

การเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม

นายภาณุวัฒน์ ศรีหมอก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PREPARATION OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY COATING MATERIAL  
TO REDUCE BETA SCATTERING FROM ALUMINUM

Mr. Panuwat Srimoke

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม  
เพื่อลดการกระเจิงของรังสีปีตาจากอะลูมิเนียม

โดย

นายภาณุวัฒน์ ศรีหมอก

สาขาวิชา

นิเวศวิทยเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา ปัญชรเทวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา ปัญชรเทวกุล)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทร์โยธา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

ภาณุวัฒน์ ศรีหมอก : การเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตา จากอะลูมิเนียม. (PREPARATION OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY COATING MATERIAL TO REDUCE BETA SCATTERING FROM ALUMINUM)  
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล, 96 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียมโดยใช้ Polyurethane diol solution เป็นโพลิโอมเมอร์ ใช้มอนอเมอร์คือ Trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) และ 1 – 6 Hexanediol diacrylate (HDDA) ใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงคือ Phenylbis (2,4,6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide และสารเติมแต่งคือ สไตรีน และ ถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมของสารเคลือบผิวที่ดีที่สุด ประกอบด้วย Polyurethane diol solution 50 มิลลิลิตร, TMPTMA 25 มิลลิลิตร, HDDA 25 มิลลิลิตร, ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง 3 กรัม, สไตรีน 10 มิลลิลิตร และ ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมดังกล่าวมีคุณสมบัติยึดติดผิวอะลูมิเนียม และความแข็งของฟิล์มดีที่สุด ความคงสภาพของสารเคลือบผิวมากกว่า 30 วัน จำนวนรอบการฉายรังสียูวีที่น้อยที่สุด 4 รอบ และสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียมได้มากที่สุด 59%

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา.....2555.....

## 5370320021: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: UV CURING /BETA SCATTERING/ OLIGOMER / MONOMER/

PANUWAT SRIMORK: PREPARATION OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY COATING MATERIAL TO REDUCE BETA SCATTERING FROM ALUMINUM.

ADVISOR: ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL., 96 pp.

Preparation of environmental friendly coating material to reduce beta scattering from aluminum were investigating. Polyurethane diol solution, trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) and 1- 6 hexanediol diacrylate (HDDA), phenylbis (2 4 6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide, styrene and activated carbon were used as oligomer, monomers, photoinitiator, additives, respectively. The best coating material obtained from this study consists of polyurethane diol solution 50 ml, TMPTMA 25 m, HDDA 25 ml, phenylbis (2 4 6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide 3 g. styrene 10 ml. and activated carbon 1 g. It has good adhesion, good hardness, high stability more than 30 days, minimum number of pass on curing and in addition to its beta scattering reduction of 59%

Department: Nuclear Engineering Student's Signature.....

Field of Study: Nuclear Technology Advisor's Signature.....

Academic Year: 2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คอยดูแล ชี้แนะ ส่งเสริม รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดในการทำงานวิจัย ตลอดมาจนกระทั่งจบ โครงการ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรยธา และรองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบลัมภ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า มาเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังได้ให้ข้อคิด ข้อเสนอแนะ รวมทั้งหลักการต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยเป็นอย่างมาก

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณคิดกรัตน์ คณะภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทางด้านเครื่องมือ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณสมชาย ภวชินวร คณะภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยี ทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้คำแนะนำ เสนอแนะ และช่วยสอนการใช้เครื่องฉายรังสียูวี และการเคลือบผิวโลหะ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์สี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอย ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในกระบวนการวัดการกระเจิงของรังสีบีตา อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนงานวิจัย ใน การศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในการทำการทดลองและคอยให้กำลังใจตลอด การทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ และให้กำลังใจตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
บทที่ 2 หลักการ .....	6
2.1 การบ่มสารเคลือบผิว .....	6
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี .....	6
2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	7
2.1.3 ประโยชน์และโทษของรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	9
2.1.4 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี.....	9
2.1.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	11
2.1.6 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	12
2.2 การเคลือบผิว (Curing).....	31
2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	34
2.3.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์ .....	34
2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	36
2.3.3 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ .....	39
2.3.4 วัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ .....	40

2.3.5	ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	42
2.4	อันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับสสาร.....	42
2.4.1	การแตกตัวเป็นไอออนและการกระตุ้น.....	43
2.4.2	การกระเจิงกลับของรังสีบีตา.....	43
2.4.3	เบรมส์ชตราลุง.....	45
2.4.4	Beta decay Energy.....	46
2.5	แหล่งกำเนิดรังสี.....	47
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1	อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1.1	สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.1.3	เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	51
3.2	วิธีทดลอง.....	52
3.2.1	การเตรียมสารเคลือบผิว.....	52
3.2.2	การเคลือบผิวแผ่นอะลูมิเนียม.....	54
3.2.3	ทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบผิว.....	54
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	56
4.1	หาสัดส่วน โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง ที่เหมาะสมใน การทำการเตรียมสารเคลือบผิว.....	56
4.2	ศึกษาสารเคลือบผิวที่ทำให้แห้งด้วยรังสียูวี บนแผ่นอะลูมิเนียม.....	60
4.2.1	จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวแห้ง.....	60
4.2.2	ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อการคงสภาพของสารเคลือบผิว.....	62
4.3	ศึกษาผลการเติมสไตรีนที่มีต่อสารเคลือบผิว.....	64
4.3.1	จำนวนรอบการฉายรังสีสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนให้แห้ง.....	64
4.3.2	การยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนบนแผ่นอะลูมิเนียม.....	67
4.3.3	การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน.....	67
4.3.4	การคงสภาพของสารเคลือบผิวที่มีการเติมสไตรีน.....	68
4.3.5	ปริมาณของสไตรีนและความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลงของ รังสีบีตา.....	69



4.4	ศึกษาผลการเติมถ่านกัมมันต์ต่อสารเคลือบผิว.....	72
4.4.1	จำนวนรอบการฉายสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ให้แห้ง .....	72
4.4.2	การยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์บนแผ่นอะลูมิเนียม .....	73
4.4.3	การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ .....	74
4.4.4	ความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์.....	75
4.4.5	ปริมาณของถ่านกัมมันต์ และความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลง ของรังสีบีตา .....	76
4.5	ศึกษาการเคลือบผิวแบบชั้นๆ ต่อการลดลงของรังสีบีตา.....	79
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย .....	83
	องค์ประกอบสารเคลือบผิวอะลูมิเนียมและการลดการกระเจิงของรังสีบีตา .....	83
	รายการอ้างอิง .....	86
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง .....	89
	ภาคผนวก ข. K bar.....	92
	ภาคผนวก ค. เครื่องฉายรังสียูวี.....	93
	ภาคผนวก ง. การทดสอบสารเคลือบผิว .....	94
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	96

## สารบัญญัตราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สเปคตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสียูวี.....7
ตารางที่ 2.2	คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด.....37
ตารางที่ 2.3	วัตถุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์.....41
ตารางที่ 2.4	อันตรายของอนุภาคบีตากับสสาร และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น .....43
ตารางที่ 4.1	อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 1 .....57
ตารางที่ 4.2	อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 .....58
ตารางที่ 4.3	อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 3 .....59
ตารางที่ 4.4	จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวบนแผ่นอะลูมิเนียมแห้ง .....61
ตารางที่ 4.5	การศึกษาปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อการคงสภาพของสารตัวอย่าง .....63
ตารางที่ 4.6	จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนแห้ง .....64
ตารางที่ 4.7	ค่าการยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนบนแผ่นอะลูมิเนียม .....67
ตารางที่ 4.8	การศึกษาการทนต่อการดูดซับของสารตัวอย่างที่เติมสไตรีนเป็นตัวเติมแต่ง.....68
ตารางที่ 4.9	ความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน.....68
ตารางที่ 4.10	การศึกษาสารตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสไตรีนและความหนา ส่งผลต่อการลดลงของรังสีบีตา.....69
ตารางที่ 4.11	จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ให้แห้ง บนแผ่นอะลูมิเนียม.....73
ตารางที่ 4.12	ค่ายึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ลงไป .....73
ตารางที่ 4.13	การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์.....74
ตารางที่ 4.14	ศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์.....75
ตารางที่ 4.15	ศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์และความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลง ของรังสีบีตา.....76
ตารางที่ 4.16	ศึกษาการเคลือบผิวเป็นชั้นๆต่อการลดลงของรังสีบีตา .....80
ตารางที่ ก.1	สัดส่วนสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิว .....90
ตารางที่ ข.1	ตาราง K bar หมายเลขต่างๆ .....92
ตารางที่ ค.1	ตารางวัดค่าพลังงานรังสียูวี.....93
ตารางที่ ง.1	แสดงค่ามาตรฐานการยึดติดของแผ่นฟิล์ม.....95

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี.....	6
ภาพที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	8
ภาพที่ 2.3 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากดวงอาทิตย์ .....	8
ภาพที่ 2.4 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต และลำแสงอิเล็กตรอน .....	10
ภาพที่ 2.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยอาศัยการ แยกตัวของ อนุมูลอิสระ .....	11
ภาพที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยา .....	13
ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type I .....	14
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type II .....	15
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก .....	17
ภาพที่ 2.10 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบประจุบวกของมอนอเมอร์.....	18
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างเคมีของ Phenol ethoxylate monoacrylate.....	19
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างเคมีของ Tripropylene glycol diacrylate.....	19
ภาพที่ 2.13 โครงสร้างเคมีของ 1 – 6 Hexanediol diacrylate .....	19
ภาพที่ 2.14 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate .....	20
ภาพที่ 2.15 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane trimethacrylate .....	20
ภาพที่ 2.16 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane triacrylate .....	21
ภาพที่ 2.17 โครงสร้างเคมีของ bisphenol A epoxide with acrylic acid.....	22
ภาพที่ 2.18 โครงสร้างเคมีของ Epoxy acrylate .....	23
ภาพที่ 2.19 โครงสร้างเคมีของ Urethane acrylate .....	23
ภาพที่ 2.20 โครงสร้างเคมีของ Polyurethane acrylate.....	24
ภาพที่ 2.21 โครงสร้างเคมีของ Polyester acrylate.....	24
ภาพที่ 2.22 โครงสร้างเคมีของ Polyether acrylate .....	24
ภาพที่ 2.23 โครงสร้างเคมีของสารประกอบอิมพอกไซค์ .....	26
ภาพที่ 2.24 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่มีกลไกแบบประจุบวกของไวนิลอีเทอร์ .....	27

ภาพที่ 2.25	คุณสมบัติของโพลิโกเมอร์ แต่ละชนิดในการเคลือบผิวโลหะ .....	28
ภาพที่ 2.26	ตัวแปรที่ส่งผลต่อการออกแบบกระบวนการบ่มสารเคลือบผิวโดยการใช้รังสียูวี .....	31
ภาพที่ 2.27	ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลือบผิวในกระบวนการบ่มด้วยรังสียูวี .....	32
ภาพที่ 2.28	เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการทำให้แห้งด้วยรังสียูวี .....	33
ภาพที่ 2.29	กลไกการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันโดยใช้รังสียูวี .....	33
ภาพที่ 2.30	โครงสร้างแกรไฟต์ .....	35
ภาพที่ 2.31	ตัวอย่าง โครงสร้างถ่านกัมมันต์ลักษณะต่างๆ .....	36
ภาพที่ 2.32	ความสัมพันธ์การกระเจิงกลับ กับเลขเชิงอะตอมของสารที่เกิดขึ้น โดย อนุภาคบีตาพลังงานต่ำ .....	44
ภาพที่ 2.34	การวางต้นกำเนิดรังสี และ Backscattering material .....	45
ภาพที่ 2.33	A typical beta absorption curve.....	46
ภาพที่ 3.1	Hotplate stirrer.....	49
ภาพที่ 3.2	เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง .....	49
ภาพที่ 3.3	อุปกรณ์เคลือบผิว.....	50
ภาพที่ 3.4	เครื่องฉายรังสียูวี.....	51
ภาพที่ 3.5	ชุดวัดรังสี.....	51
ภาพที่ 3.6	แหล่งกำเนิดรังสี .....	52
ภาพที่ 3.7	การเตรียมสารตัวอย่าง .....	52
ภาพที่ 3.8	ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่เตรียม .....	53
ภาพที่ 3.9	ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม .....	54
ภาพที่ 4.1	ความหนาของสารเคลือบผิวเทียบกับจำนวนรอบการฉายรังสียูวี .....	61
ภาพที่ 4.2	ความหนาของสารตัวอย่างต่อจำนวนรอบการฉายสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน .....	65
ภาพที่ 4.3	ปริมาณสไตรีนที่เติมต่อจำนวนรอบการฉายรังสียูวี.....	66
ภาพที่ 4.4	เปรียบเทียบความหนาของสารเคลือบผิวต่อจำนวนนับของรังสีบีตา.....	70
ภาพที่ 4.5	เปรียบเทียบปริมาณการเติมสไตรีนในสารเคลือบผิวต่อจำนวนนับของรังสีบีตา .....	71
ภาพที่ 4.6	เปรียบเทียบความหนาของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ต่อจำนวนนับ ของรังสีบีตา.....	77
ภาพที่ 4.7	เปรียบเทียบผลของปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์ ต่อจำนวนนับของรังสีบีตา .....	78

ภาพที่ 4.8	จำนวนชั้นของการเคลือบผิว ต่อจำนวนนับของรังสีบีตาจากแหล่งกำเนิดรังสี Sr - 90 และ C - 14 .....	81
------------	--	----

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การทำให้สารเคลือบผิวแห้งโดยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต หรือที่เรียกว่า ยูวี เคียวริง (UV Curing) เป็นการนำประโยชน์ที่ได้จากรังสีมาใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านการเคลือบพื้นผิว วัสดุ วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวชิ้นงาน เพื่อป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนบนพื้นผิว เพื่อให้พื้นผิวของวัสดุมีความเงางาม เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุ และ เพื่อง่ายต่อการดูแลรักษา ยกตัวอย่างเช่น การเคลือบพื้นไม้ปาร์เก้ การเคลือบบนพื้นผิวขัดเงา เช่น นามบัตร หรือ บัตรต่างๆ การเคลือบเพื่อปกคลุมพื้นที่ที่มีสีต่างๆ เช่น พลาสติก และ โลหะบางชนิดการเคลือบเพื่อป้องกันรูปร่างที่เปลี่ยนไปจากการโดนความร้อน เช่น กรอบหน้าต่างกันความร้อน ปัจจัยหลักของการเคลือบผิววัสดุ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการทางด้าน ป้องกันการกัดกร่อน ป้องกันการขีดข่วน ป้องกันผลกระทบจากวัสดุ โคนสารเคมี หรือ สภาพอากาศ ความเงาวาวของวัสดุ วัสดุแข็งแรง ความคงตัวสูง ฯลฯ ดังนั้น โครงสร้างทางเคมีของสารเคลือบผิวที่ใช้เป็นส่วนสำคัญอย่างมากเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติที่ต้องการ สารเคลือบผิวโดยใช้ ยูวีเคียวริง ประกอบไปด้วย โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และ สารเติมแต่งต่างๆ นอกจากสารเคมีที่เลือกใช้แล้ว คุณสมบัติที่ได้จากการเคลือบผิวขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมของสารที่กล่าวมาข้างต้น สัดส่วนการผสมของโอลิโกเมอร์ และมอนอเมอร์ มีผลต่อการทำให้แห้งด้วยรังสีและการยึดเกาะบนพื้นผิวของวัสดุ[1] วิธีการใช้รังสีในการทำให้สารเคลือบผิวแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการแข็งตัวของพอลิเมอร์ โดยการเกิดกระบวนการเชื่อมขวางของมอนอเมอร์ และพอลิเมอร์ แหล่งกำเนิดรังสีสำหรับการเคลือบผิวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต และ เครื่องเร่งอนุภาค อิเล็กตรอน ข้อดีของการใช้รังสีเพื่อทำให้สารเคลือบผิวแห้งเป็นกระบวนการที่ประหยัดเวลา กล่าวคือ ใช้เวลาในกระบวนการน้อยมาก ประมาณ 1 วินาที พื้นผิวที่ผ่านการเคลือบผิวจะไม่เหนียว [2] การใช้รังสียูวีทำให้สารเคลือบผิวแห้งจะทำให้คุณสมบัติของพื้นผิวที่ได้ทนต่อการขัดถู มากกว่าการใช้ อิเล็กตรอนบีม และในทางกลับกัน การใช้อิเล็กตรอนบีม จะทำให้คุณสมบัติทางด้านการป้องกัน รอยขีดข่วนได้ดีกว่าการใช้รังสียูวีในการทำให้แห้ง[2] การวัดปริมาณรังสีมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากเกิดการกระเจิงของรังสีที่บริเวณคอลลิเมเตอร์ (collimator) เพราะคอลลิเมเตอร์ทำจาก อะลูมิเนียม ถึงแม้จะอลูมิเนียมมีค่าเลขอะตอมไม่สูงมาก แต่เมื่อใช้วัดรังสีบีตาจะมีการกระเจิงของ

รังสีบีตาที่มาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุม หรือลดการกระเจิงของรังสีบีตาโดยการนำสารที่มีค่าเลขอะตอมน้อยกว่าอะลูมิเนียม เคลือบบริเวณผิวของอะลูมิเนียม เช่น ผงคาร์บอน ฯลฯ เพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตา ดังนั้นสารเคลือบผิวที่เตรียม ต้องมีองค์ประกอบของสารที่มีค่าเลขอะตอมน้อยกว่าค่าเลขอะตอมของอะลูมิเนียม เมื่อนำไปเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมของคอลลิเมเตอร์จะสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและทดลองหาองค์ประกอบและ สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่าง โอลิโกเมอร์ และ มอนอเมอร์ เพื่อเตรียมสารเคลือบผิวสำหรับใช้เคลือบ อะลูมิเนียม และ/หรือเหล็ก ด้วยรังสียูวี (UV cured)
2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และการกระเจิงของรังสีบีตาของชิ้นงานที่เคลือบแล้ว

## 1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้า และรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. จัดหาสารเคมี คือ โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และ ตัวเติมแต่งต่างๆ
3. ทดลองหาองค์ประกอบและสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่าง โอลิโกเมอร์ และ มอนอเมอร์ เพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวสำหรับใช้เคลือบ อะลูมิเนียม และ/หรือ เหล็ก ด้วยรังสียูวี
4. ทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมของการทำให้สารเคลือบผิวแห้ง ด้วยรังสียูวี จากสารเคลือบผิวที่เตรียมจากองค์ประกอบ และสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่าง โอลิโกเมอร์ และ มอนอเมอร์
5. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และการกระเจิงของรังสีบีตา ชิ้นงานที่เคลือบผิวแล้ว
6. สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สารเคลือบผิวอะลูมิเนียมที่สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตา

## 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. Effect of UV/EB radiation dosages on the properties of nanocomposite coatings

Nik GhazaliNikSalleh, MohdFirdausYhaya, AzmanHassan, Aznizam AbuBakar, MunirahMokhtar (2011) ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ผลกระทบที่มีต่อคุณสมบัติจากการ ใช้แสงยูวี และอิเล็กตรอน บีม ในการทำให้สารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบของวัสดุนาโนให้แห้ง จากการศึกษาพบว่าพื้นผิวที่มีการเคลือบผิวจะมีความแข็งแรงขึ้นในทุกๆชั้นงานที่ผ่านการฉายรังสี โดยปริมาณของการเกิดเชื่อมโยงของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณรังสีที่ทำการฉายเพิ่มขึ้น มีศึกษาผลการทดลองโดยทำการวิเคราะห์ค่า Pendulum Hardness ค่าการคงตัวในความเป็นเจล และค่าคงที่ของการคงรูปร่าง การทดสอบหลังจาก ทำให้สารเคลือบผิวให้แห้ง จะทดสอบ การทนต่อขีดข่วน (Scratch) และการทนต่อขัดถู (Abrasion resistance) จากการทดสอบการทนต่อการขัดถู วิธีทำให้แห้งด้วยแสงยูวี ผลที่ได้จากการทดลองจะได้ผลที่ดีกว่า การใช้วิธีทำให้แห้งด้วยการฉายอิเล็กตรอน บีม ส่วนการทำให้แห้งด้วยอิเล็กตรอน บีม จะมีความเหมาะสมมากกว่าในการทำให้ผลิตภัณฑ์ มีค่าการทนต่อการขีดข่วน [2]

### 2. Development of hard materials by radiation curing technology

N.G. Salleha, H.J. Gl.aselb, R. Mehnertb (2002) ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงอนุภาคนาโน ในสารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ใช้วิธีการทำให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยรังสี งานวิจัยนี้ ทำการเตรียม และศึกษาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเลือกตัวช่วยให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน คือ ซิลิกาขนาดอนุภาคนาโน (silica organic nano particles), ลิแกนด์ (Ligands) วัสดุนาโนเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล กับสารพอลิเมอร์ ทำให้คุณสมบัติการยึดหยุ่นดีขึ้น การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันนั้น สารเคลือบผิวจะถูกรกระตุ้นบริเวณพื้นผิวของวัสดุนาโน ทำให้เกิด physicochemical เปลี่ยนแปลงรูปแบบ เกิดเฮเทอโรเจนีส โคพอลิเมอร์ (Heterogeneous copolymerization) มีผลให้เมื่อสารเคลือบผิวแห้ง จะมีความสามารถในการต้านทานต่อ ขีดข่วน และ ทนต่อแรงขัดถู เนื่องจากการรวมตัวระหว่าง วัสดุนาโน กับ มอนอเมอร์ และมี การใช้วิธีการทำให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยรังสี ทำให้คุณสมบัติสารเคลือบผิวที่ได้ ตรงตามเป้าหมายของงานวิจัย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาชนิดของ Photoinitiators และ additives ที่มีต่อโครงสร้างของสาร [3]



### 3. A photo-curing study of a pigmented UV-curable alkyd

P. Chittavanich, K.Miller, M.D.Soucek (2011) ทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของมอนอเมอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่สังเคราะห์ และเปรียบเทียบผล โดยทำการทดสอบหาสัดส่วนของการเติม Photoinitiators 2 ชนิด พบว่า การใช้ Photoinitiators ที่เหมาะสม IRGACURE 819 ประมาณ 2% และ DAROCUR 1173 2-4 % จากการทดลอง พอลิเมอร์ UVTA และ IDMA มีคุณสมบัติ ทนต่อแรงกระแทก ทนต่อการขีดถู และความคงตัวของรูปร่างมีผลที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ ชนิดอื่นๆ พอลิเมอร์ IDMA ให้คุณสมบัติที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อการขีดถู และความคงตัวที่ยืดเยื้อ บนพื้นผิวโลหะ[4]

### 4. Preparation and properties of polymer/LDH nanocomposite used for UV curing coatings

Shichang Lv, Wei Zhou, Hui Miao, Wenfang Shi (2009) คุณสมบัติทางด้านความร้อนและทางกล ของการเคลือบผิวขึ้นอยู่กับสารเคลือบผิวประกอบไปด้วย ยูริเทน อะโคโนเลต เป็นโอลิโกเมอร์ และ ไดอะอะโคนเลต เป็นมอนอเมอร์ และมีการเสริมคุณสมบัติให้การเคลือบผิวโดยการเคลือบแบบ 2 ชั้น หรือที่เรียกกันว่า Layered double hydroxide (LDH) เป็นวิธีการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์โดยใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) ทำให้ไนเตรทไอออน เข้าไปแทนที่ อัลคาไลน์ ซัลเฟต ไอออน จากการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสารเคลือบผิวระหว่างสารเคลือบผิวที่ไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลง กับสารเคลือบผิวที่ทำการเปลี่ยนแปลงเป็นเคลือบผิวแบบ 2 ชั้น (LDH) ผลที่ได้พบว่า สารที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจะมีคุณสมบัติทางด้านความร้อน และ ทางกลน้อยกว่า สารที่เปลี่ยนแปลงเป็นเคลือบแบบ 2 ชั้น [5]

### 5. UV curable epoxy acrylate-clay nanocomposites

Fawn M. Uhl, Dean C. Webster, Siva Prashanth Davuluri, Shing-Chung Wong (2006) โครงสร้าง และคุณสมบัติของฟิล์ม อีพอกซี อะโคนเลต (Epoxy acrylate) ที่มีการเสริมคุณสมบัติ โดยการเติมสารนาโน (Nano-clay) และใช้วิธีการทำให้สารเคลือบผิวแห้งโดยอาศัยแสงยูวี (UV Cured) ทำการศึกษา จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่อง XRD และ ถ่ายภาพ TEM พบว่า โครงสร้างที่ได้มีอนุภาคนาโนเมตรเข้าไปแทรกตัวกับโครงสร้างของยูริเทน อะโคนเลต จากการทดลอง เมื่อทำให้ฟิล์มแห้ง พบว่า คุณสมบัติ Glass transition temperature ( $T_g$ ) และความคงที่ทางความร้อนเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาการเติม โซเดียมขนาดนาโนเมตร เพื่อเสริมคุณสมบัติของฟิล์มพบว่าฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เหตุนี้การใช้วัสดุนาโนเพื่อการเสริมคุณสมบัติให้กับฟิล์มเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบผิว ฟิล์มเคลือบผิวเหล่านี้มีคุณสมบัติที่เป็นที่ต้องการ

ในงานหลากหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น เคลือบวัสดุทำบรรจุภัณฑ์เกี่ยวกับงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เคลือบชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีความคงตัวของรูปร่างที่สูง[6]

#### 6. Characterization of a clear coating cured by UV/EB radiation

C.S.B Ruiza, L.D.B. Machadob, E.S. Pinob, M.H.O Sampab (2002) ศึกษาคุณสมบัติ ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำให้แห้งด้วยแสงยูวี (UV) และอิเล็กตรอน บีม (Electron Beam, EB) จากการทดลองทำให้ฟิล์มแห้งปริมาณรังสีที่ใช้ ก่อให้เกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน เป็นฟิล์ม จะใช้ปริมาณรังสีอยู่ในช่วง 100 – 1200 mJ/cm<sup>2</sup> และ 5 – 20 kGy ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อน และทางกลของทั้ง 2 วิธีการให้ผลที่ดีมาก แต่วิธีการใช้อิเล็กตรอน บีม ให้ผลที่ดีกว่าการใช้แสงยูวี ด้าน ความแข็งแรงเชิงกล การใช้อิเล็กตรอน บีม จึงเป็นกระบวนการที่ดีในการทำให้เกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง แต่เป็นวิธีการที่ใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง[7]

#### 7. Electron-beam initiated polymerization of acrylate compositions 3: compared reactivity of hexanediol and tripropyleneglycol diacrylates under UV or EB initiation

Colette Patacza, Xavier Coquereta, Christian Deckerb (2001) ศึกษาและเปรียบเทียบการใช้ แหล่งกำเนิดรังสีที่ต่างกันคือ ยูวี (Ultraviolet) และ อิเล็กตรอน บีม (Electron Beam, EB) และเปรียบเทียบสารมอนอเมอร์ระหว่าง 1, 6 – hexanediol diacrylate (HDDA) และ Tripropyleneglycol diacrylate (TPGDA) และใช้ โอลิโกเมอร์ เป็น อะไครเลต โพลียูริเทน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเริ่มต้นมีอิทธิพลอย่างมากเพื่อทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชัน ความแตกต่างของการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน น่าจะมาจากจำนวนไฮโดรเจน ที่อยู่เป็นกลุ่มๆ ใน ออกซิโอฟีลีน ของ TPGDA ตัวอย่างนี้ จะเกิดเป็นพลังงานที่สูง ดังนั้น มีความเป็นไปได้ว่า การเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันสามารถเกิดได้ดี และไว มีผลมาจากอะตอมของไฮโดรเจน ที่เกาะเป็นกลุ่ม ออกซิโอฟีลีน ของ TPGDA จึงทำให้ TPGDA มีการเกิดปฏิกิริยาที่มากกว่า HDDA อย่างชัดเจน[8]

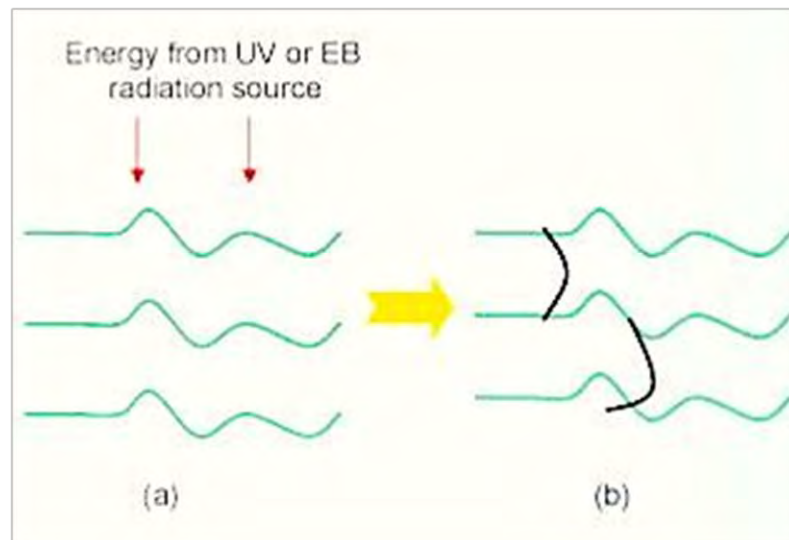
## บทที่ 2

### หลักการ

#### 2.1 การบ่มสารเคลือบผิว

##### 2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี มีเทคนิคที่ใช้ใน ปัจจุบันมากมายยกตัวอย่างเช่น เทคนิคการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน, แสงอัลตราไวโอเลต, แสงขาว หรือรังสีอื่นๆ ในการทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรซ์สารเคลือบผิวอยู่ในสถานะของเหลว มีองค์ประกอบของอนุภาคที่ว่องไวต่อการฉายรังสีทำให้เกิดการเชื่อมขวางกลายเป็นฟิล์มที่แข็ง แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิคการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นที่นิยมมาก ประมาณ 90% ของตลาดสารเคลือบผิวด้วยรังสี ส่วนที่เหลืออีก 10% เป็นการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ในขณะที่การใช้แสงขาวนั้นพบได้น้อยมาก งานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต [9]

## 2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ รังสียูวี (Ultraviolet) หรือในชื่อภาษาไทย รังสีเหนือม่วง เป็นพลังงานสะอาด[10] เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 100 – 400 นาโนเมตร มีพลังงานในช่วง 3 – 124 eV หรือ มีช่วงสเปกตรัมอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) กับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) สเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 สเปกตรัมด้วยกัน[9] ได้แก่

UV C เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 100 – 280 นาโนเมตร

UV B เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 280 – 320 นาโนเมตร

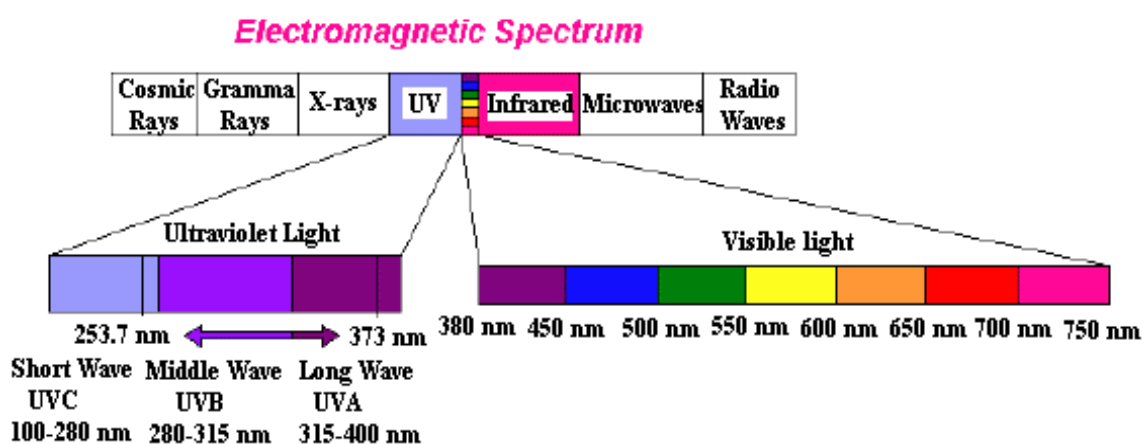
UV A เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320 – 400 นาโนเมตร

ตารางที่ 2.1 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสียูวี

ชื่อ	ตัวย่อ	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	พลังงานต่อโฟตอน (eV)
อัลตราไวโอเล็ต เอ, คลื่นยาว หรือแบล็กไลต์	UV A	400 – 315	3.10 – 3.94
ไกล	N UV	400 – 300	3.10 – 4.13
อัลตราไวโอเล็ต บี หรือ คลื่นกลาง	UV B	315 – 280	3.94 – 4.43
กลาง	M UV	300 - 200	4.13 – 6.20
อัลตราไวโอเล็ต ซี หรือ คลื่นสั้น	UV C	280 – 100	4.43 – 12.40
ไกล	F UV	200 - 122	6.20 – 10.20
สูญญากาศ	V UV	200 – 10	6.20 – 124.0
ไกลยิ่ง	E UV	121 – 10	10.20 -124.00

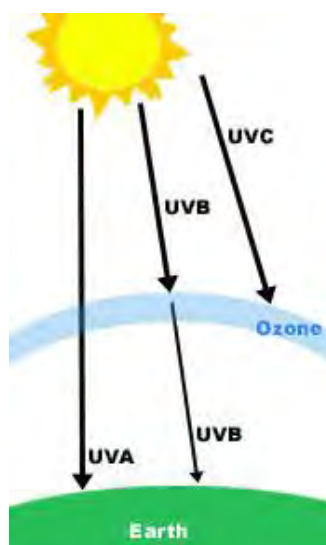
ที่มา: ISO 21348 Process for Determining Solar Irradiances

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของแสงเหนือม่วงสามารถแบ่งย่อยได้ตามมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) ดังแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

แสงอัลตราไวโอเล็ตสามารถสร้างได้จากแหล่งพลังงานต่างๆเช่น หลอดไฟยูวี หลอดแบล็กไลท์ หลอดซันแทน หลอดฆ่าเชื้อ หลอดคาร์บอนอาร์ค การเชื่อมและติดโลหะ เต้าหลอมอุปกรณ์ทดสอบ และ อุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องทดลอง หรือในธรรมชาติ ดวงอาทิตย์คือแหล่งที่ผลิตแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ใหญ่ที่สุด แสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์มีเพียง UV B และ UV A เท่านั้นที่สามารถผ่านชั้น โอโซนของโลกเข้ามาได้ [9] ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากดวงอาทิตย์

### 2.1.3 ประโยชน์และโทษของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

**แบล็กไลท์:** เป็นหลอดที่เปล่งรังสียูวีคลื่นยาว มีสีม่วงดำ ใช้ตรวจเอกสารสำคัญ เช่น ธนบัตร หนังสือเดินทาง บัตรเครดิต ฯลฯ ว่าเป็นของจริงหรือของปลอม หลายประเทศได้ผลิตलयน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในรังสีชนิดนี้ นอกจากนี้ แบล็กไลท์ยังสามารถใช้ต่อแมลงให้มาติดกับเพื่อที่จะกำจัดในภายหลังได้

**หลอดฟลูออเรสเซนต์:** หรือหลอดเรืองแสง ใช้หลักการผลิตรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยการทำให้ไอปรอทแตกตัว รังสีที่ได้จะไปกระทบสารเรืองแสงให้เปล่งแสงออกมา

**ดาราศาสตร์:** ในทางดาราศาสตร์ โดยปกติแล้ววัตถุที่ร้อนมากจะเปล่งยูวีออกมา เราจึงสามารถศึกษาวัตถุท้องฟ้าได้โดยผ่านทางยูวี ทว่าต้องไปปฏิบัติในอวกาศ เพราะยูวีส่วนมากถูกโอโซนดูดซับไว้หมด

**การวิเคราะห์แร่:** รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถใช้ตรวจวิเคราะห์ได้ แม้ว่าจะดูเหมือนกันภายใต้แสงที่มองเห็น แต่เมื่อผ่านยูวีแล้วก็จะเห็นความแตกต่างได้

**การฆ่าเชื้อโรค:** รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ โดยเฉพาะในน้ำดื่ม และยังสามารถนำไปฆ่าเชื้อในเครื่องมือ หรืออาหารได้ด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม การรับปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดอันตรายกับระบบต่างๆ ของร่างกายได้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วง UV C มีพลังงานสูงที่สุด และที่สำคัญคืออันตรายที่สุด แต่พบได้น้อยมากเนื่องจาก ชั้นบรรยากาศโอโซนได้กรอง UV C ไว้หมดแล้ว แต่เครื่องมือฆ่าเชื้อในน้ำดื่มอาจปล่อยรังสีช่วงนี้ออกมาได้[10]

### 2.1.4 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี คือการทำให้สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวและมีความว่องไวเปลี่ยนแปลงไปเป็นของแข็งด้วยการฉายรังสี เพื่อทำให้สารเคลือบผิว ปฏิกริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และเกิดการเชื่อมขวางอย่างสมบูรณ์จนได้ฟิล์มที่แห้งแข็ง[11]

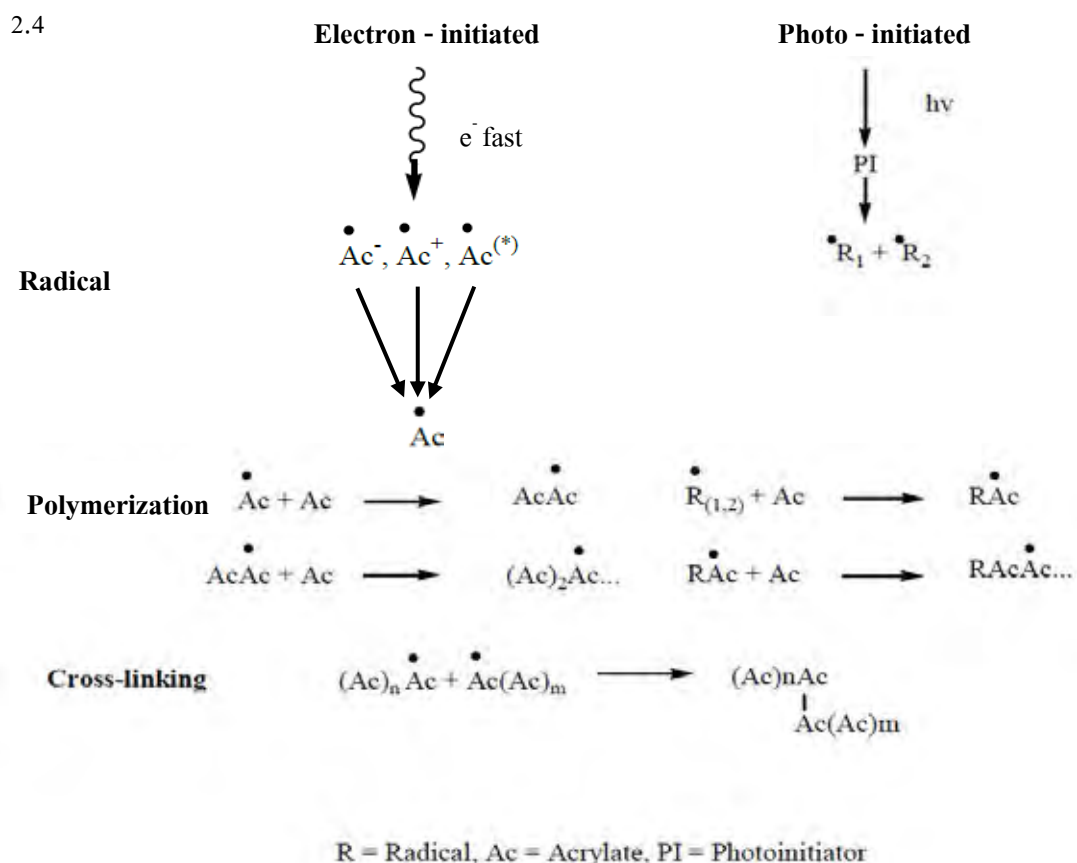
กระบวนการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีมี 2 วิธีคือ

### 2.1.4.1 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet)

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเลต คือ การฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อกระตุ้นทำให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงแตกตัวให้อนุมูลอิสระ หรือประจุบวกเพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ มอนอเมอร์ หรือ โอลิโกเมอร์ตั้งต้น ดังภาพที่ 2.4 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และลำแสงอิเล็กตรอน

### 2.1.4.2 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beams curing)

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน คือ การใช้ลำแสงอิเล็กตรอนกระตุ้นให้มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นเกิดอนุมูลอิสระ จากนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซยาวขึ้น หรือมีโครงสร้างเชื่อมโยงเป็นร่างแห ดังภาพที่



ภาพที่ 2.4 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และลำแสงอิเล็กตรอน

### 2.1.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

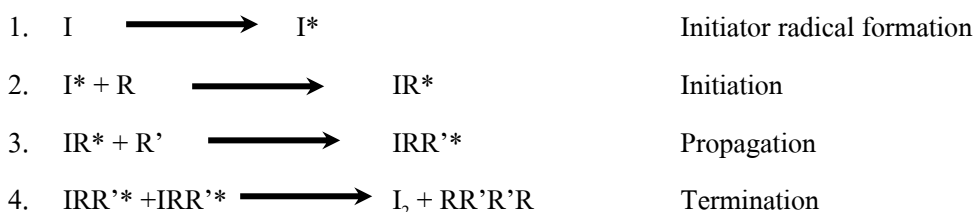
กลไกที่สำคัญในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมี 2 กลไกด้วยกัน [9] ได้แก่

1. กลไกที่อาศัยการเติมแต่งตัวของอนุมูลอิสระ (Free radical mechanism)
2. กลไกที่อาศัยการแตกตัวของประจุบวก (Cationic mechanism)

กลไกที่อาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระจะประกอบด้วยปฏิกิริยาหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระเริ่มปฏิกิริยา (Initiator radical formation)
- ขั้นตอนการเริ่มปฏิกิริยา (Initiation)
- ขั้นตอนการแพร่ของปฏิกิริยา (Propagation)
- ขั้นตอนการสิ้นสุดของปฏิกิริยา (Termination)

ปฏิกิริยาแสดงไว้ในภาพที่ 2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (I) และมอนอเมอร์ที่ว่องไวต่อการกระตุ้น (R, R') จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยรังสียูวีซึ่งจะกลายเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาหลัก 4 ขั้นตอนการแพร่ของปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นฟิล์มเคลือบแข็งต่อไป แต่ถ้าในระบบมีบรรยากาศของออกซิเจน โมเลกุลออกซิเจนจะเข้าไปแย่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำให้สารเคลือบผิวไม่แห้ง หรือ ได้สายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว



ภาพที่ 2.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตโดยอาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ

สำหรับกลไกที่อาศัยการแตกตัวของประจุบวก (Cationic mechanism) มีขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาค้ำยคลึงกัน เพียงแต่การอาศัยตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่แตกตัวแล้วให้ประจุบวกแทนการแตกตัวของอนุมูลอิสระ ข้อดีสำหรับกลไกนี้ก็คือไม่เกิดการหน่วงปฏิกิริยาโดยออกซิเจนเหมือนกลไกที่อาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ ทำให้ได้ฟิล์มที่การหดตัวต่ำและยึดติดดี ส่วนข้อเสียก็คือตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้ส่วนมากไวต่อความชื้น และสารเคมีต้องเก็บรักษาเป็นอย่างดี[10]



### 2.1.6 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

องค์ประกอบของสูตรสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

1. ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator) ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้อนุมูลอิสระ หรือประจุบวก
2. ตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive diluent) ใช้สำหรับปรับความหนืดของสารเคลือบผิวให้มีค่าตามต้องการ นอกจากนี้ยังเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอีกด้วย
3. โอลิโกเมอร์ (Oligomer) โดยทั่วไปมักเป็นพวคมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunction monomer) ที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ สารโซ่หลักของโอลิโกเมอร์สามารถมีโครงสร้างเคมีที่หลากหลายอาจเป็น พอลิเอสเทอร์ ยูรีเทน หรือ อีพอกซี ซึ่งโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกันนี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติพิเศษเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนต่อการขัดสี ความทนต่อสารละลาย ความยืดหยุ่น เป็นต้น
4. สารเติมแต่ง (Additive) เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน

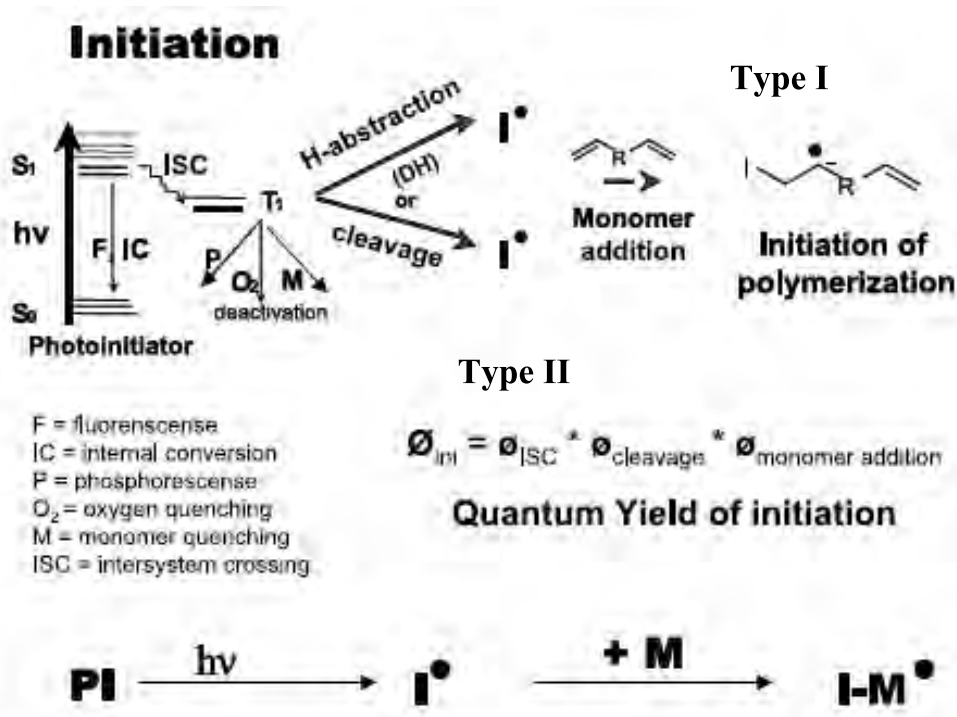
#### 2.1.6.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นสารช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางแสงทำให้โอลิโกเมอร์ และ มอนอเมอร์ เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงสามารถแบ่งได้ดังนี้

##### 2.1.6.1.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ (Free radical photoinitiator)

โอลิโกเมอร์ที่ใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ อะคริเลต เมทาคริเลต และเมทาคริเลต/ไวนิลอีเทอร์ เมื่อโมเลกุลของตัวริเริ่มทำปฏิกิริยาทางแสงได้ดูดกลืนโฟตอน (Photon) ทำให้เกิดการเอ็กไซเตชันของโมเลกุล (excitation) ทำให้โมเลกุลจาก Ground singlet State ( $S_0$ ) ไปอยู่ในระดับ higher singlet states ( $S_1$ ) จากนั้นโมเลกุลบางส่วนเพื่อจะให้เกิดความเสถียรของกระบวนการจะมีการปลดปล่อยพลังงานที่เหลือออกมาด้วยวิธีการปลดปล่อยด้วยการเรืองแสง (Emission of fluorescence) และบางส่วนก็จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของการสั่นของโมเลกุล (Internal conversion) ในส่วนโมเลกุลบางส่วนจะมีการเกิด intersystem crossing (ISC) โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นด้วยวิธีการอิเล็กตรอน สปิน (Electron Spin) ทำให้โมเลกุลตกมาอยู่ชั้น Triplet state การ

เรืองแสง การสั่นของโมเลกุล และการเกิด อิเล็กตรอน สปิน ทำให้เกิด Unpaired electron ขึ้นทำให้เกิด ปฏิกริยาต่อเนื่อง จากนั้น โมเลกุลที่อยู่ triplet state นี้สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ 2 วิธี คือ Norrish type I หรือ  $\alpha$  - cleavage และ Norrish type II ดังแสดงในภาพที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นกับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและชนิดของโอลิโกเมอร์ที่ใช้[11]



ภาพที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

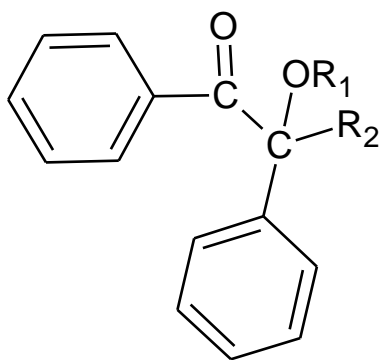
### 1) Norrish type I

เมื่อตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตก็จะถูกดูดกลืนพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น โมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะถูกกระตุ้นไปบนชั้น Singlet state (S<sub>1</sub>) และจะเกิด Intersystem crossing ทำให้ตกอยู่ชั้น triplet state (T<sub>1</sub>) เพื่อให้โมเลกุลมีความเสถียรมากขึ้น จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการแตกตัวออกของพันธะที่ตำแหน่ง C=O เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไว 2 โมเลกุล เรียกการแตกออกของพันธะด้วยวิธีนี้ว่า hemolytic decomposition

ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้ แสดงดังภาพที่ 2.7

### Type 1 Photoinitiator

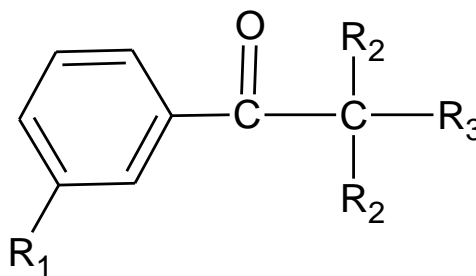
#### Benzoin ethers



$R_1 = \text{H, alkyl}$

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

#### Acetophenones

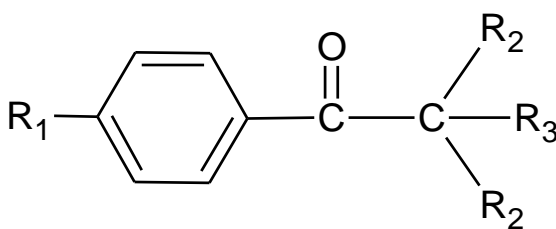


$R_1 = \text{H, } i\text{-C}_3\text{H}_7, \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{O}$

$R_2 = \text{CH}_3, \text{OCH}_2, \text{OC}_2\text{H}_5$

$R_3 = \text{H, Ph, OH}$

#### Amino alkylphenones

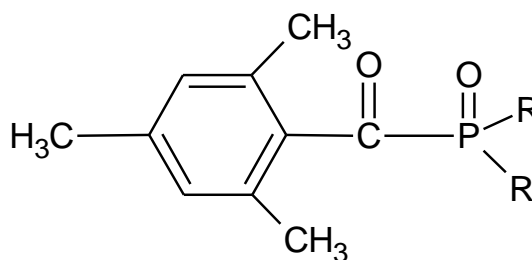


$R_1 = \text{H}_3\text{CS, O} \begin{array}{c} \diagup \text{N} \diagdown \\ \text{O} \end{array}$

$R_2 = \text{CH}_3, \text{CH}_2\text{Ph, C}_2\text{H}_5$

$R_3 = \text{O} \begin{array}{c} \diagup \text{N} \diagdown \\ \text{O} \end{array}, \text{N(CH}_3)_2$

#### Acrylphosphines



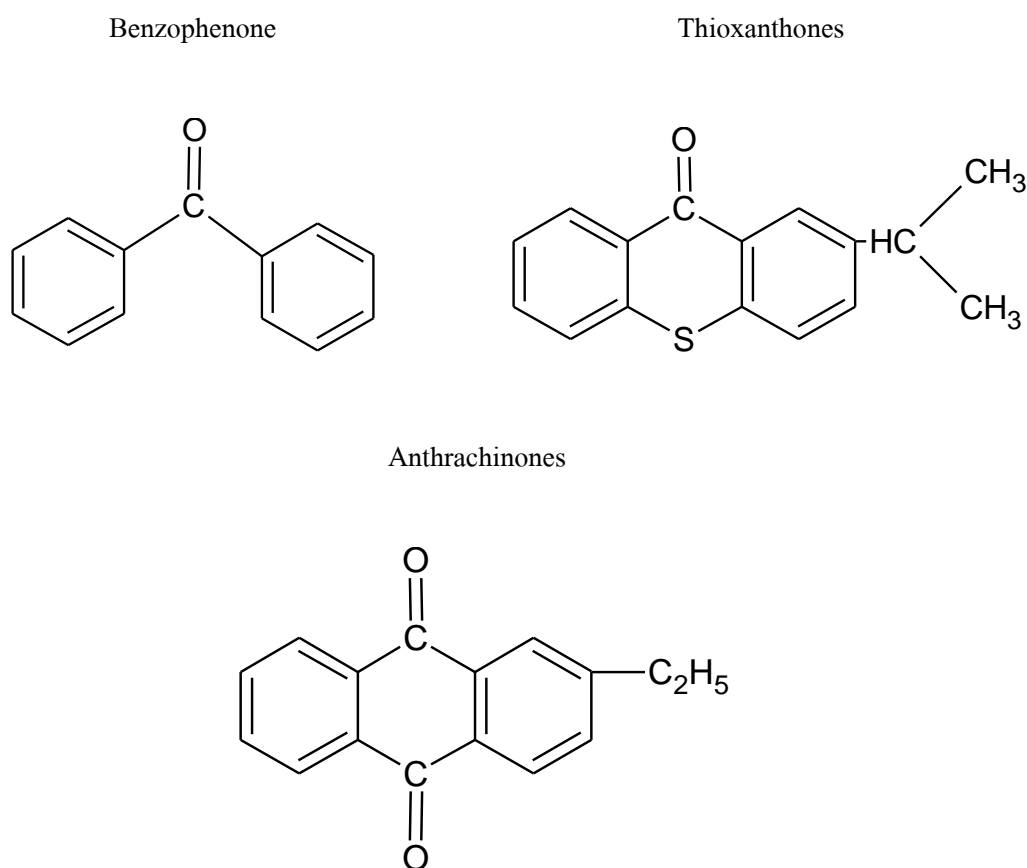
$R_1 = \text{C}_6\text{H}_5, \text{OCH}_3$

ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type I

## 2) Norrish type II

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วถูกกระตุ้นไปที่ชั้น singlet state ( $S_1$ ) และตกกลับมาอยู่ชั้น triplet state ( $T_1$ ) จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ชั้นนี้ ต้องการสารประกอบที่เรียกว่า synergist เข้ามาทำปฏิกิริยาด้วยเพื่อทำให้โมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้นสามารถเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ด้วยการเกิด H-abstraction หรือ e-transfer

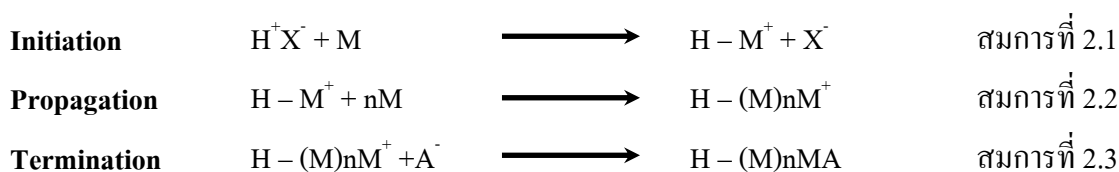
ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้แสดงในภาพที่ 2.8



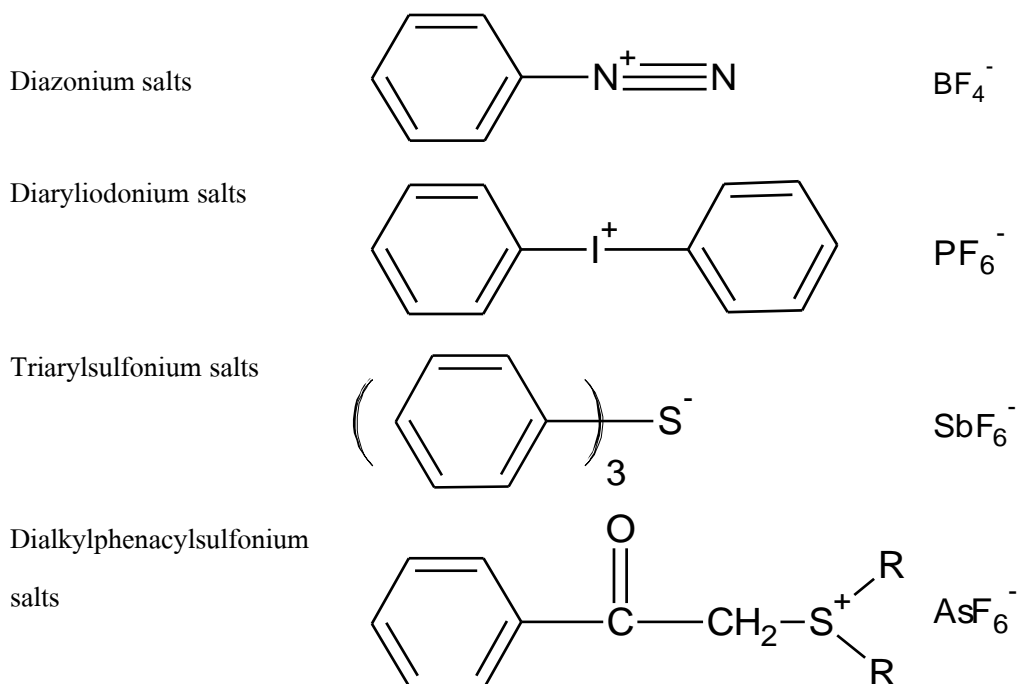
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type II

### 2.1.6.1.2 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiators)

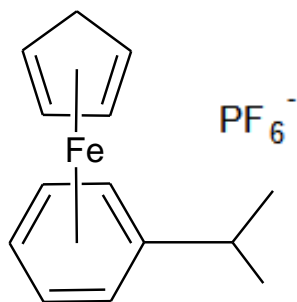
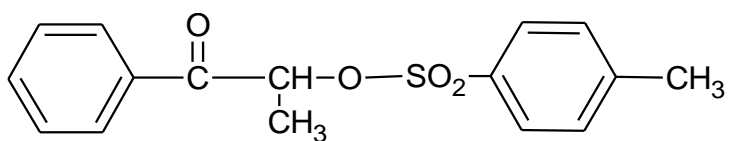
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้จะรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้ Bronsted acid หรือ Lewis acid เพื่อเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation) กับ มอนอเมอร์หรือ โอลิโกเมอร์ตั้งต้นแล้วเกิดคาร์โบแคทไอออน ( $H - M^+$ ) ที่มีความว่องไว จากนั้น คาร์โบแคทไอออนจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ในขั้นขยายตัว (propagation) แล้วสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination) ด้วยการเกิด chain transfer ดังแสดงกลไกในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



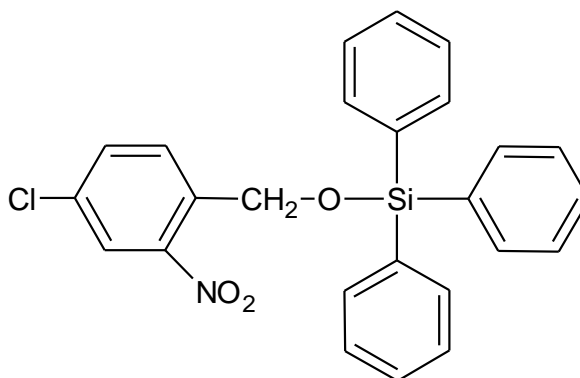
ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก



Ferrocenium salts

 $\alpha$  - Sulphonyloxy ketones

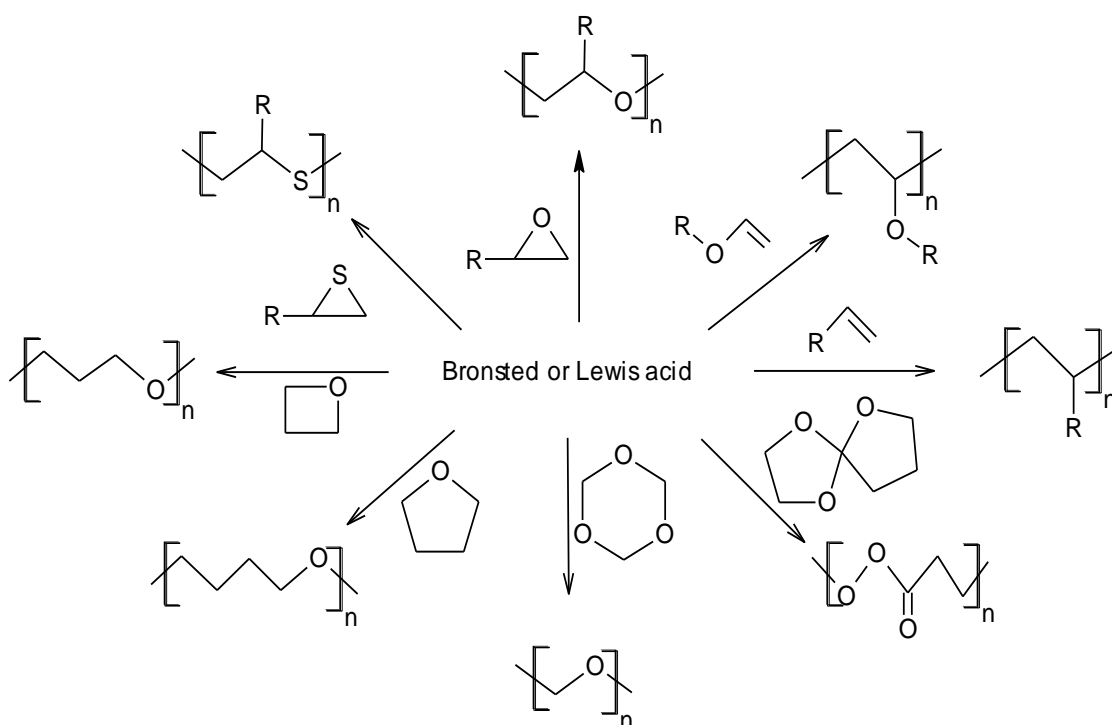
Silyl benzyl ethers



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

มอนอเมอร์หรือ โอลิโกเมอร์ตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับสารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกได้แก่

- 1) มอนอเมอร์ที่สามารถเปิดวงได้ เช่น อีพอกไซด์ แลคโตน ไซคลิกซิลไฟด์ ไซลอกเซน ไซคลิกอีเทอร์ อะซิทัล
- 2) สารประกอบไวนิล เช่น ไวนิลอีเทอร์



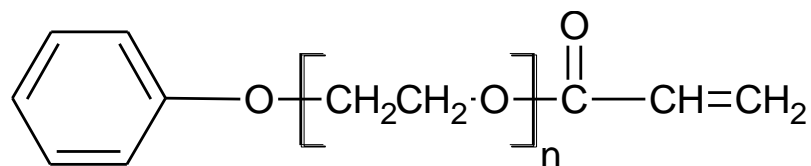
ภาพที่ 2.10 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบประจวบของมอนอเมอร์

### 2.1.6.2 ตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive diluent)

ใช้สำหรับปรับความหนืดของสารเคลือบผิวให้มีค่าตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอีกด้วย ตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามจำนวนของหมู่ฟังก์ชัน[9] ได้แก่

#### 1) ตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันเดียว (Monofunctional diluent)

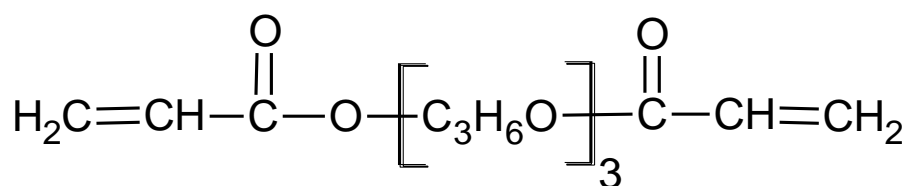
เป็นมอนอเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งมีโอกาสที่จะเข้าไปรวมกับสารเคลือบผิวกลายเป็นฟิล์มแข็ง มากกว่าที่จะระเหยไปในบรรยากาศเหมือนตัวทำละลายเจือจางทั่วไป ตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้เพราะว่ามีความสามารถในการยึดหยุ่น และมีการหดตัวต่ำ ให้ฟิล์มที่อ่อนนุ่มเพราะ โครงสร้างของสารมีลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่ทำให้เกิดการเชื่อมขวาง ตัวอย่างเช่น Phenol ethoxylate monoacrylate สูตรโครงสร้างแสดงไว้ในภาพที่ 2.11



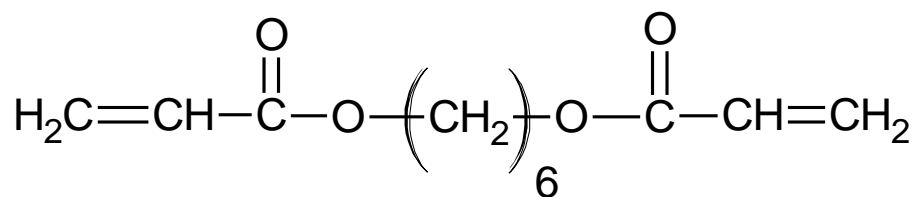
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างเคมีของ Phenol ethoxylate monoacrylate

2) ตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ (Difunctional diluent)

ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking agent ช่วยให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลในสูตรสารเคลือบผิว มอนอเมอร์ชนิดนี้จะทำให้เกิดการแห้งตัวอย่างรวดเร็วและมีอัตราการระเหยของตัวทำละลายต่ำ ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ให้ฟิล์มที่ยืดหยุ่น ตัวอย่างของตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ได้แก่ Tripropylene glycol diacrylate (TPGDA), 1 – 6 Hexanediol diacrylate (HDDA) โครงสร้างเคมีได้ดัง



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างเคมีของ Tripropylene glycol diacrylate

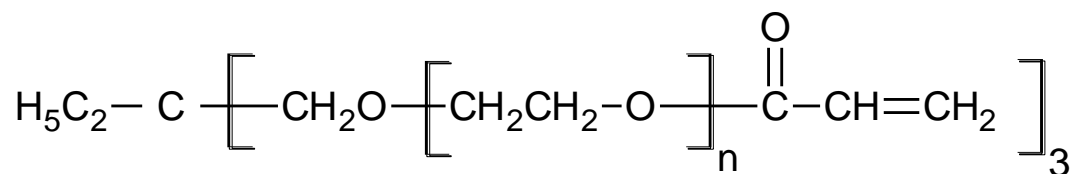


ภาพที่ 2.13 โครงสร้างเคมีของ 1 – 6 Hexanediol diacrylate

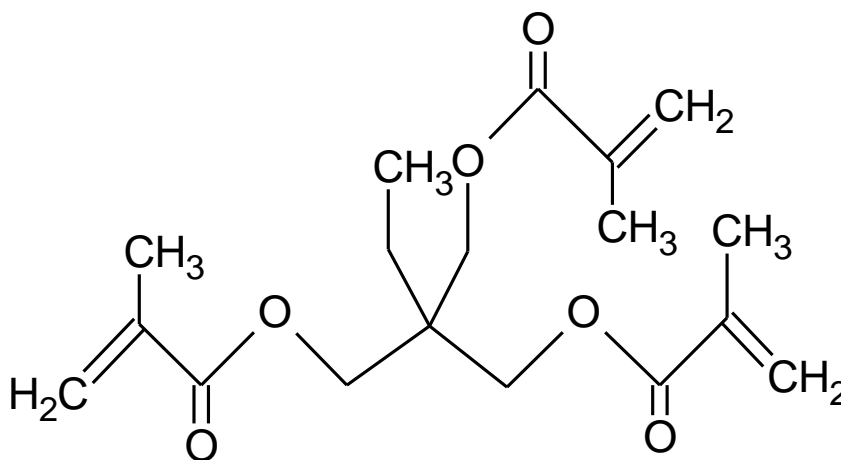


3) ตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional diluent)

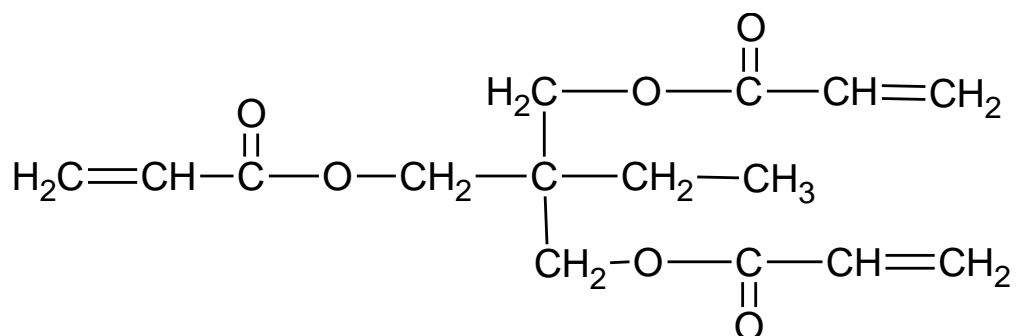
ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking agent เช่นเดียวกับตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่เพราะ มีฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยาได้หลายหมู่ทำให้สามารถแห้งตัวได้อย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดการเชื่อมขวางของพันธะอย่างหนาแน่น ได้ฟิล์มที่ยืดหยุ่น และทนต่อการกะเทาะที่ผิว ตัวอย่างตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาชนิดนี้ได้แก่ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate และ Trimethylolpropane trimethacrylate



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane trimethacrylate



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane triacrylate

หน้าที่ของตัวเชื่อมขวางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมีหลายประการ[11] เช่น

1. ช่วยลดความหนืดของโพลิโกเมอร์
2. ช่วยเพิ่มอัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิว
3. ช่วยลดเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว
4. เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่ได้

### 2.1.6.3 โอลิโกเมอร์ (Oligomer)

โอลิโกเมอร์ที่ใช้ผสมในสารเคลือบผิวบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมักเป็นพวกโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional oligomer) ที่สามารถให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ สายโซ่หลักของโอลิโกเมอร์สามารถมีโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกันนี้เป็นตัวกำหนดสมบัติพิเศษเชิงกล และสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนต่อการขีดสี ความทนต่อสารละลาย ความยืดหยุ่น เป็นต้น

โอลิโกเมอร์ที่นิยมใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต ได้แก่

#### 2.1.6.3.1 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical system)

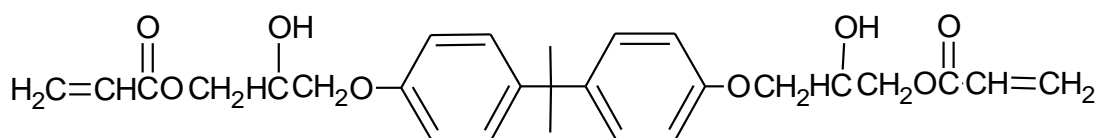
##### 1) อะคริเลต แชะ เมทาคริเลต (Acrylate and Methacrylate)

มอนอเมอร์ชนิดนี้ เป็นมอนอเมอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมากที่สุด เนื่องจากสามารถสังเคราะห์โอลิโกเมอร์จำพวกอะคริเลตนี้ได้จากมอนอเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์อะคริเลต อีพอกซีอะคริเลต ยูรีเทนอะคริเลต เป็นต้น

มอนอเมอร์ในกลุ่มนี้มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) โดยอะคริเลตมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่ามาลิเอต เนื่องจากมาลิเอตมีโครงสร้างที่มีความเกะกะ (Steric ally hindered) มากกว่าจึงทำให้ปฏิกิริยาในขั้นขยายตัว (Propagation polymerization) เกิดขึ้นได้ช้า

#### - Epoxy Acrylate

เป็นโพลิโกเมอร์ที่สำคัญที่นิยมใช้กันมาในอุตสาหกรรมเคลือบผิวที่แห้งตัวด้วยรังสี โดยทั่วไปโพลิโกเมอร์ที่เป็นตัว Raw material จะไม่มีหมู่อีพอกซี อีเธอร์อยู่ในโครงสร้าง แต่หมู่ฟังก์ชันของอีพอกซีจะเกิดขึ้นที่พันธะไม่อิ่มตัวของโพลิโกเมอร์ภายหลังการแห้งตัวกลายเป็นพอลิเมอร์ ตัวอย่างของโพลิโกเมอร์ชนิดนี้ได้แก่ bisphenol A epoxide with acrylic acid โครงสร้างได้ดังนี้



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างเคมีของ bisphenol A epoxide with acrylic acid

โพลิโกเมอร์กลุ่มนี้แบ่งได้อีกหลายประเภทได้แก่ Aromatic difunctional epoxy acrylate, Acrylated oil epoxy acrylate, Novolac epoxy acrylate, Aliphatic epoxy acrylate เป็นต้น

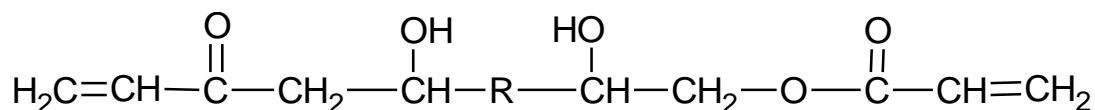
Aromatic difunctional epoxy acrylate เป็นโพลิโกเมอร์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ให้ฟิล์มที่มีความเงาสูง และทนต่อการกะเทาะที่ผิว โพลิโกเมอร์ชนิดนี้นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวกระดาษ บอร์ด ไม้ เฟอร์นิเจอร์ พื้น ซีต และเส้นใยแก้วนำแสง แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องความยืดหยุ่น ไม่ทนต่อแสงอาทิตย์เพราะจะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ นอกจากนี้ ความหนืดยังสูงอีกด้วย

Acrylated oil epoxy acrylate เป็นเรซินที่ความหนืดต่ำ ราคาถูก และมีสมบัติการเปียกที่ดี นอกจากนี้ฟิล์มยังมีความยืดหยุ่นที่ดีอีกด้วย นิยมใช้ในการทำสารเคลือบผิวที่มีเม็ดสีช่วยในการลดต้นทุนการผลิต

Epoxy novolac acrylate เป็นโพลิโอมเมอร์ชนิดพิเศษที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะสมบัติความทนต่อความร้อนและความต้านทานต่อสารเคมีที่ดีของสารอย่างไรก็ตาม Epoxy novolac acrylate โพลิโอมเมอร์ที่มีความหนืดสูง แม้จะให้ฟิล์มที่แข็งแรงแต่มีราคาแพง

Aliphatic epoxy acrylate มีหลากหลายชนิด มีทั้งแบบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ 3 หมู่ หรือมากกว่านั้น ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันเพียง 2 หมู่ จะได้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นที่ดี ว่องไว สมบัติยึดติดดี และความหนืดของสารเคลือบต่ำ ส่วนชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันเท่ากับ 3 หรือมากกว่านั้น จะมีความหนืดในระดับกลางๆ ความยืดหยุ่นไม่ค่อยดี แต่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา Aliphatic epoxy acrylate มีราคาสูงกว่า Aromatic epoxy acrylate จึงนิยมใช้ในงานชนิดพิเศษ

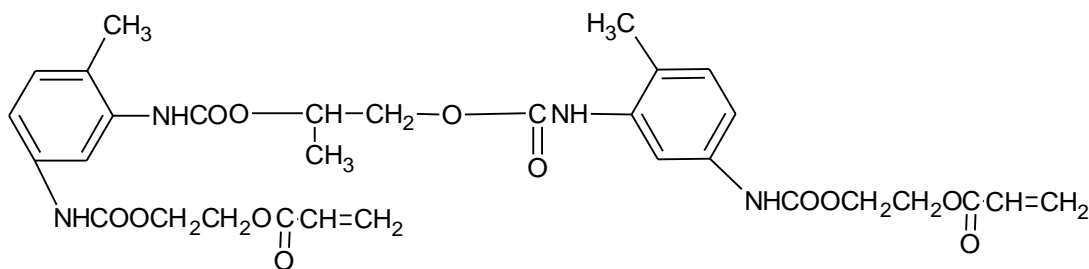
Epoxy acrylate นอกเหนือจากกลุ่มข้างต้นจะเป็นโพลิโอมเมอร์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดไขมันซึ่งจะทำให้ได้สมบัติในการเป็ยกที่ดี และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหมึกพิมพ์ และการเคลือบผิวที่มีเม็ดสี



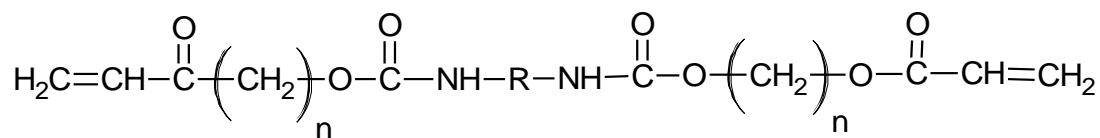
ภาพที่ 2.18 โครงสร้างเคมีของ Epoxy acrylate

#### - Urethane acrylate

ฟิล์มพอลิเมอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polyisocyanate กับ Hydroxyl acrylate โพลิโอมเมอร์ชนิดนี้มีราคาสูงที่สุดในบรรดา อะคริเลตโพลิโอมเมอร์ มีด้วยกันหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีสมบัติที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างของ Urethane acrylate แสดงดังภาพ



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างเคมีของ Urethane acrylate

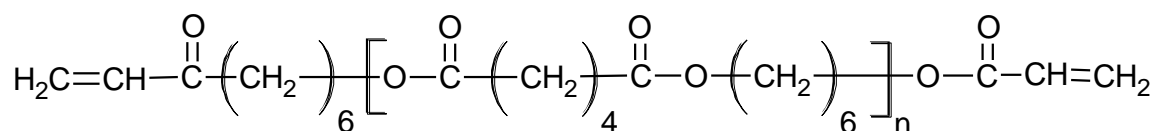


ภาพที่ 2.20 โครงสร้างเคมีของ Polyurethane acrylate

#### - Polyester acrylate

ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานหลายๆอย่าง ข้อดีคือ ความเหนียวต่ำ ทำให้ในสูตรสารเคลือบผิวใช้ตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาในปริมาณที่ต่ำ สมบัติของ Polyester acrylate อยู่ระหว่างสมบัติของ Urethane acrylate กับ Epoxy acrylate ซึ่งขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน โครงสร้างเคมีของโซ่หลัก และน้ำหนักโมเลกุล

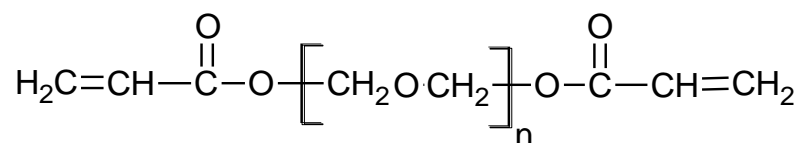
หมู่ฟังก์ชันยังมีมากจะทำให้ความหนืดลดลง ความอ่อนตัวของฟิล์มต่ำ แต่ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาจะดีขึ้น ส่วนโครงสร้างเคมีของโซ่หลักนั้นส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับสมบัติด้านความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ความคงสภาพของสี ความแข็ง เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันถ้าน้ำหนักโมเลกุลของ Polyester acrylate เพิ่มขึ้นจะทำให้ สมบัติการยึดหยุ่น และความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาลดลง ตัวอย่างของโพลิโอมเมอร์ชนิดนี้แสดงตามภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 โครงสร้างเคมีของ Polyester acrylate

#### - Polyether acrylate

เป็นอะคริเลตโพลิโอมเมอร์ที่มีความเหนียวต่ำสุด ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา และตัวช่วยปรับความหนืดในสูตรสารเคลือบผิว Polyether acrylate สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polyetherol ด้วย Acrylic acid ตัวอย่างโพลิโอมเมอร์แสดงภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 โครงสร้างเคมีของ Polyether acrylate

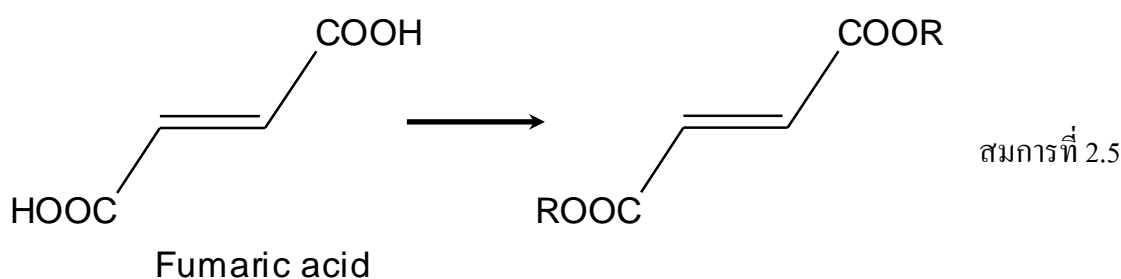
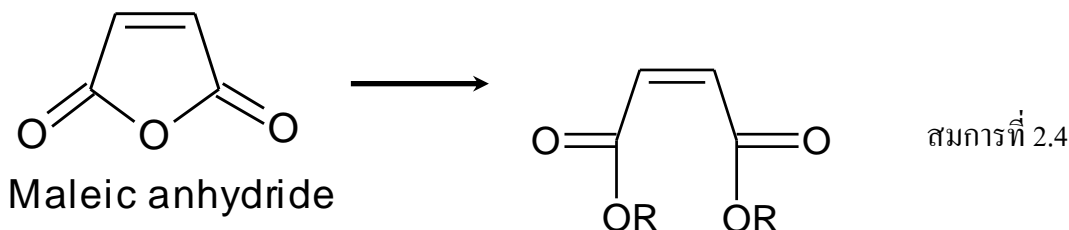
สมบัติโดยทั่วไปของฟิล์มที่ได้จากโพลิโกเมอร์ชนิดนี้ มีความยืดหยุ่นสูงแต่ความทนน้ำและสารเคมีต่ำ จึงนิยมใช้โพลิโกเมอร์ชนิดนี้ร่วมกับ โพลิโกเมอร์ และมอนอเมอร์ชนิดอื่นๆ Polyether acrylate สามารถปรับปรุงให้ว่องไวได้โดยการเติมหมู่เอมีนเข้าไปในโครงสร้างเคมี นอกจากนี้จะว่องไวขึ้นแล้วหมู่เอมีนยังทำให้สมบัติต้านทานน้ำและสารเคมีมีของ Polyster acrylate เพิ่มขึ้นด้วย

#### - Acrylic acrylate

มีหลากหลายชนิดขึ้นตามโครงสร้างเคมีที่ปรับเปลี่ยนไป คล้ายๆ กับ กรณียของ Urethane acrylate แต่ละชนิดก็มีสมบัติแตกต่างกันสามารถเลือกมาใช้ทำให้ได้สูตรเคมีตามความต้องการ จุดเด่นของโพลิโกเมอร์ชนิดนี้คือ มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เหมาะกับการนำไปใช้เคลือบผิวที่เคลือบยาก มีพลังงานพื้นผิวต่ำ ตัวอย่างเช่น พลาสติกชนิดต่างๆ

#### 2) สไตรีน / พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว

สไตรีนสามารถใช้เป็นตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive diluent) สำหรับพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวซึ่งเตรียมได้จาก มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) และ กรดฟูมาริก (Fumaric acid) แสดงดังสมการ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ



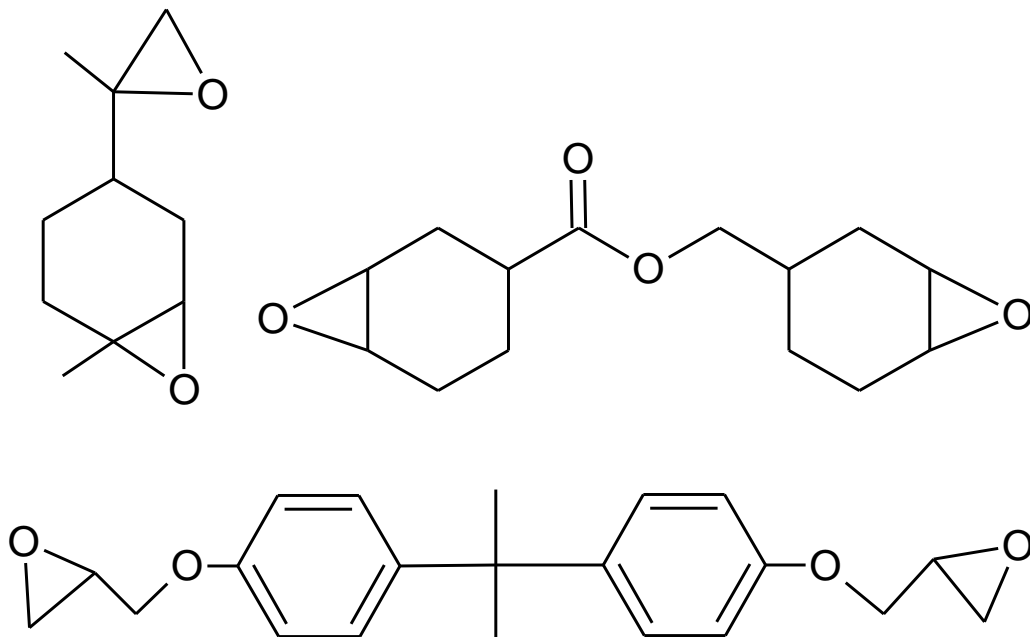
พอลิเมอร์ที่ได้จะเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิस्टาไทรินฟลิเอสเทอร์ นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมไม้

### 2.1.6.3.2 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก (Cationic system)

#### 1) อีพอกไซด์ (Epoxide)

สารประกอบอีพอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้โดยการเปิดวงพันธะเนื่องจากในวงพันธะของสารประกอบอีพอกไซด์มีความไม่เสถียรสามารถเปิดออกได้ง่ายโดย Bronsted acid เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (hydrogen Fluoride) หรือ Lewis acid เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ (Boron tri fluoride) ฟอสฟอรัสเพนตะฟลูออไรด์

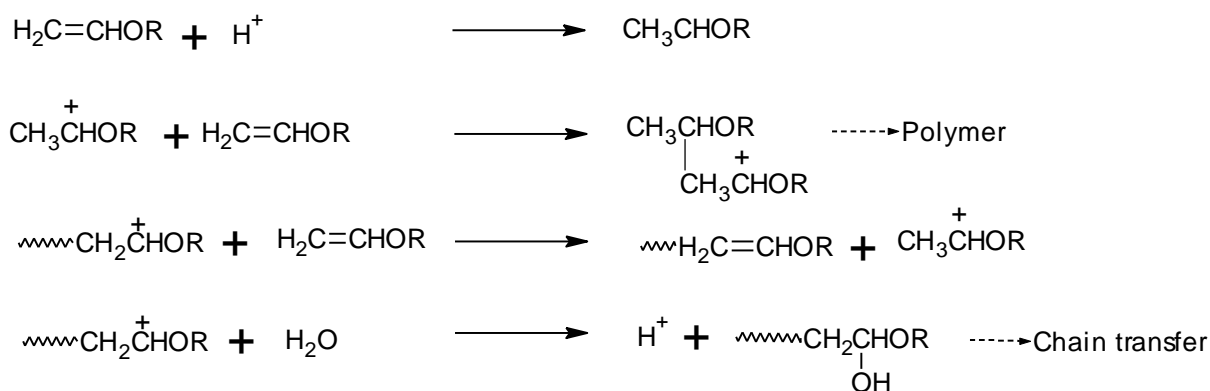
สารประกอบอีพอกไซด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม สารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ได้แก่ ไซโคอะลิฟลาติกอีพอกไซด์ และ โกลซิคลีอีเทอร์ ซึ่งโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 โครงสร้างเคมีของสารประกอบอีพอกไซด์

## 2) ไวนิลอีเทอร์

ไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบประจวบกันได้เช่นเดียวกับสารประกอบอียอกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.24 และการใช้ไวนิลอีเทอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ทำให้สามารถเกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหได้ง่าย



ภาพที่ 2.24 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่มีกลไกแบบประจวบของไวนิลอีเทอร์

การเกิดการเปลี่ยนโซ่พันธะ (chain transfer) มีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปแล้วไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจวบกันได้เร็วกว่าสายอียอกไซด์

### 2.1.6.3.3 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (Hybrid system)

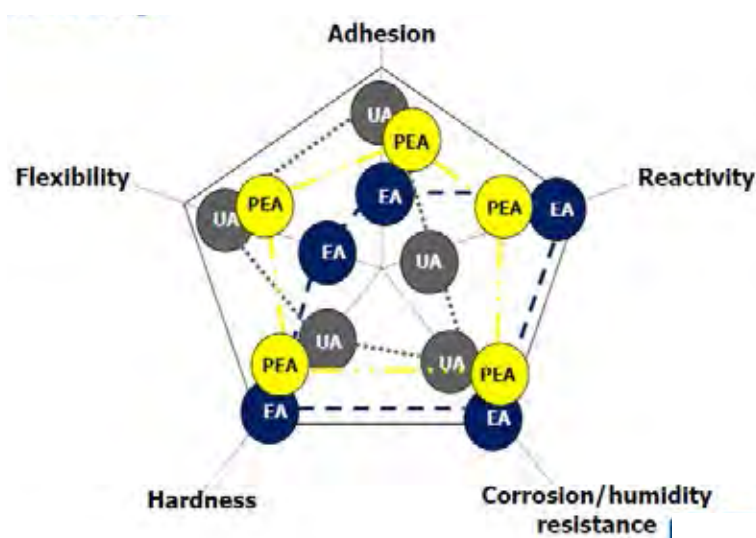
โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมนี้เช่น โอลิโกเมอร์ของสารอียอกไซด์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจำพวกอะครีเลต โอลิโกเมอร์ของอะครีเลตผสมตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจำพวกไวนิลอีเทอร์ โอลิโกเมอร์ของไวนิลอีเทอร์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจำพวกอะครีเลต เป็นต้น

สารเคลือบผิวในระบบนี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของโอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมได้แก่ โอลิโกเมอร์ของสารประกอบอียอกไซด์ผสมกับตัวเจือจางที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจำพวกอะครีเลต โดยอะครีเลตมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ ส่วนอียอกไซด์มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจวบ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมนี้ จึงทำให้โอลิโกเมอร์ทั้ง 2 ชนิดสามารถบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้



ประเภทของโพลิโกเมอร์มีผลต่อสารเคลือบผิวในด้านต่างๆตามชนิดของโพลิโกเมอร์แสดงในเห็นในภาพที่ 2.25

จากภาพที่ 2.25 เป็นภาพแผนภูมิหกเหลี่ยมแสดงแนวโน้มความสามารถของชนิดโพลิโกเมอร์ 3 แบบ คือ Urethane Acrylate, Epoxy Acrylate และ Polyester Acrylate เมื่อนำมาเป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิว ตัวอย่างการอ่านแผนภาพเช่น เมื่อต้องการให้สารเคลือบผิวมี Flexibility และ Adhesion มาก ก็จะเลือกใช้ โพลิโกเมอร์ในกลุ่ม Urethane Acrylate หรือ ถ้าต้องการให้สารเคลือบผิวมี Hardness reactivity และ Corrosion/ humidity resistance มากก็เลือกใช้ Epoxy Acrylate



ภาพที่ 2.25 คุณสมบัติของโพลิโกเมอร์ แต่ละชนิดในการเคลือบผิวโลหะ

- UA: Urethane Acrylate
- EA: Epoxy Acrylate
- PEA: Polyester Acrylate

#### 2.1.6.4 สารเติมแต่ง (Additive)

สารเติมแต่งเป็นสารที่เติมใช้ในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณเล็กน้อย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน ตัวอย่างสารเติมแต่งที่นิยมใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต มีดังนี้

1. สารลดฟอง (Antifoaming agent)
2. สารช่วยเปียก (Wetting agent)

3. สารคงสภาพ (Stabilizers)
4. สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxygen scavengers)
5. สารเพิ่มการยึดติด (Adhesion promoters)
6. เม็ดสี (Pigment)
7. สารปรับสภาพความหนืด (Monomers diluents)
8. สารช่วยเพิ่มการขัดถู (Abrasion resistance agent)
9. สารลดกลิ่น (odor agent)
10. สารควบคุมความเงา ( gloss control agent)

งานวิจัยนี้ได้เลือกสารเคมีเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวที่ใช้รังสียูวี ทำให้แห้งโดยจะเลือกใช้ สารดังต่อไปนี้ คือ

a. Oligomer เลือกใช้ Polyurethane diol solution ซึ่งเป็นโอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical system) จัดอยู่ในกลุ่มอะคลิเลต ซึ่งเป็นที่มีความนิยมนำใช้กัน ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่ฉายด้วยรังสียูวีมากที่สุดเนื่องจากโอลิโกเมอร์ชนิดนี้ได้มาจากการผสมมอนอเมอร์ หลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์อะคริเลต อีพอกซีอะคริเลต เป็นต้น โอลิโกเมอร์ชนิดนี้มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมาก Polyurethane โอลิโกเมอร์ชนิดนี้มีราคาที่สูงที่สุดในบรรดา อะคริเลต โอลิโกเมอร์

b. Monomer เลือกใช้ 2 ชนิดคือ Trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) และ 1 – 6 Hexanediol diacrylate (HDDA) มอนอเมอร์สองชนิดนี้มีลักษณะต่างกันคือ มีหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน 1 – 6 Hexanediol diacrylate จัดอยู่ในกลุ่มที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ (Diffunction diluent) ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking agent ช่วยทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลในสูตรสารเคลือบผิว มอนอเมอร์ชนิดนี้จะทำให้เกิดการแห้งตัวอย่างรวดเร็วและมีอัตราการระเหยของตัวทำละลายมีค่าที่ต่ำ ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ให้ฟิล์มที่ยึดหยุ่นสูง ส่วน Trimethylolpropane trimethacrylate จัดอยู่ในกลุ่มที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional diluent) ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking agent เช่นเดียวกับตัวเจือจางว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่เพราะมีฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยาได้หลายหมู่ทำให้สามารถแห้งตัวได้อย่างรวดเร็วและ ก่อให้เกิดการเชื่อมขวางของพันธะอย่างหนาแน่น ได้ฟิล์มที่ยึดหยุ่น และทนต่อการกะเทาะที่ผิว เมื่อทำการผสมกันระหว่างตัวเจือจางทั้งสองซึ่งมีข้อดีที่ต่างกัน มีความเป็นไปได้สูงว่าสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จะมีข้อดีดังต่อไปนี้คือ

1. มีอัตราการแห้งที่รวดเร็ว
2. ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา
3. फिल्मที่ได้มีความยืดหยุ่น
4. มีการเชื่อมขวางของพันธะที่หนาแน่น
5. ทนต่อการกะเทาะ

c. Additive เลือกใช้หลากหลายชนิดด้วยกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิว ให้ได้ผลที่ตรงต่อจุดประสงค์ สารเติมแต่งที่มีการเติมลงไปในสารเคลือบผิวที่เตรียมมีดังต่อไปนี้

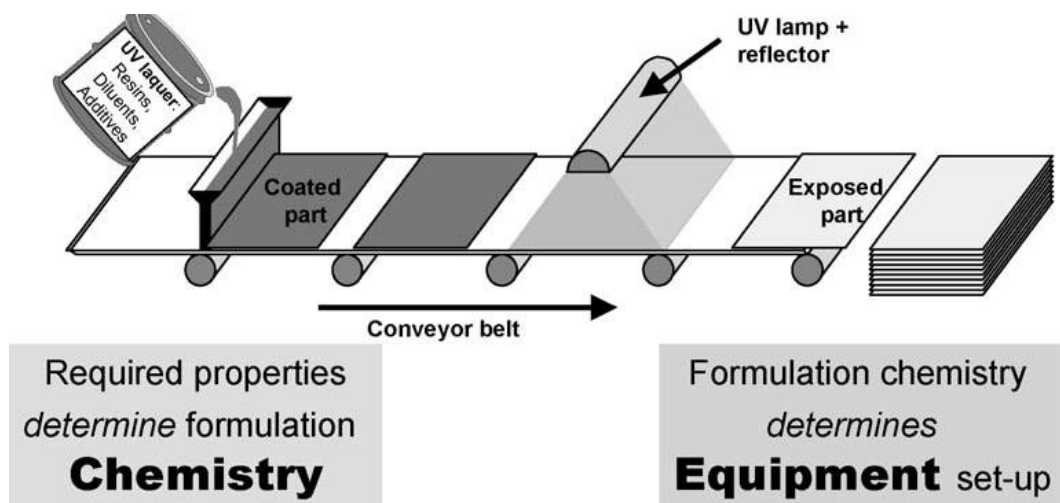
1. สไตรีนเป็นมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งที่ไม่อิ่มตัวเกิดจาก Meleic anhydride และ Fomeric acid ผลของสไตรีนเมื่อเติมลงไปในสารเคลือบผิวจากงานวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มการยึดติดของสารเคลือบผิวกับวัสดุได้ ดังนั้นการเพิ่มการยึดติดของสารเคลือบผิวกับแผ่นอะลูมิเนียมจึงเลือกใช้สไตรีนเป็นสารเติมแต่ง

2. ถ่านกัมมันต์เป็นสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างมาก มีการเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่าคาร์บอนมีค่าเลขอะตอม(Z) ที่น้อยหาได้ง่าย และเมื่ออยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์จำนวนของคาร์บอนก็มีปริมาณที่มากด้วย ดังนั้นเมื่อถ่านกัมมันต์มีค่าเลขอะตอมที่น้อยหากนำไปเคลือบผิวอะลูมิเนียมจะส่งผลให้สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาที่เกิดจากอะลูมิเนียมได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา ผู้จัดทำงานวิจัยจึงมีการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปผสมกับสารเคลือบผิว

d. Photoinitiators เลือกใช้ Phenylbis (2 4 6 – trimethyl benzoyl) phosphine oxide เนื่องจากโพลิโกเมอร์ที่เลือกใช้เป็น โพลิโกเมอร์ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical system) สารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เลือกใช้จึงต้องเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เป็นแบบชนิดอนุมูลอิสระ(Free radical photoinitiators) ด้วย

## 2.2 การเคลือบผิว (Curing)

กระบวนการทำให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 4 ให้เห็นขั้นตอนการทำให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยรังสียูวี แบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องมือ (Equipment) เกี่ยวข้องกับ ระยะการฉายรังสี จำนวนรอบการฉายรังสี อีกส่วนหนึ่งคือ ด้านเคมี (Chemistry) เกี่ยวข้องกับการศึกษาขององค์ประกอบต่างๆ ของสารเคลือบผิวไม่ว่าจะเป็น ชนิดหรือ ปริมาณของ มอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และสารเติมแต่งต่างๆ [1]



ภาพที่ 2.26 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการออกแบบกระบวนการบ่มสารเคลือบผิวโดยใช้รังสียูวี

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยรังสียูวี นั้นแสดงดังภาพที่ 2.27 เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเคลือบผิวชิ้นงานทั้งทางด้านวิธีการ และด้านทางเคมี ที่ส่งผลต่อการเตรียมสารเคลือบผิว

## Application

The desired end product determines:  
Substrate, Purpose and Performance of the Coating,  
Application method, Film thickness, Process speed

### Equipment

- UV Energy
- Irradiance
- Spectral wavelength distribution
- IR radiation
- Cure speed (number of lamps)
- Cure atmosphere (air, inert)



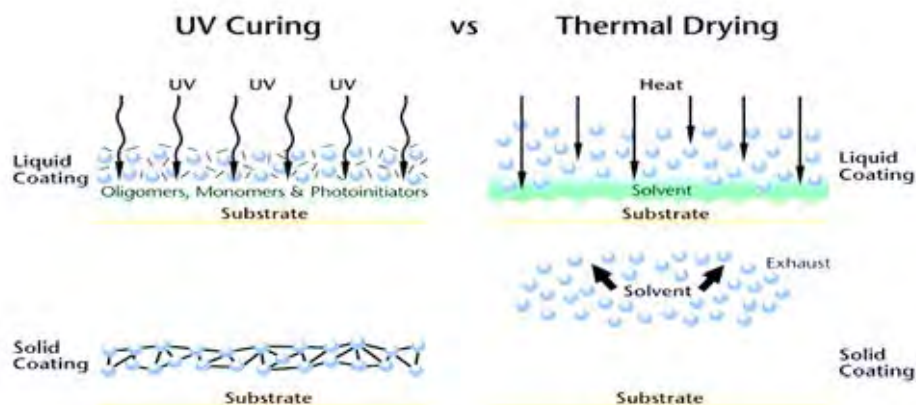
### Chemistry

- Formulation determines the physical properties
- Selection of Components:
  - Resins, diluents, photoinitiators, additives
  - Spectral absorption, optical thickness

ภาพที่ 2.27 ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลือบผิวในกระบวนการบ่มด้วยรังสี ยูวี

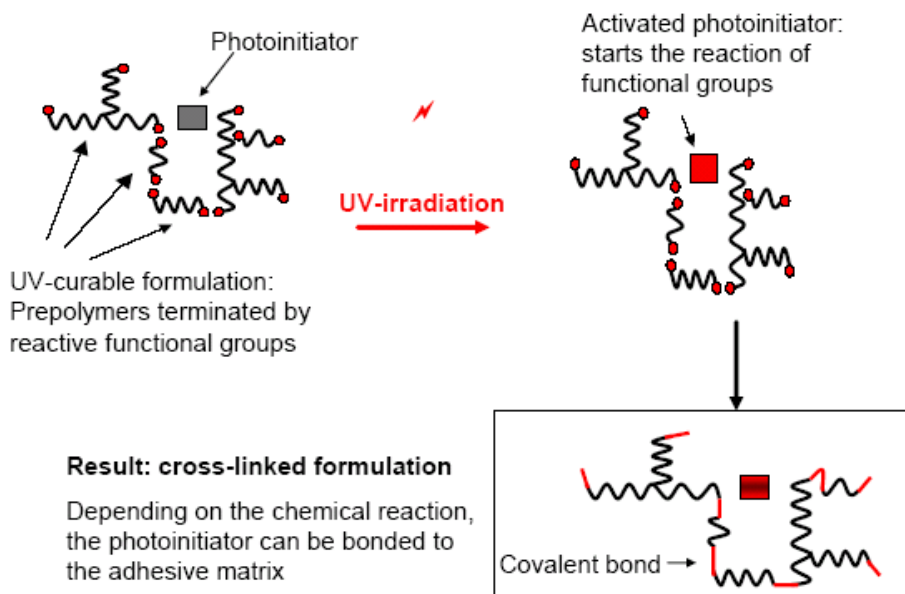
แหล่งกำเนิดยูวีตัวอย่างเช่น Medium pressure mercury lamps, electrode less vapor lamps, pulsed xenon lamps หรือ Lasers ซึ่งแหล่งให้กำเนิดเหล่านี้จะปลดปล่อย อิเล็กโตรแมกเนติกเรดิเอชัน (Electromagnetic radiation) ในช่วง 200 – 760 nm การทำให้สารเคลือบผิวแห้งด้วยรังสีนั้นสามารถใช้ได้ทั้งพลังงานจากรังสียูวี และ อิเล็กตรอน บีม การใช้งานแล้วแต่การเลือกใช้เพื่อให้เหมาะกับงานที่ทำ ช่วงแสงพลังงานที่ใช้แต่ละงานนั้นแสดงดังภาพที่ 2.2

ข้อแตกต่าง: ระหว่างการทำให้สารเคลือบผิวแห้งโดยการใช้รังสี กับการทำให้สารเคลือบผิวแห้งโดยใช้ความร้อน แสดงดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการทำให้แห้งด้วยรังสียูวีกับการทำให้แห้งด้วยความร้อน

การฉายรังสียูวีเพื่อให้สารเคลือบผิวแห้ง จะไม่มีการระเหยของสารละลายจำพวกตัวทำละลายอินทรีย์จะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน และเกิดการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์ ทำให้สารเคลือบผิวแห้งในส่วนการใช้ความร้อนเพื่อทำให้สารเคลือบผิวแห้งนั้นส่วนผสมของสารเคลือบผิวชนิดนี้จะมีการเติมสารตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อเป็นตัวเจือจางสารเคลือบผิวให้มีความหนืดที่น้อยลง การเคลือบผิววิธีนี้จะใช้ความร้อนให้สารอินทรีย์ ระเหย และตัวสารเคลือบผิวจะแห้งติดกับพื้นชิ้นงาน สารละลายอินทรีย์ที่ระเหยนั่นเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2.29 กลไกการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยใช้รังสียูวี

## 2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

### 2.3.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีถ่านกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี [12]

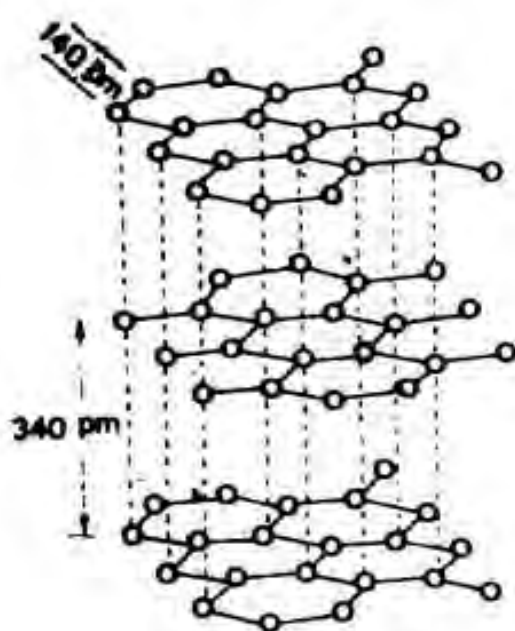
ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) คือ มีรูปร่างไม่แน่นอน สัมผัสจะขึ้นจากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการเผาในที่อวกาศ และผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งจะทำให้พื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น (Internal surface area) อันเนื่องมาจากสารเคมี หรือการกระตุ้นทางกายภาพจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallites) เพิ่มมากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จะต้องมีพื้นที่ผิวอย่างน้อยที่สุด 5 ตารางเมตรต่อกรัม แต่โดยทั่วไปโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ระหว่าง 500 – 2,000 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 Å – 20,000 Å และมีคุณสมบัติดูดซับสารต่างๆ ได้ดี [13]

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะรูปร่างอสัณฐาน ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เพราะมีจำนวนรูพรุนเล็กๆ มากมายมหาศาล มีความสามารถในการดูดซับก๊าซของเหลว หรือสารที่ถูกละลาย บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ได้ [14]

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะรูปร่างอสัณฐาน ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับผิวสูง (high absorptivity) สามารถดูดซับผิวก๊าซหลายชนิด กอลลิน และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ (Colloidal solids) ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จาก ไม้ เปลือกถั่ว กระจูดสัตว์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนโครงสร้างด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 – 900 °C ด้วยไอน้ำ หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างที่มีรูพรุนภายในมากมาย (Honeycomb – like) พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์โดยเฉลี่ยประมาณ 10,000 ตารางฟุตต่อกรัม มีความหนาแน่นประมาณ 0.08 – 0.5 [15]

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับผิวที่สูง สามารถดูดซับสารที่อยู่ในสภาพของก๊าซและของเหลวได้จึงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ กระบวนการทำให้น้ำบริสุทธิ์เพื่อใช้ผลิตสารเคมี และยา น้ำดื่ม จะใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลืนและฟอกสี นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์ยังมีการนำไปใช้ในการกำจัดน้ำเสียและมลพิษต่างๆ ซึ่งถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากการนำไปเผา (Carbonization) วัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

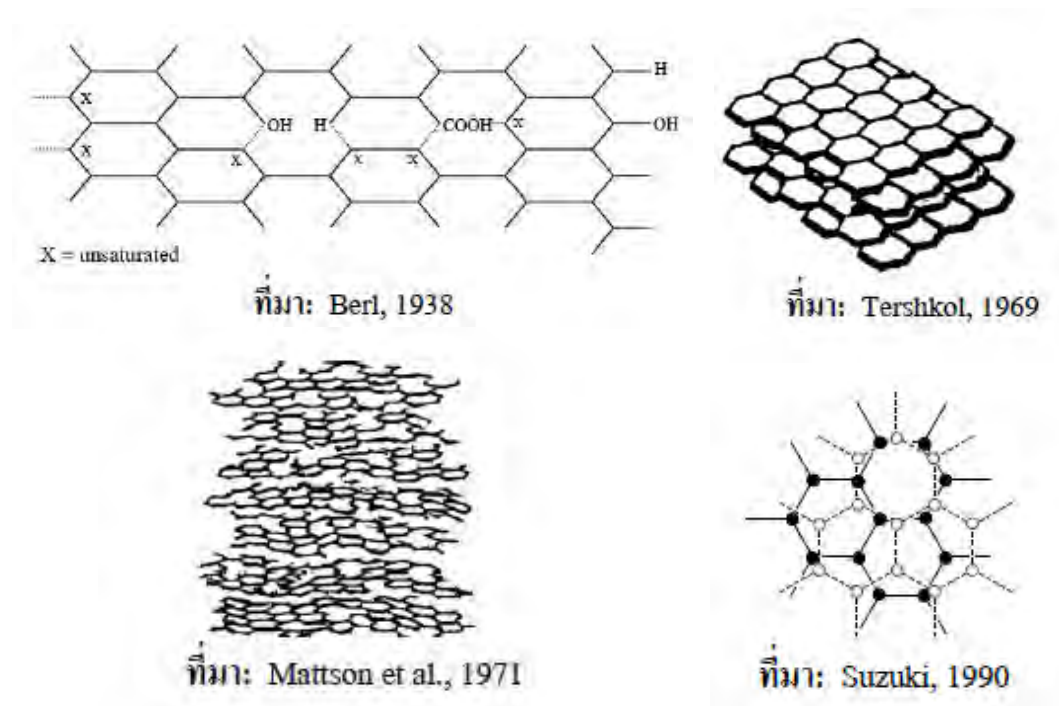
ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอน ซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในที่มากมายของถ่านกัมมันต์ แกรไฟต์ประกอบไปด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular hexagons) ซึ่งเหมือนกับสารประกอบอินทรีย์อะโรมาติก ระยะห่างระหว่างอะตอมคาร์บอนในแต่ละแผ่นชั้นมีขนาด 1.42 อังสตรอม โดยในแต่ละแผ่นชั้นมีลักษณะขนานกันระยะระหว่างแผ่นชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม อิเล็กตรอน 3 ใน 4 ตัวของคาร์บอนสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับอะตอมที่ติดกันขณะที่อิเล็กตรอนตัวที่ 4 เคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 โครงสร้างแกรไฟต์

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับสภาวะการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ และ เวลาในการให้ความร้อน โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากแกรไฟต์เล็กน้อยในระหว่างกระบวนการคาร์บอน-ไนเซชัน ซึ่งโครงสร้างนี้เป็นไมโครคริสตัลไลต์ (Micro - crystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างไมโครคริสตัลไลต์จะมีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างไมโครคริสตัลไลต์ค่าอยู่ระหว่าง 20 – 50 อังสตรอมดังภาพที่ 2.31





ภาพที่ 2.31 ตัวอย่างโครงสร้างถ่านกัมมันต์ลักษณะต่างๆ

### 2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้[16]

#### 2.3.2.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- กายภาพ (Physic activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

#### 2.3.2.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุน

- แมคโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 – 2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์บางชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ลักษณะสมบัติ	ชื่อทางการค้า			
	Darco	Calgon	Westvaco	
	GAC	Filtrisorb	Nuclar	Witco
	20 – 40	300	WV-L	517
	mesh	(8 X 30)	(8 X 30)	(12 X 30)
พื้นที่ผิว, m <sup>2</sup> / g (BET)	650	950-1,050	1,000	1,050
ความหนาแน่นปรากฏ, g/ cm <sup>3</sup>	0.40	0.48	0.48	0.48
ความหนาแน่นของการไหลย้อนกลับ, lb./Cu • ft.	22.5	26.0	26.0	30.0
ความหนาแน่นจริง, g/ cm <sup>3</sup>	*	2.1	2.1	2.1
ความหนาแน่นของอนุภาค, g/cm <sup>3</sup>	*	1.3-1.4	1.4	0.92
ขนาดประสิทธิภาพ	0.5	0.8-1.0	0.85-1.05	0.89
สัมประสิทธิ์ความคงตัว	1.3	<1.9	<1.8	1.44
ปริมาตรโพรง	0.93	0.85	0.85	0.60
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, mm	0.7	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
ร้อยละสูงสุดเมื่อผ่านตะแกรงร่อน				
- ใหญ่กว่าเบอร์ 8 (%)	-	15	8	-
- ใหญ่กว่าเบอร์ 12 (%)	10	-	-	5
- ใหญ่กว่าเบอร์ 30 (%)	-	4	5	5
- ใหญ่กว่าเบอร์ 40 (%)	5	-	-	-
ไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/ g)	600	900	950	1,000
แอมบราชันนัมเบอร์	*	78	70	85
เถ้า (%)	0.4	8	7.5	0.5
ความชื้นสูงสุด (%)	12	2	2	1

\* = ไม่มีข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

— = ไม่มีถ่านที่ผ่านตะแกรงร่อน

ที่มา: <http://www.reskem.com/pages/carbon-pdfs.php>

- มีโซพอร์ (Mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (Transitionnalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15 – 2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 – 100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นมีโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica gels) อะลูมินาเจล (Alumina gels) อะมิโนซิลิเกตคะตะลิสต์ (Aminosilicate catalyst)

- ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีน้อยกว่า 15-16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2 – 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมาก โดยมีค่าหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (adsorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือที่เรียกกันว่า การกระจายขนาดของรูพรุน (pore size distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)

### 2.3.2.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้ [16]

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการให้น้ำบริสุทธิ์ ฯลฯ
- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดก๊าซพิษ หรือไอระเหย

### 2.3.2.4 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดติดผิว

- ก๊าซ (Gas Adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดติดผิวก๊าซพิษและไอสารอินทรีย์ มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ และมีความแข็ง (Hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต
- สี (Color Adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ และไม่แข็ง (Soft artificial char)
- โลหะ (Metal Adsorbent) คือ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ เช่น ทอง เงิน ออกจากแร่ที่ขุดได้

### 2.3.2.5 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated carbon) ทำได้โดยการเอาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาบด รูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการบด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติการดูดซับแตกต่างกันไป ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้สำหรับการดูดสีในสภาวะที่เป็นของเหลว ส่วนใหญ่ โดยทั่วไปมีขนาด 5 – 100 ไมโครเมตร
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดหรือแบบผงทำให้เป็นเม็ดโดยการเติมตัวประสาน (Binding agent) ตัวอย่างเช่น ทาร์ (Tar) แล้วนำมาอัดเป็นเม็ด วัตถุดิบที่นิยมทำถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ได้แก่ วัตถุดิบที่ค่อนข้างแข็ง และมีความหนาแน่นสูง เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดกลิ่น ก๊าซพิษ และไอของสารละลายอินทรีย์

### 2.3.3 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สำคัญนั้น ก็คือ โครงสร้างทางกายภาพ และ โครงสร้างทางเคมี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.3.3.1 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical structure)

- ความเป็นผลึก
 

ถ่านกัมมันต์มีลักษณะ โครงสร้างความเป็นผลึกที่ไม่แน่นอน คือ เป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีความแตกต่างกันกับถ่านแกรไฟต์ (Graphite carbon) อันมีลักษณะโครงสร้างความเป็นผลึกที่ชัดเจน (Crystallinity)
- ขนาดของถ่านกัมมันต์
 

ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการดูดซับเร็วว่าขนาดใหญ่ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ชนิดผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าขนาดใหญ่
- พื้นที่ผิว และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์
 

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุนของถ่านกัมมันต์ คือ ถ้ารูพรุนมีมากก็จะมีพื้นที่ผิวมาก ถ้ารูพรุนมีน้อยพื้นที่ผิวจะน้อยตาม ส่วนขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากวัสดุ และวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกัน จะมีการกระจายตัวของรูพรุนที่

แตกต่างกัน ขนาดรูพรุนของสารดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท แบ่งตามขนาดตามมาตรฐานของระบบ IUPAC คือ

รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดรัศมีมากกว่า 25 นาโนเมตร

รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) ขนาดรัศมี 1 – 25 นาโนเมตร

รูพรุนขนาดเล็ก (micropores) ขนาดรัศมีน้อยกว่า 1 นาโนเมตร

### 2.3.3.2 โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)

ถ่านกัมมันต์ มีโครงสร้างที่แตกต่างจากแกรไฟต์ คือ แกรไฟต์จะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่ชัดเจน ประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular hexagonal) อย่างต่อเนื่องกัน และเป็นชั้นๆ ระยะระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 1.42 อังสตรอม โดยในแต่ละชั้นเรียงตัวขนานในระนาบเดียวกันระยะห่างระหว่างชั้นมีขนาด 3.35 – 3.36 อังสตรอม ส่วนถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะโครงสร้างเป็น amorphous ประกอบไปด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนมีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะห่างระหว่างผลึกเล็กๆ มีค่าระหว่าง 20 – 50 อังสตรอม

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และขั้นตอนการกระตุ้น องค์ประกอบของวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ และวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน และมีหมู่ฟังก์ชันเกาะอยู่ที่ผิวคาร์บอนแตกต่างกัน

### 2.3.4 วัตถุดิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (องค์ประกอบของคาร์บอน และ ไฮโดรเจน) อินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ [13] คือ

1. พวกเซลล์ลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ชานอ้อย, เมล็ดผลไม้, กล้วย, ชั่งข้าวโพด, เปลือกหุ้มเมล็ดผลไม้บางชนิด ฯลฯ
2. พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนท์, ถ่านพีท (Peat), บิทูมินัส (bituminous)
3. วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดุก, เลือด

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ (Artificial char) แบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ

1. ถ่านแข็ง (Hard artificial char) เช่น ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้แข็ง (Fruit pit char), ถ่านไม้เผาที่ความดันสูง
2. ถ่านอ่อน (Soft artificial char) เช่น ถ่านไม้, ถ่านชานอ้อย, ถ่านแกลบ, ถ่านหินน้ำมัน (oil shale char), ถ่านกากน้ำตาล

ตารางที่ 2.3 วัตถุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ชานอ้อย (bagasse)	กากหนัง (leather waste)
กากน้ำตาล (beet – sugar sludge)	ลิกนิน (lignin)
เลือด (blood)	ถ่านลิกไนท์ (lignite)
กระดูก (bones)	กากน้ำตาล (molasses)
สารจำพวกแป้ง (carbohydrates)	เปลือกถั่ว (nut shells)
เมล็ดพืช (cereals)	หินน้ำมัน (oil shale)
ถ่านหิน (coal)	ถ่านพีท (peat)
กะลามะพร้าว (coconut shells)	กากกรดปิโตรเลียม (petroleum acid sludge)
กากกาแฟ (coffee beans)	ถ่านหินน้ำมัน (petroleum coke)
ซังข้าวโพด (corncoobs and corn stalks)	กากโปแตสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ (potassium ferrocyanide residue)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (cottonseed hulls)	ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (pulp – mill waste)
ของเสียจากโรงกลั่นสุรา (distillery waste)	แกลบ (rice hulls)
ปลา (fish)	เศษยาง (rubber waste)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (flue dust)	ขี้เลื่อย (sawdust)
เมล็ดแข็งของผลไม้ (fruit pits)	ไม้ (wood)
แกรไฟต์ (graphite)	
วัชพืชทะเล (kelp and seaweed)	
เขม่า (lampblack)	

### 2.3.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์จะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

#### 1. ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซ หรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำอากาศป้องกันก๊าซพิษ ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษ และไอของสารอินทรีย์ได้
- ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ
- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันไอล่างๆ
- กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ ฯลฯ
- กำจัดกลิ่นออกจากอากาศ ในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง
- ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในแบบของถ่านกัมมันต์

#### 2. ประเภทที่ใช้กับของเหลว

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
- ใช้ในทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมี และยา
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี กลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ควอตซ์ไซยาไนด์
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นต้น

### 2.4 อันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับสสาร

กระบวนการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอน และโพซิตรอนในสสารนั้น คล้ายคลึงกัน โดยปกติมักจะกล่าวรวมในนามของอิเล็กตรอนหรืออนุภาคบีตา อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นคือกระบวนการแตกตัวเป็นไอออนและการกระตุ้น ซึ่งเป็นผลจากการชนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของ

สารอาจทำให้อนุภาคบีตามีพลังงานลดลง กระจิง หรือถูกดูดกลืน ในกรณีที่อนุภาคบีตาเข้าชนกับสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส บีตาอาจสูญเสียพลังงานไปในรูปของการเกิดเบรมมส์ชตราลูง[17]

ตารางที่ 2.4 อันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับสสาร และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

อันตรกิริยา	การเปลี่ยนแปลง	
	อนุภาคบีตา	สสาร
อิเล็กตรอน	พลังงานลดลง กระจิง หรือถูกดูดกลืน	กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน กระบวนการกระตุ้น
นิวเคลียส	พลังงานลดลง กระจิง หรือถูกดูดกลืน	การปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

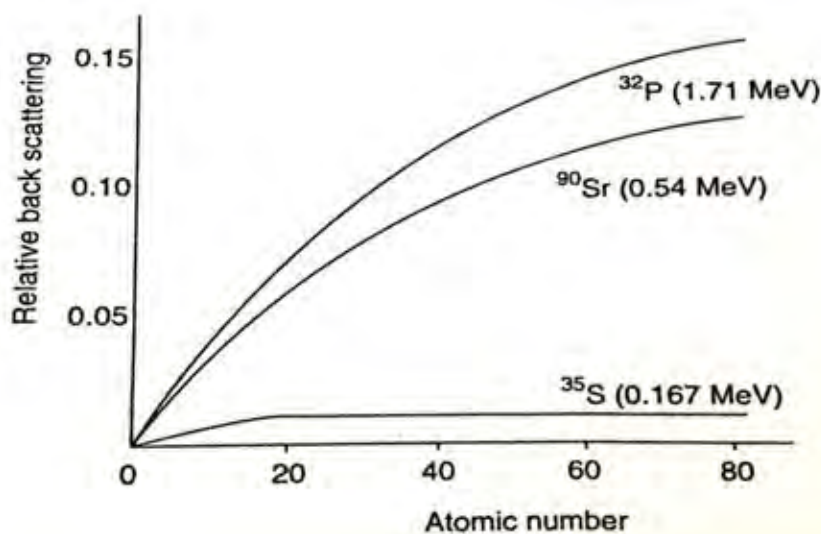
#### 2.4.1 การแตกตัวเป็นไอออนและการกระตุ้น

การแตกตัวเป็นไอออนและการกระตุ้นเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้น เมื่อบีตาชนสสาร เช่นเดียวกับอนุภาคแอลฟา แต่เนื่องจากบีตามีมวลที่น้อยกว่าแอลฟามาก ดังนั้น เมื่อมีพลังงานเท่ากัน บีตาจึงมีความเร็วสูงกว่าแอลฟา พลังงานที่สูญเสียเพื่อทำให้เกิดคู่ไอออนหรือเวอรัคฟังก์ชัน (W) ของแอลฟาและบีตาใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 36 eV ต่อคู่ไอออนในอากาศ แต่อนุภาคบีตาทำให้เกิดการแตกตัวจำเพาะ (จำนวนคู่ไอออนต่อระยะทาง) น้อยมาก เนื่องจากมีความเร็วสูง และมีเวลาน้อยในการชน แต่การแตกตัวจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานลดลง

#### 2.4.2 การกระจิงกลับของรังสีบีตา

เมื่ออนุภาคบีตาชนกับสสาร ทำให้แนวการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปมาก เนื่องจากมีมวลน้อย หากการชนทำให้บีตากระจิงกลับในทิศทางเดิมเริ่มต้น เรียกกระบวนการนี้ว่า กระจิงกลับ (Back scattering) ปัจจัยสำคัญของการกระจิงกลับ คือ เลขเชิงอะตอมและความหนาของสสาร การกระจิงกลับเกิดจะเกิดมากขึ้นเมื่อสสารมีเลขอะตอมสูง (Z) และจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของสสาร จนถึงประมาณ 1/3 ของค่าพิสัยของบีตา จากนั้น การกระจิงกลับมีค่าคงที่ พลังงานของบีตามีผลกับการกระจิงกลับมาก ในช่วงที่บีตามีพลังงานไม่ต่ำนัก เมื่อบีตามีพลังงานเพิ่ม กระจิงจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องจากมุมของการกระจิงและพลังงานของบีตาที่กระจิงออกไปสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของสสาร

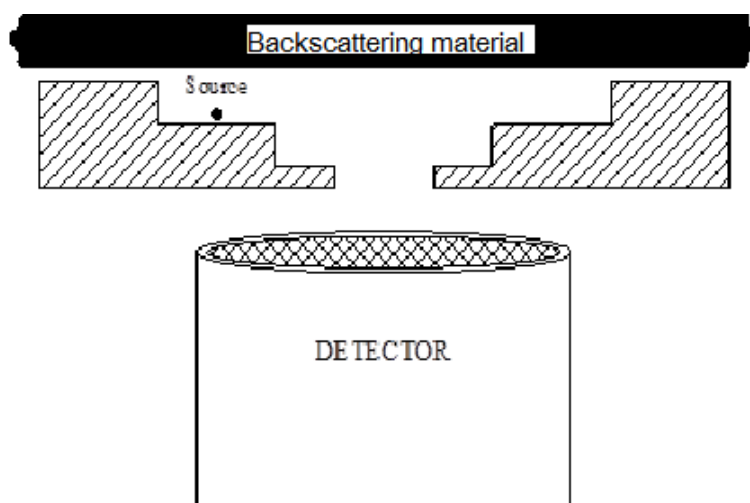




ภาพที่ 2.32 ความสัมพันธ์การกระเจิงกลับ กับเลขเชิงอะตอมของสาร  
ที่เกิดขึ้น โดยอนุภาคบีตาพลังงานต่ำ

รังสีที่ถูกปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสีในทุกทิศทาง รังสีที่ผ่านเข้าไปใน GM tube จะเกิดอันตรกิริยากับก๊าซภายในหัววัด ได้อัตรานับเกิดขึ้น เมื่อรังสีเข้าชนกับวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุที่ใช้ทำต้นกำเนิดไอโซโทปรังสี อาจเกิดการเบี่ยงเบนหรือกระเจิงในวัสดุนั้น ถ้ารังสีเกิดการกระเจิงกลับที่มุมประมาณ 180 องศาเรียกว่า Backscattered แสดงให้เห็นว่ารังสีที่ปลดปล่อยไปในทิศทางต่างๆ บางส่วนอาจเกิดการกระเจิงกลับเข้าไปสู่หัววัด ทำให้อัตรานับวัดที่เกิดขึ้นไม่ถูกต้อง เหตุการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้กับวัสดุที่เป็นภาชนะรองรับสารรังสี ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการเตรียมสารรังสีที่ให้อนุภาคบีตาที่จะใช้ในการทดลอง จำนวนของการกระเจิงกลับจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของ Backscattering material และจะมีค่าสูงสุดที่การกระเจิงกลับคงที่เรียกว่า Saturation backscattering การเกิด Backscattering ขึ้นกับเลขอะตอม, ชนิดของ Backscattering material และพลังงานของอนุภาคบีตา

ในทางทฤษฎี การกระเจิงกลับจะพิจารณาโดยการวางต้นกำเนิดรังสีบนวัสดุที่พอจะมองข้ามผลของความหนาได้ และทำการเพิ่มความหนาของ Backscattering material ดังภาพที่



ภาพที่ 2.33 การวางต้นกำเนิดรังสี และ Backscattering material

### 2.4.3 เบรมส์ชตราลูง (Bramsstrahlung)

เมื่อบีตัมพลังงานสูงเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอมสสาร ทำให้เกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้า เป็นผลให้บีตัมมีพลังงานลดลง แล้วทำให้แนวการเคลื่อนที่หักเหไป พลังงานส่วนที่ลดลงถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า เบรมส์ชตราลูง (Bramsstrahlung) ซึ่งประกอบด้วยโฟตอนที่มีพลังงานต่อเนื่องอยู่ในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ และมีพลังงานสูงสุดเท่ากับพลังงานของอนุภาคบีตัม ความเข้มของเบรมส์ชตราลูงแปรผกผันกับกำลังสองของมวลอนุภาคที่เข้าชน ด้วยเหตุนี้ อนุภาคหลักที่มีประจุมักไม่ก่อให้เกิดเบรมส์ชตราลูง[17]

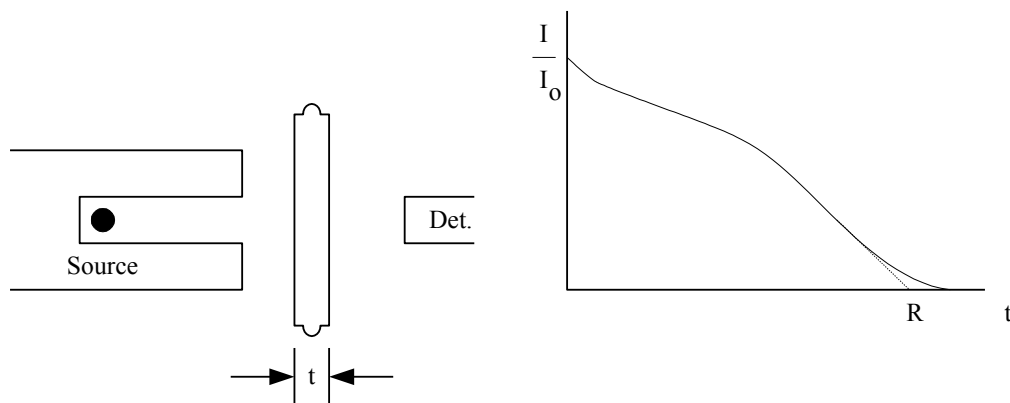
การสูญเสียพลังงานเนื่องจากกระบวนการแตกตัวเป็นไอออนและเบรมส์ชตราลูง ขึ้นอยู่กับพลังงานของบีตัม ( $E$ ) และเลขเชิงอะตอม ( $Z$ ) ของสสาร ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการ ( $\propto KLKJ$ ) เบรมส์ชตราลูง เกิดขึ้นได้ดี เมื่อบีตัมมีพลังงานสูง และในสสารที่มีเลขเชิงอะตอมสูง เช่น อนุภาคบีตัมพลังงาน 10 MeV ทำอันตรกิริยากับตะกั่ว ( $Z= 82$ ) กระบวนการเบรมส์ชตราลูงและการแตกตัวเป็นไอออนจะเกิดขึ้นในสัดส่วนที่เท่าๆกัน แต่ถ้าสสารที่ถูกชนเป็นออกซิเจน ( $Z=8$ )

#### 2.4.4 Beta decay Energy

เมื่ออนุภาคบีตาถูกปลดปล่อยจากนิวไคลด์กัมมันตรังสี อนุภาคที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวนั้นจะมีสเปกตรัมพลังงานที่ต่อเนื่อง (Continuous spectrum) โดยมีค่าพลังงานตั้งแต่ 0 ถึงค่าพลังงานสูงสุดพลังงานสูงสุดของอนุภาคบีตาจะเป็นค่าที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ไอโซโทปพิสัยสูงสุด (Maximum range) จะพิจารณาจากการวัดพลังงานที่ลดทอนเมื่อผ่านตัวดูดกลืนพลังงาน (Absorber) และทำ Extrapolate กับเส้นกราฟที่ได้ โดยค่าพิสัยสูงสุด (R) คำนวณได้จากสมการ

$$E_m = 1.84R + 0.212$$

โดยที่  $E_m$  = พลังงานสูงสุดของอนุภาคเบตา (MeV)  
 $R$  = พิสัยสูงสุดของอนุภาคเบตา ( $g/cm^2$ )



ภาพที่ 2.34 A typical beta absorption curve

## 2.5 แหล่งกำเนิดรังสี

แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แหล่งกำเนิดรังสี 2 ชนิดคือ Sr - 90 และ C - 14 ข้อมูลของแหล่งกำเนิดมีดังนี้ [18]

<p><b>Sr90</b> 28.78 a</p> <p><math>\beta^-</math> .546</p> <p>no <math>\gamma</math></p> <p><math>\hat{\sigma}_\gamma</math> 10 mb</p> <p>E .546</p>
---

Symbol = Sr

Mass number = 90

Half - Life = 28.78 year

Decay beta 0.546 MeV

No Gamma

Thermal Neutron Capture Cross-Section 10mb

Beta Disintegration Energy 0.546 MeV

<p><b>C14</b> 5715 a</p> <p><math>\beta^-</math> .157</p> <p>no <math>\gamma</math></p> <p><math>\hat{\sigma}_\gamma</math> &lt;1 <math>\mu</math>b</p> <p>E .156475</p>
--

Symbol = C

Mass number = 14

Half - Life = 5715 year

Decay beta 0.157 MeV

No Gamma

Thermal Neutron Capture Cross-Section <1 $\mu$ b

Beta Disintegration Energy 0.156475 MeV

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการกระเจิงรังสีบีตา จากอะลูมิเนียม ตลอดจนวิธีการทดสอบคุณลักษณะของสารเคลือบผิว และการลดการกระเจิงของรังสีบีตา

#### 3.1 อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1. Polyurethane diol solution average  $M_n \sim 320$ , 88 wt%, Lot no. MKBH5078V จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

2. Trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA), technical grade, Lot no. MKBF0979V จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

3. 1 – 6 Hexanediol diacrylate (HDDA), technical grade, 80%, Lot no. MKBD9862V, MKBF1203V จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

4. Propyltrimethoxysilane (PTMOS), Puriss  $\geq 97\%$  Lot no. 27598PJV, จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

5. Maleic anhydride, Puriss  $\geq 99.0\%$ , Lot no. BCBF2644V, จากบริษัท Fluka Analytical ผลิตในประเทศแอฟริกาใต้

6. 4 – Hydroxy anisole, Puriss  $\geq 99\%$ , Lot no. BCBF2644V, จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศเยอรมัน

7. Phenylbis (2,4,6 – trimethyl benzoyl) phosphine oxide, Puriss  $\geq 97\%$ , Lot no. MKB9611V จากบริษัท Aldrich Chemistry ผลิตในประเทศเยอรมัน

8. Styrene, Assay  $\geq 99\%$ , Density = 0.905 – 0.907, Lot no. S6360479217, จากบริษัท Merck Schuchardt ผลิตในประเทศเยอรมัน

9. ถ่านกัมมันต์

10. DI Water

### 3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1. Hotplate stirrer ของบริษัท Ingeniurburo CAT, M. Zipperrer GmbH รุ่น M6 กำลังไฟฟ้า 640 วัตต์ 230V 50/60 Hz สามารถหมุนด้วยความเร็วสูงสุด 1600 RPM และให้ความร้อน อุณหภูมิสูงสุด 400 องศาเซลเซียส ผลิตจากประเทศเยอรมัน



ภาพที่ 3.1 Hotplate stirrer

2. เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Ohaus รุ่น PA214



ภาพที่ 3.2 เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง

## 3. ชุด K bar



(a)



(b)

ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์เคลือบผิว

(a) กระจกนรอกเคลือบผิว

(b) K bar

4. บีกเกอร์ ขนาด 25, 50, 100, และ 250 มิลลิลิตร
5. กระจกตวงสารขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร
6. Transfer Pipette
7. Volume Pipette
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ขวดใส่สารละลายขนาด 100 มิลลิลิตร
10. แท่งแก้วคนสารละลาย
11. อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)
12. แผ่นอะลูมิเนียม
13. ที่บดสาร (Mortar)
14. ถุงพลาสติกที่มีซิปปิดปากถุง
15. พาราฟิน (Parafin)
16. ชุด Clamp
17. ดินสอเรียงเบอร์ 6B – 6H ของบริษัท STAEDTLER made in Germany
18. เทปกาว ของบริษัท Scotch
19. มีดคัตเตอร์
20. ไม้บรรทัด

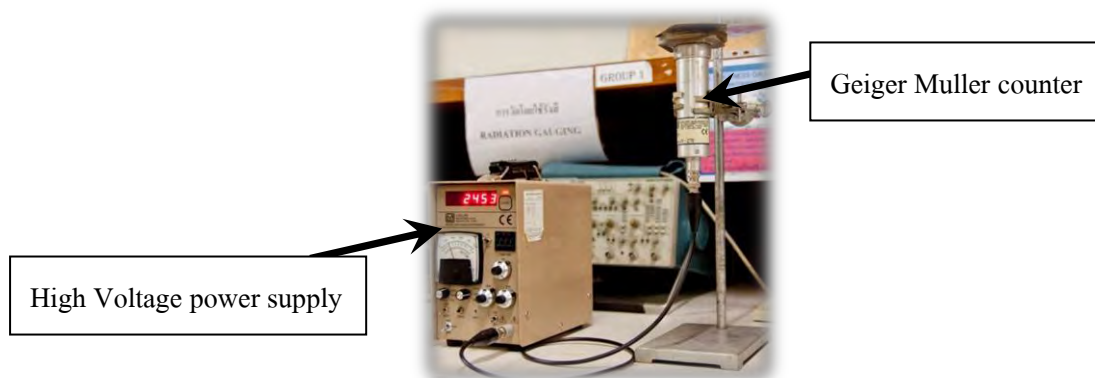
### 3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

#### 1. เครื่องฉายรังสียูวี



ภาพที่ 3.4 เครื่องฉายรังสียูวี

#### 2. ชุดวัดรังสี



ภาพที่ 3.5 ชุดวัดรังสี

#### ส่วนประกอบของชุดวัดรังสี

1. หัววัดรังสี Geiger-Muller counter Model Serial #: PR – 227709  
บริษัท LUDLUM measurements. Inc.
2. High Voltage power supply Model 2200 Scaler ratemeter  
บริษัท LUDLUM measurements. Inc.



### 3. แหล่งกำเนิดรังสี



(a)



(b)

ภาพที่ 3.6 แหล่งกำเนิดรังสี

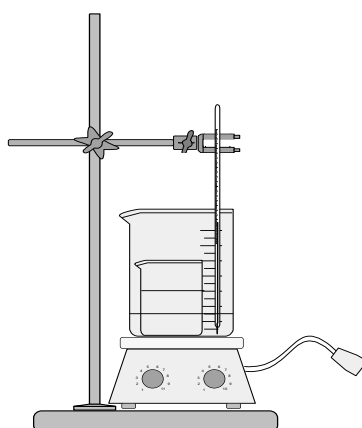
b. Sr – 90

c. C – 14

### 3.2 วิธีทดลอง

#### 3.2.1 การเตรียมสารเคลือบผิว

1. ต้มน้ำในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร บน Hotplate stirrer ให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
2. นำ Polyurethane diol solution 65 มิลลิลิตรเทลงใน บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร และนำบีกเกอร์ไปวางไว้ในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตรที่ต้มน้ำไว้ แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การเตรียมสารตัวอย่าง

3. ค่อยๆเพิ่มความเร็วยกในการกวนสารของ Hotplate stirrer จนถึง 1600 RPM แล้วปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนเป็นเวลา 10 นาที
4. เติม (TMPTMA 10 มิลลิลิตร และ/ หรือ เติม HDDA 10 มิลลิลิตร)
5. ค่อยๆเติมน้ำ 25 กรัม เติม Maleic anhydride ที่บดแล้ว 2 กรัม และเติม 4 – Hydroxy anisole ที่บดแล้ว 480 มิลลิกรัม ตามลำดับ แล้วปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนต่ออีก 30 นาทีเพื่อให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
6. จากนั้นทำการเติมสไตรีนลงไป 10 มิลลิลิตร ในสารละลายที่ได้จากข้อ 5 แล้วปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนต่ออีก 30 นาที
7. ค่อยๆหยด Propyltrimethoxysilan ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายที่ได้จากข้อ 6 และทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนต่ออีก 3 ชั่วโมง
8. เติม (Phenylbis (2,4,6-trimethyl benzoyl)Phosphine oxide) 3 กรัม ปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนต่อ 1 ชั่วโมง พร้อมกับปิดตัวให้ความร้อนของ Hotplate stirrer
9. เติมถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ลงไปในสารละลายที่ได้จากข้อ 8 ปล่อยให้ Hotplate stirrer กวนต่ออีก 24 ชั่วโมง
10. เก็บสารละลายจากข้อ 9 ไว้ในขวดเก็บสารตัวอย่าง และนำไปเก็บในตู้ให้ห่างจากแสง



(a)



(b)

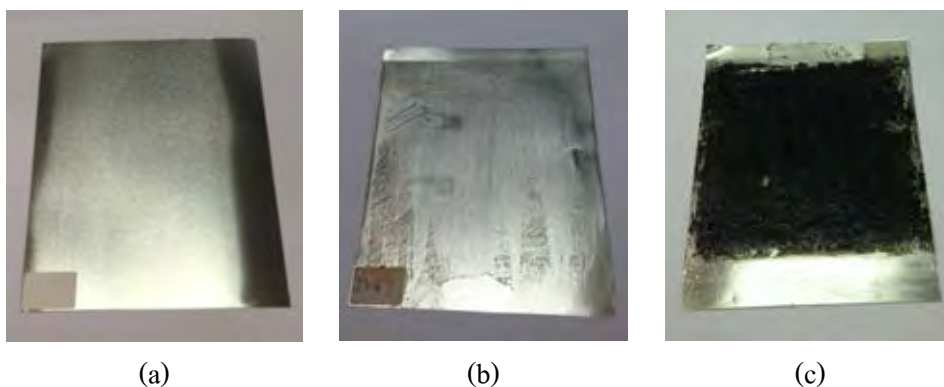
### ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่เตรียม

- a. สารเคลือบผิวที่ไม่ได้เติมถ่านกัมมันต์
- b. สารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

สัดส่วนการผสมสารเคมีเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวแสดงในภาคผนวก ก

### 3.2.2 การเคลือบผิวแผ่นอะลูมิเนียม

1. วางกระดานรองเคลือบผิวในทิศทางเข้าหาตัว จากนั้นนำแผ่นอะลูมิเนียมที่ต้องการเคลือบผิววางบนกระดานรอง และใช้เทปกาวยึดให้แผ่นอะลูมิเนียมยึดกับกระดานรอง
2. เทสารเคลือบผิวลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้
3. นำ K bar ลากเกลี่ยสารเคลือบผิวจากด้านบนสุดของแผ่นรองเข้าหาตัวแค่ ครั้งเดียว (ห้ามเกลี่ยไปมา)
4. นำแผ่นอะลูมิเนียมที่มีสารเคลือบผิว ติดไว้กับแผ่นรองด้วยเทปกาวแล้วนำไปฉายรังสียูวี
5. ฉายรังสียูวี ซ้ำจนกว่าสารเคลือบผิวที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมแห้ง พร้อมกับจดบันทึกผลจำนวนรอบการฉายรังสี



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม

- (a) แผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้เคลือบผิว
- (b) แผ่นอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิว
- (c) แผ่นอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

### 3.2.3 ทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบผิว

3.2.3.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคลือบผิว โดยการศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้โดยจะดูลักษณะของสาร ความคงตัวของสารด้วยการมอง และสารสามารถนำไปใช้ได้เมื่อมีการเก็บไว้ในระยะเวลาหนึ่ง (Stability)

3.2.3.2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว โดยการศึกษาความสามารถในการทนต่อรอยขีดขูดของสารเคลือบผิว (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 และศึกษาความสามารถในการยึดติดของสารเคลือบผิวกับแผ่นอะลูมิเนียม (Adhesion) ตามมาตรฐาน ASTM D3359-95 วิธีการตามภาคผนวก ง

3.2.3.3 ทดสอบความสามารถของสารเคลือบผิวในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา

โดยทำการติดตั้งเครื่องดังภาพที่ 3.10 จากนั้นทำการ background ของพื้นที่ทำการทดลองก่อนเป็นลำดับแรก โดยกำหนดให้เวลาในการวัด 2 นาที จากนั้นทำการวัดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียมที่ยังไม่ได้ทำการเคลือบผิวจำนวน 5 ครั้ง และทำการวัดการกระเจิงจากแผ่นอะลูมิเนียมที่มีการเคลือบผิวแล้วจำนวน 5 ครั้ง ทำการจดค่า Count แต่ละครั้งที่วัดได้และบันทึกผล

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 หาสัดส่วน โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง ที่เหมาะสมในการทำการเตรียมสารเคลือบผิว

การศึกษาหาสัดส่วนของโอลิโกเมอร์ Polyurethane diol solution และ มอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ Trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) และ 1 – 6 Hexanediol diacrylate (HDDA) เลือกใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง คือ Phenylbis (2,4,6 – trimethyl benzoyl) phosphine oxide แบ่งออกเป็นขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

##### ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนนี้เป็นการเริ่มต้นการทดลองโดย ผสมสารต่างๆคือ โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง ตามตารางที่ 4.1 โดยอ้างอิงปริมาณการเตรียมสูตรสารเคลือบผิวต่างๆ จากงานวิจัยเรื่อง Effect of UV/EB radiation dosages on the properties of nanocomposite coatings , Nik, G. N. S. [2]

จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนในตารางที่ 4.1 ได้แบ่งการศึกษาย่อย ออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้คือ

1. ศึกษาหาปริมาณของโอลิโกเมอร์ที่เหมาะสมคือ 65 และ 35 มิลลิลิตร เพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวโดยใช้รังสียูวีทำให้แห้ง
2. ศึกษาหามอนอเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิวคือ TMPTMA, HDDA และ TMPTMA ผสมกับ HDDA โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเติมมอนอเมอร์ ดังตารางที่ 4.1
3. ศึกษาหาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่เหมาะสมโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม

จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำสารเคลือบผิวที่เตรียมไปฉายรังสียูวีพบว่า สารเคลือบผิวไม่สามารถแห้งได้ ดังนั้นจึงศึกษาองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่เตรียม พบว่า ส่วนผสมของสารเคลือบผิวที่เตรียมมี น้ำ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเครื่องฉายรังสียูวีไม่สามารถเร่งพลังงานให้มากพอที่จะทำให้ น้ำระเหยออกมาได้ ด้วยเหตุนี้จึงปรับเปลี่ยนองค์ประกอบในการเตรียมสารเคลือบผิว โดยไม่ให้มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในการเตรียม

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 1

Materials	Polyurethane diol solution (ml)	TMPTMA (C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub> ) (ml)	HDDA (C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> )(ml)	Propyltrimethoxysilane (ml)	Water (g)	Maleic anhydride(g)	4 – Hydroxy anisole ( mg)	Phenylbis (2 4 6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide(g)
P65T10-P3	65	10	-	25	25	1.5	480	3
P65H10-P3	65	-	10	25	25	1.5	480	3
P65T5H5-P3	65	5	5	25	25	1.5	480	3
P35T40-P3	35	40	-	25	25	1.5	480	3
P35H40-P3	35	-	40	25	25	1.5	480	3
P35T20H20-P3	35	20	20	25	25	1.5	480	3
P65T10-P4	65	10	-	25	25	1.5	480	4
P65T10-P5	65	10	-	25	25	1.5	480	5
P65T10-P6	65	10	-	25	25	1.5	480	6
P65T10-P7	65	10	-	25	25	1.5	480	7
P65T10-P8	65	10	-	25	25	1.5	480	8

### ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลต่อจากขั้นตอนที่ 1 เนื่องจากสารเคลือบผิวไม่สามารถแห้งได้ จึงได้ปรับเปลี่ยนส่วนผสมเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าสารเคลือบผิวมีน้ำเป็นส่วนผสมทำให้สารเคลือบผิวไม่สามารถแห้งได้ เพราะพลังงานของเครื่องฉายรังสียูวีน้อยเกินไปด้วยเหตุนี้จึงได้ปรับเปลี่ยนสูตรการผสมสารเคลือบผิวใหม่โดยไม่ใส่น้ำในส่วนผสม สัดส่วนการผสมขั้นตอนที่ 2 แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2

Materials	Polyurethane diol solution (ml)	TMPTMA (C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub> ) (ml)	HDDA (C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> )(ml)	Propyltrimethoxysilane (ml)	Water (g)	Maleic anhydride(g)	4 - Hydroxy anisole ( mg)	Phenylbis (2,4,6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide(g)
P80T10H10-P3	80	10	10	25	-	2	480	3
P65T10-P3	65	10	-	25	-	2	480	3
P65T10-P8	65	10	-	25	-	2	480	8
P65T10-P13	65	10	-	25	-	2	480	13
P65H10-P3	65	-	10	25	-	2	480	3
P65H10-P8	65	-	10	25	-	2	480	8
P65H10-P13	65	-	10	25	-	2	480	13

จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนในตารางที่ 4.2 ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้คือ

a. ศึกษาหาชนิดของมอนอเมอร์ที่เหมาะสม TMPTMA, HDDA และ TMPTMP ผสม HDDA เพื่อเลือกใช้เป็นตัวเจือจางในการเตรียมสารเคลือบผิว โดยให้ปริมาณของ โอลิโกเมอร์ที่เติมเป็น 65 มิลลิลิตร

b. ศึกษาหาปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เหมาะสม โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ 3, 8 และ 13 กรัม โดยให้ปริมาณของ โอลิโกเมอร์ที่เติมเป็น 65 มิลลิลิตร และ ปริมาณมอนอเมอร์ 10 มิลลิลิตร

c. สุ่มผสมสูตรสารเคลือบผิว เพื่อศึกษาการเติมมอนอเมอร์สองชนิดโดยให้ปริมาณของ โอลิโกเมอร์ที่เติมเป็น 80 มิลลิลิตร ปริมาณมอนอเมอร์ที่เติมชนิดละ 10 มิลลิลิตร และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เติม 3 กรัม

จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อนำสูตรสารเคลือบผิวไปฉายรังสียูวี พบว่าเมื่อไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิว สารเคลือบผิวทุกสูตรสามารถแห้งได้แต่จำนวนรอบที่ทำการฉายรังสียูวีมีจำนวนมากกว่า 30 รอบขึ้นไปสำหรับสูตรที่ผสมมอนอเมอร์ชนิดเดียว แต่สูตรสารเคลือบผิวที่ผสมมอนอเมอร์ 2 ชนิด สามารถลดจำนวนรอบการฉายรังสียูวีได้ ใช้จำนวนรอบการฉายรังสียูวีเพียง 14 รอบ ดังนั้นจากข้อมูลการทดลองนี้การผสมมอนอเมอร์สองชนิดสามารถเพิ่มความไวในการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการผสมระหว่าง โอลิโกเมอร์ และมอนอเมอร์ และเลือกใช้ มอนอเมอร์ ผสมกันระหว่าง TMPTMA กับ HDDA ในการทดลองขั้นต่อไป

### ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 2 โดยจะเลือกการผสมมอนอเมอร์สองชนิดในการศึกษา และลดปริมาณของ โอลิโกเมอร์ลงเพื่อหาองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่เหมาะสม กล่าวคือ จำนวนรอบที่ฉายรังสียูวีให้สารเคลือบผิวแห้งควรมีจำนวนรอบที่น้อยกว่า 14 รอบ สัดส่วนในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วน และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนที่ 3

Materials	Polyurethane diol solution (ml)	TMPTMA (C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub> ) (ml)	HDDA (C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> )(ml)	Propyltrimethoxysilane (ml)	Water (g)	Maleic anhydride(g)	4 - Hydroxy anisole ( mg)	Phenylbis (2 4 6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide(g)
P70T20H20-P3	70	20	20	25	-	2	480	3
P70T20H20-P5	70	20	20	25	-	2	480	5
P70T20H20-P7	70	20	20	25	-	2	480	7
P70T20H20-P10	70	20	20	25	-	2	480	10
P50T25H25-P3	50	25	25	25	-	2	480	3



จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนในตารางที่ 4.3 ได้แบ่งการศึกษาเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้คือ

- a. ศึกษาหาปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เหมาะสมโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ 3, 5, 7 และ 10 กรัม
- b. ศึกษาผลของปริมาณ โอลิโกเมอร์ และมอนอเมอร์ เทียบกับผลการทดลองขั้นที่ 2 โดยปริมาณ โอลิโกเมอร์ที่เติม 70 มิลลิลิตร และ มอนอเมอร์ที่เติมชนิดละ 20 มิลลิลิตร
- c. สุ่มผสมสูตรสารเคลือบผิว โดยให้ปริมาณ โอลิโกเมอร์ที่เติม 50 มิลลิลิตร ปริมาณมอนอเมอร์ที่เติมชนิดละ 25 มิลลิลิตร และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เติม 3 กรัม

จากการเตรียมสารเคลือบผิวตามสัดส่วนในตารางที่ 4.3 พบว่าการเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์ทำให้ความหนืดของสารลดลงและทำให้กระบวนการในขั้นตอนเคลือบผิวง่ายขึ้น การเติมมอนอเมอร์ในจำนวนมากขึ้นทำให้จำนวนรอบการฉายรังสียูวีลดลง แต่จะลดการยึดติดของฟิล์มเมื่อศึกษาความคงสภาพของสาร ปริมาณของตัวริเริ่มของปฏิกิริยาทางแสงที่เหมาะสมคือ 3 กรัม จากการสุ่มผสมสูตรสารเคลือบผิวพบว่า องค์ประกอบที่เหมาะสมในการเตรียมสารเคลือบผิวคือ สูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณ โอลิโกเมอร์ 50 มิลลิลิตร ปริมาณมอนอเมอร์ที่เติมชนิดละ 25 มิลลิลิตร และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง 3 กรัม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากจำนวนรอบที่ทำการฉายรังสียูวี 1 รอบ และมีความคงสภาพของสารที่ดี ในส่วนรายละเอียดการศึกษาเพื่อหาองค์ประกอบที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้แสดงในหัวข้อ 4.2

## 4.2 ศึกษาสารเคลือบผิวที่ทำให้แห้งด้วยรังสียูวี บนแผ่นอะลูมิเนียม

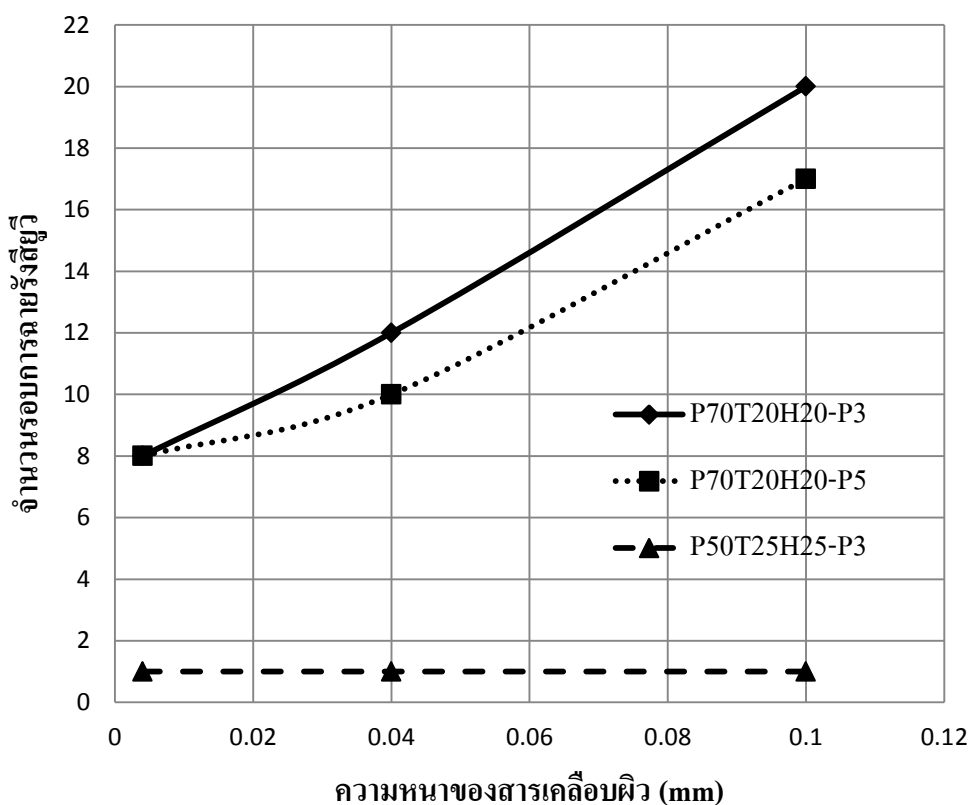
### 4.2.1 จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวแห้ง

การศึกษาจำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวบนแผ่นอะลูมิเนียมแห้ง เป็นการหาองค์ประกอบของ โอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และตัวเติมแต่งต่างๆ ในสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นสารเคลือบผิวที่สามารถแห้งได้ด้วยการฉายรังสียูวี และจำนวนรอบการฉายรังสีที่น้อยที่สุด ในการทดลองหาองค์ประกอบที่เหมาะสมได้ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของสารเคลือบผิว ที่ 0.004, 0.040 และ 0.1 มิลลิเมตรโดยใช้ K bar เป็นวัสดุในการเคลือบผิวและอ้างอิงความหนาของสารเคลือบผิว ขนาดต่างๆของ K Bar คือ เบอร์ 0, 4 และ 8 ตามลำดับความหนาข้างต้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวของเครื่องฉายรังสียูวี คือ ระดับกลาง

ความเร็วของสายพาน 6.72 เมตรต่อนาที เวลาชิ้นงานอยู่ใต้หลอดยูวี 0.916 วินาที อุณหภูมิบริเวณใต้หลอดยูวี 33 องศาเซลเซียส พลังงาน 459 mJ/cm<sup>2</sup> (ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.4 จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวบนแผ่นอะลูมิเนียมแห้ง

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ จำนวนรอบการฉายรังสียูวี (รอบ)		
	0.004	0.040	0.100
P70T20H20-P3	8	12	20
P70T20H20-P5	8	10	17
P50T25H25-P3	1	1	1



ภาพที่ 4.1 ความหนาของสารเคลือบผิวเทียบกับจำนวนรอบการฉายรังสียูวี

จากภาพที่ 4.1 พบว่าที่ความหนาของสารเคลือบผิว 0.004 มิลลิเมตร สารเคลือบผิว P70T20H20 – P3 และ P70T20H20 – P5 มีจำนวนรอบการฉายรังสียูวี 8 รอบ ส่วนสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 มีจำนวนรอบการฉาย 1 รอบ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 0.040 มิลลิเมตร สารเคลือบผิว P70T20H20 – P3 มีจำนวนการฉาย 12 รอบ สารเคลือบผิว P70T20H20 – P5 มีจำนวนการฉาย 10 รอบ และ สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 มีจำนวนการฉาย 1 รอบ เมื่อความหนาของสารเคลือบผิวเป็น 0.100 มิลลิเมตร สารเคลือบผิว P70T20H20 – P3 มีจำนวนการฉาย 20 รอบ สารเคลือบผิว P70T20H20 – P5 มีจำนวนการฉาย 17 รอบ สารเคลือบผิว P80T20H10 – P3 มีจำนวนการฉาย 14 รอบ และ สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 มีจำนวนการฉาย 1 รอบ จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สารเคลือบผิว P70T20H20 – P3 และ P70T20H20 – P5 เมื่อความหนาของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น จำนวนรอบการฉายรังสียูวี จะเพิ่มขึ้นตาม ส่วน สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความหนาของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น จำนวนรอบการฉายรังสียูวียังคงที่ ดังนั้น สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 จำนวนรอบไม่แปรผลตามความหนาของการเคลือบผิว

การศึกษาในหัวข้อนี้เพื่อหาองค์ประกอบที่เหมาะสมโดยดูจากจำนวนรอบการฉายรังสียูวีที่น้อยที่สุดที่ทำให้สารเคลือบผิวแห้งดังนั้นสารเคลือบผิวที่ทำการศึกษาพบว่า สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 เป็นสารเคลือบผิวที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานทำสารเคลือบผิว อีกทั้ง ความหนาของการเคลือบผิวไม่มีผลต่อจำนวนรอบการฉาย

#### 4.2.2 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อการคงสภาพของสารเคลือบผิว

การศึกษ ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อการคงสภาพของสารเคลือบผิว เป็นกระบวนการศึกษาระยะเวลาการเก็บสารเคลือบผิว จะเก็บสารเคลือบผิวให้พ้นจากแสง ที่อุณหภูมิห้อง จะเริ่มสังเกตจากวันแรกที่เตรียมสารเคลือบผิวเสร็จ การเปลี่ยนแปลงทุกๆ วันที่ 7, 14, 21 และ 30 นับจากวันแรก ผลการศึกษาสภาพความคงตัวของสารเคลือบผิวแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การศึกษาปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อการคงสภาพของสารตัวอย่าง

สารเคลือบผิว	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)/ ลักษณะของสารเคลือบผิว			
	7	14	21	30
<b>P70T20H20 – P3</b>	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส
<b>P70T20H20 – P5</b>	เจลเหลว, สีใส	เจลหนืดเล็กน้อย, สีใส	เจลหนืด, สีเหลืองใส	เจลแข็งตัวเป็นก้อน, สีเหลืองขุ่น
<b>P70T20H20 – P7</b>	เจลเหลว, สีใส	เจลหนืดเล็กน้อย, สีใส	เจลหนืด, สีเหลืองขุ่น	เจลแข็งตัว, สีเหลือง ขุ่น, มีตะกอน
<b>P70T20H20 – P10</b>	เจลเหลว, สีใส	เจลหนืดเล็กน้อย, มีตะกอนเล็กน้อย	เจลหนืด, สีเหลือง ขุ่น, มีตะกอนมาก	เจลแข็งตัว, สีเหลือง ขุ่น, มีตะกอนมาก
<b>P50T25H25 – P3</b>	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส	เจลเหลว, สีใส

ตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นการคงสภาพของสารเคลือบผิว สารเคลือบผิวที่มีการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงมากกว่า 3 กรัม เมื่อระยะเวลาผ่านไป จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น สารจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีการตกตะกอนของสาร และแข็งตัวเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ส่วนสารเคลือบผิวที่มีการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง 3 กรัม จะเห็นว่าสารมีสภาพความคงตัวที่ดี ดังจะเห็นได้จากตารางเมื่อเวลาเปลี่ยนไปสารเคลือบผิวยังคงสภาพเหมือนเดิม สามารถนำมาใช้งานได้ ดังนั้นการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานคือ 3 กรัม

จากการทดลองศึกษาหาค่าประกอบที่เหมาะสมโดยการศึกษาจากจำนวนรอบการฉายรังสียูวี และ สภาพการคงตัวของสารเคลือบผิว ผลการทดลองพบว่าสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 เป็นสารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบเหมาะสมกับการนำมาศึกษาใช้งานทำเป็นสารเคลือบผิว เนื่องจาก จำนวนรอบในการฉายที่น้อย และมีความคงตัวที่มาก

### 4.3 ศึกษาผลการเติมสไตรีนที่มีต่อสารเคลือบผิว

จากการศึกษาสัดส่วนการผสมสารเคลือบผิวในหัวข้อที่ 4.2 พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมเตรียมเป็นสารเคลือบผิวคือสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 เนื่องจาก จำนวนรอบการฉายรังสียูวีน้อยสุด อีกทั้งยังมีความคงสภาพของสารที่ดีอีกด้วย แต่สารเคลือบผิวดังกล่าวเมื่อเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมพบว่า มีการยึดติดไม่ดี ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงสารเคลือบผิวโดยการเติมสไตรีนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสารเคลือบผิวกับผิวชิ้นงานให้มากขึ้นดังนั้นจึงต้องทำการหาปริมาณของสไตรีนที่เหมาะสมกับการเตรียมสารเคลือบผิว

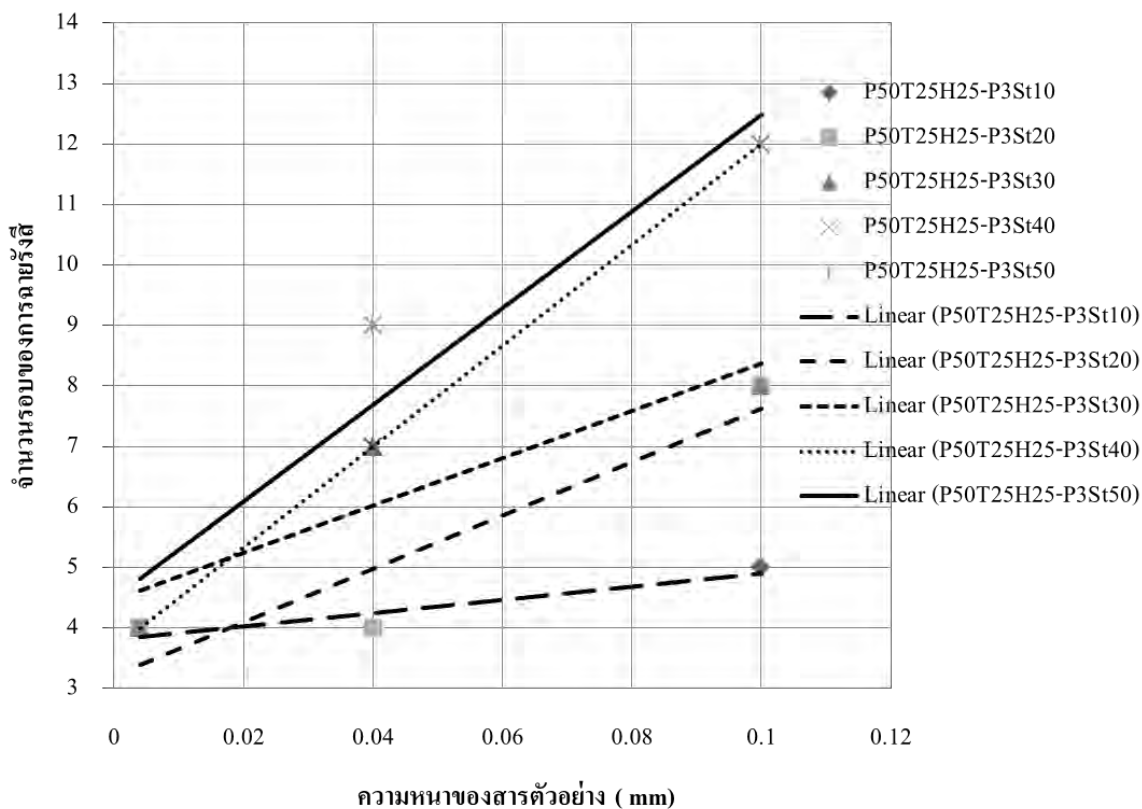
#### 4.3.1 จำนวนรอบการฉายรังสีสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนให้แห้ง

การศึกษาจำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อหาปริมาณของสารเติมแต่ง สไตรีนที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเป็นสารเคลือบผิว ทำการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ สไตรีนที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร และเปลี่ยนแปลงความหนาในการเคลือบผิวที่ 0.004, 0.040 และ 0.100 มิลลิเมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนแห้ง

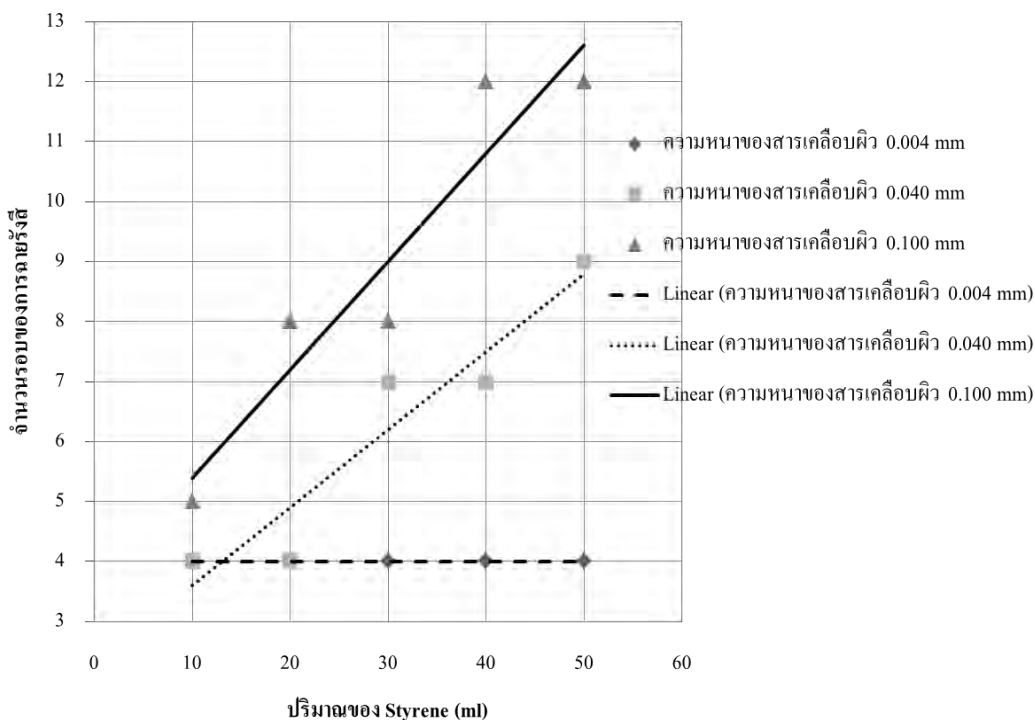
สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ จำนวนรอบการฉายรังสียูวี(รอบ)		
	0.004	0.040	0.100
P50T25H25-P3St10	4	4	5
P50T25H25-P3St20	4	4	8
P50T25H25-P3St30	4	7	8
P50T25H25-P3St40	4	7	12
P50T25H25-P3St50	4	9	12

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 นำผลการทดลองที่ได้เขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงผลให้เห็นในภาพที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 ความหนาของสารตัวอย่างต่อจำนวนรอบการฉายสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน

จากภาพที่ 4.2 ความหนาเพิ่มขึ้นจำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นความหนาแปรผลตามจำนวนรอบการฉายรังสียูวี สารเคลือบผิว P50T24H25 – P3St10 มีจำนวนรอบการฉายที่น้อยที่สุด ที่ความหนา 0.004 และ 0.040 มิลลิเมตร ฉายรังสียูวี 4 รอบ และ ที่ความหนา 0.100 มิลลิเมตร ฉายรังสียูวี 5 รอบ เมื่อเปรียบเทียบที่ความหนา 0.100 มิลลิเมตร จำนวนรอบการฉายน้อยกว่าครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ เมื่อนำจำนวนรอบมาพิจารณา สารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน 10 มิลลิตร เป็นสารเคลือบผิวที่เหมาะสมในการใช้งาน



ภาพที่ 4.3 ปริมาณสไตรีนที่เติมต่อ จำนวนรอบการฉายรังสียูวี

จากภาพที่ 4.3 เป็นภาพเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปริมาณของสไตรีนที่เติมกับจำนวนรอบการฉายรังสียูวี จากการทดลองพบว่าความหนาของสารเคลือบผิว 0.004 มิลลิเมตร มีจำนวนรอบการฉายรังสียูวี 4 รอบ อย่างคงที่ของทุกๆปริมาณการเติมสไตรีนแต่เมื่อความหนาของการเคลือบผิวเป็น 0.040 และ 0.100 มิลลิเมตร จะพบว่า ปริมาณของสไตรีนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อจำนวนรอบการฉายรังสีที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น จำนวนรอบการฉายรังสีแปรผลตามปริมาณสไตรีนที่เติมและเมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟความหนาต่างๆ จะเห็นว่า ปริมาณของสไตรีนเพิ่มขึ้นช่วงความห่างของจำนวนรอบการฉายรังสียูวี ที่ความหนาต่างๆก็เพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการความหนาของการเคลือบผิวที่มากขึ้น ควรใช้ปริมาณสไตรีนที่น้อย เพราะจะทำให้จำนวนรอบการฉายรังสียูวีน้อยลงด้วย ด้วยเหตุนี้สไตรีนปริมาณ 10 มิลลิลิตร จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้เมื่อกำหนดถึงจำนวนรอบในการฉายรังสียูวี

#### 4.3.2 การยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนบนแผ่นอะลูมิเนียม

การศึกษาการยึดติดของสารเคลือบผิวที่มีการเติมสไตรีนศึกษาเพื่อหาปริมาณการเติมสไตรีนที่เหมาะสมโดยการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเติมที่ส่งผลให้การยึดติดที่ดีที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าการยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีนบนแผ่นอะลูมิเนียม

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ การยึดติด		
	0.0040	0.0400	0.1000
P50T25H25-P3St10	0B	2B	3B
P50T25H25-P3St20	0B	0B	0B
P50T25H25-P3St30	0B	0B	1B
P50T25H25-P3St40	2B	0B	0B
P50T25H25-P3St50	2B	2B	0B

(ค่าการยึดติด 5B > 4B > 3B > 2B > 1B > 0B )

สารเคลือบผิวเมื่อมีการเติมสไตรีนมีผลทำให้สารเคลือบผิวสามารถยึดติดบนแผ่นอะลูมิเนียมได้ดีขึ้นจากสารเคลือบผิวเดิม คือ P50T25H25 – P3 ซึ่งมีการยึดติดบนแผ่นอะลูมิเนียมที่น้อยมาก ผลการทดลองการยึดติดแสดงค่าในตารางที่ 4.7 สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 มีค่าการยึดติดบนแผ่นอะลูมิเนียมมากที่สุดที่ความหนา 0.100 มิลลิเมตร ค่าการยึดติดของสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 และ P50T25H25 – P3St50 จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน P50T25H25 – P3St20, P50T25H25 – P3St30 และ P50T25H25 – P3St40 ค่าการยึดติดที่น้อยกว่าและมีค่าใกล้เคียงกัน

#### 4.3.3 การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน

การศึกษาการทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่มีสไตรีนเป็นการศึกษาหาสารเคลือบผิวที่เหมาะสมนำไปใช้เป็นสารเคลือบผิวที่มีการทนต่อการขีดขูดที่ดีที่สุดที่ทำการทดลอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.8



ตารางที่ 4.8 การศึกษาการทนต่อการขีดข่วนของสารตัวอย่างที่เติมสไตรีนเป็นตัวเติมแต่ง

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ การทนต่อแรงขีดข่วน		
	0.0040	0.0400	0.1000
P50T25H25-P3St10	2H	2H	2H
P50T25H25-P3St20	2H	2H	HB
P50T25H25-P3St30	2H	2H	H
P50T25H25-P3St40	H	HB	HB
P50T25H25-P3St50	2H	2H	2H

(การทนต่อแรงขีดข่วน  $6H > 5H > 4H > 3H > 2H > H > HB > B > 2B > 3B > 4B > 5B > 6B$ )

จากผลการศึกษาสารเคลือบผิวที่มีการเติมแต่งด้วยสไตรีนพบว่าเมื่อทำการเคลือบสารเคลือบผิวบนแผ่นอะลูมิเนียมแล้วความสามารถทนต่อการขีดข่วนของสารเคลือบผิวจะอยู่ในช่วงของ HB, H และ 2H

#### 4.3.4 การคงสภาพของสารเคลือบผิวที่มีการเติมสไตรีน

การเติมสไตรีนลงไปนในสารเคลือบผิวจำเป็นต้องศึกษาการคงสภาพของสารเนื่องจากการเตรียมสารจำเป็นต้องเก็บไว้เพื่อใช้งานในระยะยาว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการหรือองค์ประกอบ จำเป็นต้องศึกษาความคงสภาพของสาร ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน

สารตัวอย่าง	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)/ ลักษณะของสารเคลือบผิว			
	7	14	21	30
P50T25H25 – P3St10	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส
P50T25H25 – P3St20	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส
P50T25H25 – P3St30	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส
P50T25H25 – P3St40	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส
P50T25H25 – P3St50	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส	เจลอเหลว, สีใส

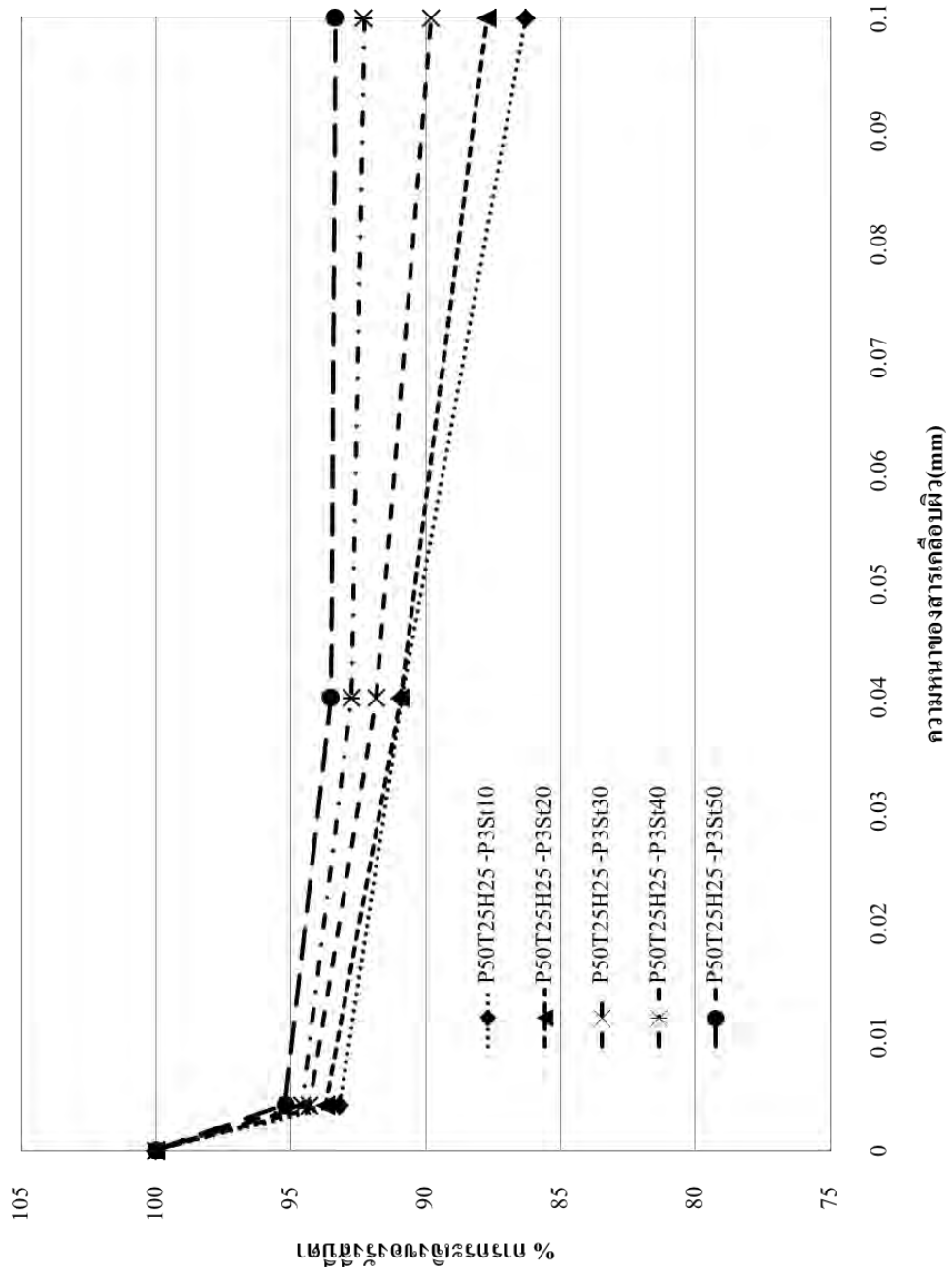
จากตารางผลการทดลองสารเคลือบผิวทุกตัวอย่างมีความคงสภาพของสารที่ดีเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงและสามารถคงสภาพได้ และนำไปใช้งานได้เหมือนเดิม ดังนั้นการเติมสไตรีนลงไปโดยสารเคลือบผิวจึงไม่มีผลต่อการคงสภาพของสาร

#### 4.3.5 ปริมาณของสไตรีนและความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลงของรังสีบีตา

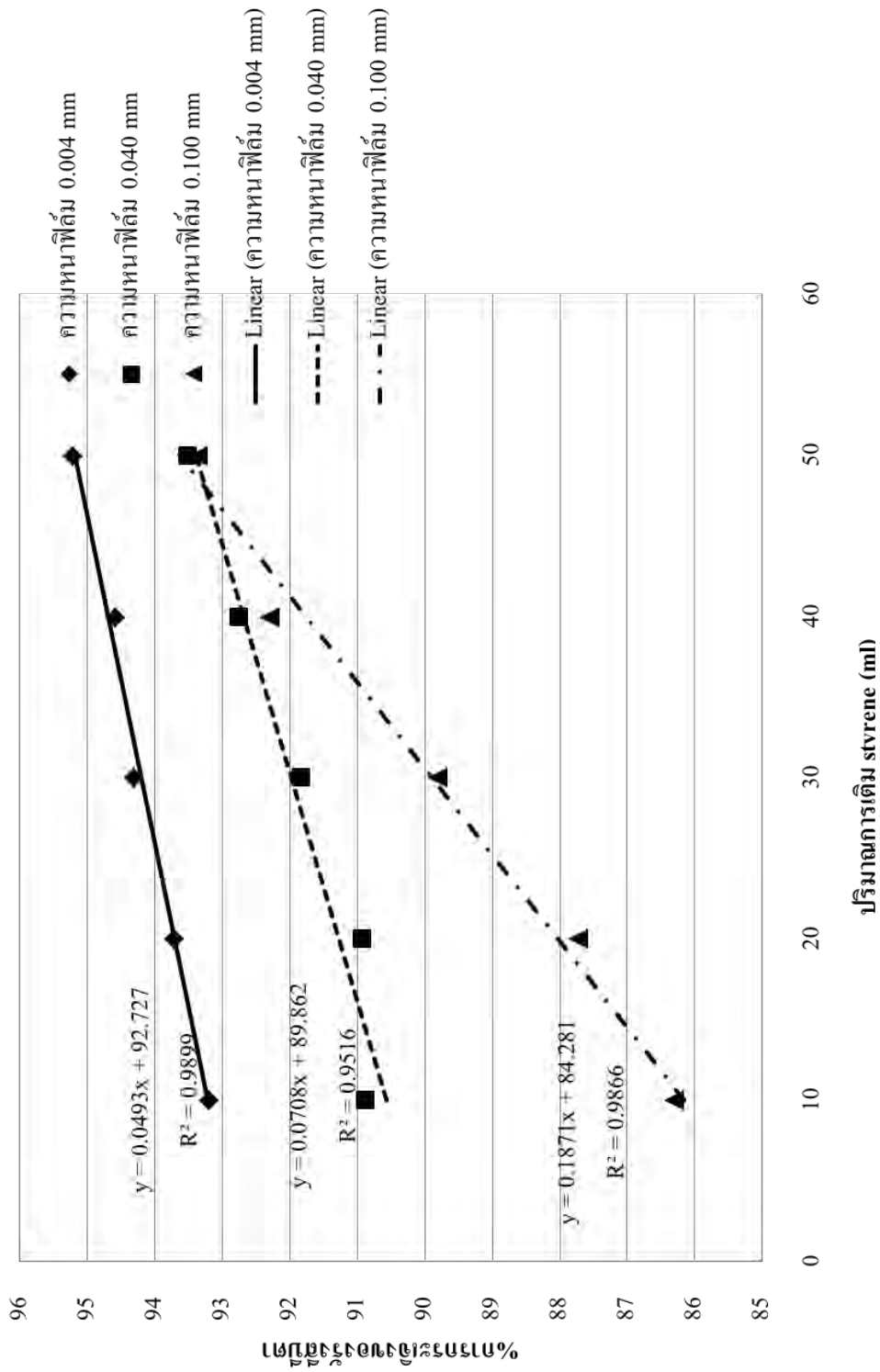
การศึกษาปริมาณของสไตรีนในสารเคลือบผิว โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสไตรีนที่เติม คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาปริมาณของสไตรีนต่อการลดลงของรังสีบีตาอย่างไร และทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของการเคลือบผิวของทุกๆ ปริมาณสไตรีนที่เติม โดยเปลี่ยนแปลงความหนาที่ 0.004, 0.040 และ 0.100 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาความหนาของสารเคลือบผิวต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** การศึกษาสารตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสไตรีนและความหนา ส่งผลต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (mm)	% การกระเจิงของ รังสีบีตา
P50T25H25 – P3St10	0.004	93
	0.040	91
	0.100	86
P50T25H25 – P3St20	0.004	94
	0.040	91
	0.100	88
P50T25H25 – P3St30	0.004	94
	0.040	92
	0.100	90
P50T25H25 – P3St40	0.004	95
	0.040	93
	0.100	92
P50T25H25 – P3St50	0.004	95
	0.040	94
	0.100	93



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบความหนาของสารเคลือบผิวที่เติมสไตรีน ต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณการเติมสไตรีน ในสารเคลือบผิว ต่อ %การแปลงรังสีของฟิล์ม

จากภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อความหนาของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาที่มีจำนวนลดลงทุกสูตร ดังนั้น %การกระเจิงของรังสีบีตาแปรผกผันกับความหนาของการเคลือบผิว สารเคลือบผิวสูตร P50T25H25 – P3St10 มี %การกระเจิงของรังสีบีตาที่ลดลงมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ สูตรสารเคลือบผิวดังกล่าวจึงเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปใช้งาน

จากภาพที่ 4.5 พบว่าสูตรสารเคลือบผิวที่มีการเติมสไตรีน 10 มิลลิกรัม มี %การกระเจิงของรังสีบีตาที่น้อยที่สุดในทุกๆ ความหนาของการเคลือบผิว และเมื่อเติมสไตรีนในสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาก็จะเพิ่มตาม ดังนั้น %การกระเจิงของรังสีบีตาแปรผลตามกับปริมาณการเติมสไตรีน

จากการเติมสไตรีนผสมกับสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3 พบว่าสารเคลือบผิวมีการยึดติดบนผิวอะลูมิเนียมดีขึ้น ปริมาณสไตรีนแปรผลตามกับ %การกระเจิงของรังสีบีตา การเติมสไตรีนไม่ส่งผลต่อความคงสภาพของสารเคลือบผิว ปริมาณการเติมสไตรีน 10 มิลลิกรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในเคลือบผิวเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตา สูตรสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 มีความสามารถในการลดจากการกระเจิงของรังสีบีตาได้ดีที่สุดซึ่งสามารถลด %การกระเจิงของรังสีบีตาให้เหลือ แค่ประมาณ 86%

#### 4.4 ศึกษาผลการเติมถ่านกัมมันต์ต่อสารเคลือบผิว

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา ได้ทำการเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ 1, 2, 3 และ 4 กรัม เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำเป็นสารเคลือบผิวเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตา และเปลี่ยนแปลงความหนาของสารเคลือบผิวที่ 0.004, 0.040 และ 0.100 มิลลิเมตร เพื่อหาความหนาที่ดีที่สุดเพื่อเคลือบผิวอะลูมิเนียมในการลดปริมาณรังสีบีตา

##### 4.4.1 จำนวนรอบการฉายสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ให้แห้ง

การศึกษาจำนวนรอบในการฉายรังสียูวี เป็นการหาจำนวนรอบที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์แห้ง และยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียม เป็นการศึกษาผลกระทบจากการเติมถ่านกัมมันต์ต่อจำนวนรอบการฉายรังสียูวี ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 จำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ให้แห้ง บนแผ่นอะลูมิเนียม

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ จำนวนรอบการฉายรังสี (รอบ)		
	0.004	0.04	0.1
P50T25H25-P3St10Ac1	4	4	4
P50T25H25-P3St10Ac2	4	4	4
P50T25H25-P3St10Ac3	4	4	4
P50T25H25-P3St10Ac4	4	4	4

สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 มีจำนวนรอบการฉายรังสียูวี เพื่อให้สารเคลือบผิวแห้งอยู่ในช่วง 4 – 5 รอบ และเมื่อทำการเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารเคลือบผิวดังกล่าวในปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 กรัม พบว่าจำนวนรอบการฉายรังสียูวีไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารเคลือบผิวไม่ส่งผลต่อการทำให้แห้งด้วยรังสียูวี

#### 4.4.2 การยึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์บนแผ่นอะลูมิเนียม

การเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารเคลือบผิวทำให้คุณสมบัติของสารเคลือบผิวเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาผลของการเติมถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการยึดติดบนพื้นผิวแผ่นอะลูมิเนียม จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่ายึดติดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ลงไป

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ การยึดติด		
	0.0040	0.0400	0.1000
P50T25H25-P3St10Ac1	2B	2B	3B
P50T25H25-P3St10Ac2	1B	1B	0B
P50T25H25-P3St10Ac3	1B	2B	3B
P50T25H25-P3St10Ac4	0B	1B	1B

สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 สารเคลือบผิวมีการยึดติด ในช่วง 0B – 3B เมื่อมีการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปทีละปริมาณต่างๆ พบว่าค่าการยึดติดของสารเคลือบผิวจากผลการทดลองในตารางที่ 4.12 มีค่าใกล้เคียงกันคือในช่วง 0B – 3B เช่นกัน สารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10Ac1 มีค่าการยึดติดที่ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อสังเกตจากตารางจะพบว่าในทุกๆช่วงความหนา ค่าการยึดติดของสารดังกล่าวจะอยู่ในกลุ่มของค่าที่มากที่สุด

#### 4.4.3 การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

การเติมถ่านกัมมันต์ลงไปโดยสารเคลือบผิวทำให้คุณสมบัติของสารเคลือบผิวเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาผลของการเติมถ่านกัมมันต์ ที่มีต่อการทนต่อแรงขีดขูด จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (มิลลิเมตร)/ การทนต่อแรงขีดขูด		
	0.0040	0.0400	0.1000
P50T25H25-P3St10Ac1	2H	H	H
P50T25H25-P3St10Ac2	H	H	B
P50T25H25-P3St10Ac3	H	2H	3H
P50T25H25-P3St10Ac4	HB	HB	HB

จากการทดสอบการทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 ที่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่าความสามารถทนต่อแรงขีดขูดของสารลดลง จากเดิมที่ทนต่อแรงขีดขูด 2H แต่เมื่อมีการเติมถ่านกัมมันต์ลงไป การทนต่อแรงขีดขูดอยู่ในช่วง B – 2H

#### 4.4.4 ความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

การเติมถ่านกัมมันต์ลงไปนในสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 เป็นการรบกวนระบบ ดังนั้นเพื่อการใช้งานจริงต้องมีการศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิวผลการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์

สารเคลือบผิว	วันที่ทำการเก็บรักษา (วัน)/ ลักษณะของสารเคลือบผิว			
	7	14	21	30
P50T25H25 – P3St10Ac1	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ
P50T25H25 – P3St10Ac2	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ
P50T25H25 – P3St10Ac3	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ
P50T25H25 – P3St10Ac4	เจลเหลว, สีดำ	เจลเหลว, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ	เจลหนืด, สีดำ

จากตาราง พบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการเตรียมสารเคลือบผิว คือ 1 กรัม (P50T25H25 – P3St10Ac1) เนื่องจากความคงสภาพของสารเคลือบผิวจากการทดลอง สารเคลือบผิวที่มีการเติมถ่านกัมมันต์มากกว่า 1 กรัม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 วันจะพบว่าสารที่ได้นั้นจะมีความหนืด สูงมากไม่สามารถนำมาใช้เคลือบผิวได้ แตกต่างจากสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ 1 กรัมจะพบว่า สารยังคงสภาพเหมือนเดิม เมื่อผ่านระยะเวลา 30 วันสารยังสามารถใช้งานได้เหมือนเดิม

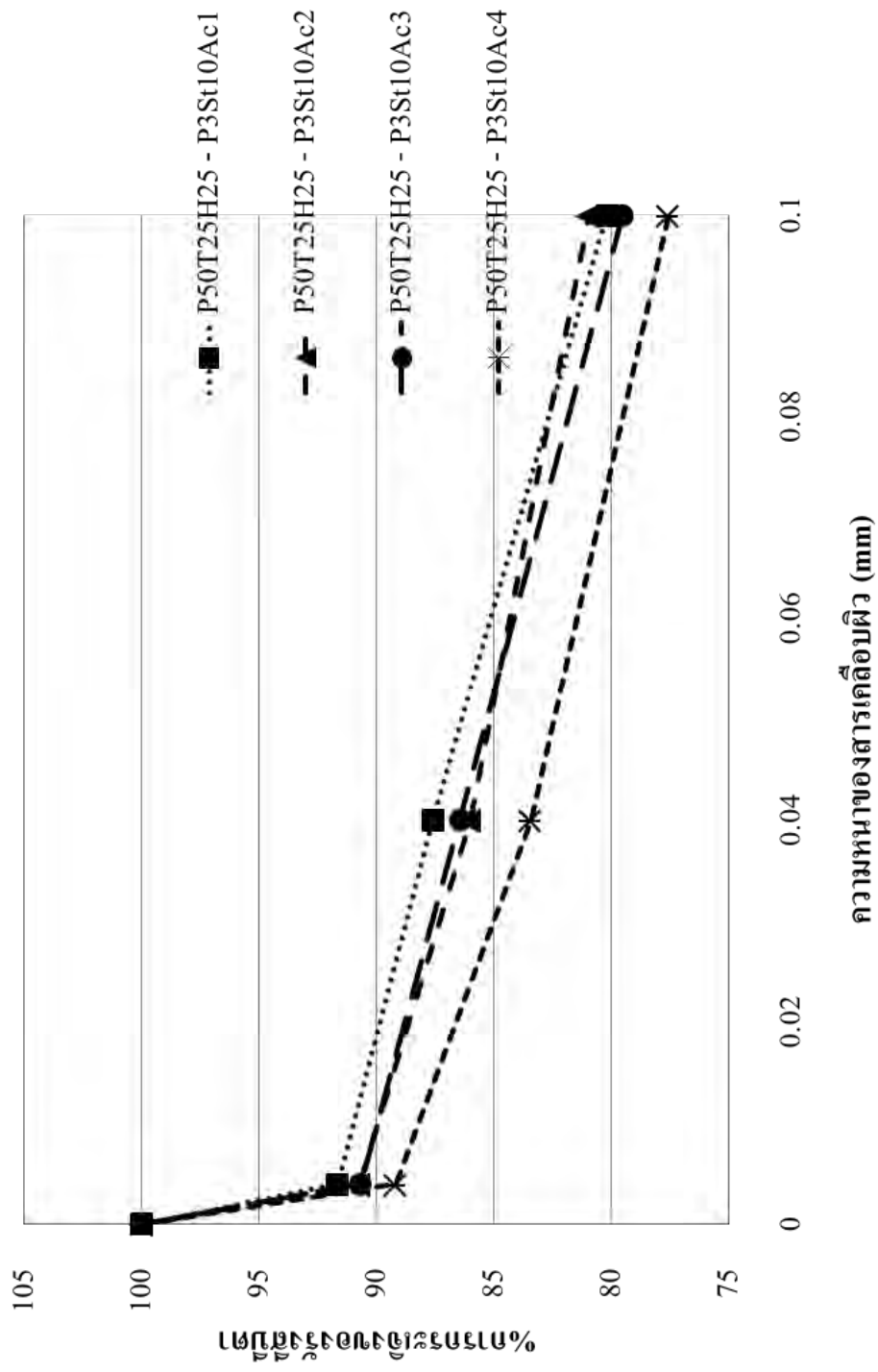


#### 4.4.5 ปริมาณของถ่านกัมมันต์ และความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลงของรังสีบีตา

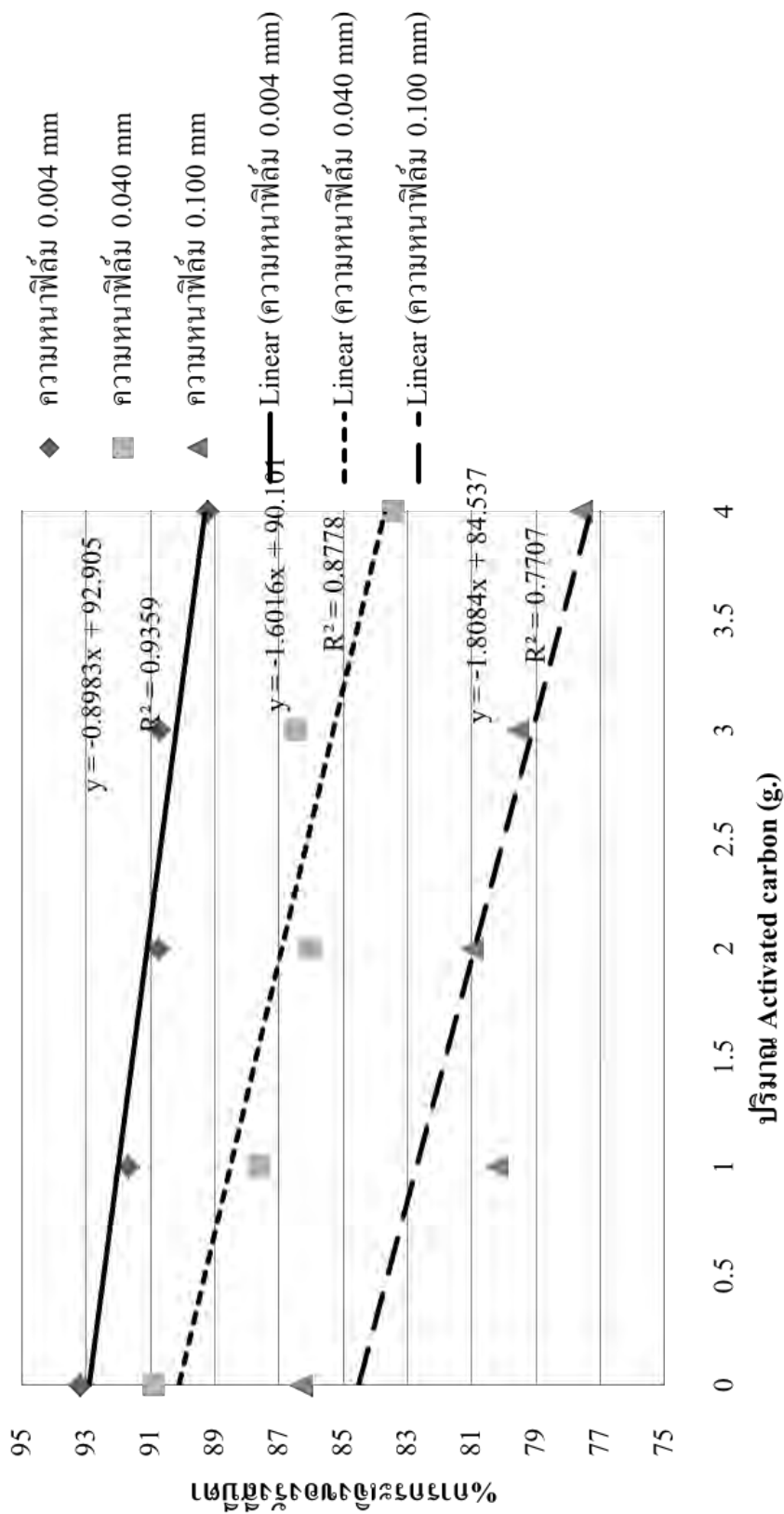
การเติมถ่านกัมมันต์ผสมกับสารเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดการกระเจิงของรังสีบีตา แสดงผลดังตารางที่ ตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์และความหนาของสารเคลือบผิวต่อการลดลงของรังสีบีตา

สารเคลือบผิว	ความหนาของสารเคลือบผิว (mm)	%การกระเจิงของรังสีบีตา
P50T25H25 – P3St10Ac1	0.004	92
	0.040	88
	0.100	80
P50T25H25 – P3St10Ac2	0.004	91
	0.040	86
	0.100	81
P50T25H25 – P3St10Ac3	0.004	91
	0.040	86
	0.100	80
P50T25H25 – P3St10Ac4	0.004	89
	0.040	84
	0.100	78



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบความหนาของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ ต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลของปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์ต่อ %การกำจัดของรังสีบีตา

จากภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบความหนาของการเคลือบผิวของสารเคลือบผิวที่เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ ต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา พบว่าเมื่อความหนาของการเคลือบผิวเพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตามีค่าลดลง ดังนั้น %การกระเจิงของรังสีบีตาแปรผกผันกับความหนาของการเคลือบผิว

จากภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์ในสารเคลือบผิว ต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา พบว่าเมื่อปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาจะลดลงตาม และจากการทดลองการเติมถ่านกัมมันต์ 4 กรัมส่งผลให้ %การกระเจิงของรังสีบีตาน้อยที่สุด ดังนั้น %การกระเจิงของรังสีบีตาแปรผกผันกับปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เติม

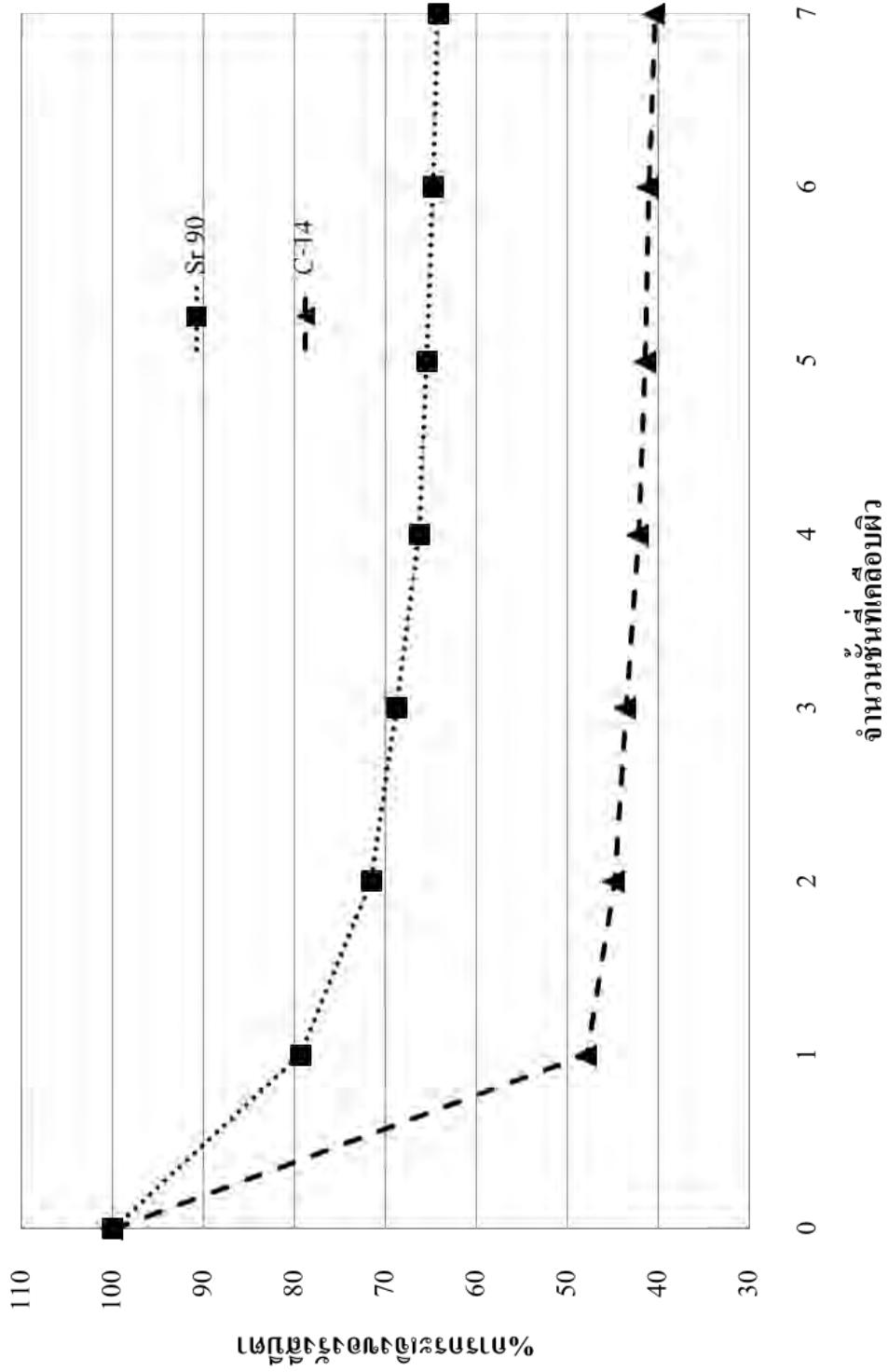
การศึกษาการเติมถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารเคลือบผิวในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา พบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ในสารเคลือบผิวไม่มีผลต่อ การทนต่อแรงขีดขูด และการยึดติด การลดลงของการกระเจิงของรังสีบีตา พบว่าปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาก็จะลดน้อยลง แต่เมื่อศึกษาสภาพความคงตัวของสารเคลือบผิวพบว่า หากเติมถ่านกัมมันต์มากกว่า 1 กรัม สภาพความคงตัวของสารไม่มีประสิทธิภาพ สารจะหนืดและเหนียวขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ดังนั้นการเติมถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานที่สุดเพราะมีความคงสภาพที่ดีและสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาได้เพิ่มมากขึ้น

#### 4.5 ศึกษาการเคลือบผิวแบบชั้นๆ ต่อการลดลงของรังสีบีตา

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อความหนาของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นความสามารถในการลดการกระเจิงของรังสีบีตาก็เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดการเคลือบผิวหลายๆ ชั้นขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา อีกทั้งยังใช้แหล่งกำเนิดรังสีบีตาที่ให้พลังงานแตกต่างกัน 2 พลังงานทำการทดลองเพื่อศึกษาผลระดับพลังงานต่อการกระเจิงของรังสีบีตา แหล่งกำเนิดรังสีบีตาที่เลือกใช้คือ Sr – 90 และ C – 14 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ศึกษาการเคลือบผิวเป็นชั้นๆ ต่อ %การกระเจิงของรังสีบีตา

สูตรสารเคลือบผิว	จำนวนชั้น	%การกระเจิงของรังสีบีตา	
		(Sr - 90)	(C - 14)
P50T25H25 – P3St10Ac1 -1Layer	1	79	48
P50T25H25 – P3St10Ac1 -2Layer	2	72	45
P50T25H25 – P3St10Ac1 -3Layer	3	69	44
P50T25H25 – P3St10Ac1 -4Layer	4	66	42
P50T25H25 – P3St10Ac1 -5Layer	5	66	42
P50T25H25 – P3St10Ac1 -6Layer	6	65	41
P50T25H25 – P3St10Ac1 -7Layer	7	64	40



ภาพที่ 4.8 จำนวนชั้นของการเคลือบผิว ต่อ %การกระจายของรังสีที่วัดได้จากแหล่งกำเนิดรังสี Sr-90 และ C-14

จากภาพที่ 4.8 พบว่าเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบเพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาจะลดลง และเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบผิวชั้นที่ 6 ค่า %การกระเจิงของรังสีบีตาก็จะค่อยๆ คงที่ ดังนั้นจากข้อมูลการทดลองจำนวนชั้นที่น่าเหมาะกับการเคลือบผิว คือ 6 ชั้น

เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟระหว่างแหล่งกำเนิดรังสี Sr-90 และ C-14 พบว่า แหล่งกำเนิดรังสี C-14 มีพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา 0.157 MeV ซึ่งมีพลังงานน้อยกว่าแหล่งกำเนิดรังสี Sr-90 ที่มีพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา 0.546 MeV และ 2.281 MeV จาก Y-90 ทำให้ C-14 มีการกระเจิงของรังสีบีตาในปริมาณที่น้อยกว่า เพราะพลังงานต่ำกว่า Sr-90 ด้วยเหตุนี้ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อพลังงานของแหล่งกำเนิดรังสีบีตามากขึ้น การลดลงของการกระเจิงรังสีบีตาก็จะน้อยลง หรือเมื่อพลังงานของแหล่งกำเนิดรังสีลดลง การลดลงของการกระเจิงรังสีบีตามากขึ้น ดังนั้น พลังงานของแหล่งกำเนิดรังสีบีตาแปรผกผันกับการลดลงของการกระเจิงรังสีบีตา

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### องค์ประกอบสารเคลือบผิวอะลูมิเนียมและการลดการกระเจิงของรังสีบีตา

จากการศึกษาหาองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่มีสารตั้งต้นหลักได้แก่ โอลิโกเมอร์ คือ (Polyurethane diol solution), มอนอเมอร์ คือ Trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) และ 1- 6 Hexanediol diacrylate (HDDA), สารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง คือ Propyltrimethoxysilane (PTMOS) และ สารเติมแต่ง คือ สไตรีน องค์ประกอบที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ทำสารเคลือบผิวคือ P50T25H25 –P3St10 มีส่วนประกอบคือ Polyurethane diol solution ปริมาณ 50 มิลลิลิตร TMPTMA ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ปริมาณ HDDA 25 มิลลิลิตร PTMOS หนัก 3 กรัม และ สไตรีน ปริมาณ 10 มิลลิลิตร จากการศึกษาพบว่า การผสมมอนอเมอร์สองชนิดสามารถลดจำนวนรอบการฉายรังสียูวีได้จากการฉายรังสียูวีที่เดิมมอนอเมอร์ชนิดเดียว ซึ่งมีจำนวนรอบการฉายรังสีมากกว่า 30 รอบ แต่เมื่อทำการผสมมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดร่วมกัน พบว่าจำนวนรอบการฉายรังสียูวีเหลือเพียง 14 รอบเท่านั้น ทำให้เลือกที่จะใช้มอนอเมอร์สองชนิดผสมกันในสูตรสารเคลือบผิวที่ทำการศึกษา การศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การเติมมีผลทำให้การยึดติดของสารเคลือบผิวกับแผ่นอะลูมิเนียมดีขึ้น สารเคลือบผิวที่ทำการเตรียมในสูตร P50T25H25 – P3St10 เป็นสารเคลือบผิวที่มีคุณสมบัติที่ดี คือ จำนวนรอบในการฉายรังสียูวีเพื่อให้สารเคลือบผิวแห้งเพียง 4 รอบ มีการคงสภาพของสารที่ดี สารเคลือบผิวสูตรนี้สามารถเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง พ้นจากแสงแดดอย่างน้อย 30 วัน สารยังคงสภาพเหมือนเดิมยังสามารถนำมาใช้งานต่อได้ การยึดติดของสารเคลือบผิวกับแผ่นอะลูมิเนียมเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ ที่ทำการทดลองพบว่าสูตรนี้ให้ผลการยึดติดที่อยู่ในกลุ่มที่ดีที่สุด การทนต่อแรงขีดขูดของสารเคลือบผิวของสารเคลือบผิวสูตรนี้ยังอยู่ในกลุ่มที่มีการทนต่อการขีดขูดที่ดีเช่นกัน คุณสมบัติที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่าสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 เป็นสูตรของสารเคลือบผิวที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในงานเคลือบผิวแผ่นอะลูมิเนียม

เมื่อนำแผ่นอะลูมิเนียมที่ทำการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวดังกล่าวทดสอบการลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากแผ่นอะลูมิเนียมพบว่า สารเคลือบผิวดังกล่าวสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาเหลือ 86% เพื่อพัฒนาความสามารถในการลดการกระเจิงของรังสีบีตา จึงได้มีการพัฒนาสารเคลือบผิวให้สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาให้มากขึ้น โดยการเติมถ่านกัมมันต์ลงไป ในสารเคลือบผิว และทำศึกษาความคงสภาพของสาร การยึดติด และการทนต่อรอยขีดขูด พบว่าสูตร



สารเคลือบผิวที่เหมาะสมใช้งานเป็นสารเคลือบผิวบนแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตา คือ P50T25H25 – P3St10Ac1 เนื่องจากเมื่อเติมถ่านกัมมันต์ในสารเคลือบผิว P50T25H25 – P3St10 แล้วไม่มีการรบกวนต่อจำนวนรอบการฉายรังสียูวี ในทุกๆปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์ การยึดติด และการทนต่อการขีดขูดของสารเคลือบผิวคงเดิม แต่การเติมถ่านกัมมันต์ส่งผลต่อความคงสภาพของสารเคลือบผิว ถ้ามีการเติมถ่านกัมมันต์มากกว่า 1 กรัม สารเคลือบผิวไม่สามารถเก็บไว้ใช้งานได้เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง แต่การเติมถ่านกัมมันต์น้อยกว่า 1 กรัม จะไม่ส่งผลต่อความคงสภาพของสารเคลือบผิว

การลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม สูตรสารเคลือบ P50T25H25 – P3St10 สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม เหลือ 86% เมื่อนำสูตรสารเคลือบผิวดังกล่าวเติมถ่านกัมมันต์ สามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาเหลือ 80% เพื่อพัฒนาความสามารถในการลดการกระเจิงของรังสีบีตาได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเคลือบผิวหลายชั้นเพื่อเพิ่มความหนาของการเคลือบผิว จากการทดลองเคลือบผิวหลายชั้นพบว่าเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น %การกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียมจะลดลง จำนวนชั้นในการเคลือบผิวเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตาที่เหมาะสมที่สุดคือ 6 ชั้น เนื่องจากเมื่อเคลือบผิวถึงชั้นที่ 7 การลดการกระเจิงของรังสีบีตามีค่าไม่ต่างกับการเคลือบผิว 6 ชั้น การเคลือบผิว 6 ชั้นสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตาเหลือ 65% จากการใช้แหล่งกำเนิดรังสี Sr – 90 และการเคลือบผิว 6 ชั้นสามารถลดการกระเจิงของรังสีบีตา เหลือ 41% จากใช้แหล่งกำเนิดรังสี C – 14 การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าสูตรสารเคลือบผิวที่เหมาะสมที่สุดที่จะไปใช้เป็นงานเคลือบผิวอะลูมิเนียมเพื่อลดการกระเจิงรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม คือสารเคลือบผิวสูตร P50T25H25 –P3St10Ac1-6Layer

### ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมสารเคลือบผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการกระเจิงของรังสีบีตาจากอะลูมิเนียม ควรศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิว โดยทำการศึกษาความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่ยังไม่เติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และจะทำการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเมื่อจะใช้งาน เปรียบเทียบกับความคงสภาพของสารเคลือบผิวที่ทำการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาในขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบผิวเลย

ควรศึกษาการทำความสะอาดผิวอะลูมิเนียมก่อนเคลือบ เช่น การทำความสะอาดผิวอะลูมิเนียมด้วยสารประเภทกรด หรือด่าง ฯลฯ เพื่อศึกษาผลของการทำความสะอาดผิวอะลูมิเนียมก่อนเคลือบ ที่มีต่อการยึดติดของสารเคลือบผิว

ควรศึกษาค่าพลังงานรังสีบีตา นอกเหนือจากพลังงานของรังสีบีตาที่ได้จากแหล่งกำเนิด Sr - 90 และ C - 14 เช่น Cl - 36, ฯลฯ เพื่อศึกษาผลของพลังงานรังสีบีตา ที่มีต่อการกระเจิงของรังสีบีตา

## รายการอ้างอิง

- [1] Reinhold, S. UV coating - basics, recent developments and new applications. Elsevier, 2006.
- [2] Nik, G. N. S., Mohd, F. Y., Azman, H., Aznizam, A. B., and Munirah, M. Effect of UV/EB radiation dosages on the properties of nanocomposite coatings. Radiation Physics and Chemistry 80 (2011): 136 – 141.
- [3] Salleh, N. G., Gläsel, H. J., and Mehnert, R., Development of hard materials by radiation curing technology. Radiation Physics and Chemistry 63 (2002): 475 – 479.
- [4] Chittavanich, P., Miller, K., and Soucek, M. D. A photo – curing study of a pigmented UV – curable alkyd. Progress in Organic Coating 73 (2012): 392 – 400.
- [5] Shichang, L., Wei, Z., Hui, M., and Wenfang, S. Preparation and properties of polymer/ LDH nanocomposite used for UV curing coatings. Progress in Organic Coating 65 (2009): 450 – 456.
- [6] Fawn, M. U., Dean, C. W., Siva, P. D., and Shing, C. W. UV curable epoxy acrylate – clay nanocomposites. European polymer journal 42 (2006): 2596 – 2605.
- [7] Ruiz, C. S. B., Machado, L. D. B., Pino, E. S., and Sampa, M. H. O. Characterization of a clear coating cured by UV/EB radiation. Radiation Physics and Chemistry 63 (2002): 481 – 483.
- [8] Colette, P., Xavier, C., and Christian, D. Electron – beam initiated polymerization of acrylate compositions 3: compared reactivity of hexanediol and tripropyleneglycol diacrylates under UV or EB initiation. Radiation Physics and Chemistry 62 (2001): 403 – 410.
- [9] พิษณุพันธ์ ภูเพียงใจ. การเตรียมเรซินที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [10] พนาวรรณ หวังดี. สมบัติความชอบน้ำของฟิล์มเอโนไคซ์บนโลหะผสมไทเทเนียมที่กระตุ้นด้วยยูวี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

- [11] ระวีวรรณ อินทร์น้. การใช้น้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์และน้ำมันทานตะวันอพอกซิไดซ์/มอนต์มอริลโลไนต์ เป็นสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2532). กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532.
- [13] ลลิตา นิต์สนารุกุล. การกำจัดตะกั่วจากน้ำยาแข็งกระดาษด้วยกระบวนการดูดซับผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [14] Allport, H. B. Activated carbon. McGraw – Hill Encyclopedia of Science & Technology. Volume 1. 7<sup>th</sup> ed. New York: McGraw – Hill, 1997.
- [15] Lewis, R. J. Carbon, activated. Hawley’s Condensed Chemical Dictionary. 13<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [16] เกศรา นุกาญ และคณะ. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ 30 – 14 โครงการวิจัยและพัฒนาดินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531.
- [17] นवलวิ รุ่งชนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์(Nuclear science). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- [18] Josef, R. P., Harold, D. K., Susan, L. B., Edward, M. B., and Frank, F. Nuclides and Isotopes Fifteenth Edition. Chart of the Nuclides. General Electric Co. and KAPL, Inc., 1996
- [19] P K Print Coat Instruments Ltd., company. K HAND COATER, United Kingdom. (Unpublished Manuscript)
- [20] Christian, D., Laurent, K., Khalid, Z., and Said, B. Synthesis of nanocomposite polymers by UV-radiation curing. Polymer 46 (2005): 6640 – 6648.
- [21] Fawn, M. U., Dean, C. W., Siva, P. D., and Shing-Chung, W., UV curable epoxy acrylate – clay nanocomposites. European Polymer Journal 42 (2006): 2596 – 2605.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง

วิธีการตั้งชื่อสารเคลือบผิวในสัดส่วนต่างๆ และอัตราส่วนผสมของสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิวที่ทำการทดลอง

### ก.1 หลักการการตั้งชื่อสารเคลือบผิว

การตั้งชื่อสารตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญในการทดลองเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำ และง่ายต่อการวิเคราะห์ผล ดังนั้นการตั้งชื่อสารเคลือบผิวจึงได้แบ่งออกเป็นรหัส 3 ชุด ชุดที่ 1 จะเป็นชุดที่บอกองค์ประกอบหลักของสารคือ โอลิโกเมอร์ และ มอนอเมอร์ รหัสชุดที่ 2 จะเป็นชุดที่บอกองค์ประกอบรองคือ ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง และ สารเติมแต่งต่างๆ ในส่วนของชุดที่ 3 จะเป็นรหัสชุดที่บอกถึงจำนวนชั้นการเคลือบผิว ยกตัวอย่างสารเคลือบผิวเช่น P50T25H25 – P3St10Ac1-6Layer

รหัสชุดที่ 1 P50T25H25 แยกออกมาเป็น 3 ชุด คือ

- P คือ ชื่อต้นของโอลิโกเมอร์ที่ใช้, 50 คือ ปริมาณของโอลิโกเมอร์ 50 มิลลิลิตร
- T คือ ชื่อต้นของมอนอเมอร์ 1 ที่ใช้, 25 คือ ปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้ 25 มิลลิลิตร
- H คือ ชื่อต้นของมอนอเมอร์ 2 ที่ใช้, 25 คือ ปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้ 25 มิลลิลิตร

รหัสชุดที่ 2 P3St10Ac1

- P คือ สารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง, 3 คือ ปริมาณของสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ 3 กรัม
- St คือ สารเติมแต่ง Styrene , 10 คือ ปริมาณของ Styrene ที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร
- Ac คือ สารเติมแต่ง Activated carbon, 1 คือ ปริมาณของ Activated carbon ที่เติมลงไป 1 กรัม

รหัสชุดที่ 3 6Layer

- 6Layer คือ จำนวนชั้นในการเคลือบผิว จากตัวอย่างสารเคลือบผิวนี้มีการเคลือบผิว 6 ชั้น

### ก.2 สัดส่วนสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิวต่างๆ ที่ทำการทดลอง

การผสมสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิวต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเติมสารเคมีเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการทำเป็นสารเคลือบผิวการทดลองต่างๆ แสดงในตาราง ก. 1

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิว

Materials	Polyurethane diol solution (ml)	TMPTMA (C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub> ) (ml)	HDDA (C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> )(ml)	Propyltrimethoxysilane (ml)	Water (g)	Maleic anhydride(g)	4 – Hydroxy anisole (mg)	Phenylbis (2,4,6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide (g)	Activated Carbon (g)	Styrene(ml)
P65T10-P3	65	10	-	25	25	1.5	480	3	-	-
P65H10-P3	65	-	10	25	25	1.5	480	3	-	-
P65T5H5-P3	65	5	5	25	25	1.5	480	3	-	-
P35T40-P3	35	40	-	25	25	1.5	480	3	-	-
P35H40-P3	35	-	40	25	25	1.5	480	3	-	-
P35T20H20-P3	35	20	20	25	25	1.5	480	3	-	-
P65T10-P4	65	10	-	25	25	1.5	480	4	-	-
P65T10-P5	65	10	-	25	25	1.5	480	5	-	-
P65T10-P6	65	10	-	25	25	1.5	480	6	-	-
P65T10-P7	65	10	-	25	25	1.5	480	7	-	-
P65T10-P8	65	10	-	25	25	1.5	480	8	-	-
P80T10H10-P3	80	10	10	25	-	2	480	3	-	-
P65T10-P3	65	10	-	25	-	2	480	3	-	-
P65T10-P8	65	10	-	25	-	2	480	8	-	-
P65T10-P13	65	10	-	25	-	2	480	13	-	-
P65H10-P3	65	-	10	25	-	2	480	3	-	-
P65H10-P8	65	-	10	25	-	2	480	8	-	-
P65H10-P13	65	-	10	25	-	2	480	13	-	-
P70T20H20-P3	70	20	20	25	-	2	480	3	-	-

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนสารเคมีเพื่อผสมเป็นสารเคลือบผิว (ต่อ)

Materials	Polyurethane diol solution (ml)	TMPTMA (C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub> ) (ml)	HDDA (C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> )(ml)	Propyltrimethoxysilane (ml)	Water (g)	Maleic anhydride(g)	4 – Hydroxy anisole (mg)	Phenylbis (2,4,6-trimethyl benzoyl) Phosphine oxide (g)	Activated Carbon (g)	Styrene(ml)
P70T20H20-P5	70	20	20	25	-	2	480	5	-	-
P70T20H20-P7	70	20	20	25	-	2	480	7	-	-
P70T20H20-P10	70	20	20	25	-	2	480	10	-	-
P50T25H25-P3	50	25	25	25	-	2	480	3	-	-
P50T25H25-P3St10	50	25	25	25	-	2	480	3	-	10
P50T25H25-P3St20	50	25	25	25	-	2	480	3	-	20
P50T25H25-P3St30	50	25	25	25	-	2	480	3	-	30
P50T25H25-P3St40	50	25	25	25	-	2	480	3	-	40
P50T25H25-P3St50	50	25	25	25	-	2	480	3	-	50
P50T25H25-P3St10Ac1	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac2	50	25	25	25	-	2	480	3	2	10
P50T25H25-P3St10Ac3	50	25	25	25	-	2	480	3	3	10
P50T25H25-P3St10Ac4	50	25	25	25	-	2	480	3	4	10
P50T25H25-P3St10Ac1-1Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-2Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-3Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-4Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-5Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-6Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10
P50T25H25-P3St10Ac1-7Layer	50	25	25	25	-	2	480	3	1	10



## ภาคผนวก ข.

### K bar

ข้อมูลของ K bar การใช้งาน K bar และข้อมูลพื้นฐานของ K bar

#### ข.1 K bar

K bar หรือ K hand coater เป็นเครื่องมือที่ช่วยทำให้สารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เคลือบอยู่บนวัสดุที่ต้องการ เช่น พลาสติก แนนโลหะ แผ่นกระดาษ ฯลฯ โดยจะสามารถควบคุมความหนาของสารเคลือบผิวได้โดยการเลือกใช้ K bar หมายเลขต่างๆ การใช้ K bar นั้นใช้หลักการลากบนพื้นผิวเพียงแต่ครั้งเดียว K bar มีหมายเลขต่างๆ แต่ละหมายเลขจะให้ความหนาของการเคลือบผิวที่แตกต่างกัน [19] ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ตาราง K bar หมายเลขต่างๆ

Bar No.	Colour code	Wire diameter		Wet film deposit	
		ins.	mm.	Ins.	µm.
0	white	0.002	0.05	0.00015	4
1	Yellow	0.003	0.08	0.00025	5
2	Red	0.006	0.15	0.00050	12
3	Green	0.012	0.31	0.00100	24
4	Black	0.020	0.51	0.00150	40
5	Horn	0.025	0.64	0.00200	50
6	Orange	0.030	0.76	0.00250	60
7	Brown	0.040	1.00	0.00300	80
8	Blue	0.050	1.27	0.00400	100
9	Tan	0.060	1.50	0.00500	120

ที่มา: บริษัท R K Print Coat Instruments Ltd.

**ภาคผนวก ค.**  
**เครื่องฉายรังสียูวี**

ข้อมูลต่างๆ ของเครื่องฉายรังสียูวี ในเรื่องของ ความเร็ว พลังงาน เวลาที่ใช้

**ค.1 เครื่องฉายรังสียูวี**

เครื่องฉายรังสียูวีที่ใช้ในงานทดลองสามารถปรับใช้พลังงานได้ 3 ระดับ คือ Low, Midium และ High อีกทั้งยังสามารถปรับความเร็วได้ด้วย แสดงในตาราง ค. 1 [9]

**ตารางที่ ค.1** ตารางวัดค่าพลังงานรังสียูวี

ความเร็ว สายพาน (m/min)	เวลาที่ ชิ้นงานอยู่ ใต้หลอดยูวี (s)	กำลังไฟที่ใช้ Low		กำลังไฟที่ใช้ Midium		กำลังไฟที่ใช้ High	
		พลังงาน (mJ/cm <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ (°C)	พลังงาน (mJ/cm <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ (°C)	พลังงาน (mJ/cm <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ (°C)
4.80	1.325	288	32	672	33	956	36
6.72	0.916	189	32	459	33	655	34
8.64	0.738	146	32	370	33	466	34
10.56	0.602	106	32	281	33	380	33
12.48	0.509	96	32	239	33	337	32
14.40	0.441	82	32	192	32	296	32
16.32	0.389	72	32	171	32	261	32
18.24	0.348	63	32	154	32	241	32
20.16	0.315	57	32	140	32	207	32
22.08	0.238	52	31	132	32	186	32
24.00	0.265	47	31	121	32	179	32
25.92	0.245	44	31	109	32	164	32

## ภาคผนวก ง. การทดสอบสารเคลือบผิว

### ง.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกด หรือ ชูคขีดด้วยของแข็งวิธีการหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้กันทั่วไป คือ การทดสอบการชูคขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็ม

การทดสอบการชูคขีด ทำได้โดยการใช้เครื่องมือทดสอบการชูคขีด (Mechanized scratch test apparatus) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเลื่อนได้ในแนวนอน แผ่นเลื่อนนี้วางไว้ได้เข็มซึ่งตั้งฉากกับฟิล์ม เข็มยึดติดกับที่จับ เหนือที่จับเข็มขึ้นไปเป็นทิวางน้ำหนัก



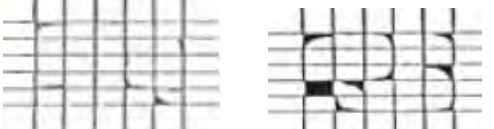
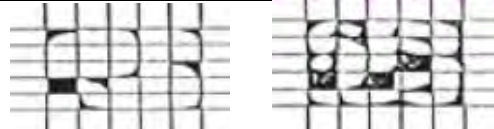


เมื่อจะทำการทดสอบ ก็ทำได้โดยนำแผ่นทดสอบซึ่งเคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว (แผ่นทดสอบควรเป็นแผ่นโลหะ) มายึดให้ติดแน่นกับแผ่นเลื่อนได้ของเครื่องมือ โดยให้ด้านยาวของแผ่นทดสอบขนานกับทิศทางของการขีด วางน้ำหนักบนที่วางเหนือเข็ม โดยเริ่มจากน้ำหนักที่น้อยกว่าน้ำหนักที่คาดว่าจะทำให้เกิดการแทงทะลุผิวเคลือบ ทดสอบต่อไปโดยเพิ่มน้ำหนักให้เหมาะสมจนกระทั่งเข็มแทงทะลุผิวเคลือบถึงแผ่นทดสอบ ทดสอบซ้ำโดยใช้น้ำหนักที่บนแผ่นทดสอบเดิม และแผ่นทดสอบใหม่ ความแข็งของฟิล์มของตัวอย่างทดสอบก็คือ น้ำหนักน้อยที่สุดที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ

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

## ง.2 การทดสอบความติดแน่น (Adhesion)

ทดสอบความติดแน่น (Adhesion) ด้วยวิธี cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D3359-95 Method B ดังแสดงในตารางที่ ง.1 ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบอกถึงระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ การหาความติดแน่นวิธีที่ง่ายที่สุดคือ ใช้ของมีคมขูดที่ผิวฟิล์ม ถ้าฟิล์มเปราะหรือมีแรงยึดเกาะกับพื้นผิวไม่ดี ฟิล์มก็จะเกิดการแตกในการทดสอบ ให้ใช้ของมีคมปาดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ บนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้นใช้แปรงขัดแผ่นทดสอบไปมาเบา ๆ 5 ครั้ง แล้วตรวจสอบดูว่า ผิวของฟิล์มบกร่องมากน้อยเพียงใด ถ้าไม่ใช้แปรงขัด อาจใช้เทปติดที่บริเวณรอยขูดให้สนิท แล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจสอบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์ม ถ้าไม่พบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์มเลยแสดงว่า ฟิล์มดังกล่าวมีความติดแน่นดีมาก

ตารางที่ ง.1 แสดงค่ามาตรฐานการยึดติดของแผ่นฟิล์ม

การยึดติด	การหลุดของฟิล์ม สารเคลือบผิว	ภาพแสดงการหลุดของฟิล์ม
5B	0%	
4B	น้อยกว่า 5%	
3B	5 – 15%	
2B	15 – 35%	
1B	35 – 65%	
0B	มากกว่า 65%	

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภาณุวัฒน์ ศรีหมอก เกิดเมื่อวันที่ 20 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพ (เทคนิคกรุงเทพ) เมื่อปีการศึกษา 2549 ทำงานที่บริษัท อาร์เอ็กซ์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด (RX manufacturing Co., Ltd.) เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2553