

การใช้น้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์และน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ / มอนต์มอริลโลไนต์
เป็นสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต



นางสาวระวีวรรณ อินทร์ดี

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3876-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL AND EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL / MONTMORILLONITE
AS ULTRAVIOLET CURABLE COATINGS



Miss Raviwan Intarat

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-3876-5

นางสาวระวีวรรณ อินทร์ดี : การใช้น้ำมันทานตะวันอีพอกซิไดซ์และน้ำมันทานตะวันอีพอกซิไดซ์ / มอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (USE OF EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL AND EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL / MONTMORILLONITE AS ULTRAVIOLET CURABLE COATINGS) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกุล, 89 หน้า. ISBN 974-17-3876-5.

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซิไดซ์ ซึ่งนำมาใช้ในสูตรสารเคลือบที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต โดยใช้วิธี *in situ* peracetic acid และศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิว

น้ำมันทานตะวันมีส่วนประกอบที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันได้ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส น้ำมันทานตะวันอีพอกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าออกซิเจนออกซิเจนเท่ากับ 4.95% เตรียมสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซิไดซ์และสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ (0.5-1.5%) ศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิว พบว่าสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ใช้พลังงานในการแห้งตัวน้อยกว่าสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก และการเติมตัวเจือจางที่ว่องไวมีผลทำให้สารเคลือบผิวใช้พลังงานในการแห้งตัวสูงขึ้น ค่าความทนแรงกระแทกและค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและการเติมตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบผิว

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต.....ระวีวรรณ อินทร์ดี

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....นันทนา จิรธรรมนุกุล

ปีการศึกษา 2548

4772431423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL / UV CURABLE COATING / NANOCOMPOSITE COATING

RAVIWAN INTARAT : USE OF EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL AND EPOXIDIZED SUNFLOWER OIL / MONTMORILLONITE AS ULTRAVIOLET COATINGS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D, 89 pp. ISBN 974-17-3876-5

The research was to study the synthesis of the epoxidized sunflower oil, by *in situ* peracetic acid method, for ultraviolet curable formulations. The effect of diluents and types of photoinitiators were studied in energy consumption and physical properties of coating film.

Sunflower oil inclusive of the unsaturated fatty acids was epoxidized for 8 hours at the reaction temperature of 70°C. The epoxidized sunflower oil possessed 4.95% of oxirane oxygen. Epoxidized sunflower oil can be cured with ultraviolet radiation using either cationic or hybrid initiation. The coating formulation could be prepare from epoxidized sunflower oil and nanocomposite coating formulation was incorporated modified montmorillonite with various amounts (0.5, 1.0 1.5% by wt). The effect of diluents and types of photoinitiators were studied. It was found that the formulations with hybrid photoinitiator used energy in curing process less than those with cationic photoinitiator. Moreover, the formulations without diluent could be cured with lower radiation energy than those with diluent. Impact strength and hardness were found to increase with an increasing modified montmorillonite in nanocomposite coating formulation and also increase with incorporated reactive diluent in the coating formulation.

Department Materials Science

Student's signature... *Raviwan Intarat*...

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature... *Nantana Jiratumnukul*...

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์ โดยท่านผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านี้คือ ผศ. ดร. นันทนา จิรธรรมนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่ง ตลอดการทำงานวิจัยนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รศ. ไพพรรณ สันติสุข ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ และอาจารย์ ดร.มณฑนา โอภาประกาศิต คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีสำหรับการทำวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัท Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited ให้ความอนุเคราะห์ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ประจุบวก และตัวกระตุ้นทางแสง
2. บริษัท Cognis Thailand Limited. ให้ความอนุเคราะห์ตัวเจือจางที่ว่องไวและสารช่วยเปียก
3. บริษัท Thai Peroxide Company Limited. ให้ความอนุเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50%
4. บริษัท ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณนายเฉลิมพล พากเพียร อีกทั้งเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อต่างๆ นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายซึ่งมิได้กล่าวถึง ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมัน	3
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน	3
2.1.2 น้ำมันทานตะวัน	4
2.2 ปฏิกริยาอิพอกซิเดชัน	5
2.3 การเกิดปฏิกริยาอิพอกซิเดชัน	5
2.3.1 การเกิดปฏิกริยาอิพอกซิเดชันโดยเปอร์ออกไซด์	5
2.3.2 การเกิดปฏิกริยาอิพอกซิเดชันโดยการใช้เอนไซม์	8
2.3.3 การเกิดปฏิกริยาอิพอกซิเดชันโดยไดออกซิเรน	8
2.3.4 การเกิดปฏิกริยาอิพอกซิเดชันโดยการใช้แอลดีไฮด์ ออกซิเจนและตัวเร่งโลหะ	9
2.4 มอนต์มอริลโลไนต์	10
2.5 การดัดแปรเคลย์	11
2.6 วัสดุนาโนคอมพอสิต	11
2.6.1 คอมพอสิตทั่วไป (conventional composite)	11
2.6.2 นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด (intercalated clay nanocomposite)	11
2.6.3 นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน (exfoliated clay nanocomposite)	12
2.7 แสงอัลตราไวโอเล็ต	12

บทที่	ช หน้า
2.8 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี.....	13
2.8.1 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet curing).....	13
2.8.2 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beams curing).....	13
2.9 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	14
2.10 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator).....	15
2.10.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (free radical photoinitiator).....	15
2.10.2 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiators).....	18
2.11 มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์.....	20
2.11.1 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลเสรี (Free Radical System).....	20
2.11.2 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก (Cationic System).....	22
2.11.3 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (hybrid system).....	23
2.12 ตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent).....	23
2.13 สารเติมแต่ง (additive).....	25
2.14 ข้อดีของการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	25
2.15 ปัจจัยที่มีผลต่อการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	25
2.15.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา.....	25
2.15.2 ความหนาในการเคลือบ.....	25
2.15.3 ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่.....	26
2.15.4 ความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	26
2.16 ความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	26
2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	30
3.5 ขอบเขตการทดลอง.....	31
3.6 การสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ (ESO).....	31

3.6.1	ตัวแปรที่ศึกษาในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	33
3.7	การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	34
3.8	การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	34
3.8.1	การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนออกซิเจน (oxirane oxygen).....	34
3.8.2	การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (iodine value).....	35
3.8.3	การทดสอบความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	36
3.9	การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ที่บ่มด้วย รังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	37
3.9.1	การศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสารเคลือบผิวที่บ่ม ได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	37
3.9.2	การศึกษาถึงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสี อัลตราไวโอเล็ต.....	38
3.10	การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอลิเมอร์ที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	38
3.10.1	การศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสารเคลือบผิว นาโนคอมพอลิเมอร์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	38
3.10.2	การศึกษาถึงผลของการตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสารเคลือบผิว นาโนคอมพอลิเมอร์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	40
3.11	การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวในแต่ละสูตร.....	41
3.12	การวิเคราะห์โครงสร้างมอดูลโมริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วย เทคนิค X-ray diffraction (XRD).....	44
3.13	การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอลิเมอร์ด้วย เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส (TGA).....	46
3.14	การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะฟิล์มแห้ง.....	47
3.14.1	การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact Test).....	47
3.14.2	การทดสอบความแข็ง (Hardness).....	48
3.14.3	การทดสอบความอ่อนตัว (Flexibility).....	49
3.14.4	การทดสอบความติดแน่น (Adhesion).....	50
3.14.5	การวัดความเงา (Gloss).....	51
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53

4.1 ผลการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	53
4.1.1 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณการเกิดออกซิเรนออกซิเจน ในน้ำมันทานตะวัน.....	53
4.1.2 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ที่วิเคราะห์ได้ด้วย เทคนิค FTIR.....	56
4.2 การทดสอบความเหนียวของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	58
4.3 พลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	59
4.3.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิว จากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	59
4.3.2 ผลของการตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจาก น้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	61
4.4 พลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	62
4.4.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่ม สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	62
4.4.2 ผลของการตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่ม สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	63
4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างมอดูลโมริสไลนิต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD).....	65
4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA.....	66
4.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์.....	70
4.7.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว จากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	70
4.7.2 ผลของการตัวเจือจางว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว จากน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	71
4.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต.....	72
4.8.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของ สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....	72
4.8.2 ผลของการตัวเจือจางว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว	

บทที่	หน้า
	๗
	หน้า
	นาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต.....73
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ76
	5.1 สรุปผลการทดลอง76
	5.2 ข้อเสนอแนะ77
	รายการอ้างอิง78
	ภาคผนวก.....80
	ภาคผนวก ก.....81
	ภาคผนวก ข.....83
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....89



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลองในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์.....	33
ตารางที่ 3.2 แสดงน้ำหนักน้ำมันที่ต้องชั่งในการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน.....	36
ตารางที่ 3.3 แสดงข้อบกพร่องของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี cross cut.....	50
ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะของน้ำมันทานตะวันและน้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์ ที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค FTIR.....	56
ตารางที่ 4.2 แสดงความหนืดของน้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์ในสูตรต่างๆ.....	57
ตารางที่ 4.3 แสดงสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	59
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมัน ทานตะวันอพอกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	60
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมัน ทานตะวันอพอกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	61
ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว นาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรต่างๆกัน.....	62
ตารางที่ 4.7 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิว นาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	63
ตารางที่ 4.8 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของ สารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์.....	70
ตารางที่ 4.9 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว จากน้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์.....	71
ตารางที่ 4.10 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพ ของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต.....	72
ตารางที่ 4.11 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของ สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต.....	74

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงภาพดอกทานตะวัน.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสารประกอบอียพอกไซด์.....	5
รูปที่ 2.3 แสดงการเปิดวงของสารประกอบอียพอกไซด์ด้วยสารต่างๆ.....	5
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไดเมทิลไดออกซิเรน	8
รูปที่ 2.5 แสดงการเรียงตัวของชั้นซิลิเกตแบบ 2:1	10
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างนาโนคอมพอสิตแบบต่างๆ	12
รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต	13
รูปที่ 2.8 แสดงการบ่มสารเคลือบด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตและลำแสงอิเล็กตรอน	14
รูปที่ 2.9 แสดงการแตกตัวให้อนุมูลเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยา	15
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลเสรีแบบ Norrish type I.....	16
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลเสรีแบบ Norrish type II.....	17
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	19
รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบประจุบวกของมอนอเมอร์	20
รูปที่ 2.14 แสดงสูตรโครงสร้างของสารเคลือบผิวในจำพวกอะครีเลต.....	20
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสารประกอบอียพอกไซด์.....	22
รูปที่ 2.16 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่มีกลไกแบบประจุบวกของไวนิลอีเทอร์	23
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของไตรโพรเพนไกลคอลไดอะครีเลต	24
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของ 1,6 เฮกเซนไดออลไดอะครีเลต.....	24
รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะครีเลต	24
รูปที่ 3.1 แสดงการต่ออุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอียพอกไซด์....	32
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง vacuum evaporation	32
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	34
รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield	36
รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น UV tech	42
รูปที่ 3.6 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่อง UV integrator.....	43
รูปที่ 3.7 แสดงภาพด้านหลังของเครื่อง UV integrator	43

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.8 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป.....	45
รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง X-ray diffraction (XRD).....	45
รูปที่ 3.10 แสดงเครื่อง TGA.....	48
รูปที่ 3.11 เครื่องมือทดสอบ Impact Strength Tester	47
รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องมือทดสอบการขูดขีด.....	48
รูปที่ 3.13 แสดงเครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus.....	49
รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องทดสอบความติดแน่น ด้วยวิธี cross-cut tape.....	50
รูปที่ 3.15 แสดงเครื่อง Gloss Meter.....	52
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าออกซิเจนออกซิเจนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	53
รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของวิซินอลไดออกไซด์.....	53
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าไอโอดีในน้ำมันทานตะวันทานตะวันอ็อกซิไดซ์.....	55
รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัม FTIR ของน้ำมันทานตะวันอ็อกซิไดซ์ที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	56
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม FTIR ของน้ำมันทานตะวัน.....	57
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มด้วย รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดต่างกัน.....	62
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิว นาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม.....	64
รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค XRD.....	65
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของน้ำมันทานตะวันอ็อกซิไดซ์.....	67
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1.5%.....	68
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของ สารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอ็อกซิไดซ์ที่มีและไม่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร.....	69

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านสารเคลือบผิวได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากสารเคลือบผิวที่ใช้ในอดีตส่วนใหญ่เป็นสารเคลือบผิวที่มีการใช้ตัวทำละลาย ซึ่งสารเคลือบผวดังกล่าวนี้จะเกิดฟิล์มแข็งได้ก็ต่อเมื่อมีการปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปในอากาศหรือให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายออกจากสารเคลือบผิว ตัวทำละลายที่ระเหยออกไปนี้เป็นอันตรายและเป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

การบ่มสารเคลือบผิวโดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความสะดวกและนิยมใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบดังกล่าวไม่ได้อาศัยการระเหยของตัวทำละลายเพื่อทำให้ฟิล์มแข็งตัว แต่อาศัยการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงด้วยพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วได้อนุภาคที่มีความว่องไวสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปกับโมโนเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้น เกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบอยู่บนพื้นผิวที่ต้องการ พบว่ากระบวนการดังกล่าวนอกจากจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่ระบบเพื่อทำให้เกิดฟิล์ม การบ่มสารเคลือบผิวโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น ฟิล์มบ่มตัวได้อย่างรวดเร็วทำให้ลดระยะเวลาในการผลิตนอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับชิ้นงานที่ไวต่อความร้อนได้อีกด้วย

น้ำมันพืชเป็นผลิตภัณฑ์ จากธรรมชาติและมีอยู่ในประเทศและสามารถนำมาใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวเพื่อทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันพืชมีข้อดีดังนี้ (1)

1. น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด สามารถผลิตทดแทนได้ตลอดเวลา
2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันและไขมันพืชนั้นมีความสามารถในการสลายตัวตามธรรมชาติได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่ผลิตจากปิโตรเลียม ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า
3. การดัดแปรน้ำมันพืชสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นและความเหนียวที่ดีกว่าระบบเรซินที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น อีพอกซี เป็นต้น

ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์เพื่อใช้ในสูตรของสารเคลือบผิวที่ป่นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยได้ศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ด้วยวิธี *in situ* peracetic acid เพื่อให้ได้ออกซิเรนออกซิเจน (oxirane oxygen) สูงสุด รวมถึงหาสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมในการเตรียมสูตรสารเคลือบผิวและสารเคลือบผิวในคอมพอสิตจากน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ที่ป่นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดต่างกัน อีกทั้งยังศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่เตรียมได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

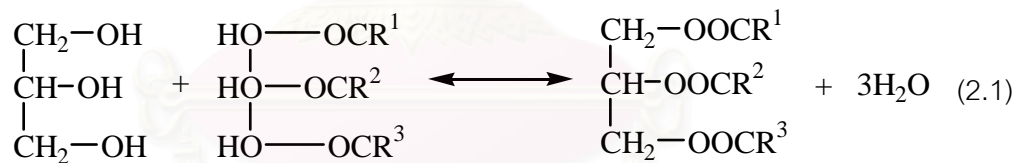
2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมัน (2)

น้ำมันถูกนำมาใช้เป็นสารยัดในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ปัจจุบันนี้การนำน้ำมันเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยัดมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ยังมีการใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมของวารนิชหรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น เช่น เพื่อความอ่อนตัวของฟิล์ม ทำให้ไม่เปราะ หรือเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น

น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือน้ำมันพืช (vegetable oils) ซึ่งได้จากการบีบหรืออัดเมล็ดพืชหรือเปลือกของผล และน้ำมันจากทะเล (marine oils) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำมันปลา (fish oils)

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน

น้ำมันเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กล่าวคือ เป็นไตรเอสเทอร์ (triester) ของกลีเซอรอล (glycerol) กับกรดไขมัน (fatty acid) ดังนี้



R^1, R^2 และ R^3 เป็นสายโซ่ที่ยาวของกรดไขมัน ถ้า R^1, R^2 และ R^3 มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน ก็จะได้ไตรกลีเซอไรด์แบบง่ายๆ แต่ถ้าไม่เหมือนกันก็จะได้ของผสมของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นถ้าไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) น้ำมันจะได้กลีเซอริน (glycerine) และน้ำมันไขมัน (fatty oils)

2.1.2 น้ำมันทานตะวัน (3)

ทานตะวันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* เมล็ดทานตะวันมีน้ำมันประมาณ 39-49% และมีโปรตีนประมาณ 25% ซึ่งโปรตีนนี้เหมาะสำหรับการใช้เลี้ยงสัตว์ น้ำมันทานตะวันมีการผลิตทั่วโลกประมาณ 13% โดยผลิตมากในแถบรัสเซีย และอาร์เจนตินา โดยสีของน้ำมันทานตะวันดิบมีสีคล้ำอำพันส่วนน้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์มีสีเหลืองอ่อน

ลักษณะโดยทั่วไปของน้ำมันทานตะวัน

ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25 องศาเซลเซียส	0.915-0.919
ค่าไอโอดีน	125-136
ค่าสะพอนิฟิเคชัน	188-194
สารที่สะพอนิฟิเคชันไม่ได้	ไม่เกิน 1.5%

ชนิดของกรดไขมันที่มีในน้ำมันทานตะวัน

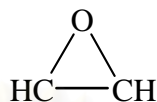
กรดปาล์มมิติก	3.6%
กรดสเตียริก	2.9%
กรดอะลาไคติก	0.6%
กรดลิโนเซอริก	0.4%
รวมกรดไขมันอิ่มตัว	7.5%
กรดโอเลอิก	34%
กรดลิโนเลอิก	57.5%
รวมกรดไขมันไม่อิ่มตัว	91.5%



รูปที่ 2.1 แสดงภาพดอกทานตะวัน

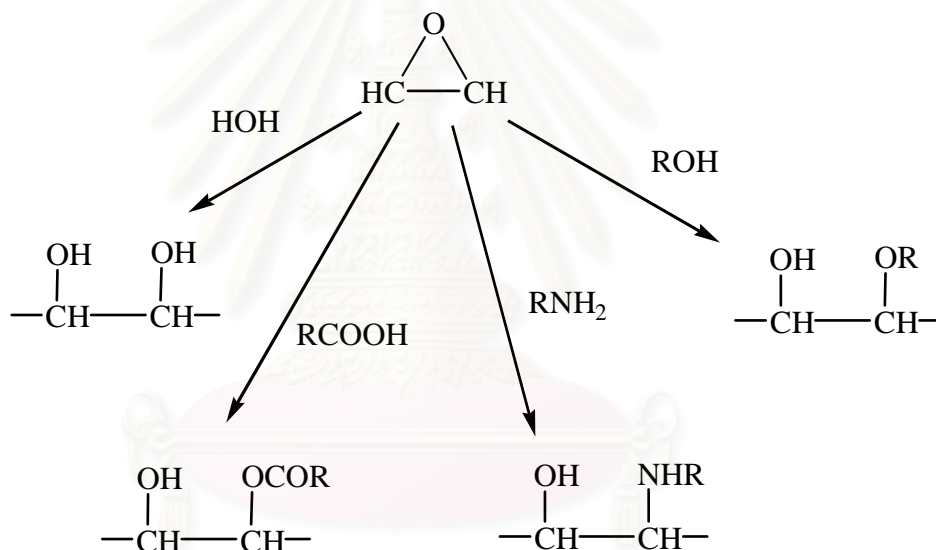
2.2 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (4)

อีพอกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ออกซิเจนอะตอมเข้าไปแทนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของพันธะระหว่างคาร์บอนและคาร์บอนเพื่อให้เกิดเป็นวงสามเหลี่ยมที่เรียกว่าอีพอกไซด์ ออกซิเจนเอทีลีนอีพอกไซด์ หรือ 1,2 epoxy compound มีโครงสร้างเคมีดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสารประกอบอีพอกไซด์

สารประกอบอีพอกไซด์มีความว่องไวสูงมากเนื่องจากมีความไม่เสถียรในวง จึงสามารถเกิดการเปิดวงออกได้ง่ายด้วยสารที่เป็น electrophile และ nucleophile ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงการเปิดวงของสารประกอบอีพอกไซด์ด้วยสารต่างๆ

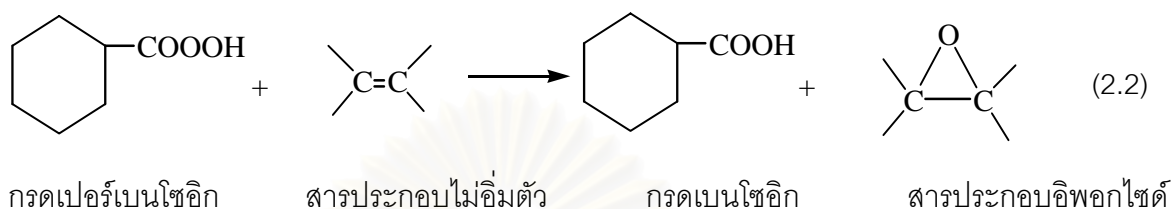
2.3 การเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

2.3.1 การเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยเปอร์แอซิด

เปอร์แอซิดสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอีพอกไซด์ได้ ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ในการสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์โดยใช้เปอร์แอซิดนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเตรียมเปอร์แอซิดก่อน หรือการสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์ด้วยวิธี *insitu peracid*

1) การเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์ขึ้นโดยการเตรียมเปอร์ออกไซด์ก่อน

กรดเปอร์เบนโซอิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์ในสมัยแรกๆ โดยกรดเปอร์เบนโซอิกสามารถทำปฏิกิริยากับสารไม่อิ่มตัวแล้วเกิดเป็นสารประกอบอีพอกไซด์กับกรดเปอร์เบนโซอิก ดังสมการ 2.2



แต่เนื่องจากกรดเปอร์เบนโซอิกมีราคาแพงจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ และหันมาสนใจกรดเปอร์ออกซิดิกมากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก

วิธีการเตรียมเปอร์ออกไซด์

1. กรดคาร์บอกซิลิก + ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



2. คาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์ + ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



3. เอสเทอร์ของกรดคาร์บอกซิลิก + ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



4. แอซิดคลอไรด์ + ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



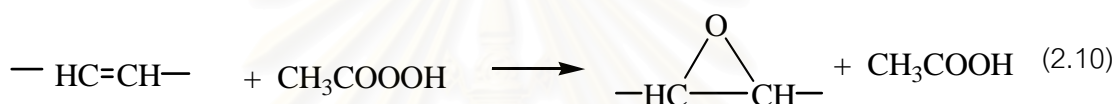
5. คีทีน + ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



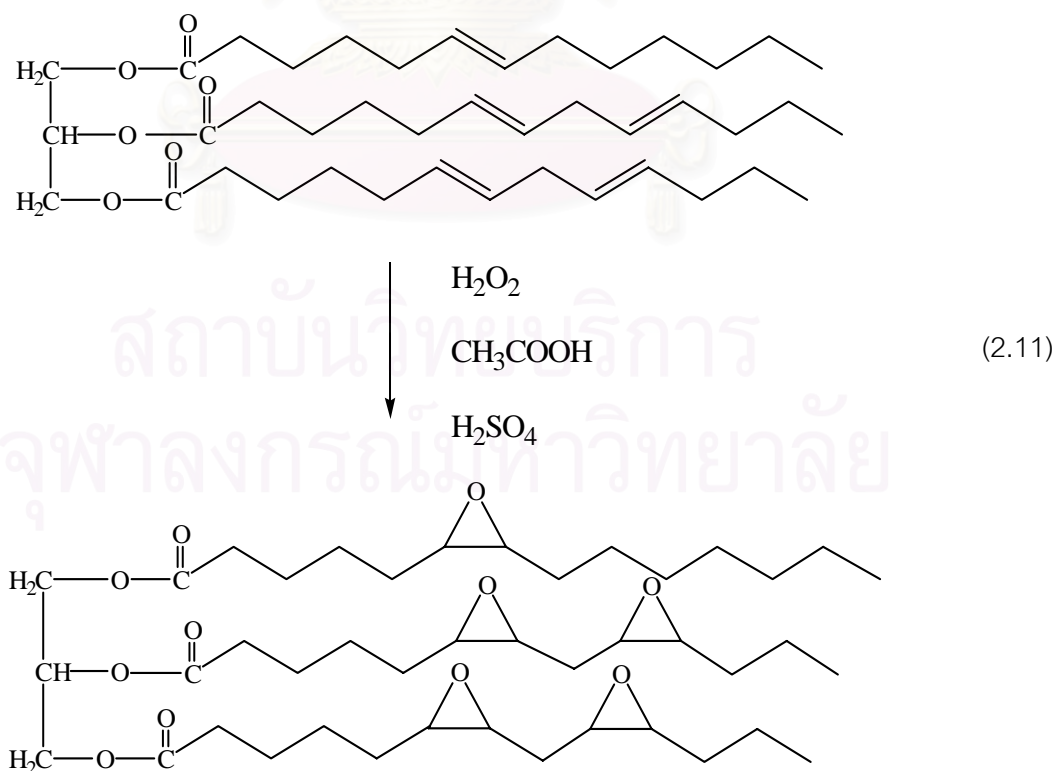
2) การเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยวิธี *insitu peracid*

กรดแอซิดิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์ด้วยวิธี *insitu peracid* มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก

การสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์ด้วยวิธีนี้จะเกิดการแยกเฟสออกเป็น 2 เฟส คือเฟสเปอร์แอซิดดั่งสมการ 2.9 และเฟสสารประกอบอีพอกไซด์ดั่งสมการ 2.10 ดังนั้นการแยกกันออกเป็น 2 เฟสนี้ จึงสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่สามารถเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาของ by-product และสารประกอบอีพอกไซด์



ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันอีพอกซิไดซ์นิยมใช้วิธี *insitu peracid* โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการเก็บเปอร์แอซิดและลดต้นทุนในการผลิต ดังแสดงการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันในน้ำมันดั่งสมการ 2.11



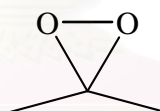
2.3.2 การเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์ชันโดยการไฮโดรไลซิส

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก เพื่อเกิดเป็นเปอร์แอซิด โดยมีไฮโดรไลซิสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในสมการ 2.12 และเปอร์แอซิดที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอีพอกไซด์และกรดคาร์บอกซิลิกขึ้นดังแสดงในสมการ 2.13



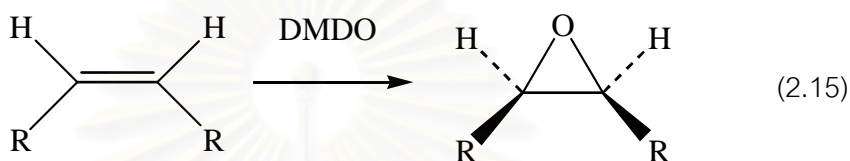
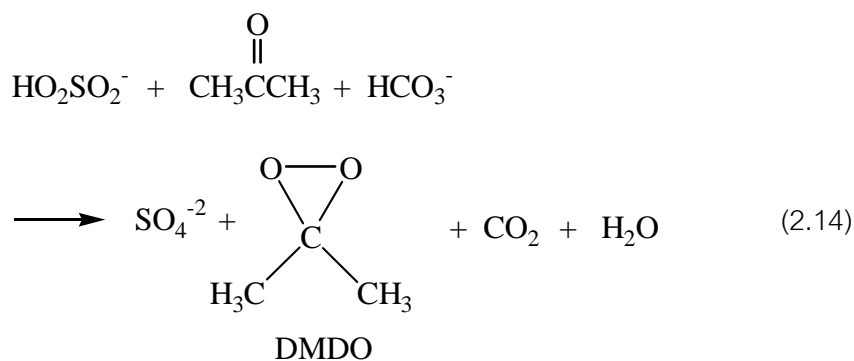
2.3.3 การเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์ชันโดยไดออกซิเรน

ไดออกซิเรนมีโครงสร้างเป็นวงสามเหลี่ยมประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม ไดออกซิเรนที่นิยมใช้ในสารประกอบอีพอกไซด์ได้แก่ ไดเมทิลไดออกซิเรน (DMDO) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.4



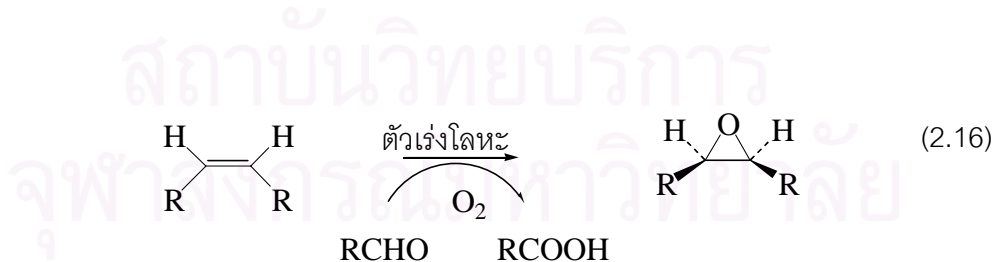
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไดเมทิลไดออกซิเรน

สามารถสังเคราะห์ไดเมทิลไดออกซิเรนได้โดยการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไฮโปคลอไรต์ อะซิโตนและไฮดรอกไซด์แล้วไดเมทิลไดออกซิเรนดังสมการ 2.14 จากนั้นไดเมทิลไดออกซิเรนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอีพอกไซด์ขึ้นดังสมการที่ 2.15



2.3.4 การเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยการใช้แอลดีไฮด์ ออกซิเจนและตัวเร่งโลหะ

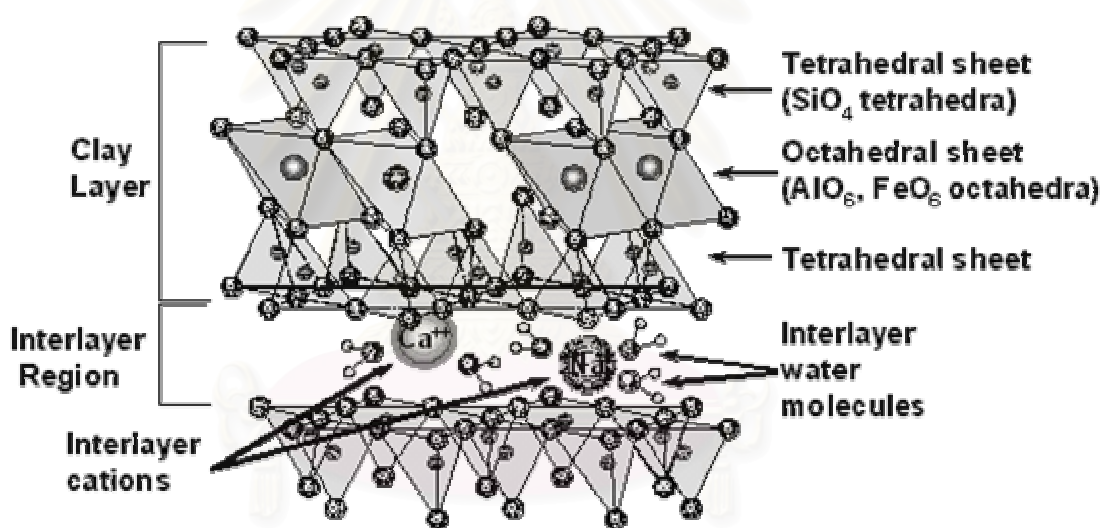
โดยทั่วไปแล้วการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยการใช้โลหะเป็นตัวเร่งนั้นมักใช้กับตัวออกซิไดซ์ที่มีพลังงานสูงเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไอโอดิลเบนซีน แต่ตัวเร่งโลหะบางชนิดสามารถใช้ออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ได้ และในปฏิกิริยานั้นต้องมีแอลดีไฮด์ เช่นการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของสารประกอบไม่อิ่มตัวโดยมีโคบอลต์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาที่เบนซาแอลดีไฮด์และโมเลกุลออกซิเจน โดยเบนซาแอลดีไฮด์จะให้อิเล็กทรอนิกส์กับตัวเร่งโลหะแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น จากนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกซีเบนโซเอตขึ้น และอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไม่อิ่มตัวเกิดเป็นสารประกอบอีพอกไซด์ขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 2.16



2.4 มอนต์มอริลโลไนต์(5)

มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างซ้อนทับกันเป็นชั้นๆคล้ายแซนวิช แต่ละชั้นมีความบางมาก ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตรแต่มีความยาวประมาณ 1000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูง เหมาะที่จะนำไปใช้เสริมแรงให้กับวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากทำให้สมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ถูกเสริมแรงดีขึ้น เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติด้านความแข็งแรง เป็นต้น

การเรียงตัวของชั้นของซิลิเกต (silicate layer) โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ 1:1 และ 2:1 การเรียงตัวของชั้นซิลิเกต (silicate layer) แบบ 1:1 tetrahedral sheet ซ้อนกับ 1 octahedral sheet ส่วนการเรียงตัวแบบ 2:1 octahedral sheet จะอยู่ระหว่างชั้นของ tetrahedral sheet ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการเรียงตัวของชั้นซิลิเกตแบบ 2:1

การเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆของมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้มีช่องว่างขนาดเล็กที่เรียกว่า แกลเลอรี (gallery) และในช่องว่างจะมีประจุบวกโซเดียมหรือแคลเซียมเพื่อทำหน้าที่ยึดระหว่างแร่เข้าด้วยกัน ไอออนโซเดียมหรือแคลเซียมในช่องแกลเลอรี (gallery) นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ได้

2.5 การดัดแปรเคลย์ (Modification of clay)

โดยธรรมชาติแล้วเคลย์มีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เนื่องจากระหว่างชั้นของเคลย์มีประจุบวกของเกลือโลหะ จึงทำให้เคลย์ไม่สามารถเข้ากับพอลิเมอร์ ซึ่งส่วนใหญ่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เนื่องจากโมเลกุลเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นก่อนนำเคลย์มาใช้งาน จึงต้องมีการปรับปรุงเคลย์ให้สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ ซึ่งทำได้โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange) ระหว่างเคลย์กับประจุบวกของสารอินทรีย์ เช่น Alkyl ammonium cation, phosphonium cation ซึ่งเคลย์ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนประจุจะมีสมบัติชอบสารอินทรีย์มากขึ้น เรียกว่าออร์แกโนเคลย์ (Organoclay)

2.6 วัสดุนาโนคอมพอสิต

วัสดุนาโนคอมพอสิตคือวัสดุที่เตรียมขึ้นจากการนำสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยมีสารอย่างน้อย 1 ชนิดมีขนาดนาโนเมตร โดยสารที่นำมาผสมกันนี้เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ อนุพันธ์ ฟิล์มหรือกึ่งฟิล์ม ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี แต่เมื่อนำมาผสมกันแล้ววัสดุที่ได้จะมีสมบัติด้านความแข็งแรง และสมบัติด้านความทนความร้อนดีขึ้น

วัสดุที่ใช้เสริมแรงมีหลายชนิดเช่น การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการนำวัสดุนาโนคอมพอสิตมาใช้ในทางการค้ามากขึ้น ทั้งในด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอางค์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

วัสดุที่นำมาใช้เสริมแรงในวัสดุนาโนคอมพอสิตที่กำลังได้รับความสนใจชนิดหนึ่งคือ มอนต์มอริลโลไนต์

2.6.1 คอมพอสิตทั่วไป (conventional composite)

คอมพอสิตทั่วไปจะประกอบด้วยอนุภาคของเคลย์ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ โดยที่แต่ละชั้นในโครงสร้างของเคลย์ยังรวมตัวกันอยู่ ไม่แยกออกจากกัน

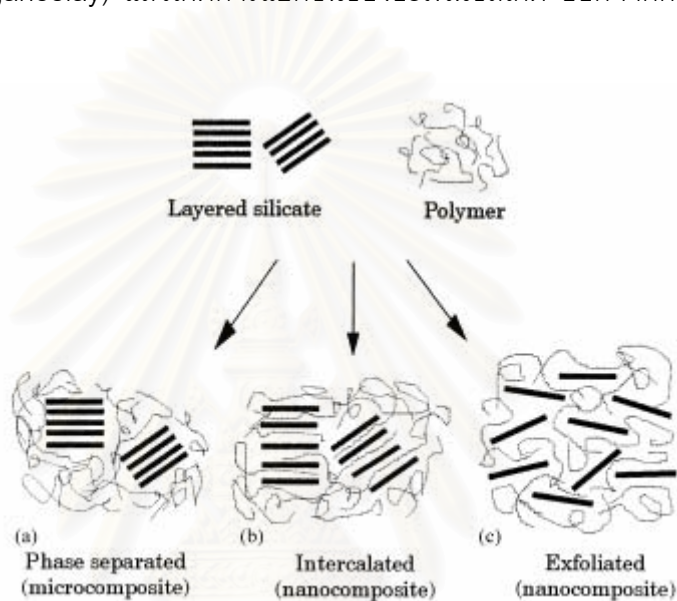
2.6.2 นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด (intercalated clay nanocomposite)

เกิดจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์เข้าไปอยู่ภายในชั้นของออร์แกโนเคลย์ (organoclay) แล้วทำให้ช่องว่างของแกลเลอรี (gallery) ขยายออก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอดสามารถสังเคราะห์ได้โดยการแทรกสอดพอลิเมอร์โดยตรง (direct polymer intercalation) และการแทรกสอดขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์ (*in situ* polymerisation)

2.6.3 นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน (exfoliated clay nanocomposite)

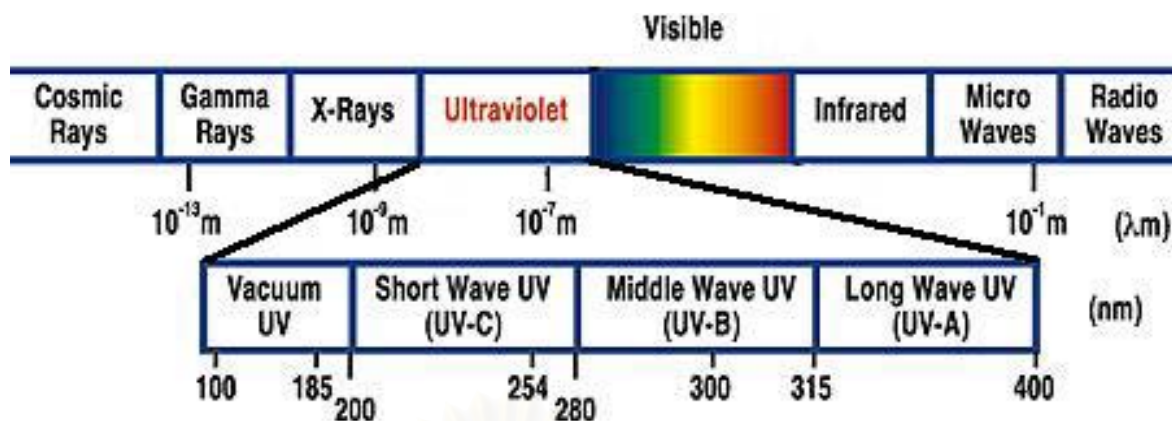
นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกันเกิดจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์เข้าไปอยู่ภายในชั้นของออร์แกนอคลีย์ (organoclay) แล้วเกิดการแยกชั้นของอะมิโนซิลิเกต ออกจากกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างนาโนคอมพอสิตแบบต่างๆ

2.7 แสงอัลตราไวโอเล็ต (6)

แสงอัลตราไวโอเล็ต มีช่วงสเปกตรัมอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) กับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) ซึ่งสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 สเปกตรัมด้วยกัน ซึ่งได้แก่ vacuum UV, UV C, UV B และ UV A ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต

แสงอัลตราไวโอเล็ตนี้สามารถสร้างได้จากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น หลอดไฟยูวี หลอดแบล็คไลท์ หลอดชั้นแทน หลอดฆ่าเชื้อ หลอดคาร์บอนอาร์ค การเชื่อมและติดโลหะ เตาหลอม อุปกรณ์ทดสอบ และ อุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องทดลองหรือ ในธรรมชาติ ดวงอาทิตย์ คือแหล่งที่ผลิตแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ใหญ่ที่สุด

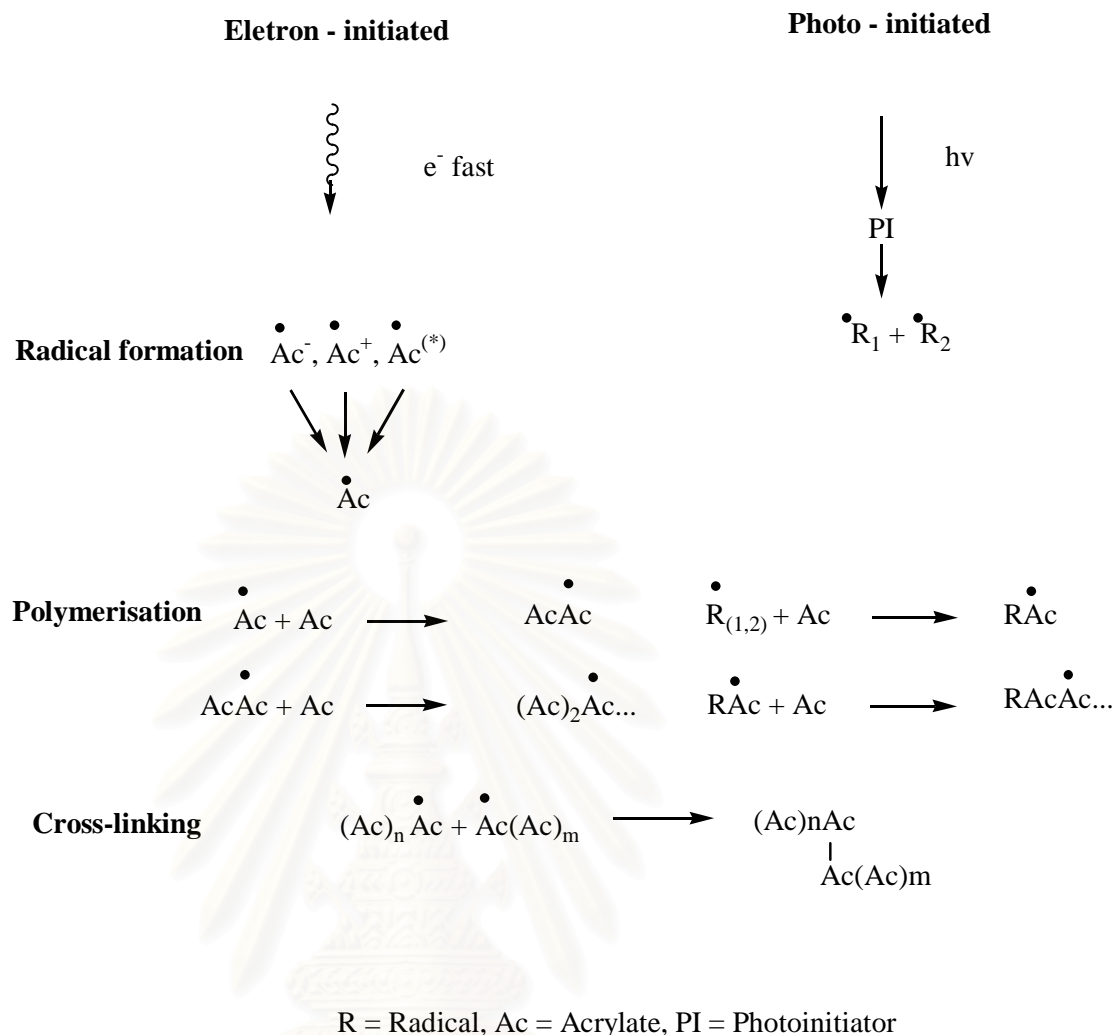
2.8 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี คือการทำให้สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวและมีความว่องไวเปลี่ยนแปลงไปเป็นของแข็งด้วยการฉายรังสี เพื่อทำให้สารเคลือบผิวนั้นเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดการเชื่อมขวางอย่างสมบูรณ์จนได้ฟิล์มที่แห้งแข็ง

กระบวนการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีมี 2 วิธีคือ

2.8.1. การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet curing) คือ การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อทำให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงแตกตัวให้อนุมูลเสรีหรือประจุบวกเพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้น

2.8.2. การบ่มสารเคลือบผิวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beams curing) คือ การใช้ลำแสงอิเล็กตรอนกระตุ้นให้มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นเกิดอนุมูลเสรีขึ้น จากนั้นอนุมูลเสรีที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจนได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเชื่อมโยงกันเป็นร่างแห ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการบ่มสารเคลือบด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตและลำแสงอิเล็กตรอน

2.9 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

องค์ประกอบของสูตรสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

1. ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator) ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้อนุมูลเสรีหรือประจุบวก
2. ตัวเจือจางที่ว่องไว (Reactive diluent) ใช้สำหรับปรับความหนืดของสารเคลือบผิวให้มีค่าตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอีกด้วย
3. โอลิโกเมอร์ (Oligomer) โดยทั่วไปมักเป็นพวกโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (multifunctional monomer) ที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่โมเลกุลของพอลิเมอไร

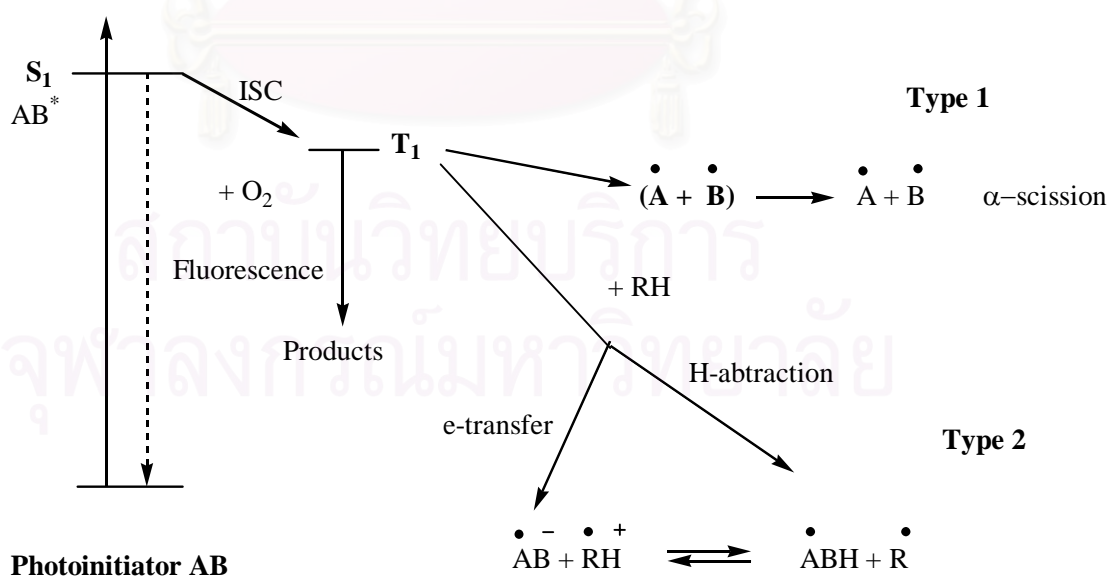
ได้ สายโซ่หลักของโพลิโกเมอร์สามารถมีโครงสร้างเคมีที่หลากหลายอาจเป็น พอลิเอสเทอร์ ยูรีเทน หรือ อีพอกซี ซึ่งโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกันนี้เป็นตัวกำหนดสมบัติพิเศษเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนต่อการขีดสี ความทนต่อสารละลาย ความยืดหยุ่น เป็นต้น

4. สารเติมแต่ง (Additives) เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน

2.10 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator)

2.10.1. ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (free radical photoinitiators)

โพลิโกเมอร์ที่ใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรีได้แก่ อะคริเลต เมทาคริเลต และเมทาคริเลต/ไวนิลอีเทอร์ เมื่อโมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (AB) ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตโมเลกุลจะถูกกระตุ้นไปยัง singlet state (s_1) จากนั้นจะเกิด intersystem crossing (ISC) แล้วโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นนั้นจะตกมาอยู่ชั้น triplet state เพื่อให้มีเสถียรมากขึ้น ในระหว่างการเปลี่ยนขั้นนี้สามารถเกิดการปล่อยฟลูออเรสเซน (Fluorescence) หรือเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ทำให้สูญเสียอนุมูลเสรีได้ จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ชั้น triplet state นี้สามารถแตกตัวให้อนุมูลเสรีได้ 2 วิธี คือ - Norrish type I หรือ α - cleavage และ Norrish type II ดังแสดงในรูปที่ 2.9 การแตกตัวให้อนุมูลเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและชนิดของโพลิโกเมอร์ที่ใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการแตกตัวให้อนุมูลเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

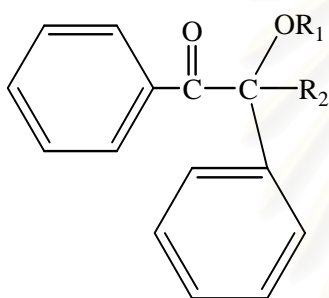
1) Norrish type I

เมื่อตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตก็จะดูดกลืนพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้น แล้วโมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะถูกกระตุ้นไปที่ชั้น singlet state (s_1) และตกมาอยู่ชั้น triplet state (T_1) เพื่อให้โมเลกุลมีความเสถียรมากขึ้น จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการแตกออกของพันธะที่ตำแหน่ง $C=O$ เพื่อเกิดเป็นอนุมูลเสรีที่มีความว่องไว 2 โมเลกุล เรียกการแตกออกของพันธะด้วยวิธีนี้ว่า homolytic decomposition

ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลเสรีด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 2.10

Type 1 Photoinitiator

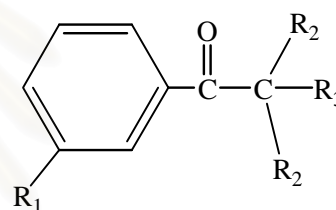
Benzoin ethers



$R_1 = H, \text{ alkyl}$

$R_2 = H, \text{ substituted alkyl}$

Acetophenones

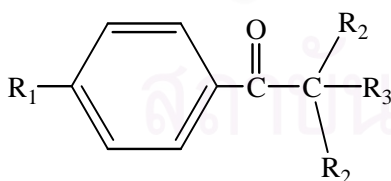


$R_1 = H, i-C_3H_7, HOCH_2CH_2O$

$R_2 = CH_3, OCH_3, OC_2H_5$

$R_3 = H, Ph, OH$

Amino alkylphenones

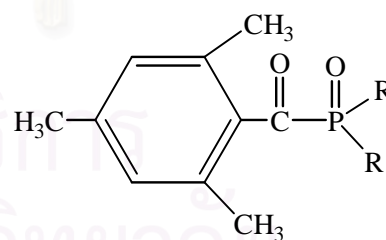


$R_1 = H_3CS, \text{ } \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \end{array}$

$R_2 = CH_3, CH_2Ph, C_2H_5$

$R_3 = \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \end{array}, N(CH_3)_2$

Acylophosphines



$R = C_6H_5, OCH_3$

รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้

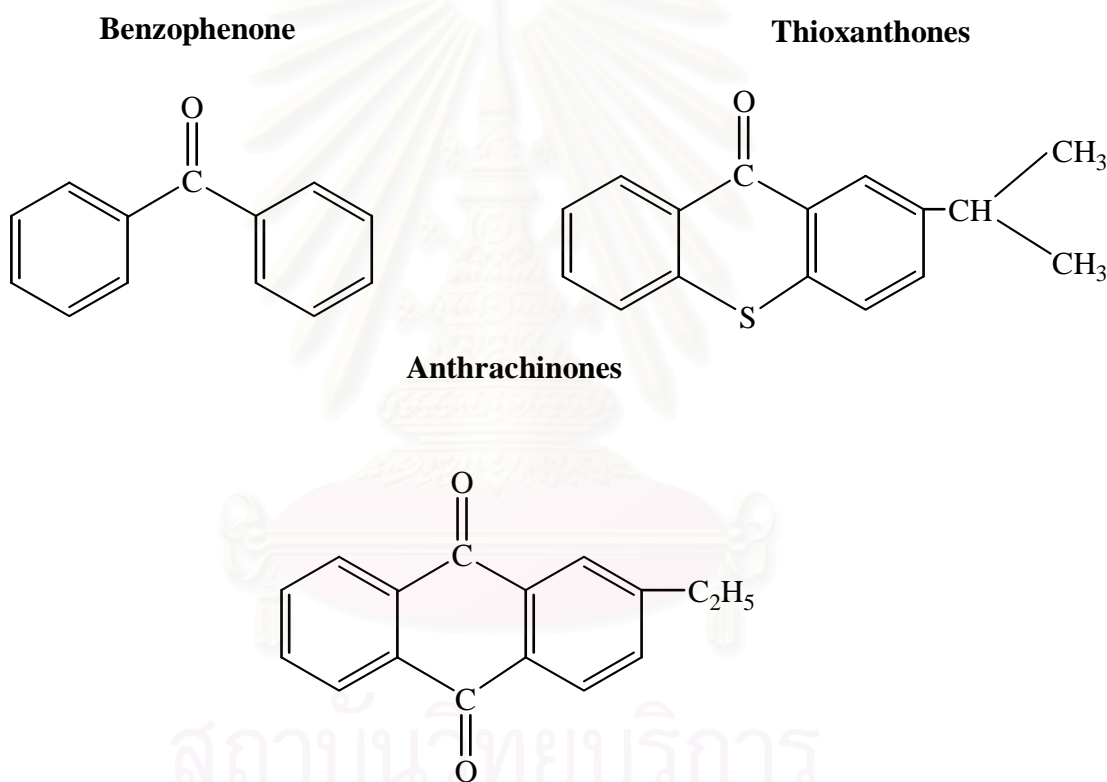
อนุมูลเสรีแบบ Norrish type I

2) Norrish type 2

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วถูกกระตุ้นไปที่ชั้น singlet state (s_1) และตกกลับมาอยู่ชั้น triplet state (T_1) จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ชั้นนี้ ต้องการสารประกอบที่เรียกว่า synergist เข้ามาทำปฏิกิริยาด้วยเพื่อทำให้โมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้นสามารถเกิดเป็นอนุมูลเสรีได้ด้วยการเกิด H-abstraction หรือ e-transfer

ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวแล้วให้อนุมูลเสรีด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 2.11

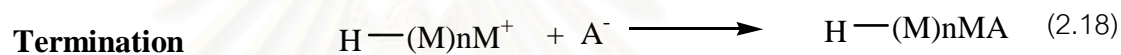
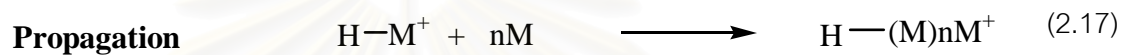
Type 2 Photoinitiators



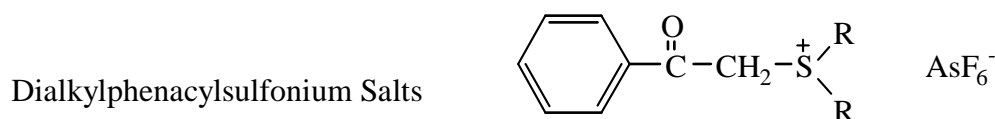
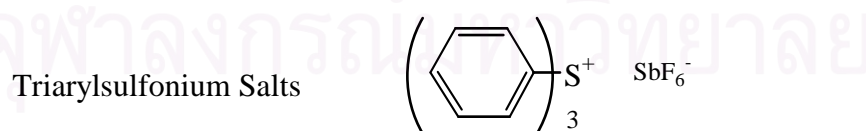
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลเสรีแบบ Norrish type II

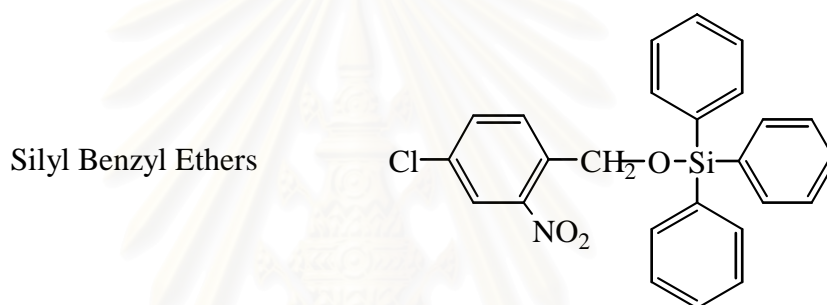
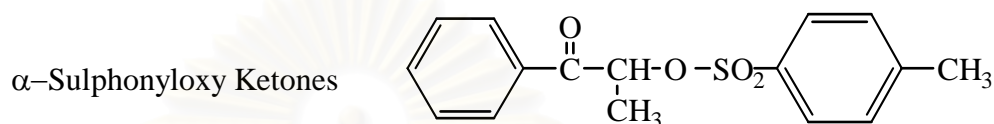
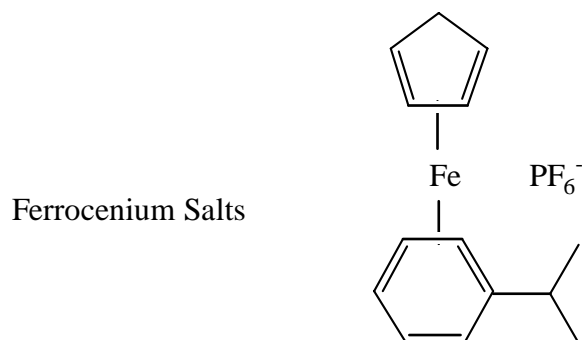
2.10.2 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiators)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้จะรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้ Brönsted acid หรือ Lewis acid เพื่อเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation) กับมอนอเมอร์หรือโพลิโกเมอร์ตั้งต้นแล้วเกิดคาร์โบแคทไอออน ($H-M^+$) ที่มีความว่องไว จากนั้นคาร์โบแคทไอออนนี้จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ในขั้นขยายตัว (propagation) แล้วสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination) ด้วยการเกิด chain transfer ดังแสดงกลไกในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

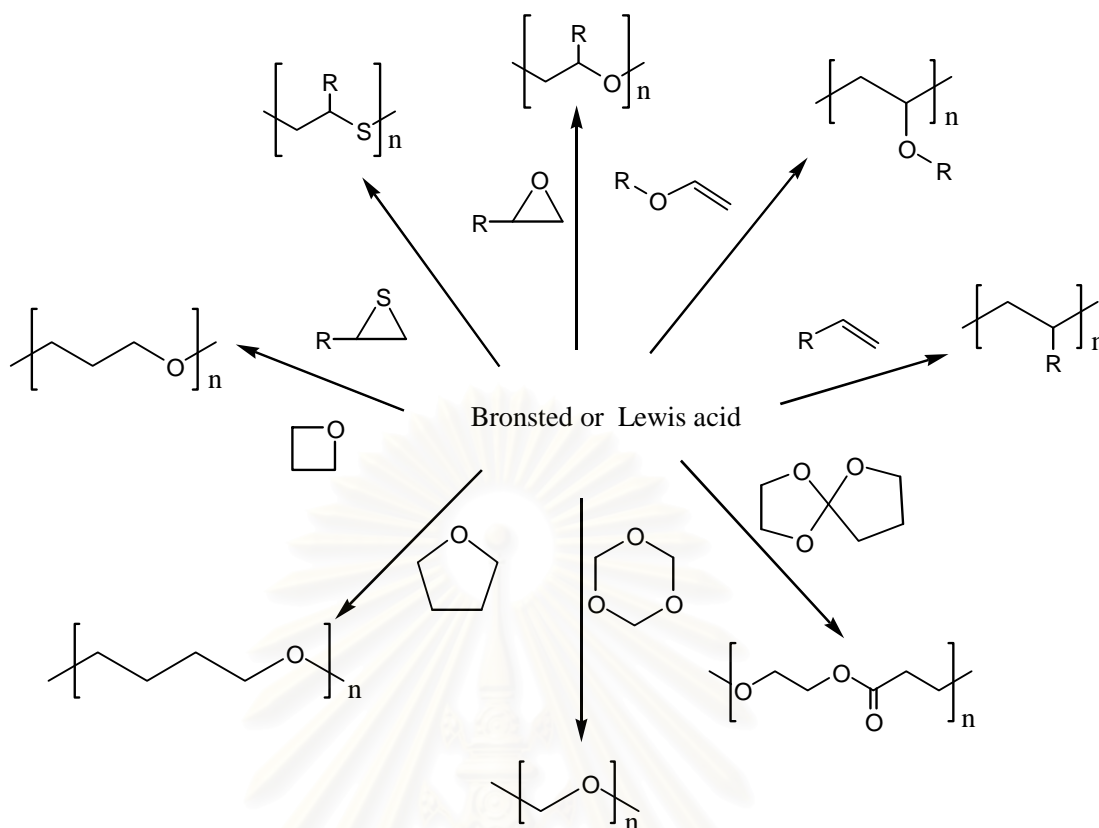




รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับสารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกได้แก่

- 1) มอนอเมอร์ที่สามารถเปิดวงได้ เช่น อีพอกไซด์ ไซคลิกอีเทอร์ แลคโตน ไซคลิก-ซัลไฟด์ อะซิทัล ไซลอกเซน
- 2) สารประกอบไวเนิล เช่น ไวนิลอีเทอร์



รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบประจวบของมอนอเมอร์

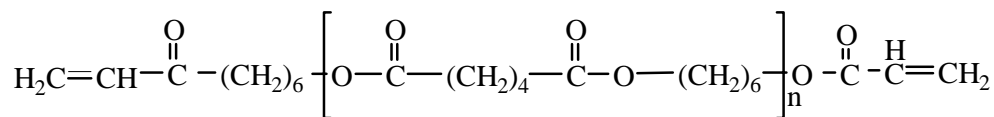
2.11 มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์

มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่ใช้ในสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตมักเป็นพวกที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ทำให้สามารถเกิดการเชื่อมโยงจนมีโครงสร้างเป็นร่างแหได้ ตัวอย่างของมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่นิยมใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้แก่

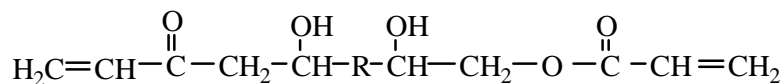
2.11.1 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลเสรี (Free Radical System)

1) อะคริเลตและเมทาคริเลต

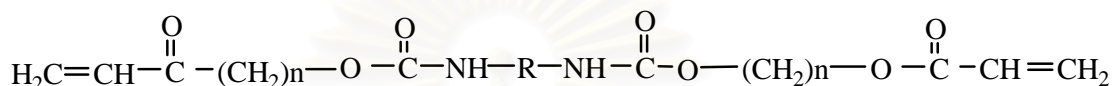
เป็นมอนอเมอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากที่สุด เนื่องจากสามารถสังเคราะห์โอลิโกเมอร์จำพวกอะคริเลตนี้ได้จากมอนอเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์อะคริเลต อีพอกซีอะคริเลต ยูรีเทนอะคริเลต เป็นต้น ดังแสดงสูตรโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.14



Polyester arylates



Epoxy arylates



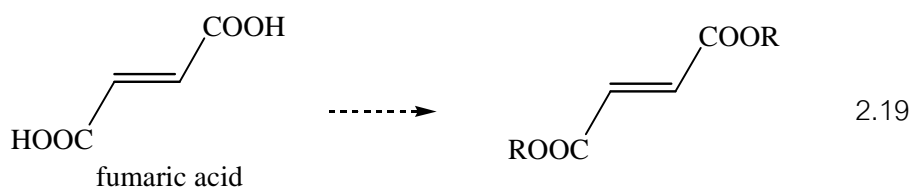
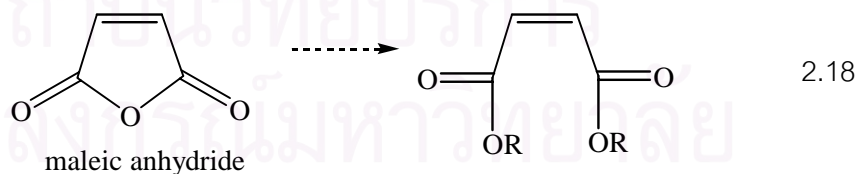
Polyurethane acrylates

รูปที่ 2.14 แสดงสูตรโครงสร้างของสารเคลือบผิวในจำพวกอะคริเลต

มอนอเมอร์ในกลุ่มนี้มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบอนุมูลเสรี (free radical polymerization) โดยอะคริเลตมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่ามาลิเอต เนื่องจากมาลิเอตมีโครงสร้างที่มีความเกะกะ (sterically hindered) มากกว่าจึงทำให้ปฏิกิริยาในขั้นขยายตัว (propagation polymerisation) เกิดขึ้นได้ช้า

2) สไตรีน / พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว

สไตรีนสามารถใช้เป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) สำหรับพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวซึ่งเตรียมได้จากมาลิอิกแอนไฮดรายดั่งสมการที่ 2.18 และกรดฟูมาริกดั่งแสดงในสมการที่ 2.19



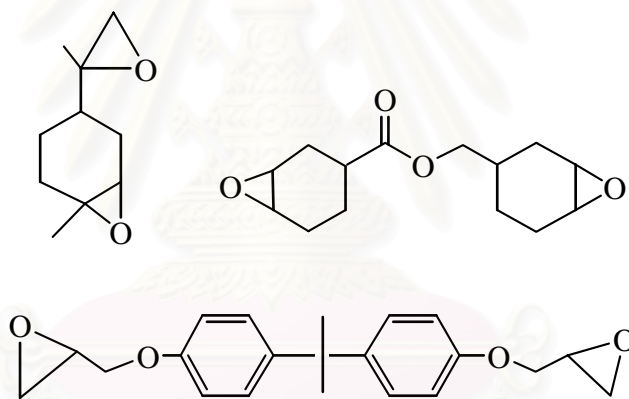
พอลิเมอร์ที่ได้จะเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิสไตรีนพอลิเอสเทอร์และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมไม้

2.11.2 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก (Cationic System)

1) อีพอกไซด์

สารประกอบอีพอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้โดยการเปิดวง เนื่องจากในวงของสารประกอบอีพอกไซด์มีความไม่เสถียรสามารถเปิดออกได้ง่ายโดย Brønsted acid (เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์) หรือ Lewis acid (เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ ฟอสฟอรัสเพนตะฟลูออไรด์)

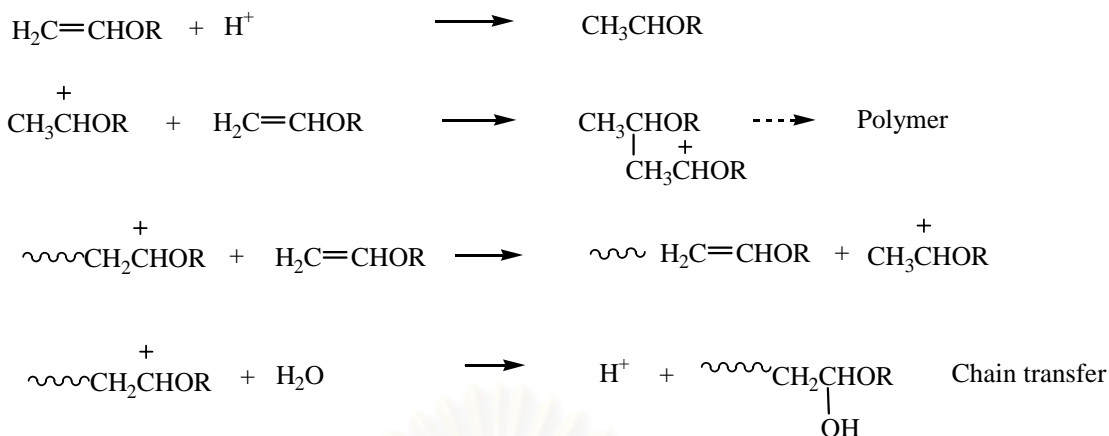
สารประกอบอีพอกไซด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ได้แก่ ไสโคอะลิฟลาติกอีพอกไซด์และไกลซิดิลอีเทอร์ ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสารประกอบอีพอกไซด์

2) ไวนิลอีเทอร์

ไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวกได้เช่นเดียวกับสารประกอบอีพอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และการใช้ไวนิลอีเทอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ทำให้สามารถเกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหได้ง่าย



รูปที่ 2.16 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่มีกลไกแบบประจวบของไวนิลอีเทอร์

การเกิด chain transfer มีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปแล้วไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจวบได้เร็วกว่าสารประกอบอ็อกไซไซด์

2.11.3 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (hybrid system)

โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมนี้เช่น โอลิโกเมอร์ของสารประกอบอ็อกไซไซด์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะครีเลต โอลิโกเมอร์ของอะครีเลตผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวจำพวกไวนิลอีเทอร์ โอลิโกเมอร์ของไวนิลอีเทอร์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะครีเลต เป็นต้น

สารเคลือบผิวในระบบนี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแตกต่างกัน ตัวอย่างของโอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมนี้ได้แก่ โอลิโกเมอร์ของสารประกอบอ็อกไซไซด์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะครีเลต โดยอะครีเลตมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลเสรี ส่วนอ็อกไซไซด์มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจวบ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมนี้ จึงทำให้โอลิโกเมอร์ทั้ง 2 ชนิดสามารถบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้

2.12 ตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent)

หน้าที่ของตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีหลายประการเช่น

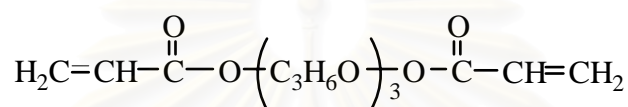
1. ช่วยลดความหนืดของโอลิโกเมอร์
2. ช่วยเพิ่มอัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิว

3. ช่วยลดเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว
4. เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่ได้

ตัวอย่างของตัวเจือจางที่ว่องไว

1) ไตรโพรเพนไกลคอลไดอะคริเลต (TPGDA)

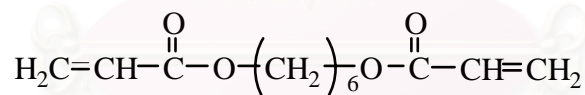
สมบัติของตัวเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ มีความสามารถในการละลายดี ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ มีแรงดึงดูดต่ำทำให้ช่วยให้เกิดการเปียกได้ดี ชั้นงานที่ได้มีการหดตัวต่ำ



รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของไตรโพรเพนไกลคอลไดอะคริเลต

2.) 1,6 เฮกเซนไดออลไดอะคริเลต (HDDA)

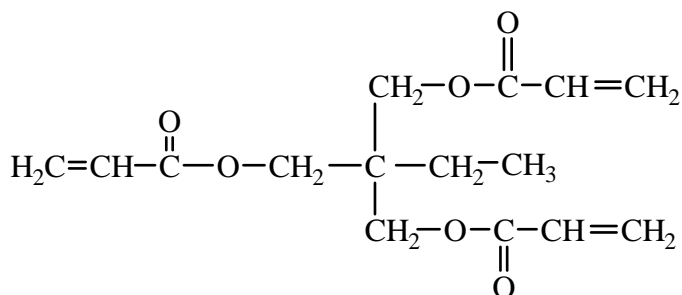
สมบัติของตัวเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ สามารถเข้ากันได้กับโพลิโเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอสเตอร์ อีพอกซี ยูรีเทนอะคริเลต เป็นต้น และสารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่นและการยึดติดที่ดี



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของ 1,6 เฮกเซนไดออลไดอะคริเลต

3) ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPA)

สมบัติของตัวเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 3 หมู่ ทำให้สารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่น มีความทนทานต่อสารเคมีและการขีดขูดได้ดี



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต

2.13 สารเติมแต่ง (additive)

สารเติมแต่งที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวมีหน้าที่เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน ตัวอย่างของสารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่

- 1) สารลดฟอง (antifoaming agent)
- 2) สารควบคุมความเงา (gloss control agent)
- 3) สารลดกลิ่น (odoring agent)
- 4) สารช่วยเพิ่มการขัดถู (abrasion resistance agent)
- 5) สารช่วยเปียก (wetting agent)

2.14 ข้อดีของการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

- 1) การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่มีการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้นจึงไม่มีการปล่อยตัวทำละลายสู่บรรยากาศ จึงทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- 2) พื้นที่ของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต จะใช้น้อยกว่าตู้อบแบบลมร้อนหรือเตาอบแบบแก๊ส
- 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตใช้น้อยกว่าสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวทำละลาย
- 4) ชิ้นงานที่ได้จากสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถวางซ้อนทับกันได้ อีกทั้งยังสามารถบรรจุลงหีบห่อได้เลย ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวทำละลายแล้ว ต้องใช้เวลาเป็นวันหรือเป็นอาทิตย์ ชิ้นงานถึงจะแห้งสนิท

2.15 ปัจจัยที่มีผลต่อการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2.15.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา

ชนิดและปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงมีผลต่ออัตราเร็วในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทั้งนี้ควรเลือกชนิดและปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงให้เหมาะสมกับชนิดโพลิเมอร์ที่ใช้

2.15.2 ความหนาในการเคลือบ

สารเคลือบผิวที่มีความหนาในการเคลือบมากจะใช้เวลาในการบ่มนานกว่าสารเคลือบผิวที่มีความบางน้อยกว่า ทั้งนี้ความหนาไม่ได้แปรผันโดยตรงกับพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้

เช่นถ้าเพิ่มความหนามากขึ้นเป็น 2 เท่า ก็ไม่ได้หมายความว่าต้องเพิ่มพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตขึ้นเป็น 2 เท่าด้วยถึงจะเท่าให้สารเคลือบผิวแห้ง

2.15.3 ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่

ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิว การเพิ่มความเข้มพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่ไม่ได้แปรผันโดยตรงกับอัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิว โดยอัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจะเพิ่มเร็วกว่าความเข้มของพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่ เช่น ถ้าเพิ่มความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้นเป็น 2 เท่า อาจมีผลทำให้อัตราการแห้งตัวเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า 4 เท่า หรือ 10 เท่าก็ได้

2.15.4 ความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้องมีความสัมพันธ์กันทั้งชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและชนิดของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ใช้ต้องสามารถดูดกลืนพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่นของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ เพื่อให้ได้อัตราการแห้งตัวที่เร็ว

2.16 ความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แผ่ออกมาจากหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลทำให้ผิวหนังไหม้หรือตาบอดได้ และเมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระยะเวลาหนึ่ง จะมีผลทำให้ผิวไหม้เกรียม ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนเวลา เกิดความผิดปกติของเม็ดสี ดังนั้นในระหว่างการใช้งานควรมีสิ่งป้องกันตัวเองจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วย เช่น การสวมเสื้อผ้าให้มิดชิด ใส่แว่นตา เป็นต้น

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

King (7) ได้สังเคราะห์สารประกอบอียพอกไซด์ของกรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดอีไลดิก (elaidic acid) โดยการทำปฏิกิริยาของไฮโดรเปอร์ออกไซด์กับกรดแอซิดที่อุณหภูมิห้อง พบว่าไม่เกิดสารประกอบอียพอกไซด์จากกรดโอเลอิก (oleic acid) แต่เกิดสารประกอบอียพอกไซด์จากกรดอีไลดิก (elaidic acid) จากการทดลองนี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่าสามารถเกิดการเปิดวงของสารประกอบอียพอกไซด์จากกรดโอเลอิก (oleic acid) ได้ง่าย ส่วนสารประกอบอียพอกไซด์จากกรดอีไลดิก (elaidic acid) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ

Findley และคณะ (8) ได้สังเคราะห์สารประกอบอียพอกไซด์จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดอีไลดิก (elaidic acid) เมทิลโอเลต (methyl oleate) และน้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะกอก (olive oil) น้ำมันเมล็ดฝ้าย (cotton seed oil) และน้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) กรดเปอร์ออกซิติกซึ่งทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของแอซิดิกแอนไฮไดรด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือไม่ใช้ก็ได้ การใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาการคายความร้อนที่รุนแรง ดังนั้นจึงควรเติมแอซิดิกแอนไฮไดรด์และกรดซัลฟิวริกลงไปก่อนแล้วค่อยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ ซึ่งการเตรียมกรดเปอร์ออกซิติกแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ปริมาณของกรดเปอร์ออกซิติกมากกว่าการเตรียมแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าสามารถเตรียมสารประกอบอียพอกไซด์ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวกับเปอร์ออกไซด์โดยใช้ อุณหภูมิที่ไม่รุนแรงและใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่สั้น

Niederhauser และคณะ (9) ได้สังเคราะห์สารประกอบอียพอกไซด์จากกรดโอเลอิก (oleic acid) กรดอีไลดิก (elaidic acid) และน้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) โดยการทำให้ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกรดฟอร์มิกที่อุณหภูมิ 20-75 องศาเซลเซียส ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้คือ 1-2 โมลต่อโมลของพันธะคู่ กรดฟอร์มิก 0.25-0.75 โมลต่อโมลของพันธะคู่ และใช้ตัวทำละลายเฉื่อยเพื่อป้องกันการเปิดวงของสารประกอบอียพอกไซด์

ปี 1956 Greenspan และคณะ (10) ได้สังเคราะห์สารประกอบอียพอกไซด์จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอะตอมของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 16-22 และน้ำมันที่มีถั่วเหลือง (Soybean oil) โดยใช้วิธี *in situ performic acid* อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาเพื่อเกิดเป็นสารประกอบอียพอกไซด์นั้นต้องเติมกรดฟอร์มิกและตัวทำละลายลงไป ในสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวก่อนจากนั้นจึงเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ กรดฟอร์มิก 0.25-1 โมลต่อโมลของพันธะคู่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 โมลต่อโมลของพันธะคู่ กรดซัลฟิวริก 0.5-5% โดยน้ำหนักของกรดแอซิดิกและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า 5 ชั่วโมง

ปี 1957 Greenspan และคณะ (11) ได้สังเคราะห์สารประกอบอียพอกไซด์จากเอสเทอร์ของกรดไม่อิ่มตัวที่มีอะตอมของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 16-22 เช่น บิวทิลโอเลต (butyl oleate) และน้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil) โดยใช้วิธี *in situ peracetic acid* ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาเพื่อเกิดเป็นสารประกอบอียพอกไซด์นั้นต้องเติมกรดแอซิดิกและกรดซัลฟิวริกลงไป ในสารประกอบที่ไม่

อิมิตัวก่อน จากนั้นจึงเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างช้าๆ ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็คือกรดแอซิติค 0.25-1 โมลต่อโมลของพันธะคู่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 โมลต่อโมลของพันธะคู่ กรดซัลฟิวริก 0.5-5% โดยน้ำหนักของกรดแอซิติค และพบว่าการเติมตัวทำละลาย เช่น เบนซีนหรือโทลูอีนลงไปในปฏิกิริยาจะทำให้ได้ปริมาณออกซิเรนออกซิเจน (oxirane oxygen) มากกว่าการไม่เติมตัวทำละลาย

French (12) ได้ปรับปรุงการเตรียมสารประกอบอีพอกไซด์โดยใช้วิธี *in situ* peracetic acid จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิมิตัวและมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 6-26 อะตอมที่มีความไม่อิมิตัวอย่างน้อย 1 สายโซ่ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันลินสีด (linseed oil) เฮกซิลโอเลต (n-hexyl oleate) ด้วยการผสมสารที่สามารถเกิดเป็นอีพอกไซด์ได้กับกรดแอซิติคและตัวทำละลายเฉื่อย และให้ความร้อนแก่ของผสมจนมีอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมของผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดซัลฟิวริกอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งการเติมของผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดซัลฟิวริกอย่างช้าๆนี้สามารถลดอันตรายที่เกิดจากการระเบิดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงๆได้โดยไม่เกิดการระเบิดและได้ปริมาณออกซิเรนออกซิเจนสูง ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาก็คือ กรดแอซิติค 0.25-0.6 โมลต่อโมลของพันธะคู่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.05-1.25 โมลต่อโมลของพันธะคู่ กรดซัลฟิวริก 4.5-7.5% โดยน้ำหนักของกรดแอซิติค

Rosli และคณะ (1) ได้ทำสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจุบวก โดยใช้ไขมันปาล์มอีพอกไซด์ผสมกับไซโคลอะลิฟาติกไดอีพอกไซด์ (cycloaliphatic diepoxide) เพื่อทำหน้าที่เป็นมอนอเมอร์ พบว่าฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีเนื่องจากการเกิดโครงสร้างร่างแหของวงอีพอกซีในโมเลกุล

Benaniba และคณะ (13) ได้สังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกไซด์เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทุติยภูมิ (secondary stabilizer) ในพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ร่วมกับแคลเซียมและซิงค์สเตียเรต พบว่าสามารถลดการเปลี่ยนสี (discoloration) และอัตราการเกิดดีไฮโดรคลอรีนชัน (dehydrochlorination)

Decker และคณะ (14) ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากอะคริลิกเรซินและออร์แกโนเคลย์พบว่าพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตนี้มีความทนแรงดึงและระยะยืดตัวออก ณ จุดขาดสูงกว่าพอลิเมอร์ไมโครคอมพอสิต ซึ่งเตรียมได้จากอะคริลิกเรซินและเคลย์ที่มีโครงสร้างแบบแทรกสอด (intercalated clay)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 น้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์	จากบริษัทธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืชไทย
3.1.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50%	จากบริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด
3.1.3 กรดแอสติค	AR grade, Merk
3.1.4 กรดซัลฟิวริก	97%, AR grade, Merk
3.1.5 ไฮโดรเจนโบรไมด์	33%, AR grade, Merk
3.1.6 เบนซีน	99.7%, AR grade, Merk
3.1.7 คริสตัลไวโอเลตอินดิเคเตอร์	Fluka
3.1.8 เฮกเซน	97%, AR grade, Lab-scan
3.1.9 โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	Fluka
3.1.10 แมกนีเซียมซัลเฟต	AR grade, APS Ajax Finechem
3.1.11 ไฮโดรเจนโบรไมด์	Fluka
3.1.12 โพลีเอทิลีนไดออกไซด์	AR grade, Ajax Chemical
3.1.13 แป้ง	AR grade, APS Ajax Finechem
3.1.14 โซเดียมไทโอซัลเฟต	AR grade, APS Ajax Finechem
3.1.15 โพลีเอทิลีนไดโครเมต	Ferak laborat GMBH Berlin (west)
3.1.16 ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะครีเลต (TMPTA), Cognis Thai Ltd.	
3.1.17 มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	
3.1.18 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (Irgacure 250), Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited	
3.1.19 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (Darocur 1173), Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited	
3.1.20 ตัวกระตุ้นทางแสง (ITX), Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited	
3.1.21 สารช่วยเปียก (Perenol F-40), Cognis Thai Ltd.	

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ขวดสี่คอ 500 มล.
- 3.2.2 ขวดรูปชมพู่ 250 มล.
- 3.2.3 ขวดรูปชมพู่ 50 มล.
- 3.2.4 กรวยแยก 500 มล.
- 3.2.5 เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส
- 3.2.6 กรวยเติมสาร
- 3.2.7 ชุดควบแน่น
- 3.2.8 บิวเรต
- 3.2.9 ปีเปต

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 เครื่องปั่นกวนชนิดปรับรอบได้พร้อมแท่งกวนสารโลหะ
- 3.3.2 เตาอบให้ความร้อน
- 3.3.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.4.1 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
UV TEC บริษัทคอมพรีนซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 3.4.2 เครื่องวัดพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ต
UV-integrator บริษัทคอมพรีนซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 3.4.3 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)
รุ่น Perkin Elmer System 2000
- 3.4.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD)
รุ่น D/MAX-2000
- 3.4.5 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA)
รุ่น METTLER TOLEDO TGA/SDTA 851
- 3.4.6 เครื่องกลั่นสุญญากาศ (vacuum evaporation)
- 3.4.7 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield
- 3.4.8 เครื่อง Mechanical Scratch
- 3.4.9 เครื่อง Impact Tester

3.4.10 เครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus

3.4.11 เครื่อง Gloss Meter

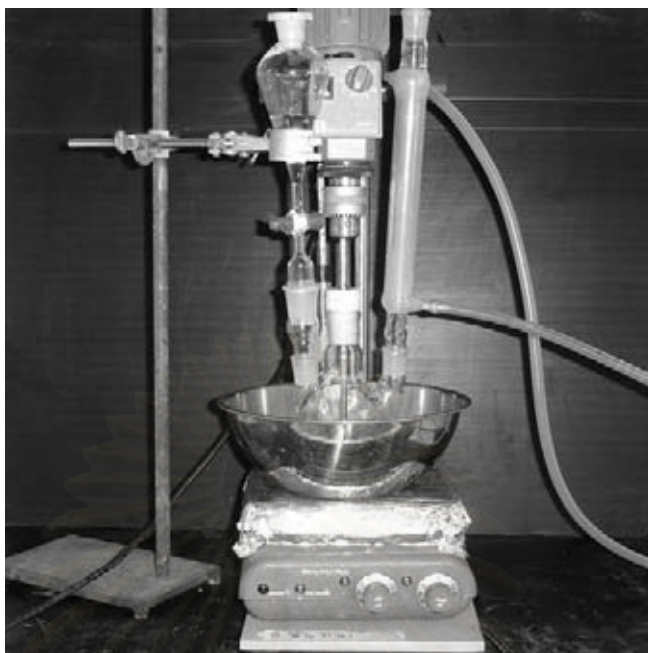
3.5 ขอบเขตการทดลอง

ขอบเขตการทดลองแบ่งเป็น 9 ส่วน คือ

- การสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์
- การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ด้วยเทคนิค FTIR
- การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์
- การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
- การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
- การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวในแต่ละสูตร
- การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)
- การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA
- การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะฟิล์มแห้ง

3.6 การสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ (ESO) (11)

สังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ด้วยวิธี *in situ* peracetic acid โดยการนำน้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์ 100 กรัม (ค่าไอโอดีน = 125 มิลลิกรัมต่อกรัม = 0.49) ผสมกับกรดแอซิติก 9.25 มล. (0.33 โมลต่อโมลพันธะคู่) และ เฮกเซน 100 มล. ในขวดสี่คอขนาด 500 มล. ที่ต่อกับเครื่องปั่นชุดควบแน่น เทอร์โมมิเตอร์ กรวยเติมสารและอุปกรณ์ให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากนั้นให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนของผสมใน water bath ด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที แล้วเติมของผสมของ 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30.8 มล. (1.1 โมลต่อโมลพันธะคู่) และกรดซัลฟิวริก 0.31 มล. (0.56% โดยน้ำหนักของน้ำมัน) ด้วยกรวยเติมสารลงในปฏิกิริยาอย่างช้าๆ เป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เทของผสมลงในกรวยแยกขนาด 500 มล. แล้วแยกชั้นน้ำออก กำจัดกรดที่เหลืออยู่ด้วยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและน้ำอุ่น จากนั้นกำจัดน้ำที่เหลืออยู่เล็กน้อยด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต และกำจัดเฮกเซนออกจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ด้วย vacuum evaporation ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงการต่ออุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันฟอกซีไดซ์



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง vacuum evaporation

3.6.1 ตัวแปรที่ศึกษาในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อการเกิดออกซิเรนออกซิเจนในน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ โดยได้ออกแบบการทดลองเป็น 12 การทดลองดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลองในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์

การทดลองที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
1	50	4
2	50	6
3	50	8
4	50	10
5	60	4
6	60	6
7	60	8
8	60	10
9	70	4
10	70	6
11	70	8
12	70	10

3.7 การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์

ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Perkin Elmer System 2000 โดยกำหนดความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ได้ระหว่าง $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ และใช้ scan time เท่ากับ 32 resolution เท่ากับ 8



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.8 การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่างๆของน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์

3.8.1 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนออกซิเจน (oxirane oxygen)

ชั่งน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์หนัก 0.3-0.6 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มล. จากนั้นเติมเบนซีน 10 มล. และ 0.1% ของสารละลายคริสตัลไวโอเลตในกรดแอสติค 5 หยด และไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานของไฮโดรเจนโบรไมด์ ในกรดแอสติค 0.1 โมลต่อลิตร (standardized ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม ละลายในกรดแอสติค 5 มล.) โดยปลายของบิวเรตต์ออกอยู่กับ rubber stopper ซึ่งติดอยู่กับขวดรูปชมพู่เพื่อป้องกันการสูญเสียไฮโดรเจนโบรไมด์ โดยสีของจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว และสามารถหาปริมาณออกซิเจนออกซิเจนได้จากสมการที่ 3.1

$$\% \text{ ออกซิเจนออกซิเจน} = \frac{T \times N \times 1.6}{W}$$

(3.1)

T = ปริมาตรของไฮโดรเจนโบรไมด์ (มล.)

N = ความเข้มข้นของไฮโดรเจนโบรไมด์ (โมลต่อลิตร)

W = น้ำหนักของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ (กรัม)

3.8.2 การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (iodine value)

การหาค่าไอโอดีนทำได้โดย ชั่งน้ำมันให้ได้น้ำหนักตามตารางที่ 3.2 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. จากนั้นนำมาละลายในคลอโรฟอร์ม 10 มล. ละลายให้เข้ากันแล้วเติมสารละลายฮานัส (Hanus reagent) 25 มล. ปิดฝา เขย่าเบาๆ แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดร่า 20 มล. และน้ำกลั่น 100 มล. นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้แป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป ทดสอบแบลนด์ด้วย และคำนวณหาค่าไอโอดีนได้จากสูตร

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(V_2 - V_1) \times N}{W} \quad (3.2)$$

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (มล.)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายแบลนด์ (มล.)

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (โมลต่อลิตร)

W = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

วิธีการเตรียมสารละลาย

สารละลายฮานัส ละลายไอโอดีนโบรไมด์ 10 กรัม ในกรดแอสซิติก 500 มล

สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดร่า ละลายโพแทสเซียมไอโอไดร่า 50 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล.

สารละลายแป้ง ชั่งแป้งที่ละลายน้ำได้ 1 กรัม ใส่น้ำเย็นเล็กน้อยแล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำเดือด 100 มล. กวนอย่างเร็วแล้วทิ้งไว้ให้เย็น

ตารางที่ 3.2 แสดงน้ำหนักน้ำมันที่ต้องชั่งในการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนที่คาดหวัง	น้ำหนักน้ำมันที่ต้องชั่ง (กรัม)
น้อยกว่า 5	3.00
5-20	1.00
21-50	0.40
51-100	0.20
101-150	0.13
151-200	0.10

3.8.3 การทดสอบความหนืดของน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์

ทดสอบความหนืดของน้ำมันทานตะวันอพอกซีไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การวัดความหนืดของสารเคลือบผิวด้วยวิธีนี้เป็นการวัดการต้านทานการไหลของสารเคลือบผิว โดยการวัดพลังงานในการหมุนของหัวเข็มในภาชนะทดสอบ การเลือกใช้ขนาดและชนิดของหัวเข็มขึ้นกับความหนืดของสารเคลือบผิวที่ใช้ในการวัด ค่าความหนืดที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (centipoise)



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield

3.9 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

3.9.1 การศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่เตรียมได้จากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่างกัน 2 ชนิด คือ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมและตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม

สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดผสมได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 1 (ESO)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์	91.30	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจุบวกได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 2 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 2 (ESO)^{cat}

น้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์	96.30	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

3.9.2 การศึกษาถึงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการเติมไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลต ต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 3 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 3 (ESO/TMPTA)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	45.65	กรัม
ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต	45.65	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

3.10 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

3.10.1 การศึกษาถึงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตจาก เตรียมได้โดยการผสมน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรตามอัตราส่วนในแต่ละสูตร จากนั้นปั่นด้วยเครื่อง high speed mixer โดยใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวปริมาณต่างกัน (0.5%, 1.0% และ 1.5%) ต่อพลังงานที่ใช้ในแห้งตัวของสารเคลือบผิวโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่างกัน 2 ชนิด คือ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมและตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม

สูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดผสมได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 4 5 และ 6 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 4 (ESO/MMT 0.5%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	90.80	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	0.50	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

สูตรที่ 5 (ESO/MMT 1%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	90.30	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.00	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

สูตรที่ 6 (ESO/MMT 1.5%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	89.80	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.50	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

สูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจุบวกได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 7 8 และ 9 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 7 (ESO/MMT 0.5%)^{cat}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	95.80	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	0.50	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม

ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50 กรัม
สารช่วยเปียก	0.50 กรัม

สูตรที่ 8 (ESO/MMT 1%)^{cat}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	95.30 กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.00 กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70 กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50 กรัม
สารช่วยเปียก	0.50 กรัม

สูตรที่ 9 (ESO/MMT 1.5%)^{cat}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	94.80 กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.50 กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70 กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50 กรัม
สารช่วยเปียก	0.50 กรัม

3.10.2 การศึกษาถึงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการเติมไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลต ต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตและศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตปริมาณต่างๆกัน (0.5%, 1.0% และ 1.5%) โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 10 11 และ 12 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สูตรที่ 10 (ESO/TMPTA/MMT 0.5%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	45.40 กรัม
ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต	45.40 กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	0.50 กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70 กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00 กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50 กรัม

สารช่วยเปียก	0.5	กรัม
--------------	-----	------

สูตรที่ 11 (ESO/TMPTA/MMT 1%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	45.15	กรัม
ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต	45.15	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.00	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

สูตรที่ 12 (ESO/TMPTA/MMT 1.5%)^{hybrid}

น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์	44.90	กรัม
ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต	44.90	กรัม
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร	1.50	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก	2.70	กรัม
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี	5.00	กรัม
ตัวกระตุ้นทางแสง	0.50	กรัม
สารช่วยเปียก	0.50	กรัม

3.11 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวในแต่ละสูตร

นำสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ในแต่ละสูตรไปทดลองบนแผ่นโลหะที่ความหนา 60 ไมโครเมตร แล้วนำไปผ่านเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตดังแสดงในรูปที่ 3.5 ตัวเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตนี้สามารถปรับความเร็วสายพานที่ใช้ในการลำเลียงชิ้นงานให้ช้าหรือเร็วได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถปรับกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ใช้ได้อีกด้วย โดยกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตรุ่น UV Tech นี้สามารถปรับให้ได้เป็น 125, 200 และ 300 วัตต์



รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น UV tech

ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้สามารถทำได้โดยนำสารเคลือบผิวนั้น ลำเลียงผ่านสายพานที่มีกำลังของหลอดต่ำสุดก่อนซึ่งก็คือที่กำลัง 125 วัตต์ จากนั้นปรับความเร็วของสายพานให้สูงที่สุดแล้วดูว่าสารเคลือบผิวนั้นแห้งหรือไม่ ถ้าสารเคลือบผิวนั้นยังไม่แห้งก็ลดความเร็วของสายพานลง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าสารเคลือบผิวนั้นจะแห้งเมื่อลำเลียงผ่านสายพานเพียงครั้งเดียว แต่ถ้าใช้กำลังของหลอดเป็น 125 วัตต์แล้ว สารเคลือบผิวนั้นยังไม่แห้ง ก็ให้ปรับกำลังของวัตต์สูงขึ้นเป็น 200 และ 300 วัตต์ตามลำดับ แล้วทำการปรับความเร็วสายพานดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น บันทึกความเร็วสายพานและกำลังหลอดที่ใช้

เมื่อได้ความเร็วของสายพานและกำลังหลอดที่ใช้แล้ว จากนั้นก็ทำการวัดค่าพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้สารเคลือบผิวนั้นแห้งตัวด้วยเครื่อง UV integrator ดังแสดงในรูป 3.6 และ

3.7



รูปที่ 3.6 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่อง UV integrator



รูปที่ 3.7 แสดงภาพด้านหลังของเครื่อง UV integrator

การวัดค่าพลังงานรังสีอัลตราไวโอเลตนั้นทำได้โดยนำด้านหลังเครื่องวัดพลังงานเคลื่อนที่ผ่านสายพานที่มีความเร็วของสายพานและกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตั้งบนที่ไว้ในข้างต้น เพื่อให้ตัว sensor (มีลักษณะเป็นรูปวงกลม) รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่ใช้ จากนั้นอ่านค่าพลังงานที่ได้จากด้านหน้าของเครื่อง UV integrator ซึ่งจะแสดงผลเป็นดิจิตอลบนหน้าปัด

3.12 การวิเคราะห์โครงสร้างมอดมอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอดมอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอม-พอสิต สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของโครงสร้างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกจำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงหรือน้อยกว่าขนาดของอะตอม แสงที่มีความยาวคลื่นขนาดดังกล่าวได้แก่ รังสีเอ็กซ์ ซึ่งได้จากการยิงอะตอมของธาตุ (เช่น โคโรเนียม หรือ โมลิบดีนัม) ด้วยลำอิเล็กตรอน นอกจากรังสีเอ็กซ์แล้ว รังสีอื่นๆ ที่ใช้ก็ได้แก่ รังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู รังสีซีโครตรอน ซึ่งเป็นรังสีที่เปล่งออกมาโดยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบอะตอมหรือไอออนภายในโครงสร้างของสารที่นำมาตรวจสอบ จะเกิดการกระเจิงประพุดิตัวคล้ายกับการสะท้อนออกจากระนาบของแลตติสผลึก ดังนั้นจึงสามารถใช้กฎการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนจากกระจกเงา นั่นคือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนของแสง คลื่นแสงที่จะเกิดการรวมตัวแบบเสริมกันจะต้องเป็นคลื่นที่มีเฟสเหมือนกัน นั่น คือ ความแตกต่างของระยะทางที่คลื่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ที่ต้องเท่ากับเลขจำนวนเต็มคูณด้วยความยาวคลื่น ดังแสดงในสมการแบรค (Bragg Equation) ข้อควรสังเกต คือ สมการแบรคจะระบุถึงเงื่อนไขการเกิดรังสีสะท้อนแต่ไม่ได้กล่าวถึงความเข้มแสง

สมการแบรค

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

(3.3)

โดยที่ λ = ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

n = เลขจำนวนเต็ม

d = ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

θ = มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์

จากสมการที่ 3.3 สามารถอธิบายการสะท้อนรังสีเอ็กซ์จากระนาบของผลึก ซึ่งระยะทางที่แสงเดินทางจากระนาบทั้งสองหรือ $2d \sin \theta$ ต้องเท่ากับ $n\lambda$

เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบผลึกซึ่งประกอบด้วยอะตอมที่เรียงตัวอย่างระเบียบ รังสีเอ็กซ์จะเกิดการสะท้อนจากอิเล็กตรอนด้วยมุมต่างๆ กัน เข้าเครื่องตรวจวัด เครื่องตรวจวัดจะวัดความเข้มแสงที่มุมสะท้อนต่างๆ (ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมตกกระทบ) และให้ผลออกมาเป็นแพทเทิร์นระหว่างมุมตกกระทบกับความเข้มแสง ดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป

จากรูปที่ 3.8 สามารถสรุปหน้าที่การทำงานของเครื่องมีได้ดังนี้

X-ray source	เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ภายในประกอบด้วยเป้าโลหะคอปเปอร์ (K_{α} เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม)
Sample	เป็นสารที่นำมาใช้ตรวจสอบประเภท crystalline material โดยอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์
Detector	ใช้ตรวจวัดการหักเหของรังสีเมื่อตกกระทบสาร

สารเคลือบผิวนาโนคอมโพสิตน้ำมันทานตะวันอิมพอกซีไดซ์ / ออร์แกนโอเคลย์ ถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าระยะห่างระหว่างชั้นดิน (d-spacing) ของออร์แกนโอเคลย์ภายในฟิล์มนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง Rigaku D/MAX-2000 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยทำการวิเคราะห์ที่ 2θ เท่ากับ 1.2 ถึง 40



รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง X-ray diffraction (XRD)

3.13 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส (TGA)

เทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส (Thermogravimetric analysis, TGA) เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิใน scanning mode หรือกับเวลาใน isothermal mode เช่นในการเกิด desorption, absorption, sublimation, vaporization, oxidation และ decomposition เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นในบางกรณี อาจไม่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลเสมอไป เช่น melting, crystallization หรือ glass transition โดยการใช้งานส่วนใหญ่มักใช้ในการวิเคราะห์ decomposition และ thermal stability ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน และใช้ในการตรวจสอบ kinetic ของ physicochemical ที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง

การแสดงผลการวิเคราะห์มักแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของมวล (mass change; Δm) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ กับ อุณหภูมิ (temperature; T) หรือ เวลา (time; t) ใน scanning mode โดยที่อุณหภูมิที่ T_1 หรือ ที่เรียกว่า procedural decomposition temperature จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็น onset ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สามารถวัดได้ และ T_f หรือ final temperature เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลได้อย่างสมบูรณ์ reaction interval ที่ได้จะไม่ใช่ค่าจำเพาะตัวของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO TGA/SDTA 851 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 800 องศาเซลเซียส ใช้ heating rate 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้แก๊สไนโตรเจน



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่อง TGA

3.14 การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะฟิล์มแห้ง

3.14.1 การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact Test)

การทดสอบความทนแรงกระแทกของฟิล์มสารเคลือบผิวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Impact Strength Tester ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ตามมาตรฐาน ASTM D 5628

โดยแรงกระแทกที่รวดเร็ว สามารถทำให้ผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิวเกิดความเสียหายได้ การทดสอบการกระแทกก็คือ การวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงกระแทก

เครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการกระแทก ประกอบด้วยลูกตุ้มหนัก 2.25 ปอนด์ (1 กิโลกรัม) หรือ 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) และสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ในระยะทาง 25 หรือ 40 นิ้ว เมื่อจะทดสอบ ก็นำแผ่นทดสอบที่เคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้วยึดที่ฐานของเครื่องมือ จากนั้นตั้งระยะทางที่ปล่อยให้ลูกตุ้มลงมากระทบกับแผ่นทดสอบที่ระยะต่างๆกัน ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มลงมาให้กระทบกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จากนั้นตรวจผิวแผ่นทดสอบ ความทนทานต่อการกระแทก มีหน่วยเป็นนิ้ว-ปอนด์ (inch-pounds) เช่น ใช้ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ ปล่อยลงมาให้กระทบกับแผ่นทดสอบจากระยะทาง 40 นิ้ว ปรากฏว่าเป็นระยะทางสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มไม่เกิดข้อบกพร่อง เช่นการแตก หรือ การหลุดล่อน แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวมีความทนทานต่อการกระแทกเท่ากับ 160 นิ้ว-ปอนด์



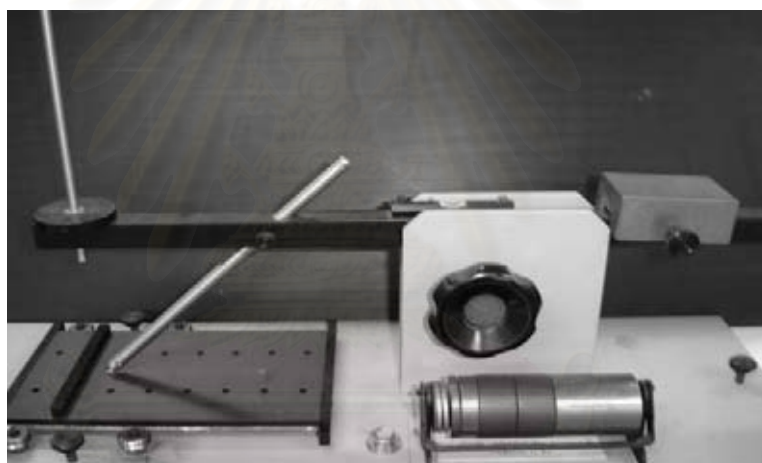
รูปที่ 3.11 เครื่องมือทดสอบ Impact Strength Tester

3.14.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกด หรือ ชูตขีดด้วยของแข็ง

วิธีการหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้กันทั่วไป คือ การทดสอบการชูตขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็ม

การทดสอบการชูตขีด ทำได้โดยการใช้เครื่องมือทดสอบการชูตขีด (Mechanized scratch test apparatus) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ซึ่งประกอบด้วย แผ่นเลื่อนได้ในแนวนอน แผ่นเลื่อนนี้วางไว้ได้เข็มซึ่งตั้งฉากกับฟิล์ม เข็มยึดติดกับที่จับ เหนือที่จับ เข็มขึ้นไปเป็นที่วางน้ำหนัก



รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องมือทดสอบการชูตขีด

เมื่อจะทำการทดสอบ ก็ทำได้โดยนำแผ่นทดสอบซึ่งเคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว (แผ่นทดสอบควรเป็นแผ่นโลหะ) มายึดให้ติดแน่นกับแผ่นเลื่อนได้ของเครื่องมือ โดยให้ด้านยาวของแผ่นทดสอบขนานกับทิศทางของการขีด วางน้ำหนักบนที่วางเหนือเข็ม โดยเริ่มจากน้ำหนักที่น้อยกว่า น้ำหนักที่คาดว่าจะทำให้เกิดการแทงทะลุผิวเคลือบ ทดสอบต่อไปโดยเพิ่มน้ำหนักให้เหมาะสม จนกระทั่งเข็มแทงทะลุผิวเคลือบถึงแผ่นทดสอบ ทดสอบซ้ำโดยใช้ น้ำหนักนั้นบนแผ่นทดสอบเดิมและแผ่นทดสอบใหม่ ความแข็งของฟิล์มของตัวอย่างทดสอบก็คือ น้ำหนักน้อยที่สุดที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ

วิธีการทดสอบหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิววิธีอื่นๆ ได้แก่ การทดสอบความแข็งโดยใช้ดินสอด (pencil hardness test) วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี การทดสอบทำได้โดยการนำดินสอดที่มีความแข็งต่างๆกัน (ความแข็งของดินสอดจะลดลงจากเบอร์ 6H ถึง 4B) กดลงบนฟิล์ม ถ้าปลายดินสอดเบอร์ใดแตกในระหว่างที่แทงทะลุผิวฟิล์มไป ก็ถือว่า ฟิล์มดังกล่าว มีความแข็งเท่ากับความแข็งของดินสอดนั้น เช่น ถ้าฟิล์มมีความแข็งมากจนทำให้ดินสอดเบอร์ 6H ซึ่งแข็งที่สุดแตก แสดงว่าฟิล์มนั้นมีความแข็งมาก คือ เท่ากับดินสอดเบอร์ 6H แต่ถ้าดินสอดสามารถแทงทะลุผ่านผิวของฟิล์มได้โดยที่ดินสอดไม่แตกเลย แม้กระทั่งดินสอดเบอร์ 4B ที่มีความแข็งน้อยที่สุด ก็แสดงว่าฟิล์มนั้นมีผิวเคลือบที่อ่อน (soft coating)

3.14.3 การทดสอบความอ่อนตัว (Flexibility)

การหาความอ่อนตัวไม่เปราะของฟิล์มของสารเคลือบผิว ทำได้โดยการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ด้วยเครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ตามมาตรฐาน ASTM D 522 เครื่องทดสอบนี้ ประกอบด้วยแกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน เมื่อจะทดสอบ ก็นำแผ่นทดสอบที่เคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว(แผ่นทดสอบต้องเป็นโลหะ) มาตัดโค้งรอบแกนทรงกระบอก โดยการสอดแผ่นทดสอบภายในเครื่องทดสอบ และพับเครื่องทดสอบให้สนิท จากนั้นตรวจผิวแผ่นทดสอบทันที ตรวจดูรอยร้าวหรือการหลุดล่อนที่เกิดขึ้น การรายงานผลการทดสอบให้ระบุเส้นผ่านศูนย์กลางแกนทรงกระบอกอันแรกที่ทำให้ผิวร้าว หรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่มีพบข้อบกพร่องเมื่อใช้แกนทรงกระบอกอันเล็กที่สุด ให้ระบุขนาดแกนทรงกระบอกดังกล่าว



รูปที่ 3.13 แสดงเครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus

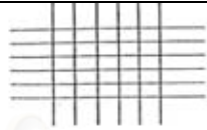
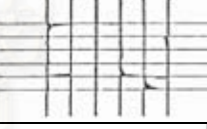


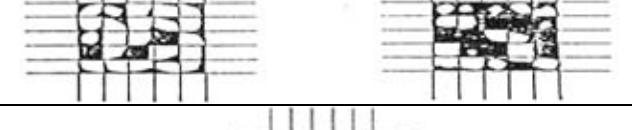

3.14.4 การทดสอบความติดแน่น (Adhesion)

ทดสอบความติดแน่น (Adhesion) ด้วยวิธี cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-95 Method B ดังแสดงในรูปที่ 3.14

ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบอกระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ การหาความติดแน่นวิธีที่ง่ายที่สุด คือ ใช้ของมีคมขูดที่ผิวฟิล์ม ถ้าฟิล์มเปราะหรือมีแรงยึดเกาะกับพื้นผิวไม่ดี ฟิล์มก็จะเกิดการแตก

ในการทดสอบ ให้ใช้ของมีคมปาดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ บนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้น ใช้แปรงปัดแผ่นทดสอบไปมาเบา ๆ 5 ครั้ง แล้วตรวจสอบดูว่า ผิวของฟิล์มบกร่องมากน้อยเพียงใด ถ้าไม่ใช้แปรงปัด อาจใช้เทปติดที่บริเวณรอยขูดให้สนิท แล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจสอบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์ม ถ้าไม่พบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์มเลย แสดงว่า ฟิล์มดังกล่าว มีความติดแน่นดีมาก

ตารางที่ 3.3 แสดงการข้อบกพร่องของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี cross cut

การยึดติด	การหลุดของฟิล์มสารเคลือบผิว	ภาพแสดงการหลุดของฟิล์ม
5B	0%	
4B	น้อยกว่า 5%	
3B	5-15%	
2B	15-35%	
1B	35-65%	
0B	มากกว่า 65%	



รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องทดสอบความตืดแน่น ด้วยวิธี cross-cut tape

3.14.5 การวัดความเงา (Gloss)

วัดความเงาของสารเคลือบผิวด้วยเครื่อง Gloss Meter ตามมาตรฐาน ASTM D 523 ดังแสดงในรูปที่ 3.15

ฟิล์มสารเคลือบผิวมีความเงามากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นกับความสามารถของฟิล์มในการรับแสงและการสะท้อนออกไป ความสามารถดังกล่าวขึ้นกับความเรียบของพื้นผิว และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

การวัดความเงาของฟิล์มสารเคลือบผิว เป็นการวัดเปรียบเทียบความเงาของแผ่นทดสอบมาตรฐาน โดยมีการระบุมุมที่ลำแสงตกไปกระทบพื้นผิวฟิล์ม โดยทั่วไปนิยมวัดความเงาที่มุม 20 องศา 60 องศา และ 85 องศา

วิธีวัดด้วยมุม 60 องศา ใช้ได้กับฟิล์มสารเคลือบผิวทั้งหมด ส่วนวิธีวัดด้วยมุม 20 องศา ใช้ได้กับสีที่เงามาก และสามารถวัดความแตกต่างของความเงาที่มีค่าสูงได้ดีกว่า สำหรับการวัดด้วยมุม 85 องศา ใช้สำหรับสีที่เงาเล็กน้อย และสามารถวัดความแตกต่างของความเงาที่มีค่าน้อยได้ดีกว่า

การวัดความเงา ให้สอบเทียบเครื่องวัดความเงาทุกครั้งเมื่อเริ่มวัด สำหรับการวัดความเงาบนฟิล์มของแผ่นทดสอบ ให้วัดที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่อง Gloss Meter



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

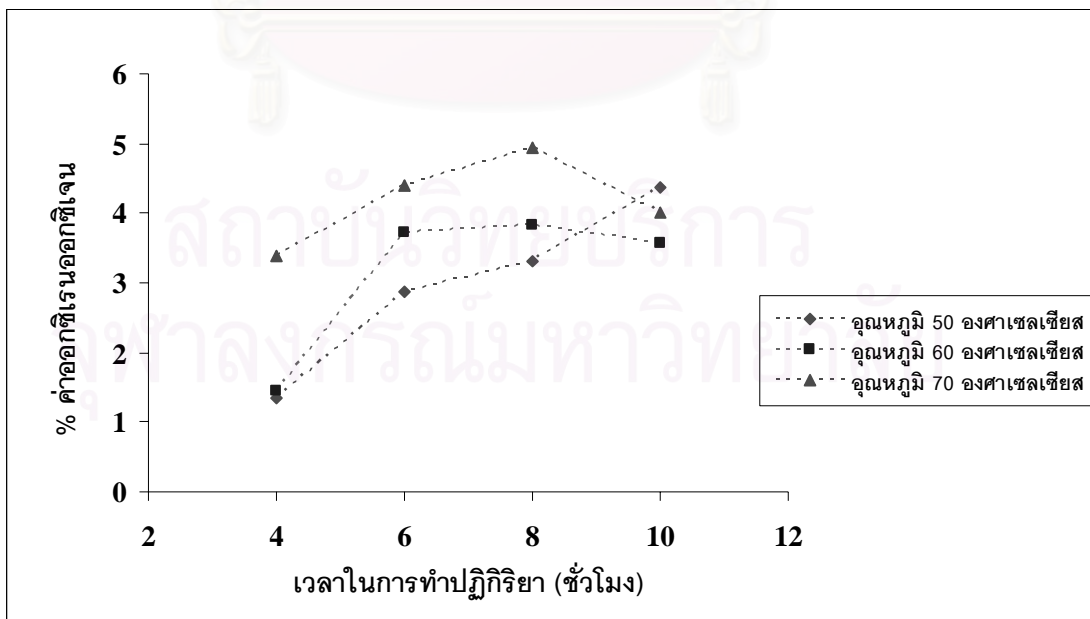
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันออกซีไดซ์

4.1.1 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณการเกิดออกซีเรนออกซีเจนในน้ำมันทานตะวัน

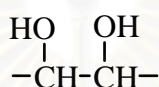
จากการศึกษาของ French และคณะ (12) พบว่าการสังเคราะห์น้ำมันออกซีไดซ์เพื่อให้ได้ค่าออกซีเรนออกซีเจนสูงๆนั้น ต้องใช้สภาวะที่ไม่รุนแรง คือมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 12-20 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส แต่เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในอุตสาหกรรมที่ต้องการปริมาณการผลิตที่สูงในระยะเวลาที่สั้นอีกทั้งยังต้องประหยัดพลังงานด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์น้ำมันออกซีไดซ์ใหม่ เพื่อให้ใช้ระยะเวลาในการผลิตที่น้อยลง และยังคงได้ปริมาณออกซีเรนออกซีเจนสูง

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาต่างๆที่มีต่อการเกิดออกซีเรนออกซีเจนในน้ำมันทานตะวัน โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองได้ 12 การทดลอง และได้ผลการทดลองดังกราฟรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าออกซีเรนออกซีเจนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

จากกราฟที่ 4.1 เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 4 ชั่วโมงเป็น 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์มีค่าออกซิเรนออกซิเจนสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยที่ 70 องศาเซลเซียสนั้นน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์มีค่าออกซิเรนออกซิเจนสูงกว่าที่ 60 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดำเนินไปของปฏิกิริยาให้นานขึ้นเป็น 10 ชั่วโมง กลับพบว่าค่าออกซิเรนออกซิเจนของน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อใช้ระยะเวลาในการดำเนินปฏิกิริยานานขึ้นและใช้อุณหภูมิที่สูง มีผลทำให้สารประกอบอีพอกไซด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่าย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะกลายเป็นวิซินอลไดออลซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังนี้

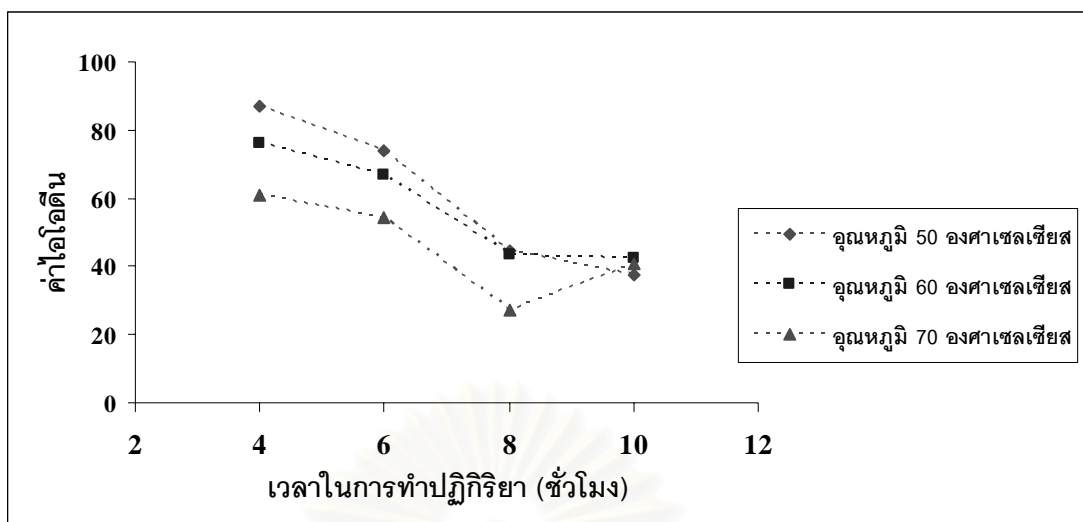


รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของวิซินอลไดออล

ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าออกซิเรนออกซิเจนต่ำลง และที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ การดำเนินไปของปฏิกิริยายังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จึงมีผลทำให้ยังคงได้ค่าออกซิเรนออกซิเจนไม่สูงนัก ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ค่าออกซิเรนออกซิเจนที่สูงและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 50-60 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้พบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์มีค่าออกซิเรนออกซิเจนสูงที่สุด

การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน สามารถบอกได้ถึงจำนวนพันธะคู่ที่มีในน้ำมันทานตะวัน เพราะค่าไอโอดีน นิยามไว้ว่า เป็นจำนวนเซนติกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำมัน 1 กรัม ดังนั้นถ้าจำนวนพันธะคู่ของน้ำมันทานตะวันลดลงแสดงว่าที่ตำแหน่งพันธะนั้นเกิดปฏิกิริยาอีพอกซีเดชัน กลายเป็นน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ และยังถ้าจำนวนพันธะคู่ลดลงมากเท่าไร ก็แสดงว่าน้ำมันทานตะวันนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาอีพอกซีไดซ์ได้สูง

น้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 125 และเมื่อสังเคราะห์เป็นน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์มีค่าไอโอดีนดังกราฟในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าไอโอดีนในน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์

จากกราฟในรูปที่ 4.3 ค่าไอโอดีนในน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์มีค่าต่ำลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 4 ชั่วโมงเป็น 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนสูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดำเนินไปของปฏิกิริยาให้นานขึ้นเป็น 10 ชั่วโมง กลับพบว่าค่าไอโอดีนในน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่าไอโอดีนต่ำที่สุด แสดงว่าจำนวนพันธะคู่ในน้ำมันทานตะวันถูกเปลี่ยนไปเป็นหมู่อิพอกซีได้มากที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ด้วยวิธี *insitu* peracetic acid คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

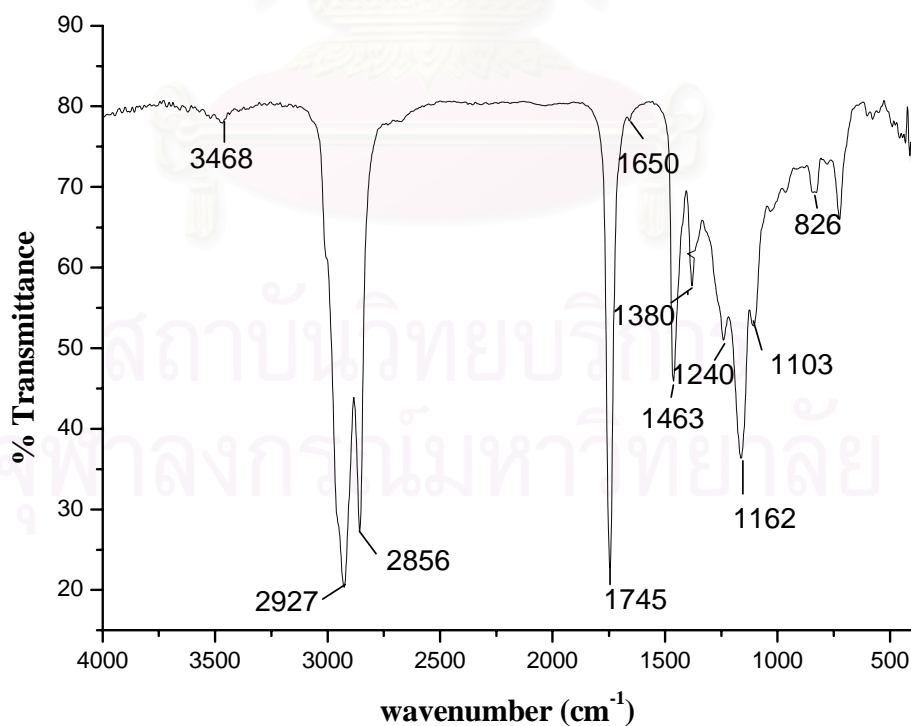
4.1.2 การศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค FTIR

ศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลสเปกตรัมแสดงดังรูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์กับน้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์รูปที่ 4.5 พบว่าทั้งน้ำมันทานตะวันและน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ ปรากฏพีกที่ 3468, 2927, 2855, 1746, 1462, 1378, 1238, 1162, 1100 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกที่แสดงหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และพบว่าน้ำมันทานตะวันไม่ปรากฏพีกที่ 826 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ C-O-C ในหมู่อิพอกไซด์ และในขณะเดียวกันน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์ปรากฏพีกที่ 1650 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ C=C ลดลง

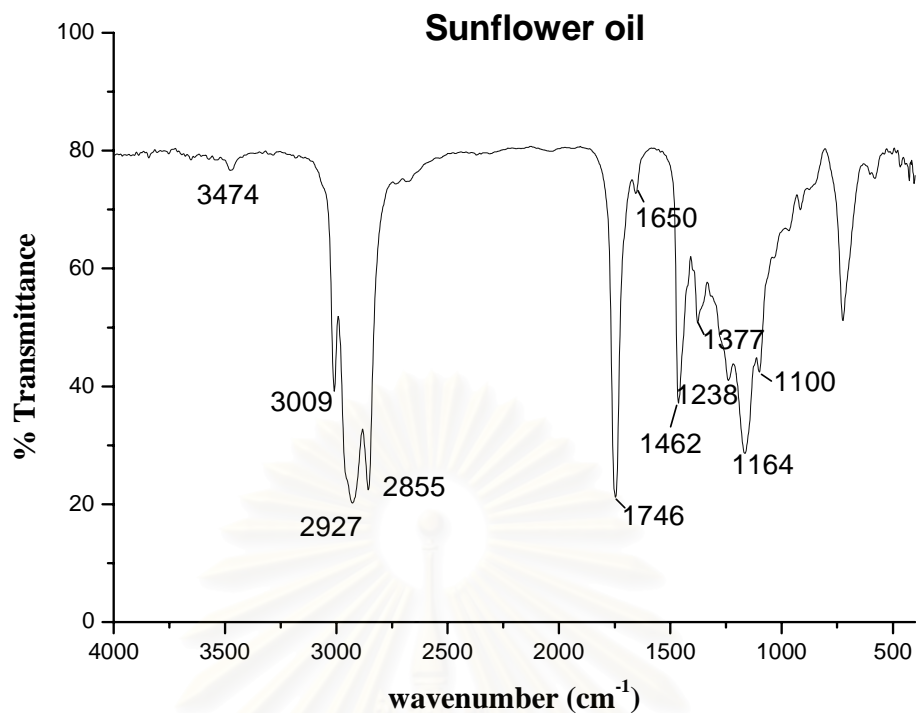
ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะของน้ำมันทานตะวันและน้ำมันทานตะวันอีพอกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค FTIR

ความถี่, cm^{-1}	ชนิดน้ำมัน		หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ
	น้ำมันทานตะวัน	น้ำมันทานตะวันอีพอกไซด์	
3468	มี	มี	-C=O (Ester)
2927	มี	มี	=C-H (cis)
2855	มี	มี	-CH-
1746	มี	มี	-C=O (Ester)
1650	มี	ลดลง	C=C
1462	มี	มี	-CH ₂ - (methylene)
1378	มี	มี	-CH ₃ (methyl)
1238	มี	มี	-C-O, -CH ₂ -
1162	มี	มี	-C-O, -CH ₂ -
1100	มี	มี	-C-O
828	ไม่มี	มี	Epoxy group

Epoxidized sunflower oil



รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัม FTIR ของน้ำมันทานตะวันอีพอกไซด์ที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม FTIR ของน้ำมันทานตะวัน

4.2 การทดสอบความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์

ทดสอบความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้สูตรต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield และแสดงผลค่าความหนืดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิพอกซิไดซ์สูตรต่างๆ

สูตร	ความหนืด (centipoise)
4 ชม. / 50°C	42.0
4 ชม. / 60°C	47.0
4 ชม. / 70°C	52.0
6 ชม. / 50°C	40.0
6 ชม. / 60°C	52.0
6 ชม. / 70°C	53.0
8 ชม. / 50°C	41.0
8 ชม. / 60°C	50.0
8 ชม. / 70°C	55.0

สูตร	ความหนืด (centipoise)
10 ซม. / 50°C	56.0
10 ซม. / 60°C	60.0
10 ซม. / 70°C	62.0

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นจนถึง 8 ชั่วโมง หมู่อิมัลชันพอกซีในน้ำมันทานตะวันมีค่าสูงขึ้น และมีแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลสูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความหนืดในน้ำมันทานตะวันจึงมีค่าสูงขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นจนถึง 10 ชั่วโมง หมู่อิมัลชันพอกซีในน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์บางส่วนถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นวชิโนลไดออกไซด์ ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจนที่มีความแข็งแรง จึงส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์มีค่าสูงขึ้น

4.3 พลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์

4.3.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่เตรียมได้จากน้ำมันทานตะวันอิมัลชันพอกซีไดซ์ โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่างกัน 2 ชนิด คือ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมและตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 1 และ 2 ในตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวรวมถึงความเร็วสายพานและกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวทั้ง 2 สูตร สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงสารเคลือบผิวสูตรต่างๆที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สูตรที่ ¹	ESO ¹ (g)	TMPTA ² (g)	MMT ³ (g)	Cationic PI ⁴ (g)	Radical PI ⁵ (g)	PS ⁶ (g)	Wetting agent ⁷ (g)
1	91.30	-	-	2.70	5.00	0.5	0.5
2	96.30	-	-	2.70	-	0.5	0.5
3	45.65	45.65	-	2.70	5.00	0.5	0.5
4	90.80	-	0.50	2.70	5.00	0.5	0.5
5	90.30	-	1.00	2.70	5.00	0.5	0.5
6	89.80	-	1.50	2.70	5.00	0.5	0.5
7	95.80	-	0.50	2.70	-	0.5	0.5
8	95.30	-	1.00	2.70	-	0.5	0.5
9	94.80	-	1.50	2.70	-	0.5	0.5
10	45.40	45.40	0.50	2.70	5.00	0.5	0.5
11.	45.15	45.15	1.00	2.70	5.00	0.5	0.5
12	44.90	44.90	1.50	2.70	5.00	0.5	0.5

1= น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์

2 = ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะครีเลต.

3 = มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

4 = ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (Irgacure 250)

5 = ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (Darocure 1173)

6 = ตัวกระตุ้นทางแสง (ITX)

7 = สารช่วยเปียก (Perenol F-40)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิว
จากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สูตรที่	ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)	กำลัง (วัตต์)	พลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ ใช้ในการบ่มสารเคลือบ (มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร)
สูตรที่ 1 (ESO) ^{hybrid}	16.32	125	143
สูตรที่ 2 (ESO) ^{cat}	14.40	125	169

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 1) ใช้พลังงานในการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยกว่าสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (สูตรที่ 2) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมนั้นเป็นการผสมกันระหว่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจุบวก อนุมูลเสรี และตัวกระตุ้นทางแสง ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เร็วกว่าการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกอย่างเดียว

4.3.2 ผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลตที่มีในสูตรสารเคลือบต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ซึ่งได้แก่สารเคลือบผิวในสูตรที่ 3 ในตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวรวมถึงความเร็วสายพานและกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สูตรที่	ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)	กำลัง (วัตต์)	พลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบ (มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร)
สูตรที่ 3 (ESO/TMPTA) ^{hybrid}	6.72	200	1022

จากตารางที่ 4.5 พบว่าสูตรสารเคลือบผิวที่มีเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะคริลิตและบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม มีผลทำให้สูตรสารเคลือบผิวนั้นใช้พลังงานในการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 143 เป็น 1022 มิลลิจูล (เปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวสูตรที่ 1 ในตารางที่ 4.4) ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของโอลิโกเมอร์ ซึ่งก็คือน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวมีปริมาณลดลง จึงส่งผลให้สารเคลือบผิวแห้งตัวได้ช้าลง และการเติมตัวเจือจางที่ว่องไวลงในสูตรสารเคลือบผิวแทนที่น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ก็ไม่ได้ช่วยให้สารเคลือบผิวแห้งตัวได้เร็วขึ้น ถึงแม้ตัวเจือจางที่ว่องไวจะมีหมู่ฟังก์ชันถึง 3 หมู่ก็ตาม เนื่องจากตัวเจือจางที่ว่องไวเป็นเพียงโมโนเมอร์ ดังนั้นถ้าต้องการให้สารเคลือบผิวแห้งตัวได้เร็วขึ้นก็ต้องเพิ่มปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงให้มากขึ้นถึงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์เร็วขึ้นได้

4.4 พลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

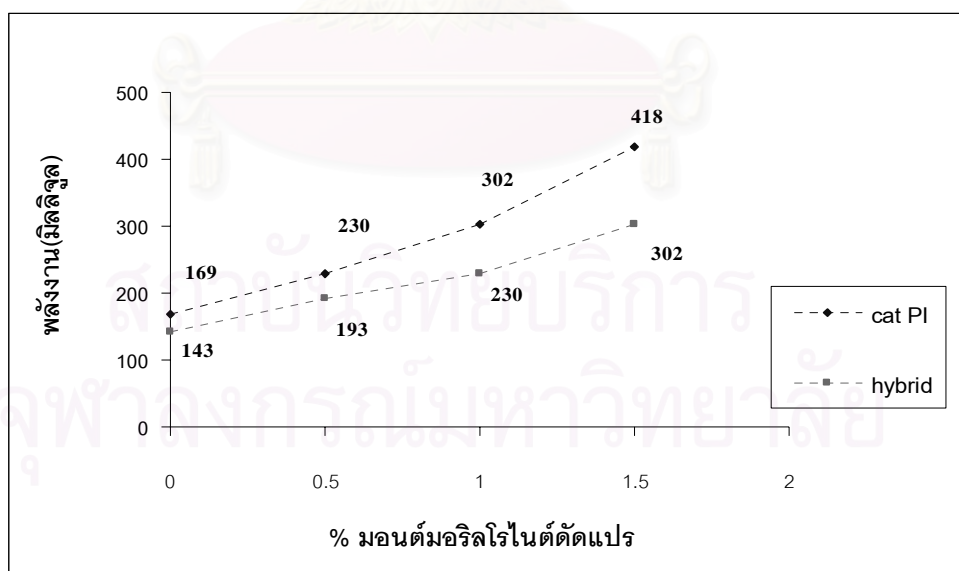
4.4.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

วัสดุนาโนคอมพอสิตคือวัสดุที่เตรียมขึ้นจากการนำสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยมีสารอย่างน้อย 1 ชนิดมีขนาดนาโนเมตร โดยสารที่นำมาผสมกันนี้เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ อัดแน่น ฟิล์มหรือกึ่งฟิล์ม ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี แต่เมื่อนำมาผสมกันแล้ววัสดุที่ได้จะมีสมบัติด้านความแข็งแรง และสมบัติด้านความทนความร้อนดีขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการนำมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรซึ่งมีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตรมาใช้เสริมแรงในสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต และได้ศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณต่างๆกัน (0.5% 1.0% และ 1.5%) ต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 4-6) และชนิดประจุบวก (สูตรที่ 7-9) ผลการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวรวมถึงความเร็วสายพานและกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวทั้ง 6 สูตร สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6 และกราฟรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรต่างๆกัน

สูตร	ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)	กำลัง (วัตต์)	พลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบ (มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร)
สูตรที่ 4 (ESO/MMT 0.5%) ^{hybrid}	12.48	125	193
สูตรที่ 5 (ESO/MMT 1%) ^{hybrid}	10.56	125	230
สูตรที่ 6 (ESO/MMT 1.5%) ^{hybrid}	8.64	125	302
สูตรที่ 7 (ESO/MMT 0.5%) ^{cat}	10.56	125	230
สูตรที่ 8 (ESO/MMT 1%) ^{cat}	8.64	125	302
สูตรที่ 9 (ESO/MMT1.5%) ^{cat}	6.72	125	418



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดต่างๆกัน

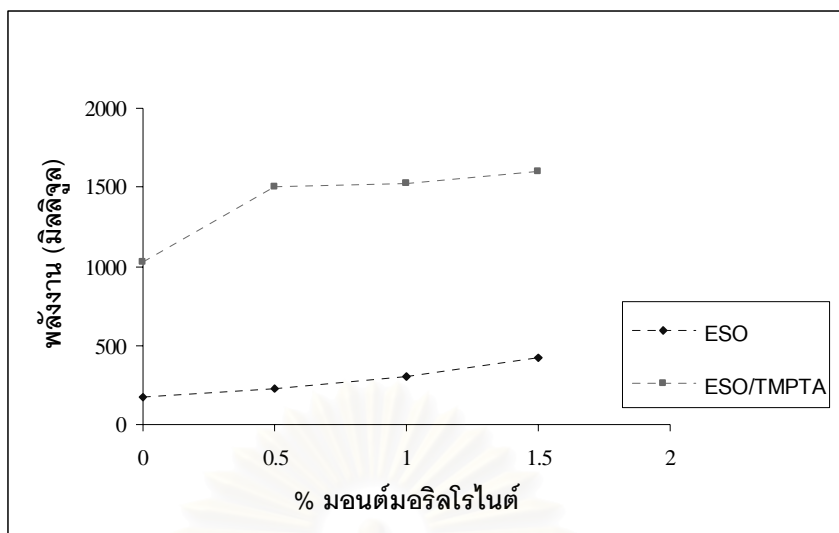
จากกราฟรูปที่ 4.6 พบว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมใช้พลังงานในการบ่มสารเคลือบผิวต่ำกว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิว พลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4.4.2 ผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการเติมไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลต ที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ 0.5% 1.0% และ 1.5% โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ผลการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวรวมถึงความเร็วสายพานและกำลังของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวทั้ง 3 สูตรสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.7 และกราฟรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สูตร	ความเร็วสายพาน (เมตร/นาที)	กำลัง (วัตต์)	พลังงาน (มิลลิจูล)
สูตรที่ 4 (ESO/MMT 0.5%) ^{hybrid}	12.48	125	193
สูตรที่ 5 (ESO/MMT 1%) ^{hybrid}	10.56	125	230
สูตรที่ 6 (ESO/MMT 1.5%) ^{hybrid}	8.64	125	302
สูตรที่ 10 (ESO/TMPTA/MMT 0.5%) ^{hybrid}	4.80	200	1498
สูตรที่ 11 (ESO/TMPTA/MMT 1%) ^{hybrid}	5.76	300	1520
สูตรที่ 12 (ESO/TMPTA/MMT 1.5%) ^{hybrid}	4.80	300	1595



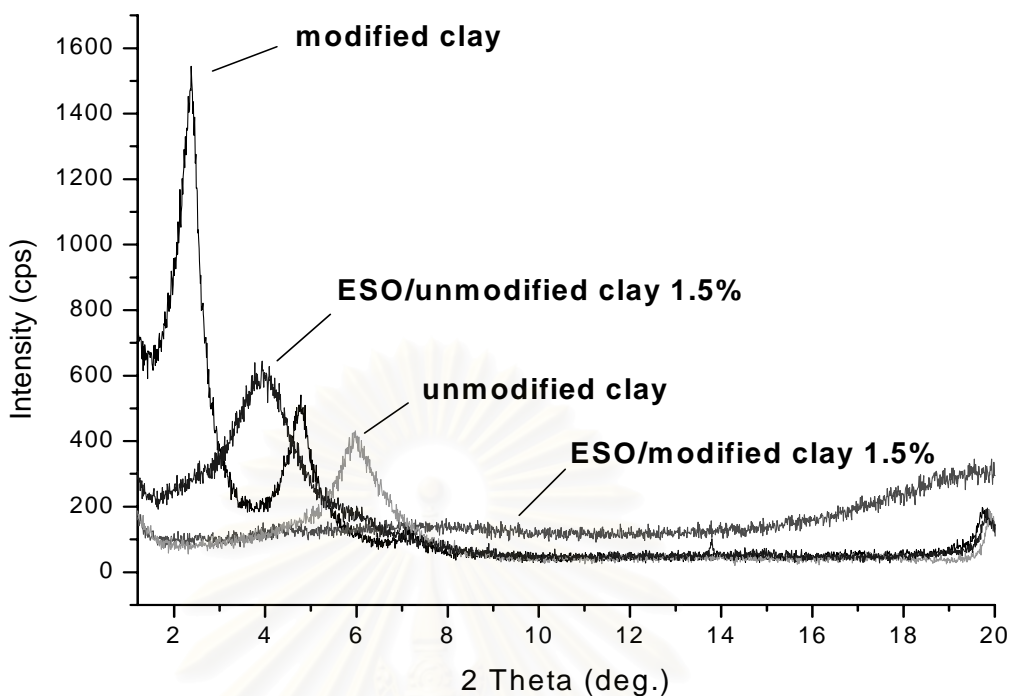
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของตัวเจ็จจางที่ว่องไวที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอลสิตที่ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม

จากตารางที่ 4.7 และกราฟรูปที่ 4.7 พบว่าสูตรสารเคลือบผิวที่มีเจ็จจางที่ว่องไวจำพวกอะครีเลตและบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม มีผลทำให้สูตรสารเคลือบผิวนั้นใช้พลังงานในการบ่มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวที่ไม่ได้เติมตัวเจ็จจางที่ว่องไว อีกทั้งปริมาณมอนต์มอริลโรไนต์ที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบผิวนาโนคอมพอลสิต มีผลทำให้ใช้พลังงานในการบ่มสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นด้วย

4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโรไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

วิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโรไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) ได้ผลแสดงดังกราฟรูปที่ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



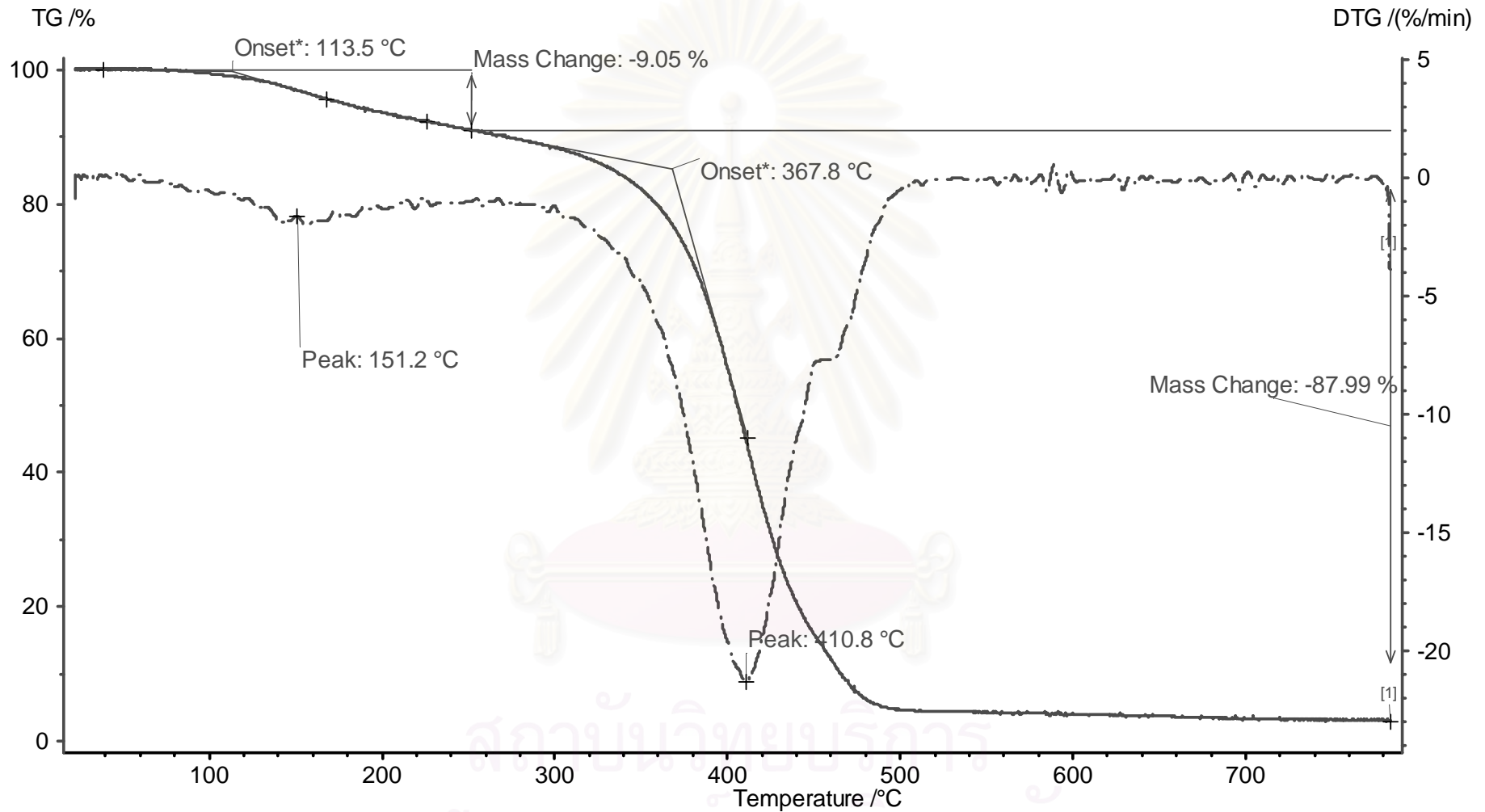
รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค XRD

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (organoclay) ปรากฏพีก 2θ เท่ากับ 2.37° และมีค่า d-spacing เท่ากับ 37.25 \AA เมื่อเปรียบเทียบกับมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ได้ดัดแปรซึ่งปรากฏพีก 2θ เท่ากับ 5.93° และมีค่า d-spacing เท่ากับ 14.89 \AA (16) พบว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร มีระยะห่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (ค่า d-spacing) สูงกว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ได้ดัดแปร แสดงว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนี้เกิดการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) และเมื่อผสมมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ได้ดัดแปรลงในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์พบว่า ปรากฏพีก 2θ เท่ากับ 3.84° และมีค่า d-spacing เท่ากับ 22.99 \AA แสดงว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์นี้เกิดการแยกตัวแบบแทรกสอด แต่เมื่อผสมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรลงในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์พบว่าไม่ปรากฏพีก 2θ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์ เปลี่ยนจากการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) เป็นการแยกตัวแบบแยกออกจากกัน (exfoliated) ดังนั้นสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนี้จึงจัดว่าเป็นสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต

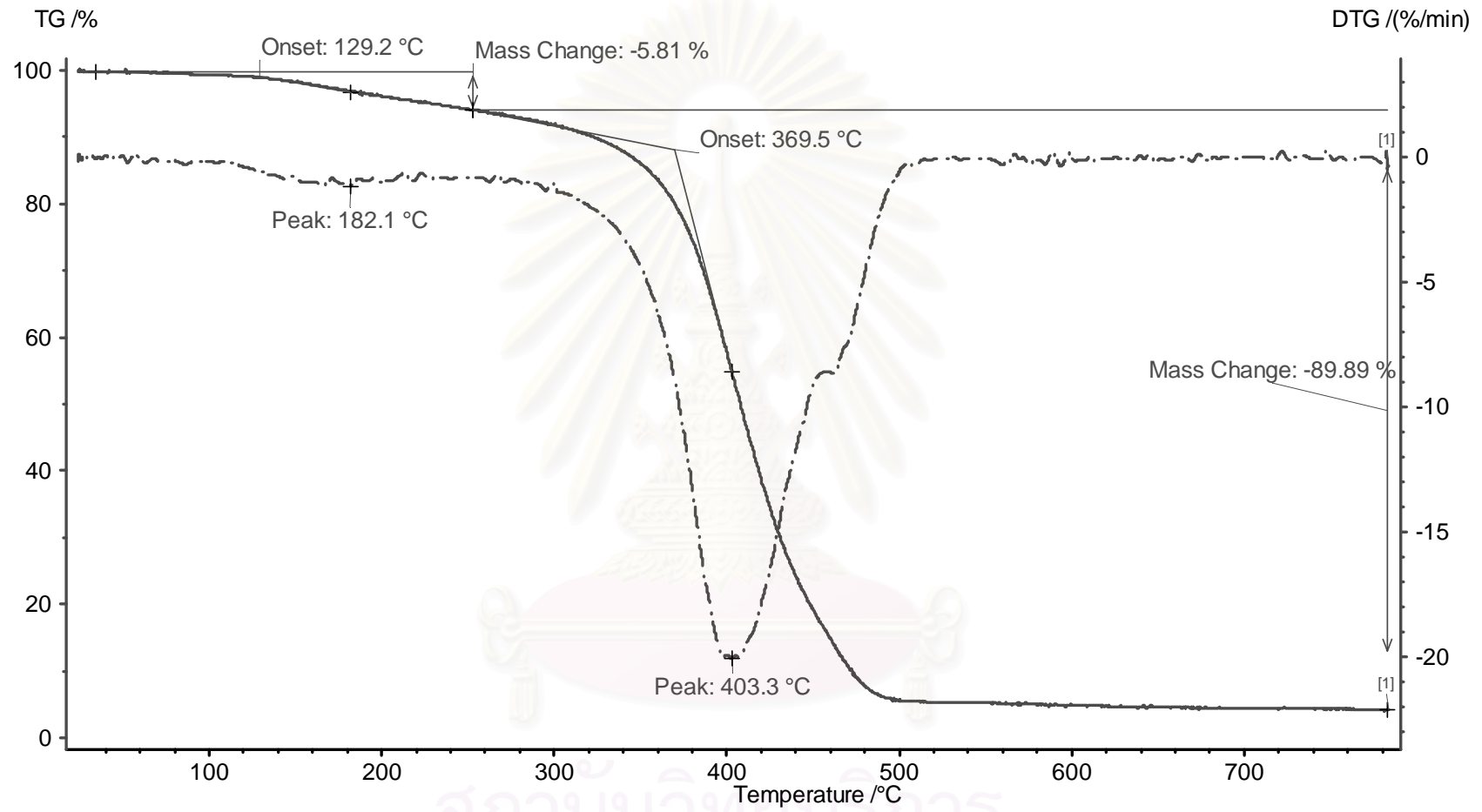
4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์ที่ไม่เติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1.5% พบว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์เริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 367.8 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ในขณะที่สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 369.5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตมีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงกว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์ที่ไม่เติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเล็กน้อย

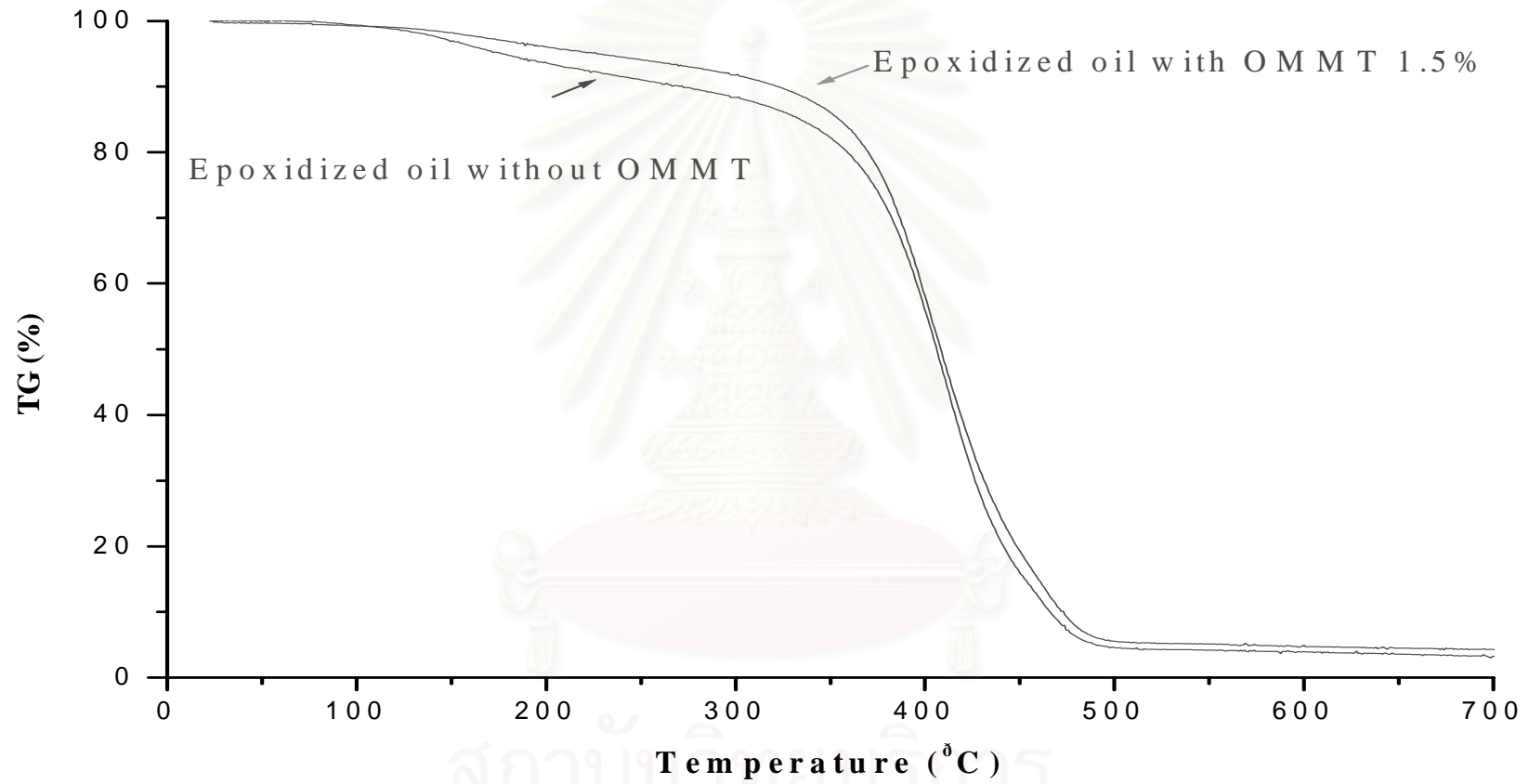
เมื่อพิจารณาที่ % weight loss เท่ากับ 50 พบว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์มีอุณหภูมิในการสลายตัวเท่ากับ 410 องศาเซลเซียส และสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตมีอุณหภูมิในการสลายตัวเท่ากับ 411 องศาเซลเซียส แสดงว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่เติมลงไปในสูตรสารเคลือบผิวมีปริมาณน้อยเกินไปจึงไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิว



รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA ของน้ำมันทานตะวันอิพอกซีไดซ์



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA ของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1.5%



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอีพอกไซด์ที่มีและไม่มีมอนต์มอริลโรไนต์ดัดแปร

4.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์

4.7.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่ป่นได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่ป่นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 1 และใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 2 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์

รายการทดสอบ	สูตรที่ 1 (ESO) ^{hybrid}	สูตรที่ 2 (ESO) ^{cat}
ความทนแรงกระแทก ด้านหน้า / ด้านหลัง (นิ้ว-ปอนด์)	140/140	140/140
ความแข็ง (กรัม)	100	100
ความอ่อนตัว(มม.)	3	3
การยึดติดบนโลหะ	5B	5B
ความเงา (องศา)	82	80.5

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่างกัน พบว่า ความทนแรงกระแทก ความแข็ง ความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่ป่นโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 1) มีค่าเท่ากับสารเคลือบผิวที่ป่นโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (สูตรที่ 2) แสดงว่าชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงไม่มีผลต่อสมบัติเหล่านี้ของสารเคลือบผิว

ค่าความเงาของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีไคซ์ที่ป่นโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมมีค่าสูงกว่าสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมทำให้สารเคลือบผิวแห้งตัวได้เร็วกว่าการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก फिल्मที่ได้จึงมีความเงาสูงกว่า

4.7.2 ผลของตัวเจือจางว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการเติมไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลต ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์ที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 3 และสารเคลือบผิวที่ไม่ได้เติมตัวเจือจางที่ว่องไว ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 1 ดังแสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวทั้ง 2 สูตรในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์

รายการทดสอบ	สูตรที่ 1 (ESO) ^{hybrid}	สูตรที่ 3 (ESO/TMPTA) ^{hybrid}
ความทนแรงกระแทก ด้านหน้า / ด้านหลัง (นิ้ว-ปอนด์)	140/140	160/160
ความแข็ง (กรัม)	100	200
ความอ่อนตัว (มม.)	3	3
การยึดติดบนโลหะ	5B	5B
ความเงา (องศา)	82	85.5

จากการศึกษาผลของการเติมตัวเจือจางที่ว่องไวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวพบว่า

ความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ของสารเคลือบผิวที่มีตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 3) มีค่าเท่ากับสารเคลือบผิวที่ไม่มีตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 1) แสดงว่าการใช้น้ำมันทานตะวันฟอกซีไคซ์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ให้ฟิล์มที่มีสมบัติด้านความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ที่มีสมบัติดีเหมือนกับสูตรสารเคลือบผิวที่มีตัวเจือจางที่ว่องไว

ค่าความทนแรงทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ความแข็ง ความเงา ของฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 3) มีค่าสูงกว่าสารเคลือบผิวที่ไม่เติมตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 1) แสดง

ว่าการมีตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบผิวมีผลทำให้สมบัติด้านความทนแรงกระแทก ความแข็งแรง ความเงา ของฟิล์มดีขึ้น

4.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต

4.8.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ศึกษาผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนอเมอร์อิโคโนในตัดัดแปรต่างๆกัน (0.5 1.0 และ 1.5%) โดยสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดผสม ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 4 5 และ 6 และสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจวบกันได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 7 8 และ 9 แสดงผลการทดสอบทางกายภาพดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต

รายการทดสอบ	สูตรที่ 4 (ESO/OMMT 0.5%) ^{hybrid}	สูตรที่ 5 (ESO/OMMT 1%) ^{hybrid}	สูตรที่ 6 (ESO/OMMT 1.5%) ^{hybrid}	สูตรที่ 7 (ESO/OMMT 0.5%) ^{cat}	สูตรที่ 8 (ESO/OMMT 1%) ^{cat}	สูตรที่ 9 (ESO/OMMT 1.5%) ^{cat}
ความทนแรง กระแทก ด้านหน้า / ด้านหลัง (นิว-ปอนด์)	160/160	160/160	160/160	160/160	160/160	160/160
ความแข็ง (กรัม)	200	300	350	200	300	350
ความอ่อนตัว (มม.)	3	3	3	3	3	3
การยึดติดบนโลหะ	5B	5B	5B	5B	5B	5B
ความเงา (องศา)	78.2	77.5	76.4	79.5	77.8	74.1

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่างกันพบว่า

ความทนแรงกระแทก ความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่บ่มโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 4 5 6) มีค่าเท่ากับสารเคลือบผิวที่บ่ม

โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (สูตรที่ 7 8 9) แสดงว่าชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงไม่มีผลต่อสมบัติเหล่านี้ของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต และพบว่าค่าความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีโคชท์ที่ป่มโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 1) มีค่าต่ำกว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต (สูตรที่ 4-9) แสดงว่าสารเคลือบผิวที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเป็นองค์ประกอบมีผลทำให้ค่าความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิวสูงขึ้น แต่เนื่องจากเครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้สามารถวัดค่าได้สูงสุดคือ 160 นิว-ปอนด์ ดังนั้นเมื่อวัดค่าความทนแรงกระแทกในสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 1.0 และ 1.5 % ทั้งสูตรสารเคลือบผิวที่ป่มโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมและชนิดประจุบวก วัดค่าได้เพียง 160 นิว-ปอนด์ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของเครื่องทดสอบที่วัดได้ จึงทำให้ไม่สามารถทราบค่าความทนแรงกระแทกที่แท้จริงของฟิล์มสารเคลือบผิวได้ว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหรือไม่เมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ในสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น

ค่าความแข็งของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตทั้งที่ป่มโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม (สูตรที่ 4-6) และชนิดประจุบวก (สูตรที่ 7-9) มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอพอกซีโคชท์ (สูตรที่ 1-2) เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรทำหน้าที่เป็นฟิลเลอร์ให้กับสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต จึงทำให้ค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบนาโนคอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้น

ค่าความเงาของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตทั้งที่ป่มโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมและชนิดประจุบวกมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสารเคลือบผิวที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเป็นองค์ประกอบในสูตรสารเคลือบผิว มีผลทำให้เกิดการสะท้อนแสงอย่างไม่เป็นระเบียบ มีทิศทางที่ไม่แน่นอน จึงทำให้ความเงาของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตมีค่าต่ำลง และพบว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกมีค่าความเงาสูงกว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม

4.8.2 ผลของการตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ป่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) ซึ่งเป็นตัวเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) จำพวกอะคริเลต ต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตและได้ศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ใช้ในสูตรสาร

เคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณต่างๆกัน (0.5% 1.0% และ 1.5%) โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสม ได้แก่สารเคลือบผิวสูตรที่ 10-12 และแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวต่อสมบัติทางกายภาพของ
สารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต

รายการทดสอบ	สูตรที่ 4 (ESO/OMMT 0.5%)	สูตรที่ 5 (ESO/OMMT T 1%)	สูตรที่ 6 (ESO/OMMT 1.5%)	สูตรที่ 10 (ESO/TMPTA/ OMMT 0.5%) ^{hybrid}	สูตรที่ 11 (ESO/TMPTA/ OMMT 1%) ^{hybrid}	สูตรที่ 12 (ESO/TMPTA/ OMMT 1.5%) ^{hybrid}
ความทนแรงกระแทก ด้านหน้า / ด้านหลัง (นิ้ว-ปอนด์)	160/160	160/160	160/160	160/160	160/160	160/160
ความแข็ง (กรัม)	200	300	350	300	350	350
ความอ่อนตัว (มม.)	3	3	3	3	3	3
การยึดติดบน โลหะ	5B	5B	5B	5B	5B	5B
ความเงา (องศา)	78.2	77.5	76.4	84.6	81.2	78.0

จากการศึกษาผลของการเติมตัวเจือจางที่ว่องไวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตพบว่า

ความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ค่าความทนแรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังของสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่มีเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 10-12) มีค่าเท่ากับสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ไม่มีเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 4-6) แสดงว่าการใช้น้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ให้ฟิล์มที่มีสมบัติด้านความอ่อนตัว การยึดติดบนโลหะ ที่มีสมบัติดีเหมือนกับสูตรสารเคลือบผิวที่มีตัวเจือจางที่ว่องไว ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้พบว่าในการเตรียมสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถใช้สูตรสารเคลือบผิวที่มาจากน้ำมันทานตะวันอียพอกซีไดซ์ซึ่งเป็นสารที่มาจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวได้ โดยไม่ต้องใช้ตัวเจือจางที่ว่องไวซึ่งเป็นสารที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงทำให้สารเคลือบผิวที่เตรียมได้นี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย

ความแข็ง ความเงา ของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่เติมตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 10-12) มีค่าสูงกว่าสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ไม่เติมตัวเจือจางที่ว่องไว (สูตรที่ 4-6) แสดงว่าสารเคลือบผิวที่มีตัวเจือจางที่ว่องไวเป็นองค์ประกอบมีผลทำให้สมบัติด้านความแข็งและความเงาของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. น้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 125
2. สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์ด้วยวิธี *insitu* peracetic acid ได้แก่ ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง และมี % ออกซิเจน-ออกซิเจนเท่ากับ 4.95 ค่าไอโอดีนเท่ากับ 27
3. ทั้งสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์และสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมใช้พลังงานในการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยกว่าใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก
4. ทั้งสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์และสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตที่เติมตัวเจือจางที่ว่องไวมีผลทำให้สูตรสารเคลือบผิวนั้นใช้พลังงานในการบ่มสูงกว่าสูตรสารเคลือบผิวที่ไม่เติมตัวเจือจางที่ว่องไว
5. การเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตทำให้ใช้พลังงานในการบ่มสูงขึ้น
6. ชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์และฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิต
7. การเติมตัวเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์และสูตรสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตมีผลทำให้ค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวมีค่าสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในการสังเคราะห์น้ำมันทานตะวันทานตะวันอพอกซีไดซ์ควรศึกษาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดออกซิเจนออกซิเจนในน้ำมันทานตะวันด้วยเช่น ปริมาณของสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่น การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้น เป็นต้น

ควรศึกษาถึงผลของตัวเจือจางที่ว่องไวชนิดต่างๆนอกจากไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะครีเลต ที่มีต่อพลังงานการแห้งตัวและสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว เพิ่มขึ้นด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Rosli, W.D., Wan, Kumar, R.N., Zah, S., Mek, and Himi, M. Mohd. UV Radiation Curing of Epoxidized Palm Oil-Cycloaliphatic Diepoxide System Induced by Cationic Photoinitiators for Surface Coatings. *European Polymer Journal* 39 (2003): 593-600.
2. อรุณา สรวารี; สารเคลือบผิว(สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
3. Osney Mead, *Vegetable oils in food technology : composition, properties, and uses.* Osney Mead, Oxford: CRC Press, 2002
4. Knothe, G., and Derksen, Johannes, T.P. *Recent developments in the synthesis of fatty acid derivative.* AOCS press, 1999.
5. วลัยกร นิตยพัฒน์, การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์แกนิกเคลือบ/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
6. Oldring, P.K.T. *Chemistry & technology of UV & EB formulation for coating, inks & paints.* Vol. 1: Markets and Curing Equipment. London: SITA, 1991.
7. King. J. *Chem. Soc.* 37 (1943): 37-38. Cited in Findley, T.W., Swern, D., and Scanlan J.T. Epoxidation of unsaturated fatty materials with peracetic acid in glacial acetic acid solution. *J. Am. Chem. Soc.* 67 (March 1945): 412.
8. Findley, T.W., Swern, D., and Scanlan J.T. Epoxidation of unsaturated fatty materials with peracetic acid in glacial acetic acid solution. *J. Am. Chem. Soc.* 67 (March 1945): 412-414.
9. Niederhauser, W.D., and Koroly, J.E. Process for the epoxidation of ester of oleic and linoleic acids. U.S. Pat. 2,485,160 (1949).
10. Food Machinery and Chemical Corporation. In situ epoxidation of oleic acid using formic acid. U.S. Pat. 2,774,774 (1956).
11. Food Machinery and Chemical Corporation. In situ epoxidation of organic esters with sulfuric and acetic acid. U.S. Pat. 2,801,253 (1957).
12. French, W.H. In situ epoxidation process. U.S. Pat. 3,360,531 (1971).

13. Benaniba, M.T., Belhanecha-Bensemra, N, and Gelbard, G. Stabilization of PVC by epoxidized sunflower oil in presence of zinc and calcium stearates. **Polymer Degradation and Stability** 82 (2003): 245-249.
- 14 Decker. Synthesis of Nanocomposite Polymers by UV-Radiation Curing. **Polymer** 46 (2005): 6640–6648.
15. Durbetaki, A.J. Direct titration of oxirane oxygen with hydrogen bromide in glacial acetic acid. **Analytical Chemistry** 28,12 (December 1956): 2000-2001.
16. Jiratumnukul N., Pruthipaitoon S., and Pitsaroup T., J. **Appl Polym Sci.** in press.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าออกซิเจนออกซิเจนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

สูตร	ค่าออกซิเจนออกซิเจน ครั้งที่ 1	ค่าออกซิเจนออกซิเจน ครั้งที่ 2	ค่าออกซิเจนออกซิเจน เฉลี่ย
4 ชม. / 50°C	1.35	1.33	1.34
4 ชม. / 60°C	1.44	1.46	1.45
4 ชม. / 70°C	3.39	3.38	3.38
6 ชม. / 50°C	2.87	2.85	2.86
6 ชม. / 60°C	3.71	3.73	3.72
6 ชม. / 70°C	4.37	4.32	4.40
8 ชม. / 50°C	3.30	3.31	3.31
8 ชม. / 60°C	3.81	3.83	3.82
8 ชม. / 70°C	4.93	4.97	4.95
10 ชม. / 50°C	4.34	4.40	4.37
10 ชม. / 60°C	3.54	3.59	3.57
10 ชม. / 70°C	4.01	4.03	4.02

ตารางที่ ก-2 แสดงค่าไอโอดีนในน้ำมันทานตะวันทานตะวันอีพอกซีไดซ์

สูตร	ค่าไอโอดีน
4 ชม. / 50°C	87.04
4 ชม. / 60°C	75.99
4 ชม. / 70°C	60.65
6 ชม. / 50°C	74.09
6 ชม. / 60°C	66.65
6 ชม. / 70°C	54.45
8 ชม. / 50°C	44.60
8 ชม. / 60°C	43.73
8 ชม. / 70°C	27.00

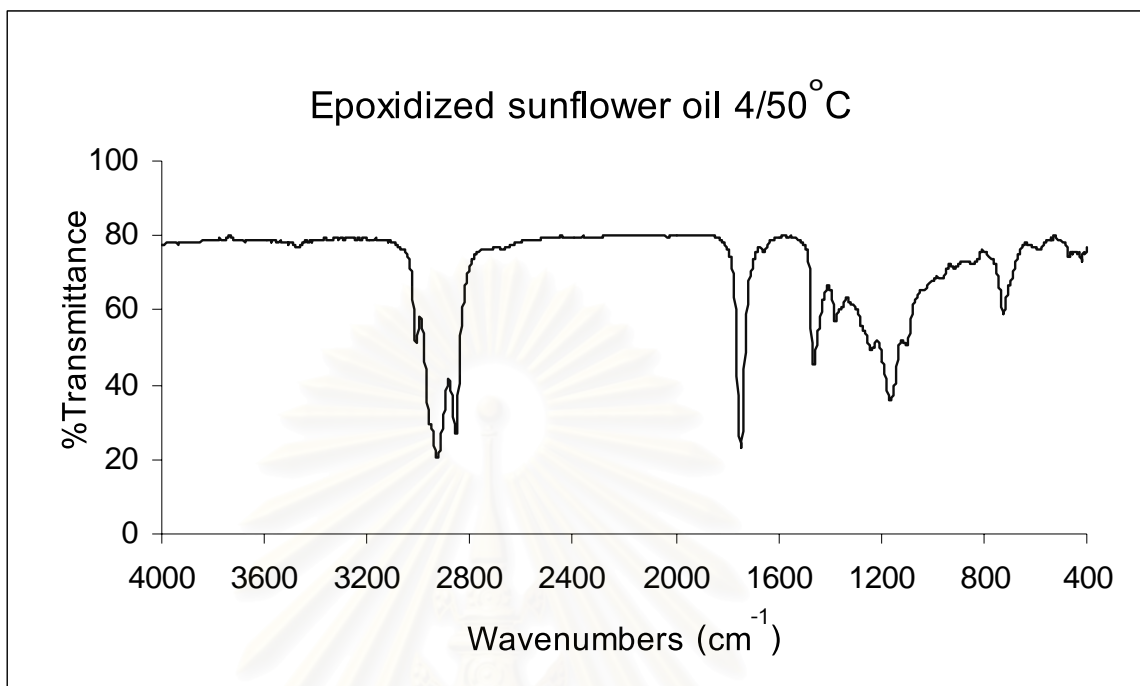
สูตร	ค่าไอโอดีน
10 ชม. / 50°C	37.27
10 ชม. / 60°C	42.28
10 ชม. / 70°C	40.82



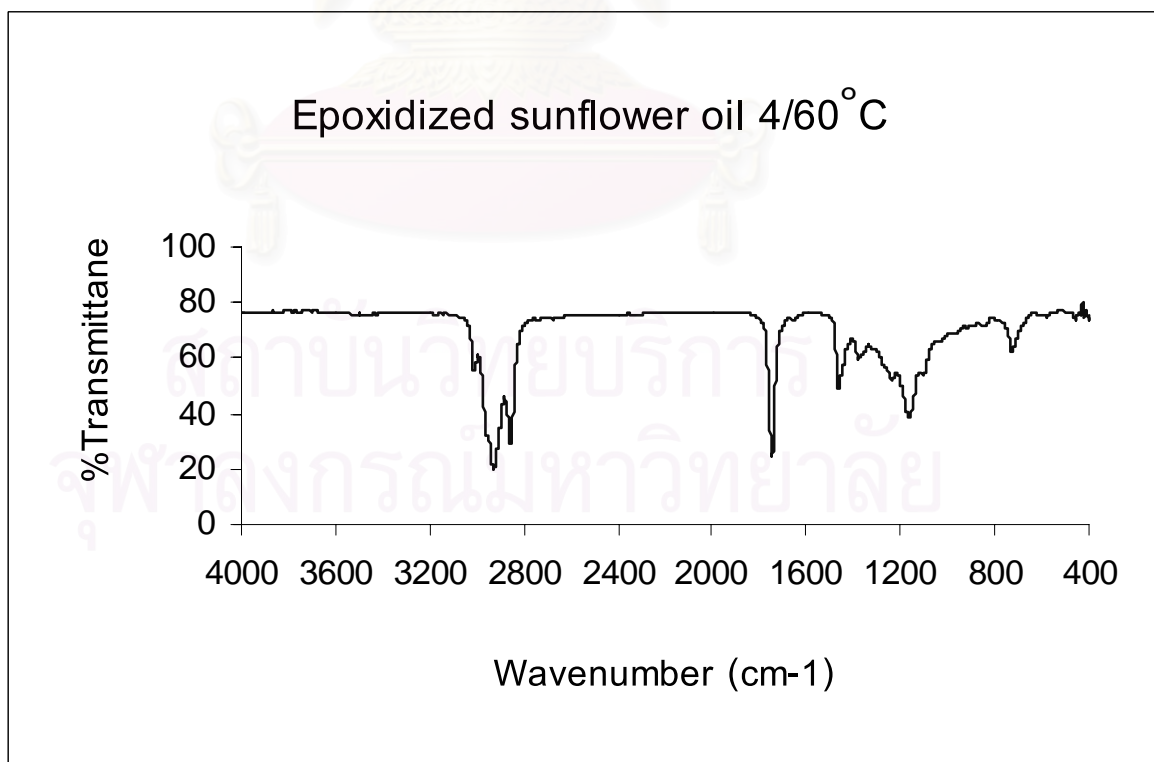
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

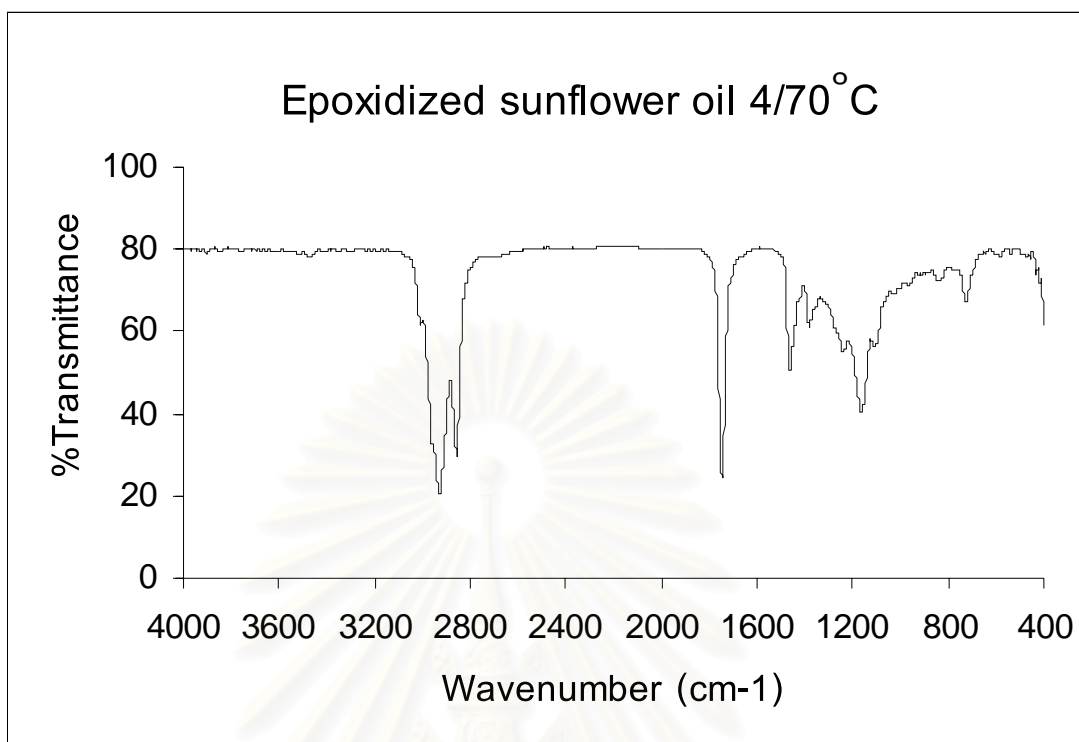
(a)



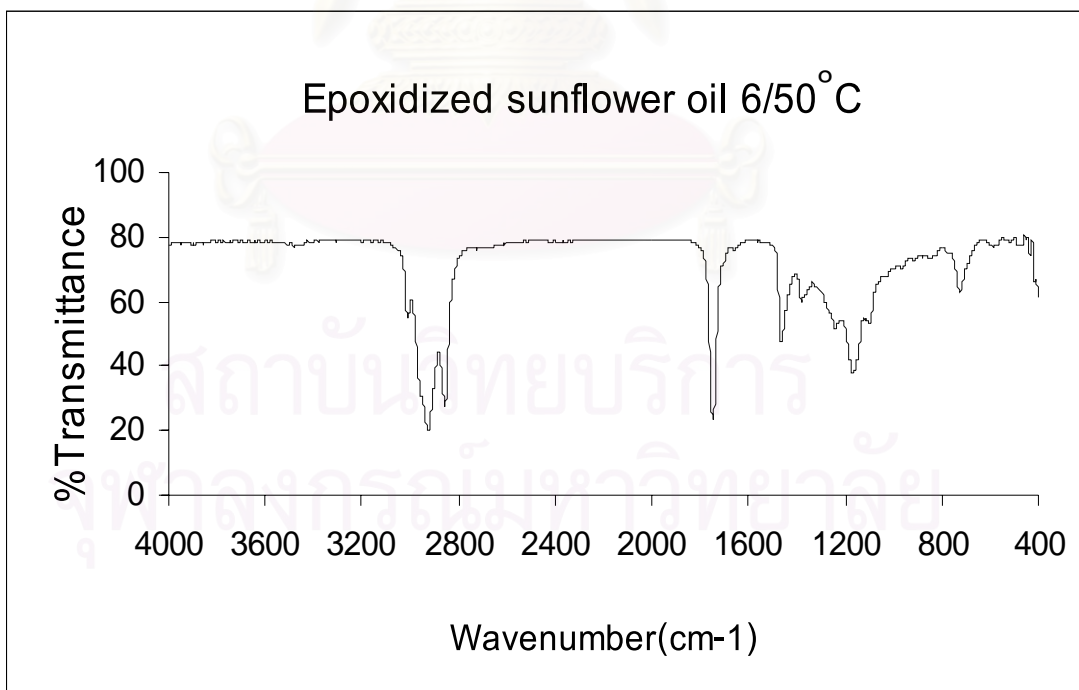
(b)



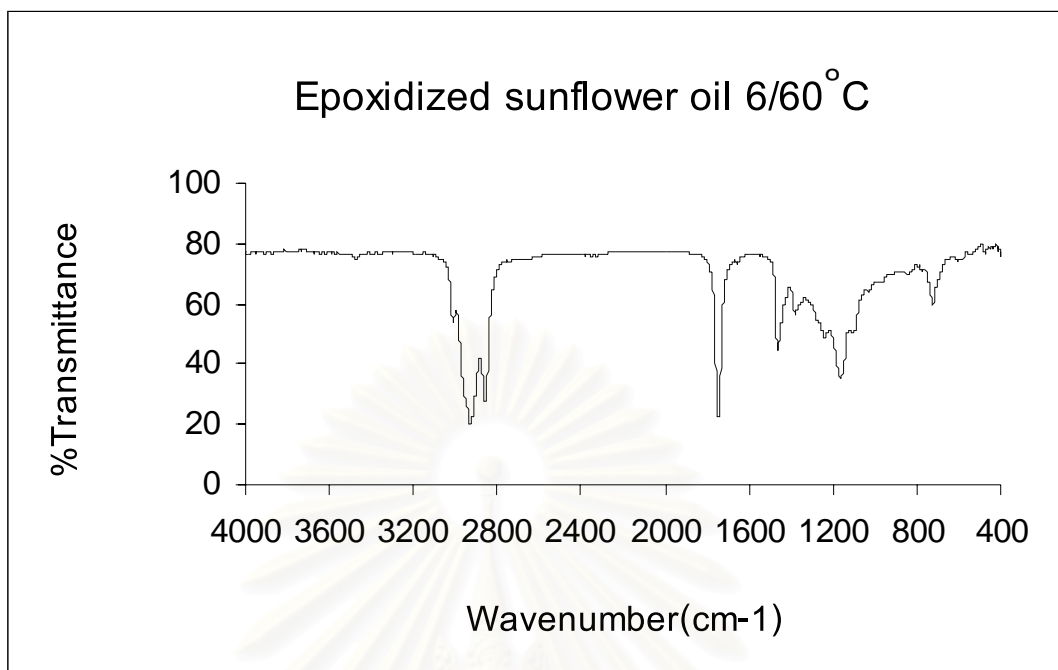
(c)



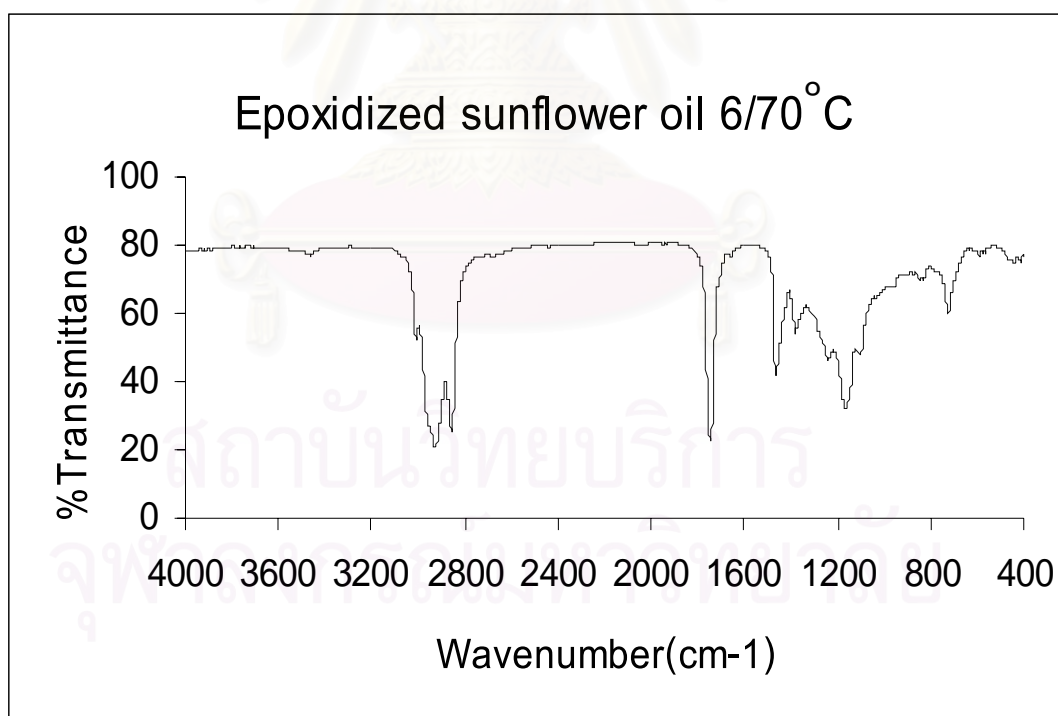
(d)



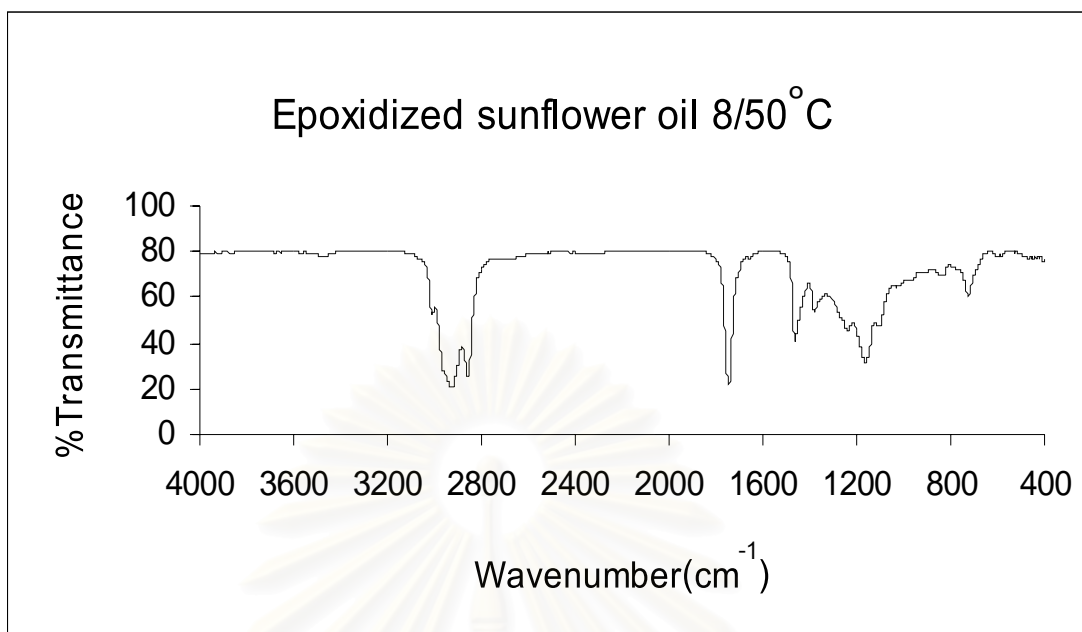
(e)



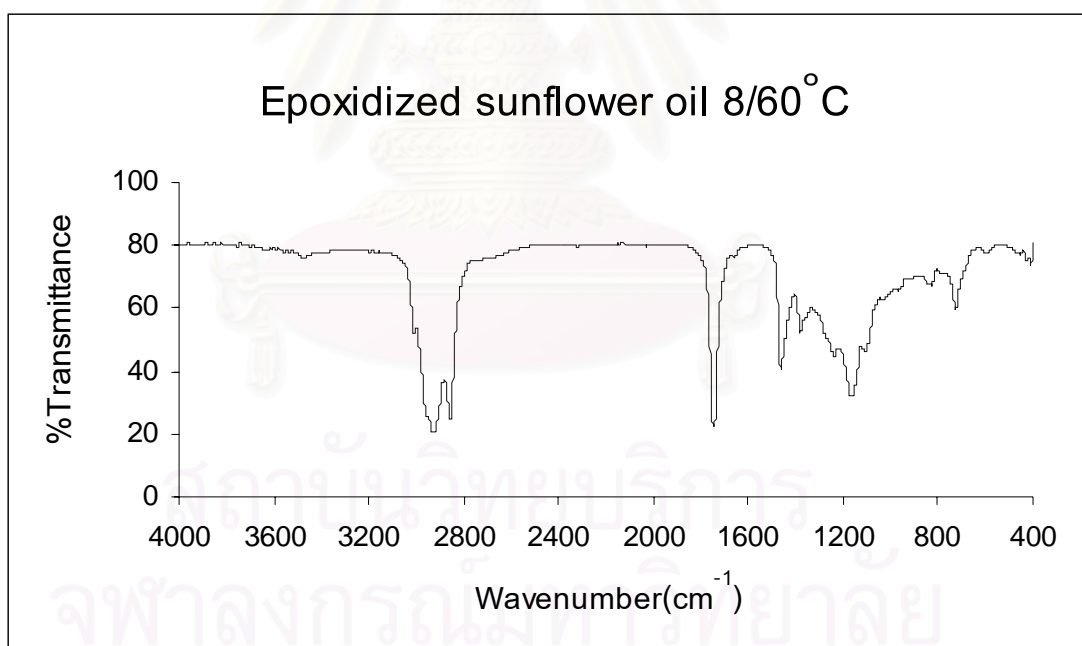
(f)



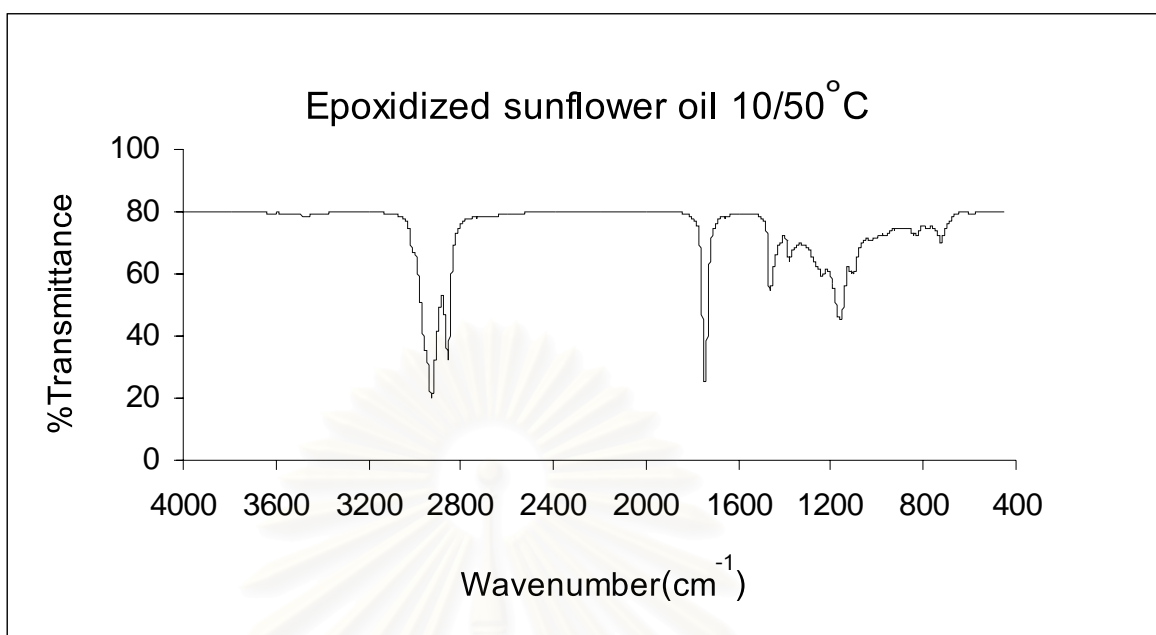
(g)



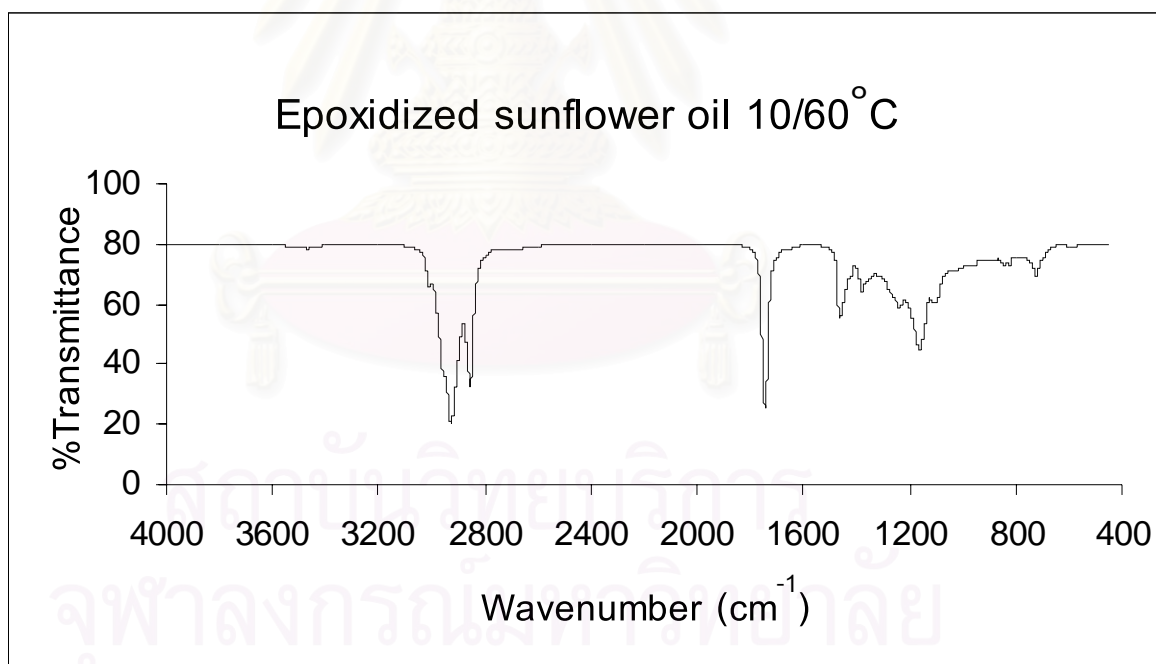
(h)



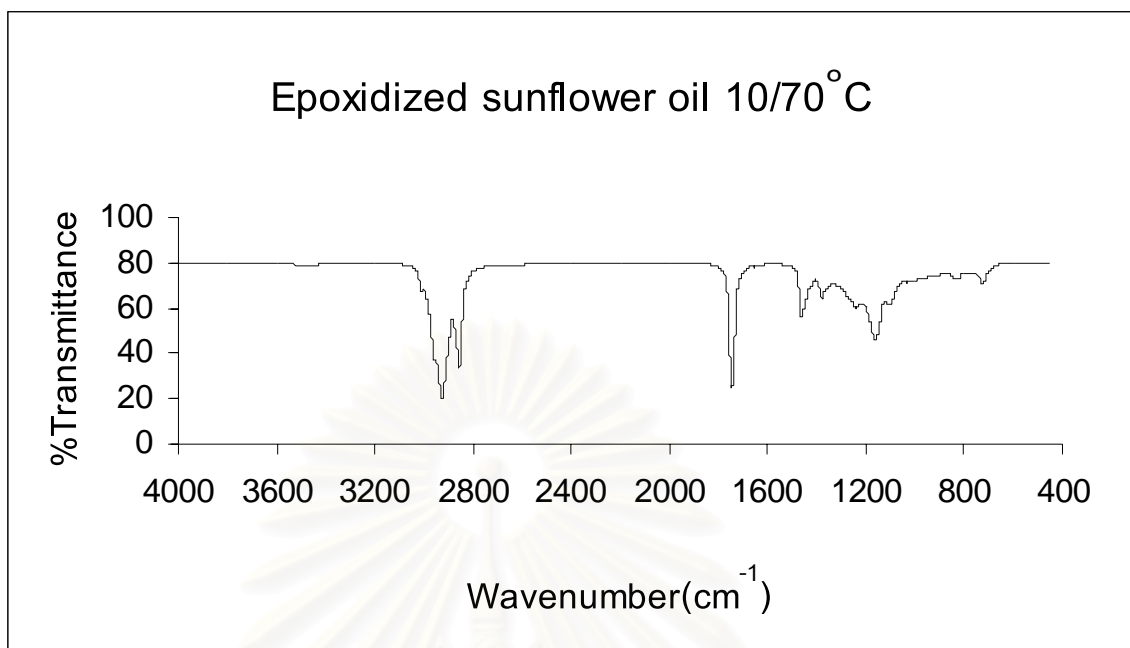
(i)



(j)



(k)



รูปที่ ข-1 สเปกตรัม FTIR ของน้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตรต่างๆ

- | | |
|--|--|
| a น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 4/50 °C | b น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 4/60 °C |
| c น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 4/70 °C | d น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 6/50 °C |
| e น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 6/60 °C | f น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 6/70 °C |
| g น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 8/50 °C | h น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 8/60 °C |
| i น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 10/50 °C | j น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 10/60 °C |
| k น้ำมันทานตะวันอีพอกซีไดซ์สูตร 10/50 °C | |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวระวีวรรณ อินทร์ดี เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ แขนงวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547 หลังจากนั้น จึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นของปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2548 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย