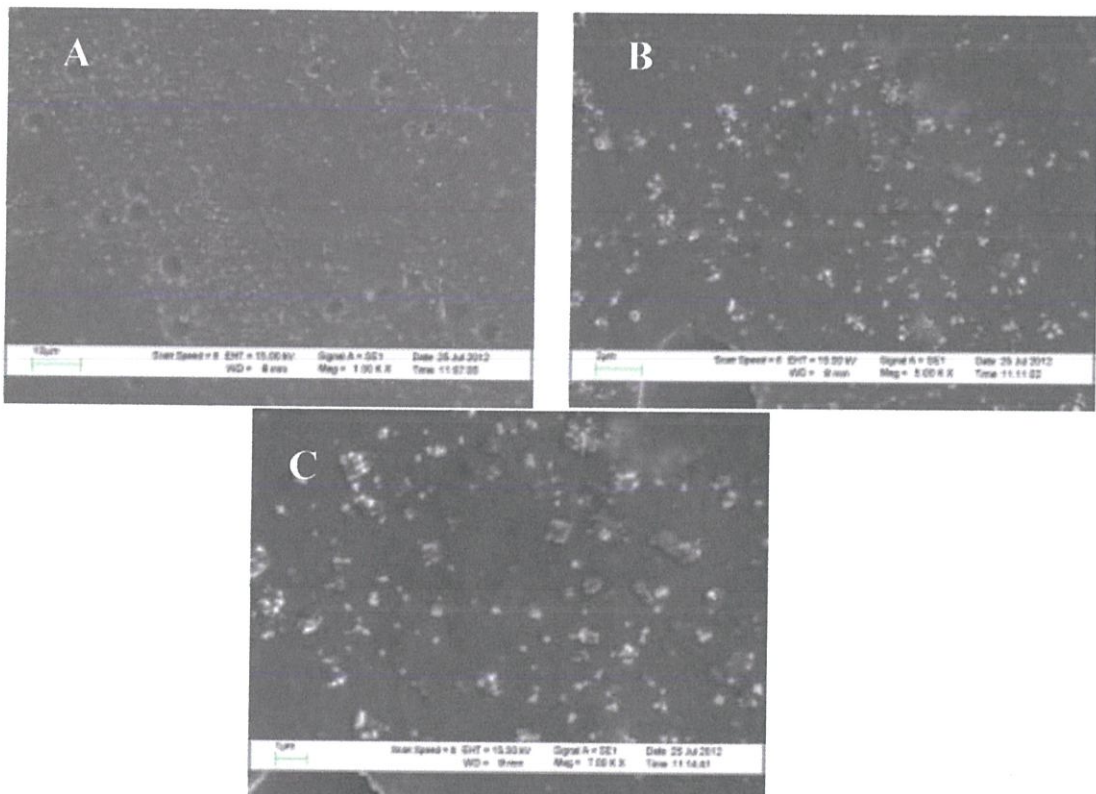
4.2.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ผลการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์



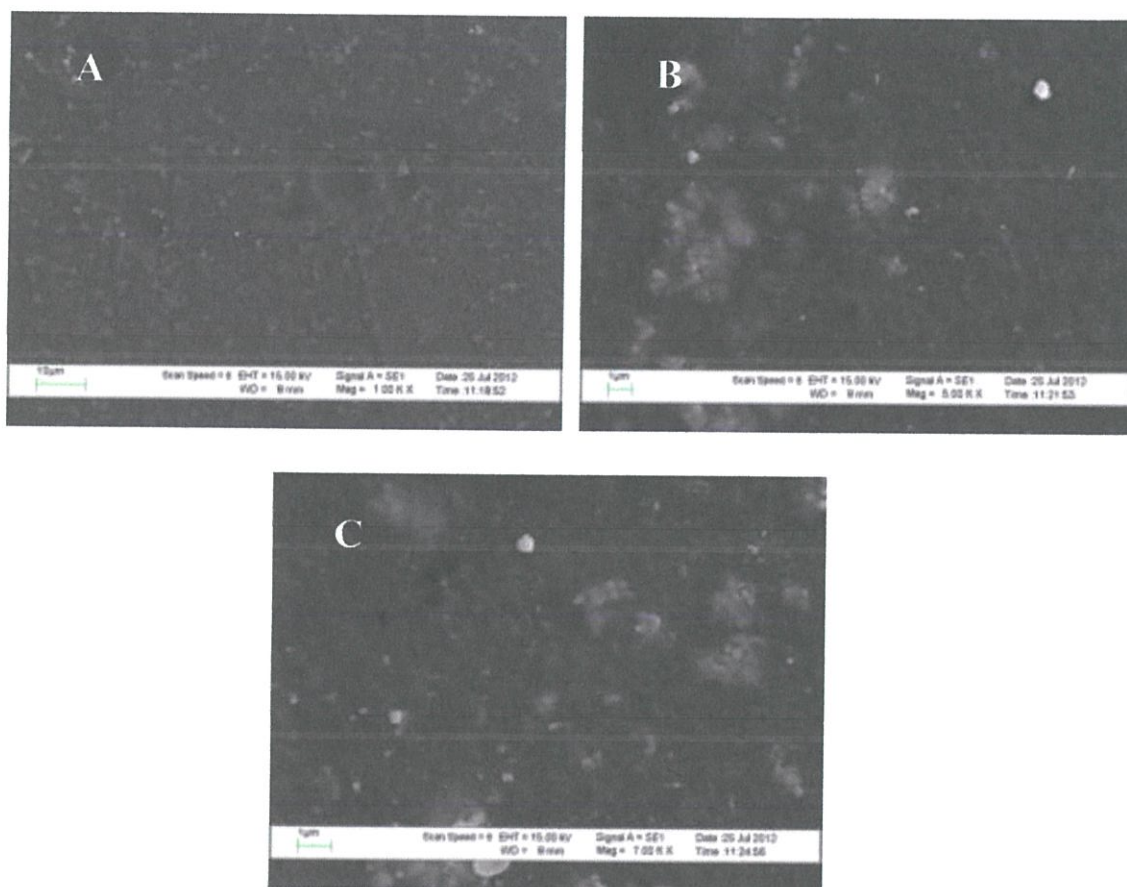
รูปที่ 4.8 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่กำลังขยาย (A) 1000X และ (B) 5000X

ผลการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.5 wt%



รูปที่ 4.9 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง ตรวจสอบที่กำลังขยาย (A) 1000X (B) 5000X และ (C) 7000X

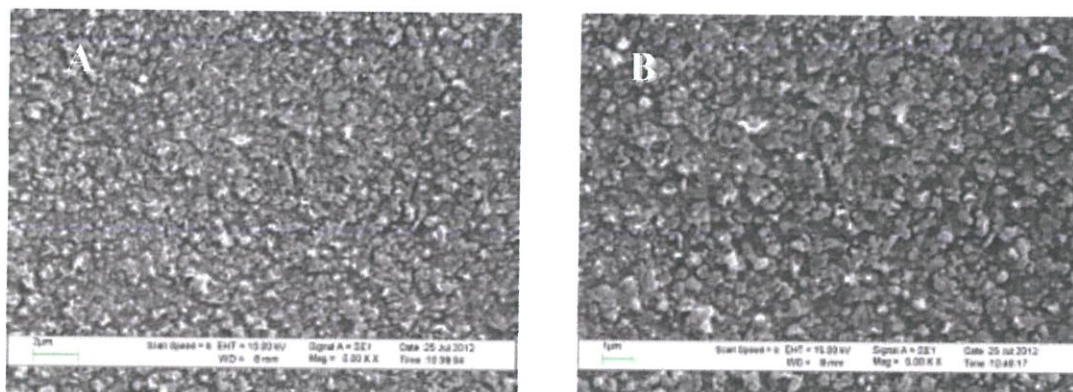
ผลการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี
ไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2.0%wt



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง ตรวจสอบที่กำลังขยาย (A) 1000X (B) 5000X และ (C) 7000X

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1.5wt% และ 2.0%wt ตามลำดับ จะพบการกระจายตัวของไทเทเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น พบการกระจายที่ผิวเพิ่มมากขึ้นและมีการเกาะรวมตัวกันเป็นก้อน เมื่อมีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น

ผลการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2.5%wt และ 3.0%wt

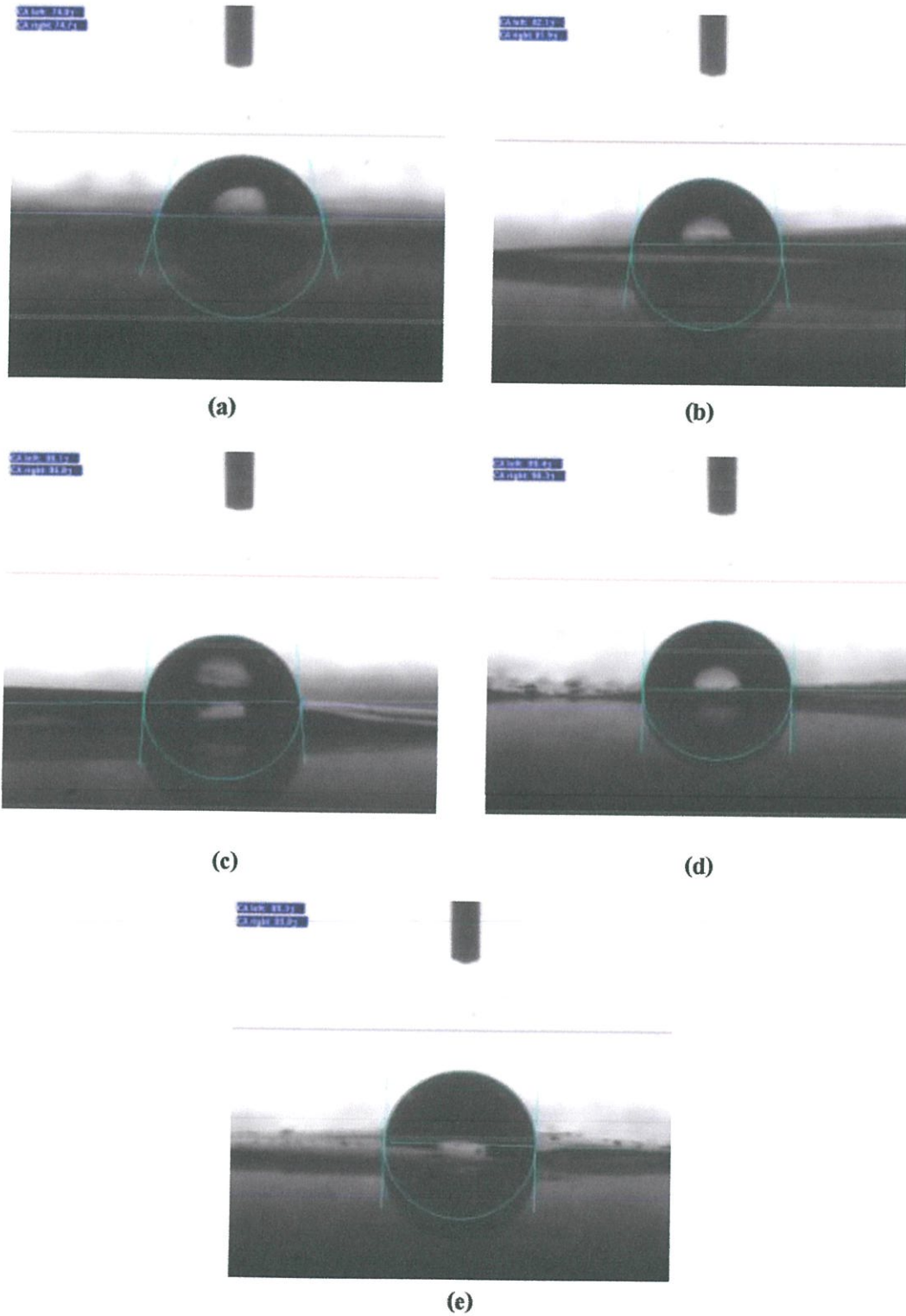


รูปที่ 4.11 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 2.5%wt และ 3.0%wt ตรวจสอบที่กำลังขยาย (A) 5000X (B) 5000X

จากรูป (A) และ (B) ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 2.5%wt 3.0 wt% ตามลำดับ พบว่าบนผิวของพอลิไวนิลคลอไรด์มีการกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน พบการเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนเมื่อเปอร์เซ็นต์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจะเห็นขนาดอนุภาคที่พื้นผิวชัดเจน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $0.68 \mu\text{m}$ และ $0.41 \mu\text{m}$ ตามลำดับ

4.2.3 สมบัติเชิงกล

4.2.3.1 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle)



รูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดมุมสัมผัสของ PVC และ PVC/TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ (a) PVC (b) PVC-TiO₂(1.5 %wt) (c) PVC-TiO₂(2.0 %wt) (d) PVC-TiO₂(2.5 %wt) และ (e) PVC-TiO₂(3.0 %wt)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวัดมุมสัมผัสของ PVC และ PVC/TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ

Compound	มุมสัมผัส	
	มุมซ้าย (°)	มุมขวา (°)
PVC	74.73	75.66
PVC/TiO ₂ (1.5 %wt)	81.33	82.36
PVC/TiO ₂ (2.0 %wt)	85.76	85.33
PVC/TiO ₂ (2.5 %wt)	89.96	89.83
PVC/TiO ₂ (3.0 %wt)	89.96	90.36

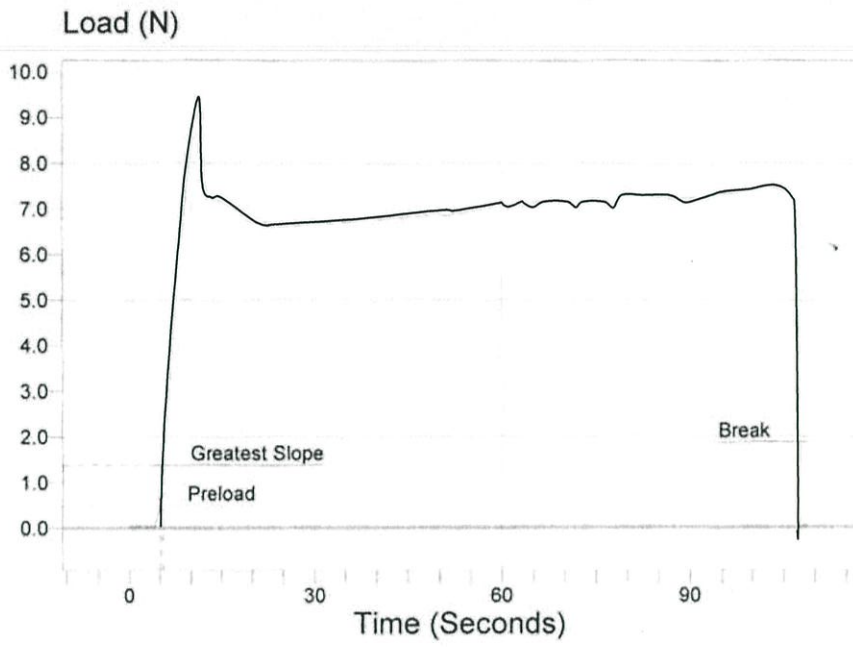
พบว่าพอลิไวไนลคลอไรด์และพอลิไวไนลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งมีความตึงผิวสูงขึ้นหรือเป็นผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลมจะมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง เมื่อเพิ่มปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป ทำให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้น คือเป็นพื้นผิวที่มีความตึงผิวสูงขึ้นหรือเปียกยากขึ้น แสดงว่ามีไทเทเนียมไดออกไซด์ บางส่วนไปกระจายตัวอยู่ที่ผิวของ พอลิไวไนลคลอไรด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อไม่ถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวีจะเป็น Hydrophobic แต่เมื่อถูกกระตุ้นจะเปลี่ยนเป็น Hydrophilic การวัด contact angle นี้ทำในสภาวะปิด คือถูกแสงหรือไม่ถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวีโดยสภาพของ พอลิไวไนลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งมีความเป็น Hydrophobic มากขึ้น เมื่อมี ไทเทเนียมไดออกไซด์ ไปกระจายอยู่ที่ผิว แต่เมื่อเพิ่มจนถึงจุดๆ หนึ่งค่ามุมสัมผัสจะเริ่มคงที่ เทคนิคนี้จึงเป็นเทคนิคที่ใช้บอกการกระจายตัวของ ไทเทเนียมไดออกไซด์ บนพื้นผิวของ พอลิไวไนลคลอไรด์ ได้ อาจจะไม่แม่นยำหรือเห็นภาพไม่ชัดเหมือนเทคนิค SEM แต่เป็นเทคนิคที่ง่ายและราคาถูกและอธิบายสมบัติทางการกระจายของ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้จริง

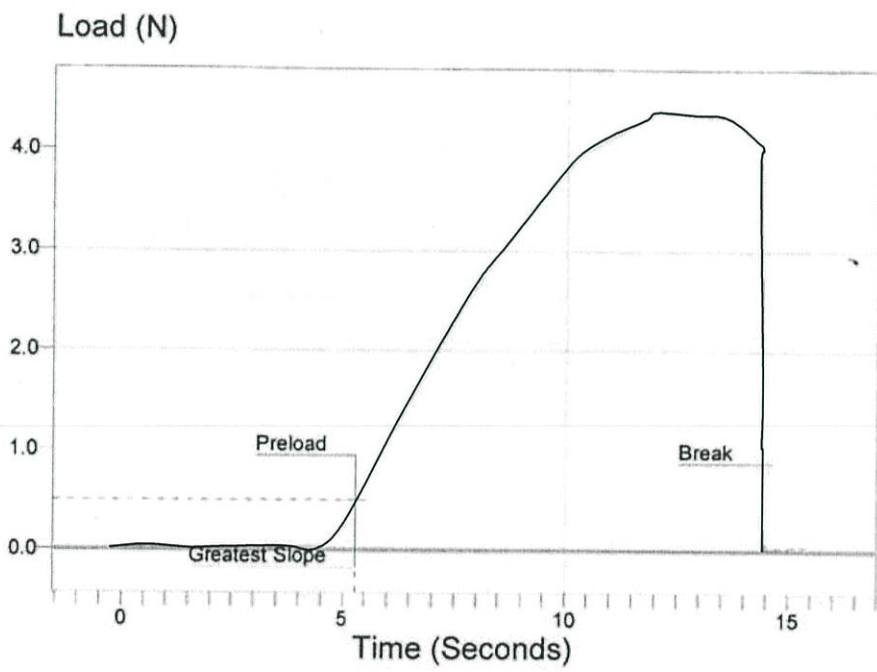
4.2.3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)

ตารางที่ 4.3 แสดงผล Tensile Testing ของ PVC และ PVC/TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ

Compound	Area	Maximum Load	Deflection at Maximum Load	Stress at Maximum Load	
PVC	0.3000	9.3186 N	1.0635 mm	31.062 MPa	
PVC/TiO ₂ (1.5 wt.%)	0.2400	4.3823 N	1.1858 mm	18.260 MPa	
PVC/TiO ₂ (2.0 wt.%)	0.3000	5.8493 N	0.9074 mm	19.498 MPa	
PVC/TiO ₂ (2.5 wt.%)	0.3000	6.1819 N	1.1887 mm	20.606 MPa	
PVC/TiO ₂ (3.0 wt.%)	0.4800	9.4391 N	0.9452 mm	19.665 MPa	
Compound	Percentage Strain at Maximum Load	Work to Maximum Load	Young's Modulus	Load at Break	
PVC	3.5449	0.0060360 J	1174.9 MPa	1.8637 N	
PVC/TiO ₂ (1.5 wt.%)	3.9525	0.0034827 J	623.75 MPa	0.8764 N	
PVC/TiO ₂ (2.0 wt.%)	3.0247	0.0034066 J	877.55 MPa	1.1699 N	
PVC/TiO ₂ (2.5 wt.%)	3.9623	0.0042051 J	679.92 MPa	1.2364 N	
PVC/TiO ₂ (3.0 wt.%)	3.1509	0.0054596 J	851.35 MPa	1.8878 N	
Compound	Deflection at Break	Stress at Break	Percentage Strain at Break	Stiffness	Work to Break
PVC	17.096 mm	6.2124 MPa	56.986	11749.0	0.1189400 J
PVC/TiO ₂ (1.5 wt.%)	1.5184 mm	3.6519 MPa	5.0615	4990.0	0.0049015 J
PVC/TiO ₂ (2.0 wt.%)	1.4533 mm	3.8995 MPa	4.8443	8775.5	0.0047832 J
PVC/TiO ₂ (2.5 wt.%)	1.6180 mm	4.1213 MPa	5.3935	6799.2	0.0060575 J
PVC/TiO ₂ (3.0 wt.%)	1.0627 mm	3.9329 MPa	3.5424	13622.0	0.0065380 J

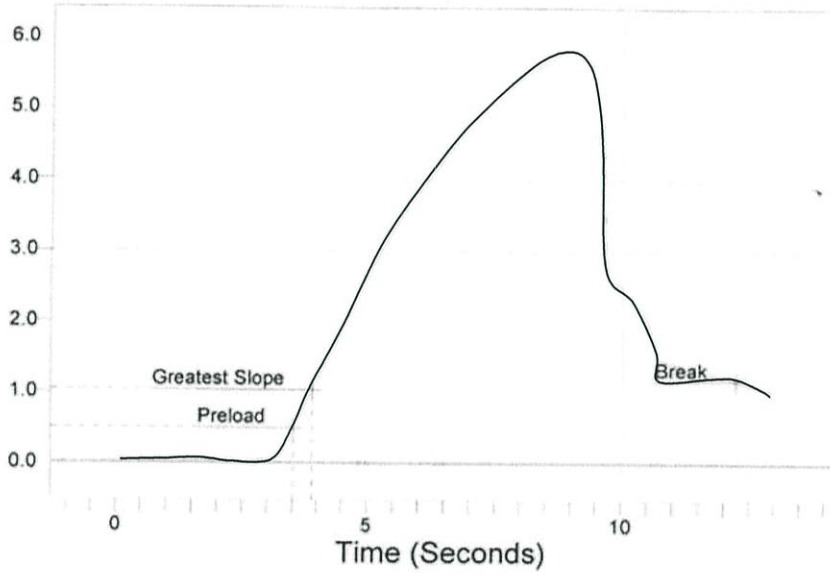


(a)



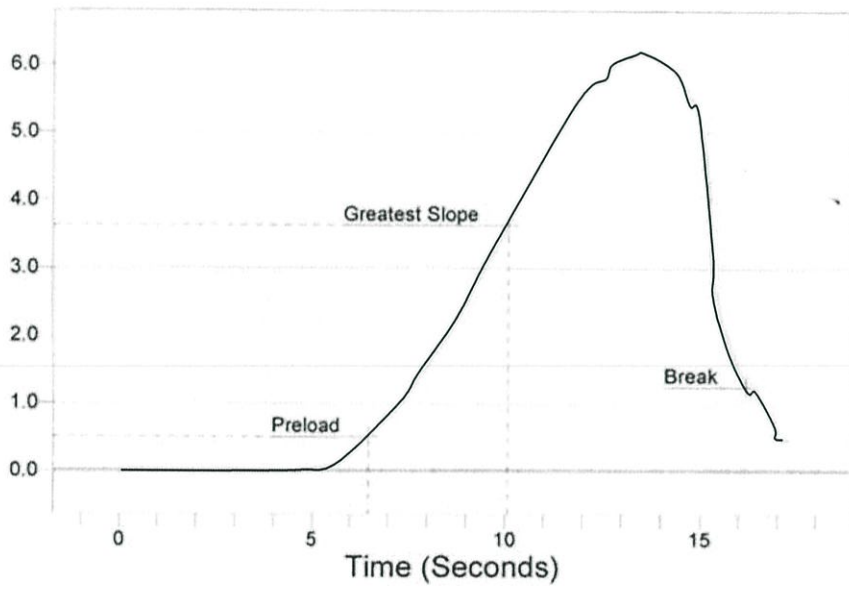
(b)

Load (N)

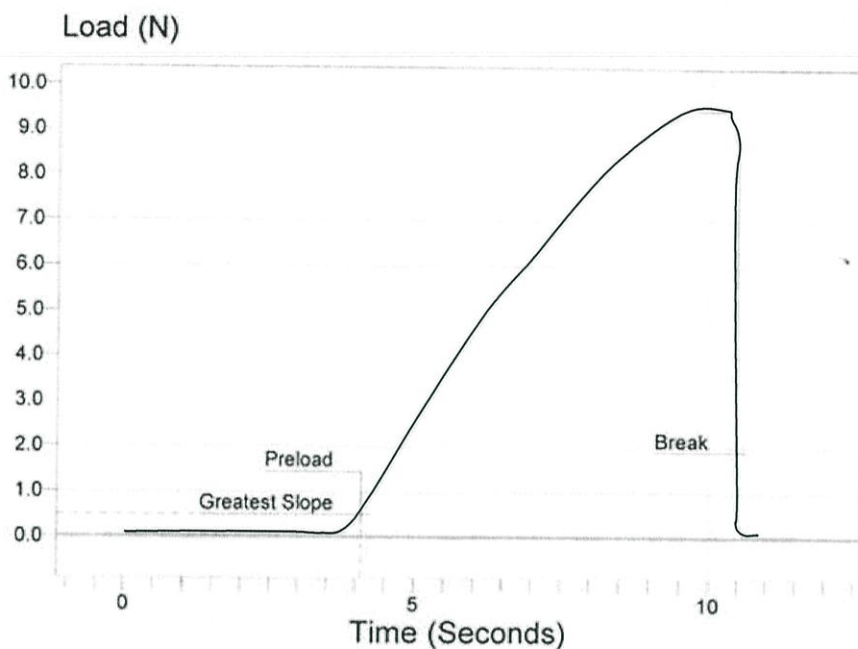


(c)

Load (N)



(d)



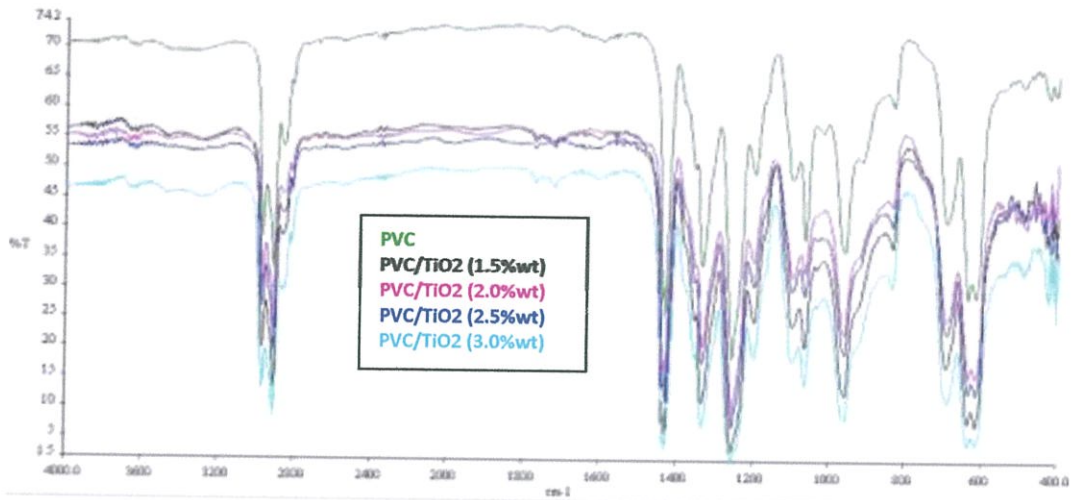
(e)

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง (Load, N) กับเวลา (Time, sec) PVC และ PVC/TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ (a) PVC (b) PVC-TiO₂ (1.5 wt.%) (c) PVC-TiO₂ (2.0 wt.%) (d) PVC-TiO₂ (2.5 wt.%) และ (e) PVC-TiO₂ (3.0 wt.%)

เมื่อความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์มีปริมาณมากขึ้น จะช่วยในการเสริมแรง ซึ่งดูได้จากค่า Maximum Load เพิ่มสูงสุดที่ปริมาณ PVC/TiO₂ (3.0 wt %) แต่เมื่อมีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์มีปริมาณที่น้อย จะไม่เกิดการเสริมแรง อาจเนื่องมาจากไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดการกระจายที่ผิว แต่ถ้าเติมในปริมาณมากขึ้นจะเข้าไปกระจายในเนื้อ พอลิไวนิลคลอไรด์ และช่วยในการเสริมแรงเพิ่มมากขึ้น

4.2.4 สมบัติทางเอกลักษณ์

4.2.4.1 เครื่องวิเคราะห์สสารด้วยอินฟราเรด (Fourier transforms infrared spectroscopy, FT-IR)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดง FT-IR spectra ของ PVC และ TiO₂/PVC

ตารางที่ 4.4 แสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันบางชนิด

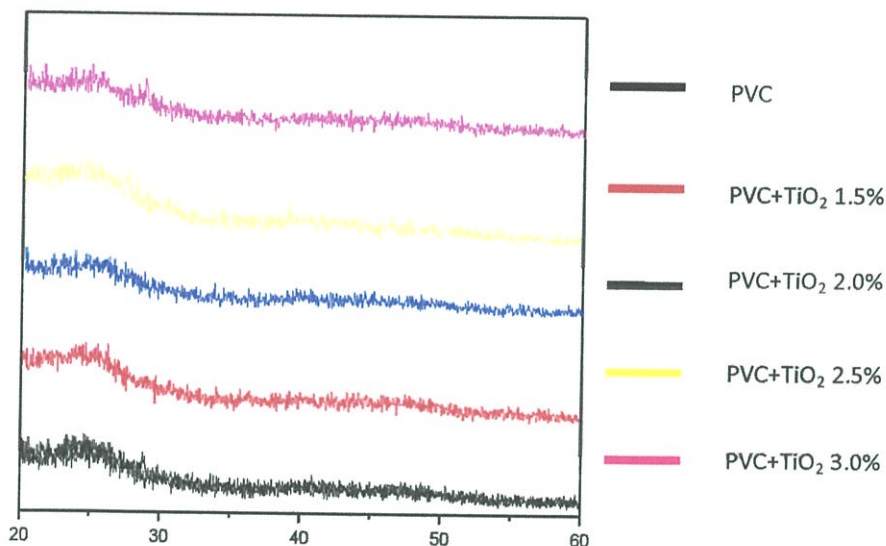
Wave Number (cm ⁻¹)	Compound
3600-3700	Ti-OH stretching
3300-3400	OH stretching
2800-2950	CH stretching of alkane
1300-1400	CH stretching of alkene
830	Ti-O

จาก FT-IR ใช้เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันหลักของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

โดยพบพีคสำคัญช่วงที่ 3,600-3,700 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีคของ Ti-OH stretching ช่วงที่ 3,300-3,400 cm⁻¹ เป็น OH stretching ช่วงที่ 2,800-2,950 cm⁻¹ เป็น CH stretching of alkane ช่วงที่ 1,300-1,400 cm⁻¹ เป็น CH stretching of alkene และที่ 830 cm⁻¹ เป็นพีคของ Ti-O

ซึ่งกราฟแต่ละเส้น จะไม่มีความแตกต่างกันมาก จาก %Transmittance พบว่าพอลิไวนิลคลอไรด์จะมีค่า %T มากสุด และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น และมากที่สุดที่ PVC/TiO₂ (3.0%wt) แสดงว่าไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถสะท้อนรังสีออกไปจากพื้นผิวได้ หรือมีค่าค่าครรชนีการหักเหของแสงที่สูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์

4.2.4.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 wt%

จากรูปที่ 4.15 แสดงถึงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 wt% ซึ่งพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นพีคของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ เพราะมีการกระจายตัวที่ระดับน้อย และมีการเติมลงไปปริมาณที่น้อยซึ่งต่างกับปริมาตรพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมลงไปปริมาณที่มากกว่า และมีลักษณะเป็นอสัณฐานจึงทำให้พีคที่ออกมา มี Resolution ต่ำ

4.2.5 สมบัติทางเคมี

4.2.5.1 การทดสอบกรด-เบส

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนทำการทดสอบและหลังทำการทดสอบด้วยเบส

สาร	น้ำหนักก่อนแช่ NaOH (mg)	น้ำหนักหลังแช่ NaOH (mg)	ร้อยละการ เพิ่มขึ้นน้ำหนัก หลังแช่ NaOH
PVC	11.00	11.70	6.36
PVC/TiO ₂ 1.5 wt%	10.40	12.30	18.27
PVC/TiO ₂ 2.0wt%	8.20	10.40	26.83
PVC/TiO ₂ 2.5 wt%	12.50	14.90	19.20
PVC/TiO ₂ 3.0wt%	13.50	16.30	20.74

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนทำการทดสอบและหลังทำการทดสอบด้วยกรด

สาร	น้ำหนักก่อนแช่ HCl (mg)	น้ำหนักหลังแช่ HCl (mg)	ร้อยละการลดลง น้ำหนักหลังแช่ HCl
PVC	11.10	9.30	16.22
PVC/TiO ₂ 1.5 wt%	11.30	8.80	22.12
PVC/TiO ₂ 2.0wt%	9.4	8.00	14.89
PVC/TiO ₂ 2.5 wt%	13.70	12.30	10.22
PVC/TiO ₂ 3.0wt%	15.3	13.40	12.42



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการแช่กรด-เบส

จากตารางผลการทดลองการทดสอบการแช่กรดเบส โดยนำแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 wt% โดยนำไปแช่ในสารละลาย NaOH ซึ่งมีความเป็นเบสและแช่ในสารละลาย HCl ที่มีความเป็นกรด หลังจากการแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆที่แช่ในสารละลาย NaOH มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดย NaOH สามารถทำปฏิกิริยากับไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ซึ่งจะได้น้ำออกมาในปริมาณเท่ากันไม่ว่าจะมีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์มากเท่าไรก็ตามส่งผลให้ร้อยละการเพิ่มขึ้นของน้ำหลังแผ่นฟิล์มหลังแช่มีค่าใกล้เคียงกันตามรูปที่ 4.17 ส่วนแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำไปแช่ในสารละลาย HCl ที่มีความเป็นกรด ทำให้น้ำหนักหลังการแช่ลดลง เนื่องจากเกิดการกัดกร่อนของกรด



n = เลขจำนวนเต็ม

รูปที่ 4.17 การทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับไทเทเนียมไดออกไซด์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการตรวจสอบการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

- สมบัติทางความร้อน ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนี้ คือ ชั้นที่ 1 มีการระเหยของน้ำ ชั้นที่ 2 มีการหลุดออกของคลอไรด์ ชั้นที่ 3 มีการ Decomposition และ ชั้นที่ 4 เกิดการ Combustion โดยอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวในแต่ละชั้น ไม่แตกต่างกันมากพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง 1.5 %wt 2.0 %wt 2.5 %wt และ 3.0 %wt ตามลำดับ จะมีอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวในแต่ละชั้นสูงขึ้นกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่มีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ คือ พอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 86.20°C 256.95°C 413.93°C และ 526.16°C ตามลำดับ โดยที่ % weight lost คือ 4.650% 56.364% 18.803% และ 20.131% ตามลำดับ ส่วน PVC/TiO₂ เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 78.14°C 264.42°C และ 430.34°C ตามลำดับ โดยที่ % weight lost คือ 2.316% 56.818% 18.968% และ 20.131% ตามลำดับ เพราะค่าความจุความร้อนของไทเทเนียมไดออกไซด์มากกว่าค่าความจุความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์เมื่อเติมลงไปจึงทำให้มีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น หรือมีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้น

- สมบัติทางกายภาพ ทดสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ทำให้เห็นแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1.5wt%, 2.0%wt 2.5%wt และ 3.0%wt พบการกระจายที่ผิวเพิ่มมากขึ้นและมีการเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนเมื่อเปอร์เซ็นต์ของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

- สมบัติทางเอกลักษณ์ ทดสอบโดยใช้เครื่อง FT-IR ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถสะท้อนรังสีออกไปจากพื้นผิวได้ หรือมีค่าการชนหักเหของแสงที่สูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งดูได้จาก %Transmittance ของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ที่พบว่า ปริมาณของไทเทเนียมในแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์จะเป็นสัดส่วนผกผันกับ % Transmittance คือ พอลิไวนิลคลอไรด์จะมี %Tมากกว่า PVC/TiO₂(1.5%wt) PVC/TiO₂(2.0%wt) PVC/TiO₂(2.5%wt) และ PVC/TiO₂(3.0%wt) ตามลำดับ

โดยใช้เครื่อง XRD ไม่สามารถสังเกตเห็นพีกของไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เนื่องจากมีการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ที่น้อยในพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เป็นอสัญฐานจึงมี Resolution ที่ต่ำ

- สมบัติทางเคมี ทดสอบการแช่กรด-เบส แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งที่แช่ใน NaOH น้ำหนักหลังแช่จะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปแช่ HCl น้ำหนักหลังการแช่จะลดลง

- สมบัติเชิงกล ทดสอบโดยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle) ผลการศึกษาด้วยเทคนิคการวัดมุมสัมผัส (Contact Angle) พบว่าการวัดมุมสัมผัสของ PVC และ PVC/TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ ได้ผลดังนี้ PVC มีค่ามุมซ้ายคือ 74.73° มุมขวาคือ 75.66° PVC/TiO₂ (1.5 wt.%) มีค่ามุมซ้ายคือ 81.33° มุมขวาคือ 82.36° PVC/TiO₂ (2.0 wt.%) มีค่ามุมซ้ายคือ 85.76° มุมขวาคือ 85.33° PVC/TiO₂ (2.5 wt.%) มีค่ามุมซ้ายคือ 89.96° มุมขวาคือ 89.83° PVC/TiO₂ (3.0 wt.%) มีค่ามุมซ้ายคือ 89.96° มุมขวาคือ 90.36° ตามลำดับ คือเมื่อเพิ่มปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ จะทำให้ได้ค่ามุมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มจนถึงจุดๆ หนึ่ง ค่ามุมสัมผัสจะเริ่มคงที่ แสดงว่าการเติม TiO₂ ลงไปใน PVC จะทำให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติเป็น Hydrophobic มากขึ้น ซึ่งบอกความสามารถการกระจายตัวของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พื้นผิวของพอลิไวนิลคลอไรด์

เครื่อง Tensile Testing Machine คือเมื่อความเข้มข้นไทเทเนียมไดออกไซด์มีปริมาณมากขึ้น จะช่วยในการเสริมแรง ซึ่งดูได้จากค่า Maximum Load เพิ่มสูงสุดที่ปริมาณ PVC/TiO₂ (3.0 wt. %)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลงานวิจัยนี้สามารถนำพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น พลาสติกกันความร้อน ผนังเทียม อีกทั้งยังสามารถศึกษาได้โดยการเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ในการวิเคราะห์เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพของแผ่นฟิล์มที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ให้หลากหลายมากขึ้น

5.2.2 จากผลการทดลองเมื่อนำแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งไปตรวจสอบด้วยเครื่อง TGA ควรขยายอุณหภูมิ ให้มากกว่า 600°C ในการวิเคราะห์เพื่อที่จะได้เห็นช่วง combustion ของแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งในแต่ละความเข้มข้น

5.2.3 จากการทดลองเมื่อนำแผ่นฟิล์มไปตรวจสอบคุณสมบัติด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ พบว่าบางบริเวณเกิดการกระจายตัวของไทเทเนียมไม่ดัดนักในแต่ละความเข้มข้นทั้งนี้อาจเกิดจากวิธีการเตรียมฟิล์มที่ไม่เหมาะสม จึงควรวางวิธีเตรียมฟิล์มที่เหมาะสม เช่น การขึ้นรูปโดยการหล่อแผ่นบาง (Tape Casting) แต่ใช้วิธี Doctor Blade Process เป็นวิธีที่ใช้มาก เทคนิคประกอบด้วย การหล่อ Slurry บนผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ที่เคลื่อนที่อยู่ (ฟิล์มเช่น Cellulose Acetate, Teflon, Mylar หรือ

Cellophane) ความหนา ถูกควบคุมด้วยด้วย Doctor blade Slurry ประกอบด้วย Binder ที่ละลายใน สารตัวทำละลาย ให้เพียงพอ เพื่อให้ได้ Tape ที่ยืดหยุ่น เมื่อตัวทำละลาย ถูกกำจัดออก โดยการ กลายเป็นไอ (จะต้องค่อยๆ กำจัดออกเพื่อป้องกัน การแตกร้าว ฟอกอากาศ และปิดตัว) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] [Online] .พอลิไวนิลคลอไรด์: <http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/product-name/product-name-english/466-plastic.html>
- [2] [Online] .ไทเทเนียมไดออกไซด์: http://www.thaiairpure.com/index.php?route=information/info&info_id=8
- [3] [Online] .โครงสร้างผลึกของไทเทเนียม: <http://www.oknation.net/blog/DeathGoD/2008/01/26/entry-1>
- [4] [Online]. ลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสง
ร่วม:<http://vlib.stkc.go.th/bitstream/handle/023333700/671/20.pdf?sequence=1>
- [5] [Online] .พอลิไวนิลคลอไรด์: http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Athicha_Yotharuk/Fulltext.pdf
- [6] [Online] .สมบัติทางฟิสิกส์ของPVC: <http://th.wikipedia.org/wiki/PVC>
- [7][Online].สมบัติไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์: <http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/7371/1/309669.pdf>
- [8] [Online] .เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด: http://www.sci.nu.ac.th/slc/tools.php?tool_ID=7
- [9] [Online] .เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน: http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter5_2.html
- [10][Online].เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์: http://physics.kku.ac.th/solid/sites/default/files/Chapter-4_Practical_XRD.pdf
- [11] [Online].กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด: <http://kanokwan09.wordpress.com/nano/sem>
- [12] [Online].เครื่องวัดมุมสัมผัส: http://www.biophyresearch.com/pdf/angle_uk.pdf
- [13] [Online].เครื่องทดสอบแรงดึง: [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-6.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-6.pdf)
- [14] Jae-Hun Yang, Yang-Su Han, Jin-Ho Choy (2006). “TiO₂ thin-films on polymer substrates and their photocatalytic activity” *Thin Solid Films* (495), 266 – 271
- [15] Sungmin Cho, Wonyong Choi (2001). “Solid-phase photocatalytic degradation of PVC–TiO₂ polymer composites” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* (143), 221–228
- [16] U. Gesenhues (2000). “Influence of titanium dioxide pigments on the photodegradation of poly (vinyl chloride)” *Polymer Degradation and Stability* (68), 185-196
- [17] M. Veronelli ^a, M. Mauro ^b, S. Bresadola ^b (1999). “Influence of thermal dehydrochlorination on the photooxidation kinetics of PVC samples” *Polymer Degradation and Stability* (66) 349-357

[18] Sakata, Y., Uddin, M.A., Koizumi, K., and Murata, K., "Thermal Degradation of Poly(vinyl chloride)." *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 53 (1996) : 111-117.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของไทเทเนียมและไทเทเนียมไดออกไซด์

ตารางที่ ก-1 สมบัติทางกายภาพของไทเทเนียม

Name	Titanium
Symbol	Ti
Atomic Number	22
Element category	transition metal
Group, Period, Block	4, 4, d
Atomic wt.	47.867
Electron configuration	{Ar} 4s ² 3d ²
Electron per shell	2, 8, 10, 2
Oxidation states	4, 3, 2, 1 (amphoteric oxide)
Electron gravity	1.54 (Pauling scale)
Ionization energies	1 st : 658.8 kJ·mol ⁻¹
	2 nd : 1309.8 kJ·mol ⁻¹
	3 rd : 2652.5 kJ·mol ⁻¹
Atomic radius	147 pm
Covalent radius	160 ± 8 pm
VDW radius	172 pm

ตารางที่ ก-2 สมบัติทางกายภาพของไทเทเนียมไดออกไซด์

Phase	Solid
Density	4.506 g·cm ⁻³
Melting point	1668 °C
Boiling point	3287 °C
Heat of fusion	14.15 kJ·mol ⁻¹
Heat of vaporization	425 kJ·mol ⁻¹
Molar heat capacity	25.060 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Density	4 gcm ⁻³
Porosity	0%
Modulus of Rupture	140MPa
Compressive Strength	680MPa
Poisson's Ratio	0.27
Fracture Toughness	3.2 Mpa.m ^{-1/2}
Shear Modulus	90GPa
Modulus of Elasticity	230GPa
Microhardness (HV0.5)	880
Resistivity (25 °C)	10 ¹² ohm.cm
Resistivity (700 °C)	2.5x10 ⁴ ohm.cm
Dielectric Constant (1MHz)	85
Dissipation factor (1MHz)	5x10 ⁻⁴
Dielectric strength	4 kVmm ⁻¹
Thermal expansion (RT-1000 °C)	9 x 10 ⁻⁶
Thermal Conductivity (25 °C)	11.7 WmK ⁻¹

ตารางที่ ก-3 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของอนาเทส

Material name		Anatase				
Composition		TiO ₂				
System		Tetragonal				
Temperature (°C)		25				
$a(\text{Å}), b(\text{Å}), c(\text{Å})$		3.7842(13)	3.7842(13)	9.5146(15)		
$\alpha(\text{deg}), \beta(\text{deg}), \gamma(\text{deg})$		90	90	90		
Unit cell volume (Å ³)		136.3				
D_x (g/cm ³)		3.89				
Space group		$I4_1/amd$ (No.141)				
Atom	Site	G	x/a	y/b	z/c	B (Å ²)
Ti	$4a$	1	0	0	0	0.390(63)
O	$8e$	1	0	0	0.2081(2)	0.613(90)

ที่มา: M. Horn, C.F. Schwerdtfeger, and E.P. Meagher, Zeitschrift für Kristallographie, 136, 273 (1972).

ตารางที่ ก-4 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของรูไทล์

Material name		Rutile				
Composition		TiO ₂				
System		Tetragonal				
Temperature (°C)		25				
$a(\text{Å}), b(\text{Å}), c(\text{Å})$		4.593(2)	4.593(2)	2.959(2)		
$\alpha(\text{deg}), \beta(\text{deg}), \gamma(\text{deg})$		90	90	90		
Unit cell volume (Å ³)		62.42				
D_x (g/cm ³)		4.25				
Space group		$P4_2/mnm$ (No.136)				
Atom	Site	G	x/a	y/b	z/c	B (Å ²)
Ti	$2a$	1	0	0	0	0.42(6)
O	$4f$	1	0.3051(7)	0.3051(7)	0	0.6(6)

ที่มา: E.P. Meagher and G.A. Lager, The Canadian Mineralogist, 17, 77 (1979).

ตารางที่ ก-5 แสดงสมบัติทางกายภาพทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปของบรูคไคท์

Material name		Brookite				
Composition		TiO ₂				
System		Orthorhombic				
Temperature (°C)		25				
a(Å), b(Å), c(Å)		9.174(2)	5.449(2)	5.138(2)		
α(deg), β(deg), γ(deg)		90	90	90		
Unit cell volume (Å ³)		257				
D _x (g/cm ³)		4.13				
Space group		Pbca (No.61)				
Atom	Site	G	x/a	y/b	z/c	B (Å ³)
Ti	8c	1	0.1289(1)	0.0972(1)	0.8628(1)	0.37(3)
O1	8c	1	0.0095(4)	0.1491(5)	0.1835(5)	0.46(6)
O2	8c	1	0.2314(4)	0.1110(4)	0.5366(6)	0.53(7)

ที่มา: E.P. Meagher and G.A. Lager, The Canadian Mineralogist, 17, 77 (1979).

ภาคผนวก ข.

การคำนวณความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ในสารละลายพอลิไวนิลคลอไรด์

การคำนวณความเข้มข้นของ TiO_2 ในสารละลาย PVC ที่ความเข้มข้นต่างๆ
ที่ความเข้มข้น 1.5%wt

จากสูตร $\%w/w = \frac{\text{มวลตัวถูกละลาย}}{\text{มวลสารละลาย}} \times 100$

$$\%wt = \frac{\text{มวลของไทเทเนียมไดออกไซด์}}{\text{มวลของสารละลายPVC}} \times 100$$

$$1.5 = \frac{\text{มวลของไทเทเนียมไดออกไซด์}}{\frac{50}{1000}} \times 100$$

มวลของไทเทเนียมไดออกไซด์ = 0.075 กรัม

ดังนั้น %PVC ใน THF = $100 - 1.5 = 98.5\%$

$$98.5 = \frac{\text{มวลของPVC}}{\frac{50}{1000}} \times 100$$

มวลของ PVC = 4.925 กรัม

หมายเหตุที่ความเข้มข้นอื่นๆก็คำนวณเช่นเดียวกันกับความเข้มข้นที่ 1.5 %wt

ตารางที่ ข-1 แสดงมวลของ TiO_2 และมวลของ PVC ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (%wt)	มวล TiO_2 (g)	มวล PVC (g)
1.5	0.075	4.925
2.0	0.100	4.900
2.5	0.125	4.875
3.0	0.150	4.850