ผลของการทำคอโรนาต่อสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบพอลิโอเลฟินส์

นายปิติพงศ์ สมบูรณ์วิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-692-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CORONA TREATMENT ON ADHESION AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED POLYOLEFIN FILMS

Mr. Pitipong Somboonviwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-692-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการทำคอโรนาต่อสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบพอลิโอเลฟินส์
โดย	นาย ปิติพงศ์ สมบูรณ์วิวัฒน์
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. วรรณี ฉินศิริกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.วรรณี ฉินศิริกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดวงดาว อาจองค์)

นายปิติพงศ์ สมบูรณ์วิวัฒน์ : ผลของการทำคอโรนาต่อสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบพอลิโอเลฟินส์. (EFFECTS OF CORONA TREATMENT ON ADHESION AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED POLYOLEFIN FILMS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, อ. ที่ปรึกษาร่วม ดร. วรรณี ฉินศิริกุล, 156 หน้า. ISBN 974-346-692-4

งานวิจัยนี้พยายามสร้างความเข้าใจพื้นฐานของผลการทำคอโรนาที่มีต่อการทำฟิล์มประกบ และเสนอแนวทางการลดปริมาณการใช้กาวในการประกบฟิล์ม โดยเลือกศึกษาฟิล์มประกบ 2 ระบบ คือ 1) ฟิล์มประกบระหว่างพอลิพรอพิลีนที่มีการจัดเรียงตัวสองทิศทาง (Biaxially Oriented Polypropylene, BOPP) กับ ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และ 2) ฟิล์มประกบระหว่าง BOPP กับ ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE)

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของฟิล์มหลังจากการทำคอโรนา ด้วยเครื่อง XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) พบว่ามีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นบนผิวหน้าของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE นอกจากนี้ฟิล์มทั้ง 3 ชนิดยังมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า 3 เท่า และ 11 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์จาก XPS ยังพบว่ากาวที่ใช้ประกบฟิล์มจะยึดติดอยู่กับฟิล์ม BOPP ดีกว่า LDPE และ LLDPE สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลังจากการทำคอโรนา ฟิล์มจะมีรูพรุน (micropit) มากขึ้นโดยสังเกตจากความเข้มของภาพจาก AFM (Atomic Force Microscopy) ส่วนความขรุขระเฉลี่ย (Roughness average ,Ra) ของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE จะเพิ่มขึ้นในระดับนาโนสเกลประมาณ 40% 50% และ 20% ตามลำดับ การประกบฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 40 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร เป็นเวลาน้อยกว่า 10 วินาที ตามกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีกาวพอลิอีเทอร์ยูรีเทน (Polyether urethane) เป็นตัวประสาน (primer) พบว่าฟิล์มประกบที่ได้รับการปรับผิวหน้าจะมีแรงยึดติดกันได้ดี โดยฟิล์มประกบ BOPP/LDPE มีค่าความต้านแรงลอก (Peel strength) ในช่วง 70 ถึง 550 กรัม/15 มิลลิเมตร ส่วนฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE มีค่าความต้านแรงลอกอยู่ในช่วง 300 ถึง 780 กรัม/15 มิลลิเมตร นอกจากนี้การลดความหนาของกาวจาก 20 ไมครอน เป็น 5 ไมครอน เพื่อใช้สำหรับการประกบฟิล์มยังคงให้ค่าความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ ทั้ง 2 ชนิด ไม่ต่ำกว่า 200 กรัม/15 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดสำหรับแรงยึดติดของฟิล์มประกบในอุตสาหกรรม สำหรับสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE และ BOPP/LLDPE จะมีค่าโมดูลัสและค่าความเค้นที่จุดขาดในแนว TD มากกว่าในแนว MD ประมาณ 100% ในทางกลับกันค่าความเครียดที่จุดขาดและความเหนียว ในแนว MD จะมากกว่าแนว TD ประมาณ 200% สำหรับ BOPP/LDPE และ 100% สำหรับ BOPP/LLDPE ในกรณีของฟิล์มที่ไม่มีแรงยึดติดกันเมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลจะพบการแยกชั้นของฟิล์ม (Delamination) เกิดขึ้นด้วย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172358823: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: CORONA TREATMENT /LAMINATION / POLYOLEFIN FILMS

PITIPONG SOMBOONVIWAT: EFFECTS OF CORONA TREATMENT ON ADHESION AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYOLEFIN FILMS.THESIS ADVISER: ASSOC. PROF. DR. WERASAK UDOMKICHDECHA. THSIS CO ADVISER: DR. WANNEE CHINSIRIKUL156 pp. ISBN 974-346-692-4

Major objectives of this thesis were two fold: 1) to develop basic understanding of corona treatment on packaging films as well as its effect on the successive lamination process, and 2) to investigate whether the amount of currently used adhesive (primer) and solvent (i.e., ethyl acetate) could be reduced. Two polymer films systems of BOPP/LDPE and BOPP/LLDPE laminates were studied.

Characterization of chemical changes after corona treatment carried out by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) revealed that oxidation reaction occurred on film's surfaces. XPS results also showed that adhesives used tended to better adhere on BOPP films as evidenced by adhesive trace existing on the BOPP surface after peel. This observation was also supported by SEM micrograph of the peeled BOPP/PE samples. Physical changes analyzed by AMF (Atomic Force Microscopy) represented micropits on BOPP, LDPE and LLDPE films' surfaces after corona treatment, where increases on films' surface roughness in nanoscale were 40%, 50% and 20%, respectively. Selected primer, Poly(ether urethane) was coated on BOPP's surface followed by industrially used lamination process of 40°C , 40 kg/cm^2 pressure and for less than 10 seconds. It was clear that corona treatment obviously showed significant improvement in adhesive bonding in laminated films. Obtained peel strengths were in a range of 70 to 550 g/15 mm for BOPP/LDPE and 300 to 780 g/15 mm for BOPP/LLDPE. The quantity of primer and solvent was reduced through minimizing thickness of the primer from 20 μm to 5 μm. Both laminated films of BOPP/LDPE and BOPP/LLDPE with 5 μm primer thick still showed high peel strength which are within or even exceed the industrially required value of 200 g/15mm. Modulus and stress at break of BOPP/LDPE and BOPP/LLDPE in TD were approximately 100% higher than those in MD. In contrast, MD strain at break and toughness of both laminates were approximately 200% and 100% higher than those in TD. In the case of films with no corona treatment, poor adhesive bonding was observed together with delamination occurring upon mechanical testing.

Department Materials Science Student's signature.....

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

Academic year 2000 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณ รศ. ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. วรรณี ฉินศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร รศ. ไพพรรณ สันติสุข และ อ. ดร. ดวงดาว อาจองค์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ แนวคิดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สำหรับ ฟิล์มพลาสติก ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการวิจัยนั้นได้รับมาจาก บริษัท เอ เจ พลาสท์ มหาชน จำกัด อนุเคราะห์ฟิล์ม BOPP บริษัท สตรองแพค จำกัด อนุเคราะห์ฟิล์ม LLDPE และ บริษัท ยูนิเวอร์ส แพ็ค จำกัด อนุเคราะห์ฟิล์ม LDPE จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง FACE CONTACT ANGLEMETER ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง XPS บริษัท มินีแบ ไทย จำกัด อนุเคราะห์การใช้เครื่อง AFM บริษัท ไดนิปปอน หมึกพิมพ์และเคมี (ไทย) จำกัด ให้ความอนุเคราะห์กาวพอลิอีเทอร์ยูรีเทนที่ใช้ในการวิจัย และคำปรึกษาทางเทคนิคต่างๆ รวมทั้ง บริษัท ค้าเคมีภัณฑ์สยาม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และมิตรสหายทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธ์ประสาทวิชาการทั้งหลายให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทัศน์ 4

2.1 ฟิล์มพลาสติกในงานบรรจุภัณฑ์ 4

2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 5

2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น 6

2.1.3 พอลิพรอพิลีน 8

2.2 กระบวนการผลิตฟิล์ม 10

2.2.1 การเปลี่ยนรูปเม็ดพลาสติกให้เป็นพลาสติกเหลวด้วยเครื่องอัดรีด 10

2.2.2 การเปลี่ยนรูปพลาสติกเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบาง 11

2.3 การประกบ 16

2.3.1 การประกบโดยการใช้กาว 16

2.3.2 การประกบโดยการอัดรีด 18

2.4 สารยึด 19

2.5 การยึดติด 23

2.5.1 การเชื่อมติดเชิงกล 23

2.5.2 ทฤษฎีทางอิเล็กตรอน 25

2.5.3 ทฤษฎีการดูดกลืน 26

2.5.4 ทฤษฎีชั้นที่มีแรงยึดติดต่ำและรอยต่อของผิวสัมผัส 27

2.6 การปรับผิวหน้า 28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

2.6.1 การปรับผิวหน้าด้วยเปลวไฟ 29
2.6.2 การปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 30
2.6.3 การปรับผิวหน้าด้วยวิธีพลาสมา 32
2.7 การวิเคราะห์พื้นผิว 33
2.7.1 การวิเคราะห์มุมสัมผัส 34
2.7.2 X-ray Photoelectron Spectroscopy 36
2.7.3 Atomic Force Microscopy 38
2.8 แท่งเคลือบ 40
2.9 ความต้านแรงลอก 41
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42
3 การทดลอง 45
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 45
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 47
3.3 วิธีทำการทดลอง 48
3.3.1 การออกแบบการทดลอง 48
3.3.2 การปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 51
3.3.3 การวิเคราะห์แรงดึงผิวเปียกจากมุมสัมผัส 51
3.3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของฟิล์ม 52
3.3.5 การประกบฟิล์ม 53
3.3.6 การทดสอบความต้านแรงลอก 55
3.3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล 56
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 57
4.1 การวัดค่ามุมสัมผัส 57
4.1.1 การหาค่าพลังงานที่เหมาะสมในการทำคอโรนาเพื่อปรับผิวหน้าฟิล์ม 57
4.1.2 ผลการปรับผิวหน้าต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์ม 60
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของฟิล์ม 63
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของฟิล์ม 67

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังการปรับผิวหน้าฟิล์มโดยการทำคอโรนา 67
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของฟิล์มหลังจากเคลือบกาว 73
4.4 ความต้านแรงลอก 76
4.4.1 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE 76
4.4.2 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE 78
4.5 สมบัติเชิงกล 81
4.5.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 81
4.5.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE 84
4.5.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE 92
4.6 ผลจากการตรวจสอบด้วย SEM 102
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 105
5.1 สรุปผลการทดลอง 105
5.2 ข้อเสนอแนะ 109
รายการอ้างอิง 111
ภาคผนวก 113
ภาคผนวก ก 114
ภาคผนวก ข 117
ภาคผนวก ค 120
ภาคผนวก ง 132
ประวัติผู้วิจัย 156

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของฟิล์ม BOPP LDPE LLDPE 9
ตารางที่ 2.2 ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของธาตุต่างๆในแต่ละระดับพลังงาน 38
ตารางที่ 3.1 สมบัติเบื้องต้นของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด 46
ตารางที่ 3.2 สมบัติเบื้องต้นของสารยึด LX-770 และ KJ-75A 46
ตารางที่ 3.3 สมบัติเบื้องต้นของเอทิลแอซีเทตทางการค้า 47
ตารางที่ 3.4 การเตรียมฟิล์มประกบ 49
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการปรับผิวหน้ากับมุมสัมผัส 59
ตารางที่ 4.2 แรงตึงผิวเปียกของฟิล์มที่ผ่านการปรับผิวหน้าที่มีพลังงานต่างๆกัน 59
ตารางที่ 4.3 มุมสัมผัสของการปรับผิวหน้าโดยการทำคอโรนาลักษณะต่างๆ 60
ตารางที่ 4.4 แรงตึงผิวเปียกของการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนาลักษณะต่างๆ 61
ตารางที่ 4.5 ค่าความขรุขระเฉลี่ยจากการปรับผิวหน้าโดยการทำคอโรนา 63
ตารางที่ 4.6 ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนและออกซิเจนของฟิล์ม BOPPทั้ง 4 ลักษณะ. 69
ตารางที่ 4.7 ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนและออกซิเจนของฟิล์ม LDPE ทั้ง 4 ลักษณะ 70
ตารางที่ 4.8 ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนและออกซิเจนของฟิล์ม LLDPE ทั้ง 4 ลักษณะ71
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวและหมู่ฟังก์ชัน 72
ตารางที่ 4.10 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 และ60 77
ตารางที่ 4.11 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 และ60 79
ตารางที่ 4.12 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 82
ตารางที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 91
ตารางที่ 4.14 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 60 92
ตารางที่ 4.15 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 100
ตารางที่ 4.16 สมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 60 101

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้พลาสติกในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา 1

รูปที่ 2.1 ปริมาณการใช้พลาสติกแต่ละชนิดในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ตั้งแต่ 1997-2000 5

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 5

รูปที่ 2.3 กิ่งที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 6

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน 8

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน 8

รูปที่ 2.6 เครื่องอัดรีด 10

รูปที่ 2.7 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยลูกกลิ้งเย็น 12

รูปที่ 2.8 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยน้ำหล่อเย็น 12

รูปที่ 2.9 กระบวนการทำการจัดเรียงตัวของฟิล์มแบบ 1 ขั้นตอน 13

รูปที่ 2.10 กระบวนการทำการจัดเรียงตัวของฟิล์มแบบ 2 ขั้นตอน 14

รูปที่ 2.11 กระบวนการเป่าฟิล์ม 15

รูปที่ 2.12 การประกบแบบเปียก 17

รูปที่ 2.13 การประกบแบบแห้ง 18

รูปที่ 2.14 การประกบโดยการหลอมอัดรีด 18

รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทน 19

รูปที่ 2.16 การเกิดอะโลโฟเนต 20

รูปที่ 2.17 ส่วนที่แข็งและส่วนที่อ่อนตัวได้ในโมเลกุลของกาวพอลิยูรีเทน 21

รูปที่ 2.18 การเกิดพันธะโควาเลนท์กับพื้นผิวที่มีแอกทีฟไฮโดรเจน 22

รูปที่ 2.19 ผิวหน้าที่หยาบสามารถเกิดการเชื่อมติดเชิงกล 24

รูปที่ 2.20 ตารางผลการทดลองของ Arrowsmith 24

รูปที่ 2.21 การเกิดแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนระหว่างผิวสัมผัส 25

รูปที่ 2.22 ผิวหน้าของพอลิเมอร์ที่ต้องการปรับผิวหน้าเพื่อเพิ่มแรงยึดติด 29

รูปที่ 2.23 แบบจำลองเครื่องปรับผิวหน้าด้วยเปลวไฟ 30

รูปที่ 2.24 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการทำคอโรนา 31

รูปที่ 2.25 แบบจำลองการทำงานของเครื่องคอโรนา 32

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 แบบจำลองเครื่องปรับผิวหน้าด้วยการทำพลาสมา 33
รูปที่ 2.27 การวัดค่ามุมสัมผัสสูงสุดและมุมสัมผัสต่ำสุด 35
รูปที่ 2.28 การเกิดโฟโตอิเล็กตรอน 37
รูปที่ 2.29 แผนภาพการทำงานของเครื่อง AFM 39
รูปที่ 2.30 แท่งเคลือบ 40
รูปที่ 2.31 ภาคตัดขวางของแท่งเคลือบที่มีกาวอยู่ระหว่างช่องว่างของขดลวด 41
รูปที่ 2.32 การทดสอบความต้านแรงลอก 90 องศา และ 180 องศา 41
รูปที่ 2.33 ลักษณะอนุภาคคล้ายหยดน้ำของฟิล์มโอพีพี 43
รูปที่ 2.34 ลักษณะอนุภาคคล้ายหยดน้ำของฟิล์มบีโอพีพี 43
รูปที่ 3.1 แผนภาพแผนการทดลอง 50
รูปที่ 3.2 เครื่อง Corona Generator 6010 51
รูปที่ 3.3 เครื่อง Face Contact Anglemeter Model CA-DT•A 52
รูปที่ 3.4 เครื่อง X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) JPS-9000EX 53
รูปที่ 3.5 การประกบฟิล์ม BOPP กับ PE 54
รูปที่ 3.6 เครื่องอัดร้อน (Hot Press LP-S-20) 54
รูปที่ 3.7 แท่งเคลือบเบอร์ 12 และ 60 55
รูปที่ 3.8 เครื่อง Instron universal testing machine 4502 55
รูปที่ 3.9 ลักษณะชิ้นทดสอบของการหาความต้านแรงลอก 56
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการปรับผิวหน้ากับมุมสัมผัส 58
รูปที่ 4.2 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม BOPP ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 64
รูปที่ 4.3 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม BOPP ที่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 64
รูปที่ 4.4 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม LDPE ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 65
รูปที่ 4.5 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม LDPE ที่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 65
รูปที่ 4.6 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม LLDPE ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 66
รูปที่ 4.7 ภาพจาก AFM ของฟิล์ม LLDPE ที่ผ่านการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 66
รูปที่ 4.8 กราฟ XPS ของ BOPP a) ฟิล์ม BOPP ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้า b) ฟิล์ม BOPP ที่ปรับผิวหน้า 1 ครั้ง c) ฟิล์ม BOPP ที่ปรับผิวหน้าแบบ CP d) ฟิล์ม BOPP ที่ปรับผิวหน้าจากโรงงาน 69

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 กราฟ XPS ของ LDPE a) ฟิล์ม LDPE ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้า b) ฟิล์ม LDPE ที่ปรับผิวหน้า 1 ครั้ง c) ฟิล์ม LDPE ที่ปรับผิวหน้าแบบ CP d) ฟิล์ม LDPE ที่ปรับผิวหน้าจากโรงงาน 68

รูปที่ 4.10 กราฟ XPS ของ LLDPE a) ฟิล์ม LLDPE ที่ไม่ผ่านการปรับผิวหน้า b) ฟิล์ม LLDPE ที่ปรับผิวหน้า 1 ครั้ง c) ฟิล์ม LLDPE ที่ปรับผิวหน้าแบบ CP d) ฟิล์ม LLDPE ที่ปรับผิวหน้าจากโรงงาน 70

รูปที่ 4.11 กราฟ XPS ของฟิล์มที่ดึงลอกออกจากการประกบ a) ฟิล์ม BOPP ที่ประกบกับฟิล์ม LDPE b) ฟิล์ม LDPE ที่ประกบกับฟิล์ม BOPP c) ฟิล์ม BOPP ที่ประกบกับฟิล์ม LLDPE d) ฟิล์ม LLDPE ที่ประกบกับฟิล์ม BOPP 74

รูปที่ 4.12 กราฟ XPS ของฟิล์มพอลิอีเทอร์ยูรีเทนทางการค้าทั้ง 2 ชนิด คือ Biomer และ Pellethane 74

รูปที่ 4.13 กราฟ XPS ของฟิล์ม LDPE ที่ปรับผิวหน้าจากโรงงาน (a) ฟิล์ม LDPE ที่ถูกดึงลอกออกจากการประกบกับฟิล์ม BOPP โดยมีกาวเป็นตัวประสาน (b) ฟิล์ม LDPE ที่ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนาจากโรงงาน 75

รูปที่ 4.14 ปฏิกิริยาระหว่างกาวกับผิวหน้าฟิล์ม 75

รูปที่ 4.15 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 และ 60 78

รูปที่ 4.16 ความต้านแรงลอกของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE ที่ใช้ Bar coater เบอร์ 12 และ 60 79

รูปที่ 4.17 ค่าโมดูลัสของ Young ของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 82

รูปที่ 4.18 ค่าความเค้นที่จุดขาด ของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 83

รูปที่ 4.19 ค่าความเครียดที่จุดขาด ของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 83

รูปที่ 4.20 ค่าความเหนียว ของฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE 84

รูปที่ 4.21 ค่าโมดูลัสของ Young ของฟิล์มประกบ BOPP/ LDPE 85

รูปที่ 4.22 คาความเค้นที่จุดขาด ของฟิล์มประกบ BOPP/ LDPE 86

รูปที่ 4.23 ค่าความเครียดที่จุดขาด ของฟิล์มประกบ BOPP/ LDPE 87

รูปที่ 4.24 ค่าความเหนียว ของฟิล์มประกบ BOPP/ LDPE 88

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25 กราฟการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LDPE ที่เกิด Delmaination 90

รูปที่ 4.26 ค่าโมดูลัสของ Young ของฟิล์มประกบ BOPP/ LLDPE 94

รูปที่ 4.27 ค่าความเค้นที่จุดขาด ของฟิล์มประกบ BOPP/ LLDPE 95

รูปที่ 4.28 ค่าความเครียดที่จุดขาด ของฟิล์มประกบ BOPP/ LLDPE 96

รูปที่ 4.29 ค่าความเหนียว ของฟิล์มประกบ BOPP/ LLDPE 97

รูปที่ 4.30 กราฟการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มประกบ BOPP/LLDPE ที่เกิด Delmaination 98

รูปที่ 4.31 พื้นผิวฟิล์ม BOPP ที่ถูกดึงลอกจากฟิล์ม LDPE 103

รูปที่ 4.32 พื้นผิวฟิล์ม LDPE ที่ถูกดึงลอกจากฟิล์ม BOPP 103

รูปที่ 4.33 พื้นผิวฟิล์ม BOPP ที่ถูกดึงลอกจากฟิล์ม LLDPE 104

รูปที่ 4.34 พื้นผิวฟิล์ม LLDPE ที่ถูกดึงลอกจากฟิล์ม BOPP 104