บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้คือ

3.1.1 Universal Tensile Testing Machine รุ่น Strograph E-S

3.1.2 Universal Tensile Testing Machine รุ่น Instron 5583

3.1.1 Micrometer รุ่น Teclock Corporation

3.1.4 Differential Scanning Calorimetry (DSC) รุ่น Netzsch DSC 200

3.1.5 Heat Sealer Tester รุ่น TP-701-B

3.2 วัตถุดิบ

ในการวิจัยจะใช้ฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่มีส่วนประกอบทางโครงสร้างแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง

ฟิล์ม	ความหนา (ไมโครเมตร)	กระบวนการผลิต
1. OPP20/PE25/LLDPE25*	70	การประกบแบบอัดรีด
2. OPP20/PE30*	50	การประกบแบบอัดรีด
3. OPP20/PE28*	48	การประกบแบบอัดรีด
4. OPP20/PP30*	50	การประกบแบบอัดรีด
5. OPP20/PP25*	45	การประกบแบบอัดรีด
6. OPP20/CPP30*	50	การประกบแบบแห้ง
7. OPP20/CPP20*	40	การประกบแบบแห้ง
8. OPP20/MCPP25*	45	การประกบแบบแห้ง
9. OPP25/MCPP25*	50	การประกบแบบแห้ง

* ตัวเลขที่ตามหลังชื่อฟิล์ม คือ ความหนาของฟิล์มในแต่ละชั้น หน่วยไมโครเมตร

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ฟิล์มก่อนการปิดผนึก

- ศึกษาส่วนประกอบโครงสร้างของฟิล์มที่จะทดลอง โดยศึกษาในแต่ละชั้นของฟิล์มมีพอลิเมอร์ชนิดใด จำนวนชั้นที่ประกอบเป็นฟิล์ม กระบวนการผลิตฟิล์ม และความหนา โดยข้อมูลเหล่านี้จะได้จากผู้ผลิตซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

- ทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน JIS K7127 โดยใช้เครื่อง Strograph E-S Universal Testing Machine ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ภาวะของเครื่องในการทดสอบคือ

ขนาด load cell	500	นิวตัน
ระยะ gage length	50	มิลลิเมตร
อัตรนร็วในการดึง	100	มิลลิเมตร/นาที

ขนาดของชิ้นงานจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 15 x 150 มิลลิเมตร

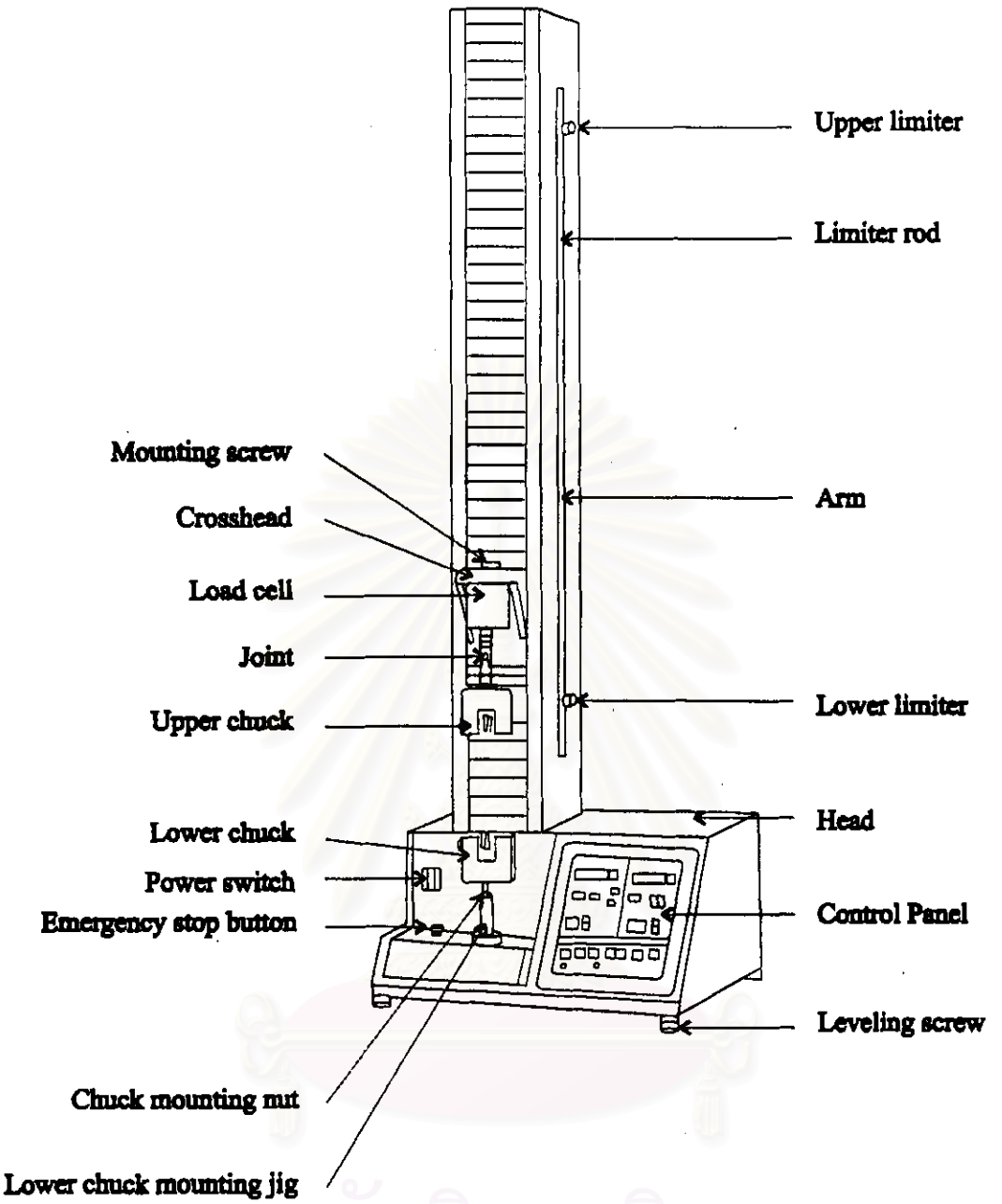
การทดสอบเริ่มจากการจับชิ้นงานด้วยตัวจับ (grip) ของเครื่อง แล้วจึงเริ่มดึงชิ้นงาน อ่านค่าของแรงที่ใช้ในการดึงชิ้นงานจากกราฟหรือหน้าปัดของเครื่องมีหน่วยเป็นนิวตัน

- หาจุดหลอมเหลวของฟิล์มที่ทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับการปิดผนึก ตามมาตรฐาน ASTM D 3417 ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เตรียมตัวอย่างที่จะใช้ในทดสอบประมาณ 4 - 5 มิลลิกรัม ไว้ในถาดอะลูมิเนียมที่มีฝาปิด นำถาดตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวางไว้ในเครื่อง DSC คู่กับตัวอ้างอิงซึ่งเป็นถาดอะลูมิเนียมเปล่า ก่อนให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจะเปลี่ยนบรรยากาศภายใน โดยใช้แก๊สไนโตรเจนไล่แก๊สออกซิเจนออกก่อนประมาณ 5 นาที จากนั้นจึงเริ่มให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยอัตราการให้ความร้อน (heating rate) 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิเริ่มต้นการให้ความร้อนคือที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้ายการให้ความร้อนคือที่ 200 องศาเซลเซียส โดยในขณะที่ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างนี้จะมีการป้อนแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตรา 15 มิลลิลิตร/นาที อ่านค่าจุดหลอมเหลวของฟิล์มจากกราฟที่เขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของความร้อน (heat flow) กับอุณหภูมิ

- ความแข็งแรงของการประกบ (lamination strength) ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Strograph E-S Universal Testing Machine นำชิ้นงานขนาด 15 X 150 มม. มาทำการแยกฟิล์มระหว่างวัสดุหลักกับสารปิดผนึก โดยให้เหลือส่วนที่วัสดุหลักยังยึดติดกับสารปิดผนึกยาว 100 มม. แล้วจึงนำไปทดสอบโดยตั้งภาวะของเครื่องมีค่าดังนี้

ขนาด load cell	500	นิวตัน
ระยะ gage length	50	มิลลิเมตร
อัตรนร็วในการดึง	100	มิลลิเมตร/นาที

การทดสอบเริ่มจากการจับชิ้นงานด้วยตัวจับ (grip) ของเครื่อง โดยจับแต่ละข้างของฟิล์มที่แยกออกจากกัน แล้วจึงเริ่มดึงชิ้นงาน บันทึกค่าแรงสูงสุดและต่ำสุดที่ใช้ในการแยกประกบระหว่างวัสดุหลักกับสารปิดผนึกจากกราฟหรือหน้าปัดของเครื่องมีหน่วยเป็นนิวตัน



รูปที่ 3.1 เครื่อง Strograph E-S Universal Testing Machine

3.3.2 ฟิล์มขณะทำการปิดผนึก

นำฟิล์มตัวอย่างมาทำการปิดผนึกที่ภาวะต่าง ๆ ของเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน (heat sealer tester) ดังรูป 3.3 เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อรอยปิดผนึกและหาวิธีการปิดผนึกที่สอดคล้องกับค่อความแข็งแรงของรอยผนึก ดังนี้คือ

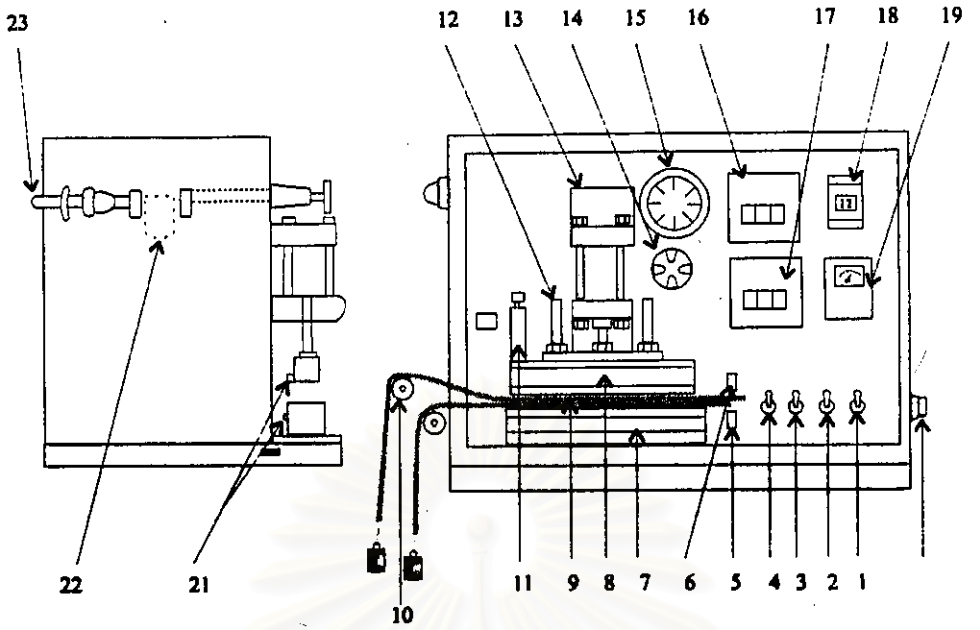
3.3.2.1 ปัจจัยทางเครื่องปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก

ในขณะทำการปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มบรรจุภัณฑ์จะต้องควบคุมปัจจัย 3 ประการของเครื่องปิดผนึกคือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลา ในที่นี้จะใช้ฟิล์มตัวอย่าง 5 ชนิด เพื่อศึกษาปัจจัยทางเครื่องคือ (1) OPP20/PE25/LLDPE25 (2) OPP20/PE28 (3) OPP20/PP25 (4) OPP20/CPP30 และ (5) OPP20/MCPP25

<u>อุณหภูมิของเครื่องปิดผนึก</u>

จะนำฟิล์มแต่ละชนิดมาปิดผนึกภายใต้ภาวะความดันและเวลาคงที่ คือ ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

รูปที่ 3.2 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)



1. Main power switch
2. Timer switch
3. Switch for the upper bar heater
4. Switch for the lower bar heater
5. Lower heater insert hole
6. Upper heater insert hole
7. Lower seal bar
8. Upper seal bar
9. Film
10. Roller for hot tack test
11. Limit switch
12.Guide rod
13. Air cylinder
14. Pressure control valve
15. Pressure gauge
16. Temperature controller for the upper seal bar
17. Temperature controller for the lower seal bar
18. Digital timer
19. Ammeter
20. Connector for the start switch
21. Temperature sensors
22. Air filter
23. Air horse connection.

รูปที่ 3.3 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

<u>เวลาของเครื่องปิดผนึก</u>

จากการศึกษาอุณหภูมิของเครื่องปิดผนึกข้างต้นจะได้อุณหภูมิที่สอดคล้องต่อความแข็งแรงของรอยผนึก นำอุณหภูมิที่ได้มาใช้ปิดผนึกฟิล์มที่ความดันคงที่เท่ากับ 1.5 บาร์ ในเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

<u>ความดันของเครื่องปิดผนึก</u>

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาของเครื่องปิดผนึกข้างต้นจะได้อุณหภูมิและเวลาที่สอดคล้องต่อความแข็งแรงของรอยผนึก นำอุณหภูมิและเวลาที่ได้มาใช้ปิดผนึกฟิล์มด้วยความดันต่าง ๆ เพื่อศึกษาแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไป

3.3.2.2 ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก

ทำการปิดผนึกฟิล์มที่มีความหนาของสารปิดผนึกแตกต่างกัน โดยให้ความดันและเวลาคงที่ แต่เปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในการปิดผนึก ฟิล์มที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ

- OPP20/PE28 กับ OPP20/PE30 ทำที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.7 วินาที
- OPP20/PP25 กับ OPP20/PP30 ทำที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที
- OPP20/CPP20 กับ OPP20/CPP30 ทำที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และที่ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

3.3.2.3 ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหลักที่มีผลต่อรอยผนึก

ทำการปิดผนึกฟิล์มที่มีความหนาของวัสดุหลักแตกต่างกัน โดยให้ความดันและเวลาคงที่ แต่เปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในการปิดผนึก ฟิล์มที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ

- OPP20/MCPP25 กับ OPP25/MCPP25 ทำที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และที่ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

3.3.2.4 วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก

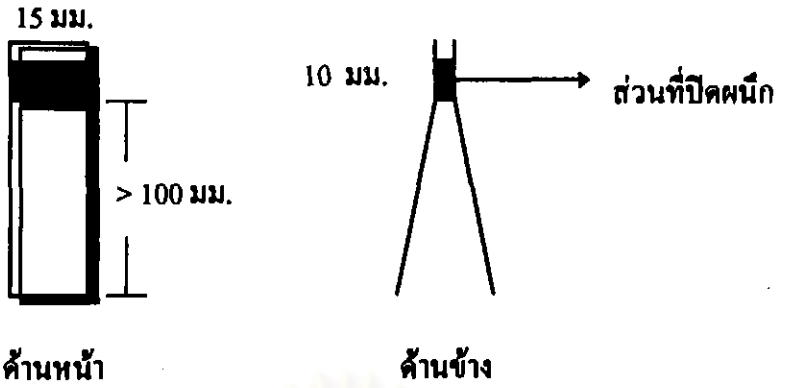
จะทำการศึกษาหาวิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึกของฟิล์มแต่ละชนิดที่ได้ศึกษามาบ้างแล้วในปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยผนึก

3.3.3 ฟิล์มหลังการปิดผนึก จะทำการทดสอบดังนี้

<u>ความแข็งแรงของรอยผนึก</u> (seal strength) ทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z0238 โดยใช้เครื่อง Strograph E-S Universal Testing Machine ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ขนาด load cell 500 นิวตัน
ระยะ gage length 50 มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที
ขนาดของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.4

การทดสอบเริ่มจากการจับชิ้นงานด้วยตัวจับ (grip) ของเครื่อง แล้วจึงเริ่มดึงชิ้นงาน อ่านค่าของแรงที่ใช้ในการดึงชิ้นงานจากกราฟหรือหน้าปัดของเครื่องมีหน่วยเป็นนิวตัน โดยในขณะทำการทดสอบจะสังเกตดูรูปแบบของการขาด (Mode of failure) ด้วยว่าเป็นแบบใด



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของรอยผนึก

<u>ความทนต่อการลอก</u> (peel strength) ทดสอบตามมาตราฐาน JIS K6854 โดยใช้วิธีการลอกแบบ T - type peel ด้วยเครื่อง Instron Universal Testing Machine ดังแสดงในรูปที่ 3.5

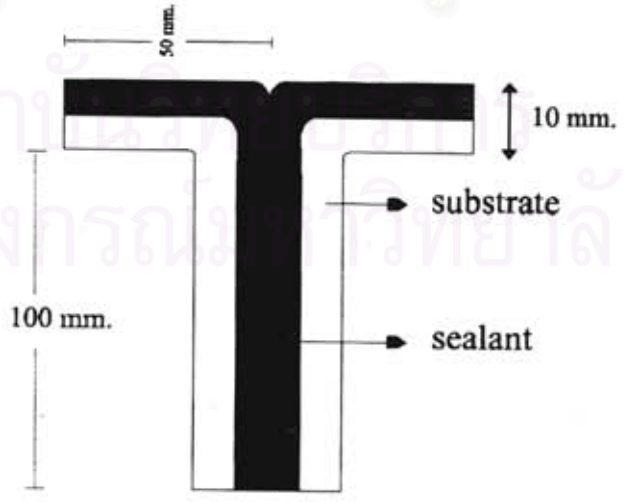
ขนาด load cell 5 กิโลนิวตัน
ระยะ gage length 50 มิลลิเมตร
อัตรารึ้วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที

ขนาดของชิ้นงาน (กว้าง X ยาว) = 10 X 150 มิลลิเมตร โดยในด้านยาวนี้จะมีส่วนปิดผนึกยาว 100 มิลลิเมตร และส่วนไม่ได้ปิดผนึกยาว 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6

การทดสอบเริ่มจากการจับชิ้นงานด้วยตัวจับ (grip) ของเครื่อง โดยจะวางชิ้นงานในรูปตัว T แล้วจึงเริ่มดึงชิ้นงาน อ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงทุก ๆ ระยะ 10 มิลลิเมตรจนครบ 5 จุด หากฟิล์มมีค่าความทนต่อการลอกในระยะทางที่มากขึ้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันก็แสดงว่า ฟิล์มมีความสมบูรณ์ของรอยผนึก

<u>ความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน</u> (hot tack) ทดสอบโดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนดังรูป 3.3 ตัดชิ้นงานขนาด (กว้าง X ยาว) 25 X 800 มม. 2 ชิ้น นำส่วนที่เป็นสารปิดผนึกมาประกบกัน คลิปปลายด้านหนึ่งของฟิล์มแต่ละชิ้นด้วยลูกตุ้มน้ำหนักขนาด 45 กรัม รวมน้ำหนัก 2 ชิ้นท่ากับ 90 กรัม แล้วจึงนำฟิล์มไปจัดในเครื่องปิดผนึก โดยให้ส่วนลูกตุ้มน้ำหนักสามารถเกิดการตกได้อย่างอิสระ และตัวฟิล์มวางไปตามแนวยาวของแท่งปิดผนึก จับปลายด้านหนึ่งของฟิล์มที่ไม่มีลูกตุ้มน้ำหนักไว้ ทำการปิดผนึกพร้อมกับปล่อยตัวฟิล์มที่จับไว้ ซึ่งจะทำให้ฟิล์มที่ปิดผนึกแล้วแต่ยังมีรอยผนึกที่ยังร้อนอยู่นี้เกิดการแยกไปตามน้ำหนักของลูกตุ้มที่แขวนอยู่แต่ละข้างของฟิล์ม ทำการวัดความยาวรอยผนึกที่แยกออกมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร หากฟิล์มมีความยาวของรอยแยกมาก แสดงว่าฟิล์มมีความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนต่ำ เนื่องจากการเกิดรอยแยกของฟิล์มทันทีที่ทำการปิดผนึกแล้วนั้น แสดงให้เห็นว่าสารปิดผนึกของฟิล์มทั้งสองที่ยังร้อนอยู่นี้มิได้เกิดพันธะที่แข็งแรงพอที่จะทำให้เกิดรอยผนึกต่อกันได้เลย แต่ถ้าหากฟิล์มมีความยาวของรอยแยกน้อย ก็แสดงว่าฟิล์มมีความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนสูง เนื่องจากฟิล์มทั้งสองจะเกิดพันธะต่อกันและได้ความแข็งแรงของรอยผนึกที่สูงพอที่จะยึดฟิล์มทั้งสองให้ติดกันเมื่อมีแรงมากระทำ

รูปที่ 3.5 เครื่อง Instron Universal Testing Machine



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความทนต่อการลอก