บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. ฟิล์ม BOPP ที่ทำการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 1 ด้าน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอ เจ พลาสท์ มหาชน จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1
2. ฟิล์ม BOPP ที่ไม่ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอ เจ พลาสท์ มหาชน จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1
3. ฟิล์ม LDPE ที่ทำการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 1 ด้าน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ยูนิเวอร์ส แพ็ค จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1
4. ฟิล์ม LDPE ที่ไม่ปรับผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ยูนิเวอร์ส แพ็ค จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1
5. ฟิล์ม LLDPE ที่ทำการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 1 ด้าน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สตรองแพ็ค จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1
6. ฟิล์ม LLDPE ที่ไม่ปรับผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สตรองแพ็ค จำกัด มีสมบัติตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติเบื้องต้นของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

สมบัติ*	ชนิดของฟิล์ม		
	BOPP	LDPE	LLDPE
ความหนา (ไมครอน)	20	70	50
แรงตึงผิวเปียกก่อนการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา (ดายน์/เซ็นติเมตร)	32 ± 1	31 ± 1	35 ± 1
แรงตึงผิวเปียกหลังการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา (ดายน์/เซ็นติเมตร)	>46	38 ± 1	41 ± 1

*ค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลอง

7. สารยึด (Primer) ประเภทพอลิอีเทอร์-พอลิยูรีเทน (Polyether-Polyurethane) เกรด DICDRY LX-770 และ KJ-75A จากบริษัท ไดนิปปอน หมึกพิมพ์และเคมี(ไทย) มีสมบัติเบื้องต้นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติเบื้องต้นของสารยึด LX-770 และ KJ-75A

สมบัติ	LX-770A	KJ-75A
ปริมาณของแข็ง	75 ±1.5 %	75 ±1.0 %
ความหนืด (เซ็นติพอยส์)	5000 ~ 7000	800 ~ 2000
ตัวทำละลายที่ผสมอยู่	เอทิลแอซีเทต	เอทิลแอซีเทต

8. เอทิลแอซีเทต เกรดทางการค้า (Commercial grade) มีสมบัติดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติเบื้องต้นของเอทิลแอซีเทตเกรดทางการค้า

สมบัติ	เอทิลแอซีเทตเกรดทางการค้า
สี	ไม่มีสี
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	-4
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	77
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	-83
ความหนาแน่น (กรัม/เซนติเมตร^3)	0.9

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดลอง วิเคราะห์และทดสอบ มีดังนี้

	แบบ/รุ่น	ผู้ผลิต
1. Corona Generator	6010	SOFTAL
2. Face Contact Anglemeter	CA-DT•A	KYOWA
3. Hot Press	LP-S-20	LABTECH
4. Bar coater no.12 ,no.60	-	-
5. Atomic Force Microscopy (AFM)	JSPM-42000	JEOL
6. X-ray Photoelectron spectroscopy (XPS)	JPS-9000EX	JEOL
7. Scanning Electron Microscopy (SEM)	JSM-6301F	JEOL
8. Instron Universal Testing Machine	4502	INSTRON
9. Micrometer	-	Mitutoyo
10. เครื่องเป่าลมร้อน	-	-

3.3 วิธีทำการทดลอง

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

1. นำฟิล์มทั้ง 3 ชนิดก่อนการทำคอโรนามาตรวจสอบผิวหน้าด้วย AFM, XPS และ Face Contact Anglemeter เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และ แรงตึงผิวเปียกของฟิล์มก่อนการทำคอโรนา

2. นำฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมาปรับผิวหน้าโดยการทำคอโรนา ด้วยพลังงานของการปรับผิวหน้าต่างๆดังนี้ 100, 150, 200, 250 และ 300 วัตต์ เพื่อหาค่าแรงตึงผิวเปียก (Wetting Tension) ที่เหมาะสม (ประมาณ 38 ดายน์/เซนติเมตร)

3. เมื่อได้พลังงานในการทำคอโรนาที่เหมาะสมสำหรับฟิล์มแต่ละชนิดจากการทดสอบค่าแรงตึงผิวเปียกแบ่งฟิล์มทั้ง 3 ชนิดออกเป็น 5 ส่วน เพื่อปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาต่างๆกันดังนี้
   - ส่วนที่ 1 ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 1 ครั้ง
   - ส่วนที่ 2 ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 2 ครั้ง (ในทิศทางเดียวกัน)
   - ส่วนที่ 3 ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา 2 ครั้ง ในทิศทางตั้งฉากกัน เรียกว่า Cross-Pattern (CP)
   - ส่วนที่ 4 ไม่ปรับผิวหน้า
   - ส่วนที่ 5 ปรับผิวหน้าโดยโรงงานผู้ผลิตฟิล์ม

4. นำฟิล์มที่ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนามาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และ แรงตึงผิวเปียกด้วย AFM, XPS และ Face Contact Anglemeter เหมือนในขั้นตอนที่ 2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนา

5. นำฟิล์ม BOPP LDPE และ LLDPE ที่ปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนาวิธีเดียวกันมาประกบกันดังตารางที่ 3.4 โดยการใช้แท่งเคลือบ (Bar coater) เบอร์ 12 ในการเคลือบกาวลงบนฟิล์ม BOPP แล้วจึงนำไปประกบกับฟิล์ม LDPE หรือ LLDPE

ตารางที่ 3.4 การเตรียมฟิล์มประกบ

BOPP	PE*
ไม่ปรับผิวหน้า	ไม่ปรับผิวหน้า
ปรับผิวหน้า 1 ครั้ง	ปรับผิวหน้า 1 ครั้ง
ปรับผิวหน้า 2 ครั้ง	ปรับผิวหน้า 2 ครั้ง
ปรับผิวหน้าแบบ CP	ปรับผิวหน้าแบบ CP
ปรับผิวหน้าจากโรงงาน	ปรับผิวหน้าจากโรงงาน

*หมายถึง LDPE และ LLDPE

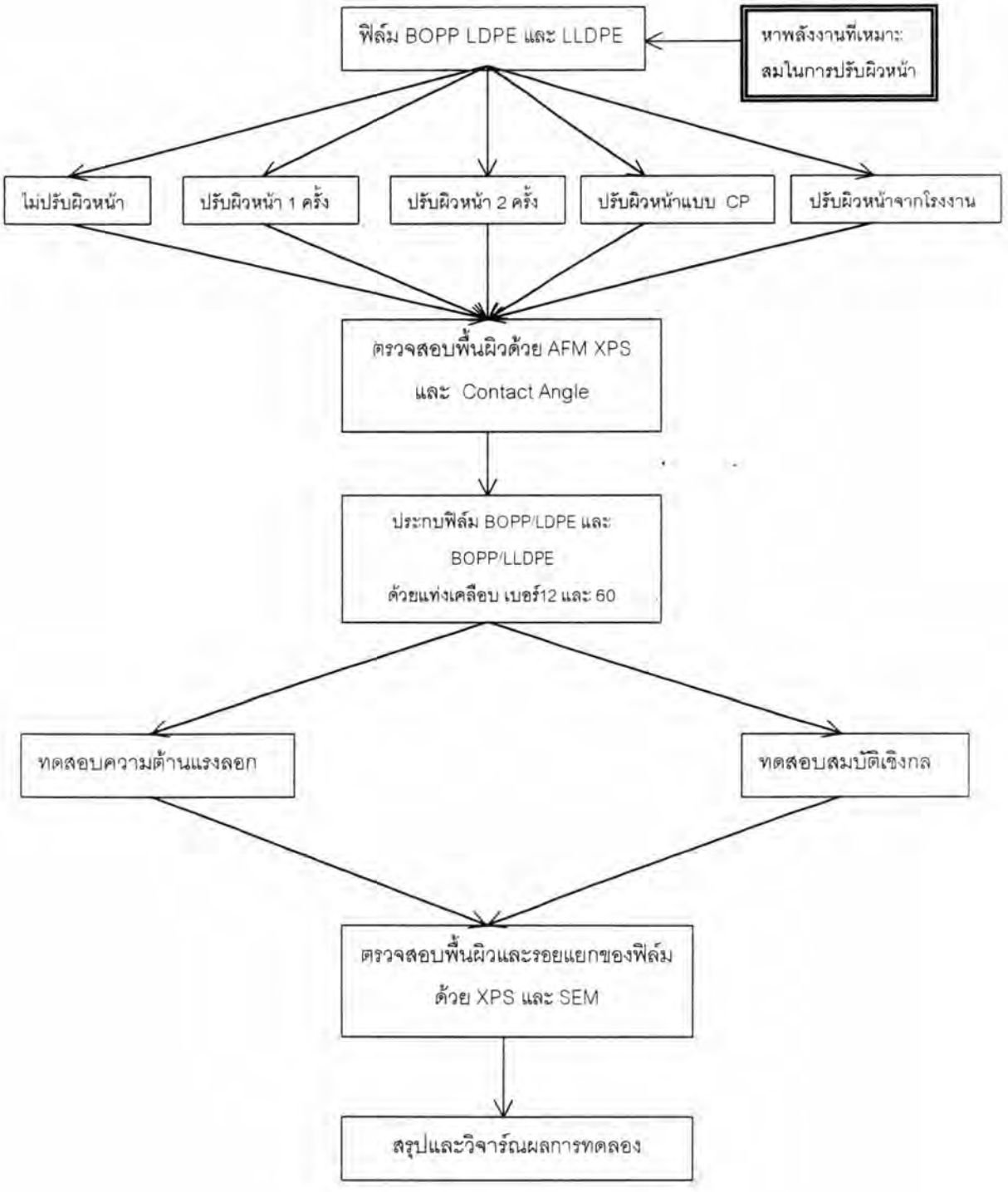
6. นำฟิล์มประกบมาหาค่าความต้านแรงลอก (Peel Strength) และ สมบัติเชิงกล (Mechanical Property) เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับผิวหน้าด้วยการทำคอโรนาที่มีต่อสมบัติทั้งสอง

7. นำฟิล์มประกบ BOPP/LDPE และ BOPP/LLDPE ที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงลอกแล้วมาตรวจสอบผิวหน้าด้วยเครื่อง XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) เพื่อศึกษากลไกการยึดติดระหว่างฟิล์มกับกาว

8. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 – 5 โดยเปลี่ยนแท่งเคลือบเป็นเบอร์ 60

9. นำตัวอย่างจากข้อ 6 และ 8 มาตรวจสอบรอยแยก (Fracture analysis) ด้วย SEM เพื่อดูลักษณะการแยกตัวของกาวจากฟิล์ม

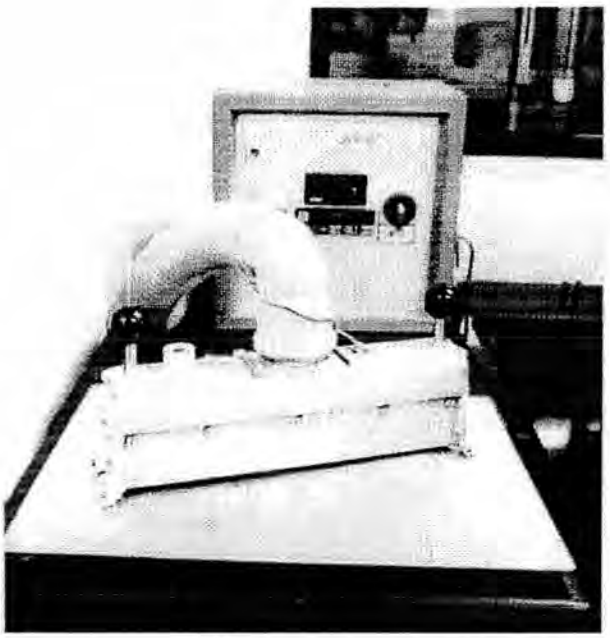
10. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนภาพแผนการทดลอง

3.3.2 การปรับผิวหน้าฟิล์มด้วยการทำคอโรนา

1. นำฟิล์มพลาสติกขนาด 6 นิ้ว x 12 นิ้วที่สะอาดมายึดติดบนแผ่นอลูมิเนียมโดยใช้เทปกาว
2. เปิดสวิตช์ให้เครื่องคอโรนาเริ่มทำงาน จัดตำแหน่งของหัวปล่อยประจุไฟฟ้า (Station) ให้อยู่ในตำแหน่งที่จะเริ่มปรับผิวหน้า
3. ตั้งค่าพลังงานปรับผิวหน้าไว้ตามที่ต้องการ ได้แก่ 100 150 200 250 และ 300 วัตต์
4. ลากหัวปล่อยประจุผ่านฟิล์มด้วยความเร็วสม่ำเสมอ (ประมาณ 0.22 เมตร/นาที)



รูปที่ 3.2 เครื่อง Corona Generator 6010

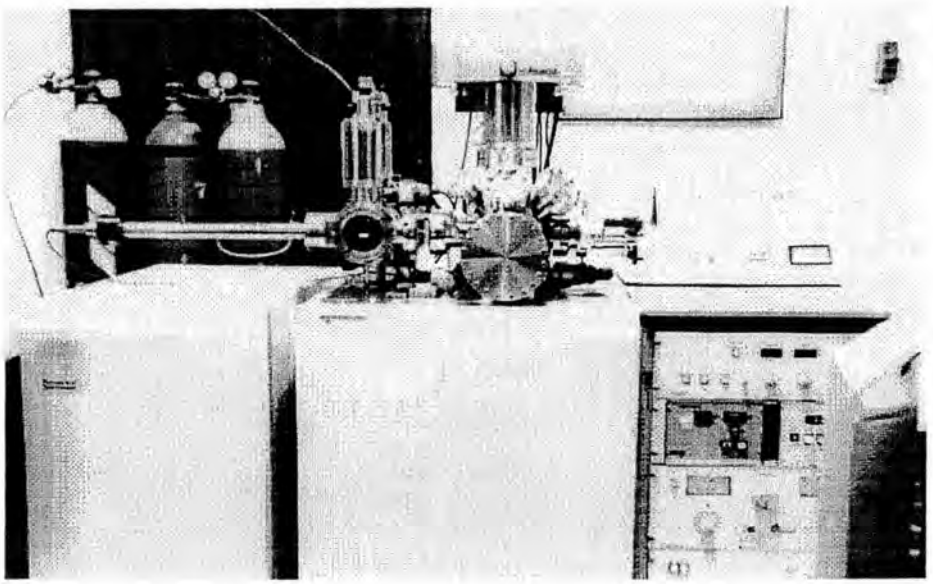
3.3.3 **การวิเคราะห์แรงตึงผิวเปียก** (Wetting Tension) **จากมุมสัมผัส** (Contact Angle) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5946 ด้วยเครื่อง Face Contact Anglemeter Model CA-DT•A ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยทำการวัดมุมสัมผัสทั้งด้านซ้ายและขวาของหยดน้ำรวมทั้งหมด 5 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัส จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับตารางในภาคผนวกของ ASTM D5946 เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าแรงตึงผิวเปียก

รูปที่ 3.3 เครื่อง Face Contact Anglemeter Model CA-DT●A

3.3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของฟิล์ม

3.3.4.1 การตรวจสอบความขรุขระบนพื้นผิว (Surface Roughness) โดยใช้เครื่อง Atomic Force Microscopy (AFM) รุ่น JSPM-42000 โดยใช้ AC mode พื้นที่ในการสแกน 10 ตารางไมครอน สแกนหลายตำแหน่งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

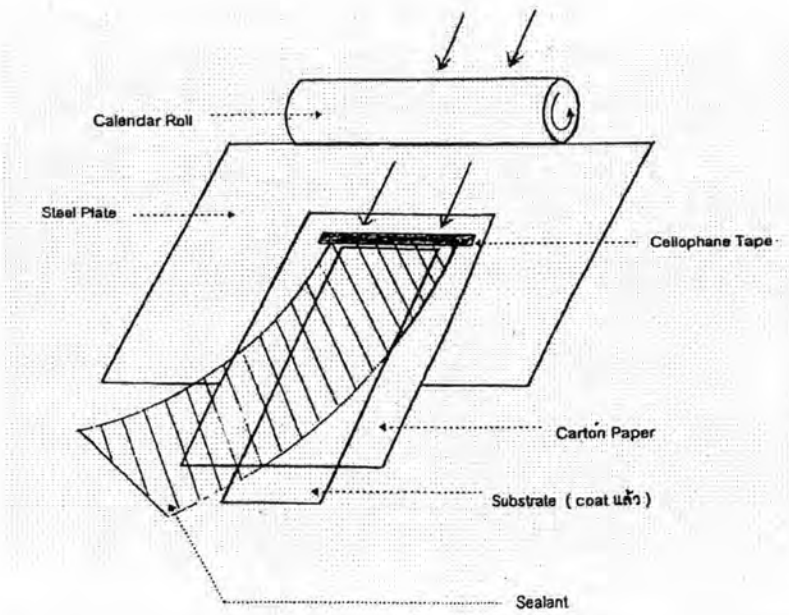
3.3.4.2 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้เครื่อง X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) JPS-9000EX ดังรูปที่ 3.4 โดยมี X-ray MgKα เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ศักย์การเร่ง (Accelerating Voltage) 10 กิโลวัตต์ กระแส (Emission Current) 10 มิลลิแอมแปร์ พื้นที่การวิเคราะห์เป็นรูปวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร



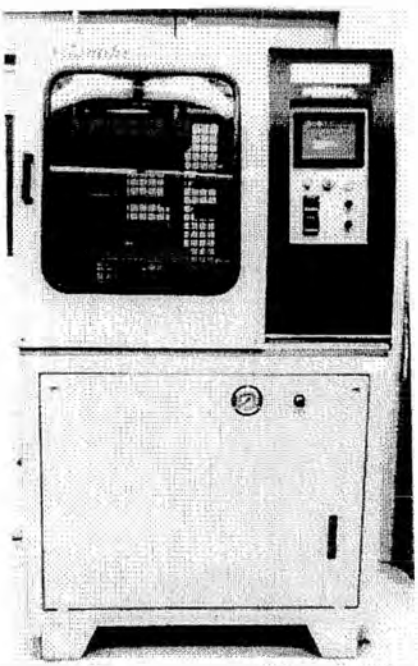
รูปที่ 3.4 เครื่อง X-ray Photoelectron spectroscopy (XPS) JPS-9000EX

3.3.5 การประกบฟิล์ม

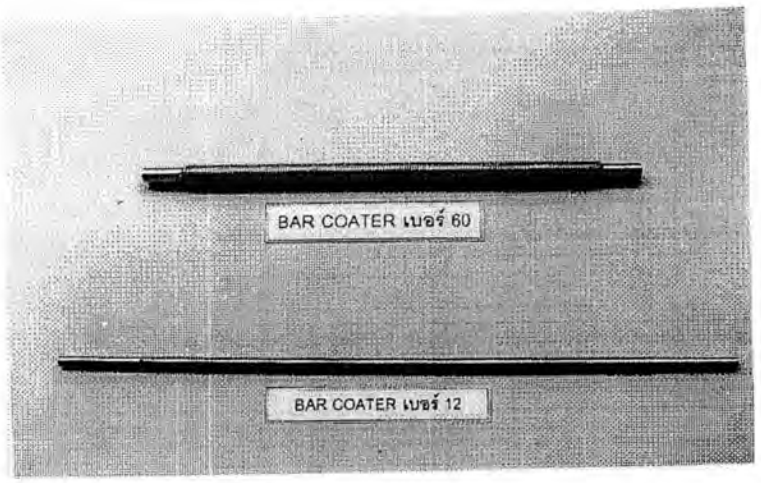
1. นำฟิล์ม BOPP วางบนวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มพอสมควร เช่น แผ่นยาง
2. เทกาวที่ผสมด้วยอัตราส่วนของ LX-770:KJ-75A:Ethyl acetate 1:1:4 ลงบนพื้นผิวของ BOPP
3. ทากาวโดยใช้แท่งเคลือบ (Bar coater) เบอร์ 12 เคลือบกาวตลอดความยาวของฟิล์ม ทำให้ได้ชั้นกาวที่มีความหนาประมาณ 5 ไมครอน
4. ระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องเป่าลมร้อน เป็นระยะเวลา 30 วินาที
5. นำฟิล์มพอลิเอทิลีน (LDPE และ LLDPE) มาประกบโดยวางฟิล์มบนแผ่นรอง (sheet plate) ที่มีความนุ่มพอสมควรใช้ลูกกลิ้งผิวเรียบ (Calender roll) ช่วยในการประกบ ดังรูปที่ 3.5
6. นำฟิล์มที่ประกบแล้วไปอัดให้แน่นอีกครั้งด้วยเครื่องอัดร้อน (Hot Press LP-S-20) ดังรูปที่ 3.6 ด้วย อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 40 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร เป็นเวลา 6 วินาที
7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 อีกครั้ง แต่เปลี่ยนแท่งเคลือบเป็นเบอร์ 60 (รูปที่ 3.7) เพื่อเปลี่ยนความหนาของชั้นกาว จาก 5 ไมครอนเป็น 20 ไมครอน



รูปที่ 3.5 การประกบฟิล์ม BOPP กับ PE

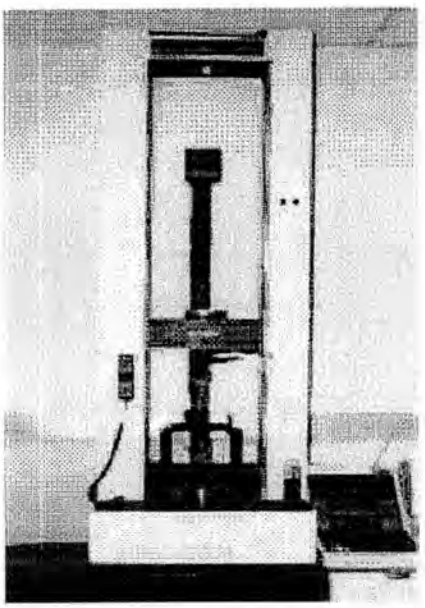


รูปที่ 3.6 เครื่องอัดร้อน (Hot Press LP-S-20)

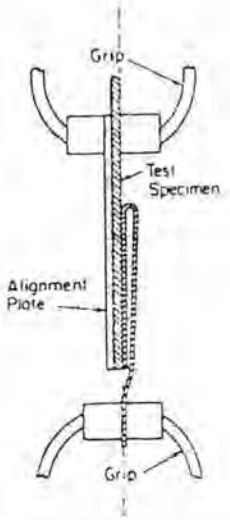


รูปที่ 3.7 แท่งเคลือบเบอร์ 12 และเบอร์ 60

3.3.6 การหาความต้านแรงลอก (Peel Strength) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 903 ด้วยเครื่อง Instron Universal Testing Machine MODEL 4502 (รูป 3.8) ใช้ Load Cell ขนาด 100 นิวตัน ลักษณะของชิ้นทดสอบแสดงในรูป 3.9 โดยเตรียมทั้งหมด 5 ชิ้น การทดสอบใช้อัตราเร็วในการดึง 152 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 3.8 เครื่อง Instron universal testing machine 4502



รูปที่ 3. 9 ลักษณะชิ้นทดสอบการหาความต้านแรงลอก

3.3.7 **การทดสอบสมบัติเชิงกล** ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วยเครื่อง Instron universal testing machine MODEL 4502 ดังรูปที่ 3.8 ใช้ Load cell ขนาด 100 นิวตัน ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 12.5 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ทั้งตามแนวเครื่อง (Machine Direction :MD) และแนวขวางเครื่อง (Transverse Direction :TD) แนวละ 5 ชิ้น ระยะ guage length 50 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที สมบัติที่ทดสอบได้แก่ ค่าโมดูลัสของ Young (Young's Modulus) ค่าความเค้นที่จุดขาด (Stress at Break) ค่าความเครียดที่จุดขาด (Strain at Break) และ ค่าความเหนียว (Toughness)