



การพัฒนาของบรรจุเซลล์สำหรับบรรจุลิเทียมแบตเตอรี่
จากวัสดุลามิเนตโพลีเมอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญยัง	ปลั่งกลาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี	ศรีนนท์ฉัตร

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555

การพัฒนาของบรรจุเซลล์สำหรับบรรจุลิเทียมแบบเตอรีจากวัสดุลามิเนต
โพลิเมอร์ (Development of Packaging Cell from Laminated Polymer
for Lithium Polymer Battery)

โดย

ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	หัวหน้าโครงการ
ผศ.ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	ผู้วิจัยหลัก
ผศ.ดร. จักรี	ศรีนนท์นัฏ	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	2
กิตติกรรมประกาศ	4
บทที่ 1 บทนำ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล	37
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก 1 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	45
ภาคผนวก 2 ผลสมบัติทางกล	51

รายละเอียดโครงการ

- ชื่อโครงการวิจัย** การพัฒนาของบรรจุเซลล์สำหรับบรรจุลิเทียมแบตเตอรี่จากวัสดุลามิเนตโพลิเมอร์ (Development of Packaging Cell from Laminated Polymer for Lithium Polymer Battery)
- หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย และสถานที่ตั้งพร้อมทั้งชื่อหน่วยงานและลักษณะของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)**
หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลอง 6 อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ 0-2549-3484-5 โทรสาร 0-2549-3480
หน่วยงานวิจัยร่วม มหาวิทยาลัยนาไกโอกะ ประเทศญี่ปุ่น
- คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)**

หัวหน้าโครงการ			
ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์	สัดส่วนที่ทำการวิจัย	55%	
(Asst. Prof. Dr. Warunee Ariyawiriyanan)			
ผู้ร่วมวิจัย			
ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง			
(Dr. Boonyang Plangklang)	สัดส่วนที่ทำการวิจัย	25%	
ผู้วิจัยร่วมวิจัย			
ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร			
(Dr. Jakkree Srinonchat)	สัดส่วนที่ทำการวิจัย	20 %	
- ประเภทของการวิจัย** การวิจัยและพัฒนา
- สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย** สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาของบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตที่มีราคาถูกเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ในประเทศ โดยศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เลือกนำมาใช้เป็นของบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่นิยมใช้ในแบตเตอรี่จะเป็นกลุ่มคาร์บอนเนต เช่น ไดเมทิลคาร์บอนเนต ไดเอทิลคาร์บอนเนต เอทิลเมทิลคาร์บอนเนต เอทิลลีนคาร์บอนเนตและเมทิลลีนคาร์บอนเนต แต่ผลอันเนื่องมาจากสารละลายที่ไม่ใช่คาร์บอนเนตและสารเติมแต่งที่ใช้ในลิเทียมไอออน ลิเทียมโพลิเมอร์ เจลโพลิเมอร์และ ไซลอกเซนอิเล็กโทรไลต์ (Siloxane electrolyte) นั้นมีความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้เพิ่มอีกมาก ดังนั้นการใช้วัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตในของบรรจุเซลล์แบตเตอรี่ก็ควรจะต้องมีการพัฒนาไปพร้อมๆ กันด้วย วัสดุฟิล์มที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ฟิล์มโพลีโพรพิลีน (Oriented polypropylene, OPP) โพลีเอทิลีนชนิดเส้นตรงความหนาแน่นต่ำ (linear low density polyethylene, LLDPE) และ โพลีเอทิลีนเทอเลฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) และฟิล์มพลาสติกจะนำมาทำการลามิเนตด้วยอูมิเนียมฟอยด์ด้วยการดึงรีดฟิล์ม 2 ชนิดคือ PET-AI-LLDPE และ PET-AI-OPP โดยลักษณะโครงสร้างและชั้นฟิล์มจะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy, ATR-FTIR) และทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มลามิเนตแต่ละชนิด จากการทดสอบพบว่าค่าการทนต่อแรงดึง ค่ามอดูลัสของยัง และการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มลามิเนต PET-AI-LLDPE คือ 3.3 KPa, 12.6 KPa และ 1,024 % ในขณะที่ฟิล์มลามิเนต PET-AI-OPP คือ 3.3 KPa, 41.5 KPa, และ 853 % ตามลำดับ สมบัติด้านการผ่านของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มลามิเนต 3 ชั้น ทั้งสองชนิดมีค่าว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติกก่อนลามิเนต

คำสำคัญ ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ ของบรรจุเซลล์ ฟิล์มลามิเนต สมบัติการให้ผ่าน

Abstract

This study is on low-cost flexible materials useful for battery industry in Thailand to evaluate a packaging design for future research improvement. Properties of laminated polymer materials uses for a cell packaging of lithium polymer battery were studies. Dimethyl carbonate, diethyl carbonate, ethyl methyl carbonate, ethylene carbonate and propylene carbonate have been investigated as a solvent in lithium battery. The effects of non-carbonate solvent and additives that are present in lithium-ion, lithium-polymer, gel polymer and siloxane electrolyte need to be studies. Thus, laminated polymer used in cell packaging was also development. In the present study, plastic films that are oriented polypropylene (OPP), linear low density polyethylene (LLDPE) and polyethylene terephthalate (PET) and its laminated were used. Then, plastics film was laminated with aluminum foil (Al) using film calendaring process i.e PET-Al-LLDPE film and PET-Al-OPP film. Structural and morphology characterization of films were characterized using attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The effect of plastics film of each multilayer laminated polymer on mechanical properties was investigated. It was found that a tensile strength, modulus and elongation at break of PET-Al-LLDPE was 3.3 KPa , 12.6 KPa, 1,024% while that of PET-Al-OPP was 3.3 KPa, 41.5 KPa, 853% , respectively. Gas and water permeable properties of laminated films were improved compared to the neat plastics.

Keywords: Lithium Polymer Battery, Cell Packaging, Laminated Film, Permeable properties

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในหัวข้อเรื่องการพัฒนาของบรรจุเซลล์สำหรับบรรจุลิเทียมแบตเตอรี่จากวัสดุลามิเนตโพลิเมอร์สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ จากองค์กรบุคคลต่างๆ ดังนี้

1. ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องจักรและเครื่องทดสอบต่างๆ เป็นอย่างดี
2. ขอขอบคุณ บริษัท ทีมพลาสติกเคมิกอล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องจักรในการทำโครงการวิจัยตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนคาโอกะ ประเทศญี่ปุ่นที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำตลอดการทดลอง
4. ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2555 ในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ต้องการในโลกปัจจุบัน ซึ่งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทยผลิตขึ้นจากน้ำมัน ซึ่งในขบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดมลภาวะตามมาอีกมาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมที่จะพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาช่วยในการเปลี่ยนพลังงานธรรมชาติเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น พลังลม พลังงานน้ำและพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งพลังงานธรรมชาติ (พลังงานทางเลือก) ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าทั้งนี้ แต่การควบคุมและการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานธรรมชาติไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาและมีความสำคัญเช่นกันในงานวิจัยนี้จะนำเสนอและพัฒนาในส่วนของการควบคุมและการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ และการพัฒนาโพลิเมอร์แบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานซึ่งเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ในปัจจุบันได้มีความคืบหน้าไปมาก เช่น ลิเทียมไอออนแบตเตอรี่ (Lithium ion battery) ซึ่งมีขนาดเล็กและสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มาก นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในส่วนของการพัฒนาโพลิเมอร์แบตเตอรี่ (Lithium polymer battery) ซึ่งมีสมบัติ ต่างจากลิเทียมไอออนธรรมดาตรงที่ชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ ลิเทียมโพลิเมอร์ ใช้ฟิล์มคล้ายพลาสติกร่วมกับอิเล็กโทรไลต์ชนิดเจล แทนที่จะใช้แผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุน เป็นตัวส่งผ่านไอออน ลิเทียมโพลิเมอร์ง่ายต่อการผลิต มีความแข็งแรง ปลอดภัย รับการชาร์จไฟเกินได้มากกว่า โอกาสของการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ลดลง น้ำหนักเบาและบาง สามารถทำให้บางได้ถึง 1 มิลลิเมตร ไม่จำกัดรูปแบบ สามารถผลิตให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ตามความต้องการของการใช้งาน ไม่จำเป็นต้องจำกัดอยู่แค่ขนาดเซลล์มาตรฐานขนาดที่ต้องการสามารถสั่งผลิตได้

อย่างไรก็ตามรูปร่างภายนอกของแบตเตอรี่ที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นจะแข็งและตายตัวโดยภายในจะบรรจุด้วยเซลล์ที่มีสารอิเล็กโทรไลต์อยู่และต้องควบคุมการผ่านเข้าออกของอากาศภายนอก ลักษณะเซลล์บรรจุที่แข็งและตายตัวนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กเพื่อใช้งาน เช่น มือถือ คอมพิวเตอร์แบบพกพา อุปกรณ์ไฟฟ้าพกพาได้ เป็นต้น

ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุสำหรับการบรรจุเซลล์ในแบตเตอรี่จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต ที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้นประกอบกัน เนื่องจากต้องการสมบัติการทนและการสัมผัสที่ต่างกัน โดยวัสดุลามิเนตที่ต้องการศึกษานี้จะประกอบด้วยแผ่นฟิล์มโลหะที่ทำจากอลูมิเนียม (aluminium) ซึ่งจะปกป้องการขีดข่วนของโพลิเมอร์ด้านหนึ่ง และอีกด้านจะเป็นโพลิเมอร์ที่ทนต่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความร้อนได้ ซึ่งระบบการใช้วิธีการลามิเนตจะช่วยให้ราคาของของบรรจุเซลล์ในแบตเตอรี่ลดลง

และมีการใช้ประโยชน์ได้ดีเนื่องจากการขึ้นรูปง่าย ชนิดเซลล์แบตเตอรี่คือ Pouch Cell หรือบางครั้งเรียกว่า Lithium Polymer Cell (Lipo Cell) เป็นเซลล์ลิเทียมแบตเตอรี่ทำประกอบขึ้นจากขั้วบวก ขั้วลบและสารอิเล็กโทรไลต์แบบของแข็ง (solid polymer electrolyte)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการคัดเลือกวัสดุสำหรับทำของเซลล์บรรจุลิเทียมแบตเตอรี่จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต
2. ศึกษาสมบัติการทนต่ออุณหภูมิ และการผ่านก๊าซของวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต
3. ศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ชนิดของวัสดุโพลิเมอร์ที่ใช้ ได้แก่ PET, Nylon, HDPE และ PP
2. โลหะที่เป็นตัวนำ คือ Al Foil
3. กระบวนการขึ้นรูปโดยใช้การลามิเนต
4. ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่คือ Pouch Cell Battery
5. การทดสอบสมบัติทางกลของโพลิเมอร์ลามิเนต

1.4 ผลสำเร็จของการวิจัยที่ได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ความสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ คือการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุสำหรับใช้เป็นลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ให้นำมาประยุกต์ใช้ได้จริง โดยต่อยอดจากความรู้พื้นฐานเดิม รวมถึงความรู้ในการถ่ายทอดไปยังผู้ใช้งานทางด้านการกักเก็บพลังงานทดแทน โดยงานวิจัยดังกล่าวจะเป็นการวิจัยองค์ความรู้ขั้นพื้นฐานและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ได้ในประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ศึกษาวัสดุที่ใช้เป็นของบรรจุเซลล์ในลิเทียมแบตเตอรี่จากวัสดุโพลิเมอร์ที่ทนต่อสารเคมี ทนต่อความร้อน และแข็งแรง ทดแทนการใช้วัสดุโลหะที่แข็งและเป็นอันตรายขณะติดตั้ง
2. ได้ความรู้เพื่อมาพัฒนาการผลิตลิเทียมแบตเตอรี่ที่ดี ได้มาตรฐานและเป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตขึ้นมาใช้เองในประเทศไทยได้
3. กลุ่มอุตสาหกรรมและหน่วยงานเป้าหมาย
 - อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่
 - กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์
4. สร้างผลงานวิจัยซึ่งสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติอย่างน้อย 1 ฉบับ

1.6 หน่วยงานกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ประโยชน์

- 1.6.1 อุตสาหกรรมแบตเตอรี่
- 1.6.2 อุตสาหกรรมยานยนต์

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม (สารสนเทศ/Information) ที่เกี่ยวข้อง

จุดเริ่มต้นของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม มาจากการวิจัยในปี 1912 แต่เป็นแบตเตอรี่ให้ไม่ได้ใช้กันจริงๆ ในปี 1970 ซึ่งเป็นชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง หรือที่เรียกว่า ไพรมารีเซลล์ (Primary Cell) ลิเทียม (Lithium) เป็นโลหะที่เบาที่สุด ให้แรงดันไฟฟ้าสูงที่สุด และยังมีความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุดในน้ำหนักที่เท่ากัน การนำโลหะลิเทียมมาใช้ในแบตเตอรี่ ในระยะแรกของการวิจัย พบปัญหาในเรื่องของความปลอดภัย มันไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากๆ (ระเบิด!) โดยเฉพาะในขณะชาร์จไฟ ต่อมา จึงได้เปลี่ยนจากการใช้ลิเทียมในรูปของโลหะ มาเป็นรูปของไอออนแทน ซึ่งมีความปลอดภัยกว่า ในปี 1991 บริษัทโซนี่ เป็นผู้นำแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนออกสู่ตลาดเป็นรายแรก ความหนาแน่นพลังงานของเซลล์ลิเทียมไอออน มีค่าสูงกว่าเซลล์ชนิดนิเกิลแคดเมียม 2 เท่า เนื่องด้วยมีแรงดันที่มากกว่าดังนั้น ปัจจุบันนี้เซลล์ในแพคเกจแบตเตอรี่จึงใช้เพียงแค่เซลล์เดียวก็สามารถให้พลังงานกับโทรศัพท์มือถือได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาเรื่องความจำของแบตเตอรี่ จึงไม่ต้องการ “ล้างแบตเตอรี่” หรือการใช้แบตเตอรี่ให้หมดเกลี้ยงประมาณเดือนละครั้ง อย่างที่ต้องทำในแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ และนิเกิลแคดเมียม แต่อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ ลิเทียมก็มีข้อจำกัด คือ เสียหายได้ง่าย ถ้าใช้งานไม่ถูกวิธี จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันประกอบอยู่ในแพคเกจแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย วงจรป้องกันจะจำกัดแรงดันสูงสุดของเซลล์ขณะชาร์จ รวมทั้งป้องกันไม่ให้มีการใช้งานจนแรงดันต่ำลงจนเกินไป และป้องกันการลัดวงจร แรงดันที่ต่ำเกินไป สูงเกินไป และกระแสไหลที่สูงผิดปกติ เช่นการลัดวงจร ทำให้เซลล์ลิเทียมสูญเสียความจุ หรือเสียหายเป็นการถาวร นอกจากนี้ ยังมีการวัดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุณหภูมิสูงหรือต่ำผิดปกติ ผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ มักไม่พูดถึงเรื่องอายุการใช้งานเลย แต่ตามปกติแล้วแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะสูญเสียความจุบางส่วน ถ้าต้องการเก็บแบตเตอรี่เป็นเวลานาน การเก็บในที่เย็นจะชะลอการเสื่อมของแบตเตอรี่ทุกชนิดลงได้ ผู้ผลิตแบตเตอรี่แนะนำว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาแบตเตอรี่ลิเทียมที่ดีอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส และต้องมีไฟประจุอยู่ 40 % (ประมาณ 3.7-3.8 โวลต์) ข้อดีของลิเทียมไอออน คือ ความหนาแน่นพลังงานสูง ไม่จำเป็นต้องกระตุ้นก่อนใช้ หลังจากเก็บเป็นเวลานาน มีอัตราการคายประจุตัวเองต่ำและไม่ต้องดูแลรักษามาก แต่ข้อจำกัดของลิเทียมไอออนก็มีเช่นกัน คือ จำต้องใช้วงจรป้องกันแรงดันและกระแสให้อยู่ในเขตปลอดภัย มีการเสื่อมอายุตามเวลาแม้ว่าจะไม่มีการใช้งานและอัตราการจ่ายกระแสไม่สูงมาก ไม่เหมาะกับงานที่ใช้โหลดหนักๆ

ต่อมามีการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ขั้นสูงขึ้นโดยใช้ ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ (Lithium Polymer Batteries) ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานทางด้านการเก็บไฟสำรอง (stationary battery) และงานด้านยานยนต์ (automotive battery) [1], [2] โดยระบบนี้จะประกอบด้วยขั้วอาร์โนดที่เป็นโลหะลิเทียม (metallic lithium anode) โคโพลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นโพลีเอเทอร์และอนุพันธ์อื่นๆ วานาเดียมออกไซด์และเกลือลิเทียม เช่น บิสไตรฟลูออโรเมเทนซัลโฟนาไมด์ (bistrifluoromethanesulfonamide, LiTFSI) สำหรับการออกแบบแบตเตอรี่เพื่อเก็บสำรองไฟจากพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานทดแทนนั้น นิยมเลือกใช้ลิเทียมเนื่องจากน้ำหนักเบาและเป็นโลหะที่มีค่าประจุบวกสูง (electropositive of metal) 3.04 Volts เทียบกับอิเล็กโทรดที่เป็นไฮโดรเจน ค่าพลังงานจำเพาะ (specific energy) ของโลหะลิเทียม เท่ากับ 3800 Ah/kg (1722 Ah/lb) เทียบกับโลหะที่ใช้ปัจจุบันในแบตเตอรี่สำรองไฟ เช่น ตะกั่ว ซึ่งมีค่าพลังงานจำเพาะเท่ากับ 260 Ah/kg (118 Ah/lb) และแคดเมียมมีค่าพลังงานจำเพาะเป็น 480 Ah/kg (218 Ah/lb) เท่านั้น แต่สำหรับลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ มีลักษณะพิเศษคือเซลล์ไฟฟ้าประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวในรูปของแข็งเป็นโพลิเมอร์ (solid polymer electrolyte) แยกโดยมีอิเล็กโทรดสองข้าง โพลิเมอร์ที่เป็นตัวแยกตรงกลางระหว่างแอโนดและแคโทดนั้นส่วนใหญ่เป็นยางมีผสมด้วยโลหะเกลือลิเทียมหรือโพลิเมอร์กลุ่มโพลีเอทิลีนออกไซด์ผสมด้วยโลหะเกลือ พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้า (ionic conductivity) อยู่ที่ 1×10^{-4} S/cm ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40°C [3-5]

คณะผู้วิจัยของเจ้าของโครงการ [6], [7] ได้คิดค้นงานวิจัยเป็นเทคโนโลยีของตัวเอง และคณะในเรื่องของการเตรียมโพลิเมอร์นำไฟฟ้าจากยางธรรมชาติ โดยการนำยางธรรมชาติไปรีดขึ้นรูปเป็นแผ่น [8], [9] มาปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีด้วยการเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปที่พันธะคู่ของหน่วยไอโซพรีน แต่เนื่องจากยางธรรมชาติมีฟังก์ชันจะมีความเสถียรต่ำคือสามารถเกิดการเปิดของหมู่ฟังก์ชันได้ง่ายในสถานะที่เป็นกรดและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเนื่องจากความเป็นเจลที่เกิดจากการเชื่อมโยงพันธะระหว่างปฏิกิริยาหรือปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้มีการเคลื่อนไหว (mobility) ต่ำซึ่งจะส่งผลถึงค่าความนำไฟฟ้าต่ำด้วย ดังนั้นวิธีการหลักเลยคือทำการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการทำให้โพลิเมอร์แตกตัวและหลีกเลี่ยงการเกิดเจลหลังจากทำการอีพอกซิเดชันในขณะที่หมู่ฟังก์ชันยังคงสูงเท่าเดิม ทำให้ได้วัสดุยางธรรมชาติชนิดใหม่ที่มีความเสถียรของหมู่ฟังก์ชันสูงและไม่มีเจล เรียกว่า Liquid Epoxidized Natural Rubber (LEDNR) ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้ง่าย จึงได้นำวัสดุยางธรรมชาตินี้มาเติมด้วยเกลือโลหะอัลคาไลน์แล้วทำการหาค่าความนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคอิมพีแดนซ์ที่สร้างโปรแกรมการแปลงผลเอง [10] ได้ค่าความนำไฟฟ้าที่ 50°C เป็น 2.0×10^{-6} S/cm เมื่อผสม LEDNR กับเกลือลิเทียม 20 wt% ซึ่งให้ค่าเป็นเทียบเคียงกับโพลิเมอร์นำไฟฟ้าที่เตรียมจากสารปิโตรเคมี เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์ ผสมกับเกลือโลหะอัลคาไลน์ [10], [11] แม้จะก่อนหน้านี้ Glass และคณะวิจัย [12], [13] ได้ทำวิจัยโดย

การนำเอายางอีพอกไซด์ที่ขายในท้องตลาด 2 ชนิด (ENR25 และ ENR50) มาผสมกับเกลือโลหะและทดสอบหาค่าความนำไฟฟ้า และนำมาเตรียมเป็นโพลิเมอร์ผสมกับโพลิเอทิลีนออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของยางอีพอกไซด์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเพื่อความเข้มข้นของเกลือโลหะเพิ่มมากขึ้น คือ ได้ค่าความนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง เป็น 1.8×10^{-4} S/cm เมื่อผสม ENR50 กับเกลือซัลเฟต 60 wt% ซึ่งผลที่ได้มีความขัดแย้งกับความเป็นจริงในระบบของโพลิเมอร์นำไฟฟ้าปกติ [10] ยกเว้นแต่ว่าในสารโพลิเมอร์มีน้ำผสมอยู่ อาจเป็นไปได้ว่ายางอีพอกไซด์ที่ขายในท้องตลาดเตรียมจากยางธรรมชาติ ซึ่งจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 2 wt% ซึ่งสามารถที่จะดึงดูดน้ำได้ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดใหม่ที่จะเตรียมโพลิเมอร์นำไฟฟ้าจากยางธรรมชาติควรมีการกำจัดโปรตีนเสียก่อน ก่อนหน้านั้นนักวิจัยโดย Yoshikawa และคณะ [10] ได้เตรียมและศึกษาการนำยางธรรมชาติมาผสมกับโพลิเอทิลีนออกไซด์และเกลือโลหะอัลคาไลน์เพื่อต้องการเตรียมโพลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดใหม่ โดยการแก้ปัญหาการเกิดผลึกของโพลิเอทิลีนออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70°C ด้วยการเติมยางธรรมชาติลงไป เพราะยางธรรมชาติมีค่าการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำมาก ประมาณ -60°C และมีความเป็นออสติกสูง ค่าความนำไฟฟ้าที่ 50°C เป็น 2.7×10^{-5} S/cm

ในประเทศไทยก็มีการวิจัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่เช่นกัน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ร่วมกับบริษัทเชลเลนเนียม (ประเทศไทย) จำกัด สนับสนุนโครงการต้นแบบการประยุกต์ใช้งานวานเนเดียมแบตเตอรี่ เพื่อลดภาระกำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นโครงการพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ให้ทำงานได้จริง ปฏิบัติระบบการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าผู้ประกอบการในยุคน้ำมันแพง โดยโครงการต้นแบบนี้จะมีการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการไหลเวียนด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ ของวานเนเดียม (Vanadium Redox Flow) สำหรับการลดภาระกำลังไฟฟ้าสูงสุด การผลิตไฟฟ้าผสมผสานขนาดเล็ก รถประจำทางไฟฟ้า และเซลล์เชื้อเพลิงคาร์โบไฮเดรต โครงการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิจัยเชิงประยุกต์ของเทคโนโลยีแบตเตอรี่การไหลเวียนด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ของวานเนเดียมซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเก็บสำรองพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่บริษัทฯ เพื่อให้ทราบถึงปัญหาอุปสรรคด้านเทคนิค และต้นทุน การยอมรับของผู้ใช้ แนวทางในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ และการผลิตในระบบอุตสาหกรรมต่อไป โดยแบ่งเป็น 4 โครงการย่อย คือ (1)งานวิจัยพัฒนาการก่อสร้างแบตเตอรี่ขนาด 1-3 kw 3-10 kw 30 kw และ 100 kw และสร้างระบบลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดขนาด 100 kw ที่จัดเก็บไฟฟ้าที่จัดเก็บและจ่ายไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ 100 kw – 1 ชม. (2) งานวิจัยพัฒนาและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงคาร์โบไฮเดรตที่ทำงานร่วมกับวานเนเดียม อิเล็กโตรไลต์ที่เปลี่ยนน้ำตาลสำเร็จรูปเป็นไฟฟ้าโดยตรงโดยประสิทธิภาพที่ 40% (3) งานวิจัยพัฒนาแบตเตอรี่ขนาด 10 kw รับไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ที่มีความถี่แตกต่างกันได้ โดยนำระบบดังกล่าวติดตั้งทดสอบใช้กับงานเครื่องยนต์ดีเซลผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก และ (4) งานวิจัยพัฒนา

แบตเตอรี่ขนาด 30 kw ทดสอบใช้งานกับรถไฟฟ้าผสมผสานที่พัฒนาไว้เดิมแล้วโดยกรมควบคุมมลพิษ ใช้ในเขตกทม. คาดว่าสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงถึง 100 กม. [14]

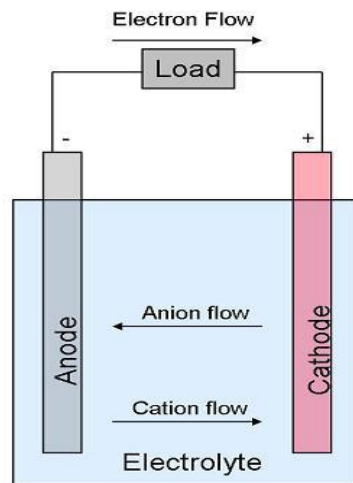
2.2 ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบพลังงานที่ใช้แพร่หลายทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้โดยการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี และสามารถนำออกมาใช้ได้โดยง่าย ปัจจุบันมีการนำแบตเตอรี่มาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น เพื่อการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบรักษาระดับแรงดัน เพื่อเก็บกักพลังงานไฟฟ้าไว้ในระบบฉุกเฉินที่ระบบผลิตไฟฟ้าหลักขัดข้อง หรือเก็บกักพลังงานไฟฟ้าที่เกินความต้องการในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบพลังงานในชนบทห่างไกลสายส่ง ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานแบตเตอรี่ในลักษณะงานต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านเทคนิค การใช้งานและสภาพแวดล้อมการใช้งาน ส่งผลให้มีการวิจัยและพัฒนาสร้างแบตเตอรี่ชนิดใหม่ ๆ และปรับปรุงแบตเตอรี่ชนิดเดิมให้สามารถรองรับภาระการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงสมรรถนะของแบตเตอรี่เพื่อประโยชน์จากแบตเตอรี่อย่างถูกต้องและคุ้มค่า การทราบข้อมูลดังกล่าวของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน ทำให้สามารถออกแบบระบบที่มีขนาดเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้ได้ขนาดของแบตเตอรี่ไม่ใหญ่เกินความต้องการของภาระใช้งานมากเกินไป และไม่มีขนาดต่ำเกินไป จนทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ในกรณีที่พลังงานไฟฟ้าจากระบบหลักไม่เพียงพอ ส่งผลให้สถานะขาดแคลนพลังงานในช่วงเวลาดังกล่าว ในแง่ของผู้บริโภคโดยทั่วไป การเลือกใช้งานแบตเตอรี่มักจะพิจารณาเฉพาะความจุ และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ผู้ผลิตรับเอาไว้ ซึ่งรวมทั้งข้อแนะนำในการปฏิบัติขั้นพื้นฐานเมื่อใช้งานแบตเตอรี่ นอกจากนี้แบตเตอรี่ที่วางขายในท้องตลาด ไม่มีรายละเอียดข้อมูลคุณสมบัติการใช้งานอ้างอิงได้ จึงเป็นปัญหาสำหรับผู้บริโภคในการเลือกใช้งานซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะดังที่กล่าวไว้ข้างต้นและต้องการแบตเตอรี่เฉพาะงานที่เหมาะสม อีกประการหนึ่งเมื่อพิจารณาถึงอนาคตของระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) แล้ว การพัฒนาด้านแบตเตอรี่จะเป็นแนวทางหนึ่งในการขยายความคิดและความรอบรู้ให้เพิ่มขึ้นด้านงานวิจัยดังกล่าว เพื่อการพัฒนาในเรื่องระบบเก็บกักพลังงานของประเทศต่อไป

นอกจากนี้ถ้าต้องพัฒนาเรื่องการใช้งานของแบตเตอรี่ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ $12\text{V} \times 100\text{Ah}$ หรือ $12\text{V} \times 100\text{A} \times 3600\text{s}$ จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์

อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่ การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานทดแทนนั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน, อัตราการจ่ายประจุสูงสุด, อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วย ขั้วบวก (แคโทด) และขั้วลบ (แอโนด) พร้อมกับสารละลายตัวนำไฟฟ้า หรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพองค์ประกอบพื้นฐานและหลักการทำงานของแบตเตอรี่

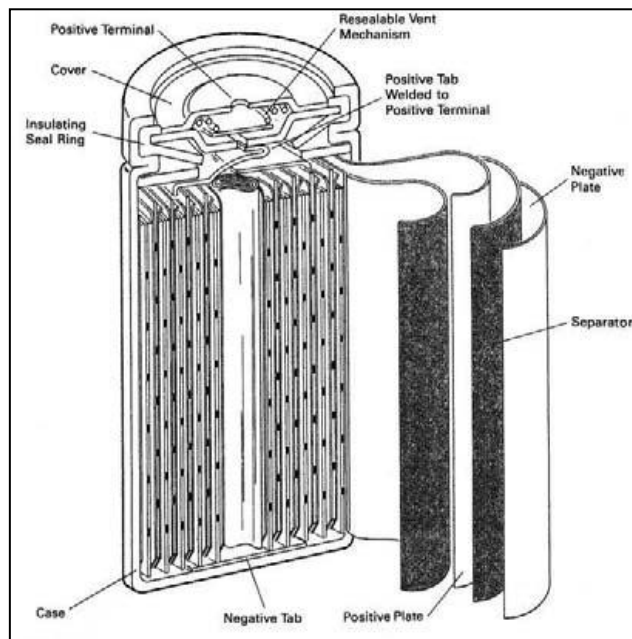
การเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่แบบต่างๆ จะมีเกณฑ์การกำหนดทางเลือกการเก็บสะสมที่สำคัญ คือ ขนาดความจุ (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ความหนาแน่นการเก็บสะสม (Storage density) นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึงด้วย ได้แก่ ประสิทธิภาพ (เนื่องจากการสูญเสียระหว่างการประจุ การเก็บสะสม และการคายประจุ เพราะแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้า ที่สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/คายประจุ) ความหนาแน่นเชิงพลังงาน ความหนาแน่นเชิงกำลังไฟฟ้าอายุการใช้งาน และต้นทุน เป็นต้น [15]

แบตเตอรี่ที่มีการผลิตขึ้นมาเพื่อใช้กับโทรศัพท์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้ สามารถจำแนกออกได้เป็น 5 ประเภทต่างๆ ดังนี้

2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ประเภทแรกที่ผลิตขึ้นมาใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1899 แต่ในขณะนั้นวัตถุดิบที่นำมาใช้มีราคาสูง ต่อมาในปี ค.ศ. 1932 ได้มีการใช้วัตถุดิบชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า และมีการนำแผ่นนิกเกิลมาเป็นตัวประกอบภายใน โดยมีชื่อทางเทคนิคว่า Porous nickel-plate electrode และในปี ค.ศ. 1974 แบตเตอรี่ Seal nickel cadmium ได้เกิดขึ้น

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม มีส่วนประกอบสำคัญ คือ นิกเกิลไฮดรอกไซด์ (Ni(OH)_2) ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวก และแคดเมียมซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ อิเล็กโทรไลต์อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นแบตเตอรี่ที่อาจเรียกได้ว่าพัฒนาไปค่อนข้างเต็มที่แล้ว และถูกใช้อย่างกว้างขวาง มีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น แบตเตอรี่ขนาด AAA จนถึงขนาดใหญ่หลายเมกะวัตต์ซึ่งเป็นแบตเตอรี่แบบที่ไม่สามารถพกพาได้ (Stationary) มักใช้งานด้านการขนส่ง โดยจะใช้ในช่วงการเริ่มต้น (Engine starting) ของรถไฟและเครื่องบิน ใช้สำหรับให้พลังงานในการขับเคลื่อนพาหนะที่เคลื่อนที่โดยใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม

ข้อดี คือ สามารถใช้งานอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าปกติได้ดี มีความหนาแน่นพลังงานและจำนวนวัฏจักรการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) สูง

ข้อเสีย คือ เกิด Memory effect ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดผลึกของแคดเมียม (Cadmium needles) ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจรภายในและมีผลต่อประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพที่ลดลงนั้น อาจทำให้ดีขึ้นได้บ้างด้วยการประจุให้เต็มและคายประจุให้หมด แต่จะต้องทำโดยผู้ที่มีความชำนาญ และราคาก่อนข้างสูง ในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้เลิกใช้ไปแล้ว [16]

2.2.2 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH)

แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ได้แก่ นิเกิลและเมทัลไฮไดรด์ โดยพลังงานทางเคมีถูกเก็บอยู่ในรูปพลังงานระหว่างพันธะของไฮไดรเจนและออกซิเจนในน้ำ แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ เป็นแบตเตอรี่ที่เข้ามาแก้ปัญหาในแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม แต่ก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำการคายประจุของแบตเตอรี่ให้หมดก่อนการอัดประจุไฟใหม่ (อย่างน้อย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง) นอกจากนี้สารเคมีที่บรรจุในแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและง่ายต่อการกำจัด มักใช้กับงานประเภทอุปกรณ์เคลื่อนที่เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และเริ่มมีการใช้งานในรถไฟฟ้า

จำนวนรอบของการอัดและคายประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 500-600 รอบ ในขณะที่มีการอัดประจุไฟฟ้าอุณหภูมิจะสูงขึ้น สำหรับการคายประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ชนิดนิเกิลเมทัลไฮไดรด์จะมีอัตราการคายประจุไฟฟ้าน้อยกว่าแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียมมาก และจำเป็นต้องคายประจุไฟฟ้าออกให้เกือบหมดเสียก่อนจึงสามารถอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ ในการอัดประจุไฟฟ้าใหม่ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง แต่ถ้าหากเป็นการใช้งานครั้งแรกควรใช้เวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมงขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง

ข้อดี คือ มีความหนาแน่นพลังงานหรือค่าพลังงานต่อน้ำหนักสูงและมีอายุการใช้งานนาน มีจำนวนวัฏจักรการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) สูง

ข้อจำกัด ราคาแพงมากหากเป็นการใช้งานในขนาดใหญ่หลายเมกะวัตต์

2.2.3 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-ซิงค์ (Ni-Zn)

แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-ซิงค์มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ได้แก่ นิเกิลและสังกะสี โดยในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้อยู่ระหว่างการพัฒนาในเชิงพาณิชย์

ข้อดี คือ มีความหนาแน่นพลังงานหรือค่าพลังงานต่อน้ำหนักสูง มีอายุการใช้งานนาน มีจำนวนวัฏจักรการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) สูง และที่ข้อเสียคือ โทดทั้งสองสามารถรีไซเคิลได้ง่าย

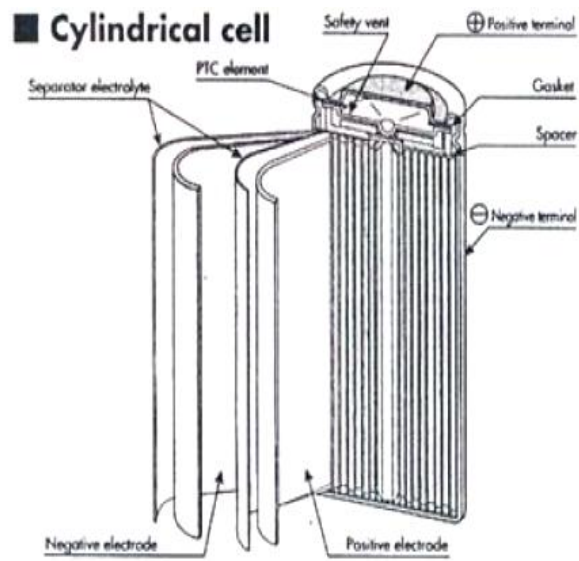
ข้อจำกัด ส่วนใหญ่ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา

2.2.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion Battery)

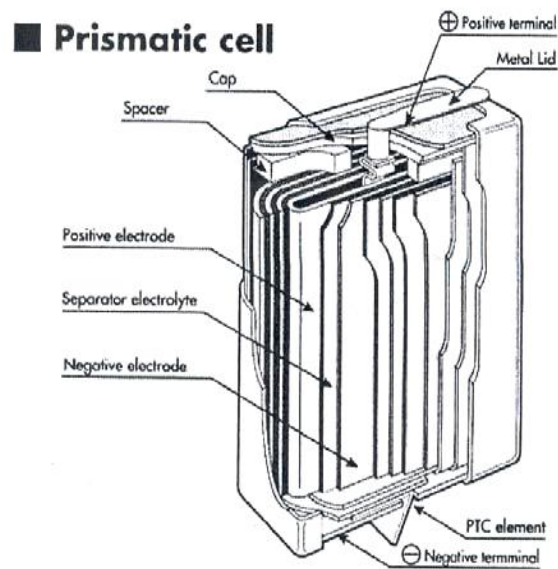
ลิเทียมเป็นองค์ประกอบในการผลิตแบตเตอรี่ที่สำคัญและได้รับความนิยมในปัจจุบัน เทคโนโลยีการผลิตแบตเตอรี่ด้วยลิเทียมมีจุดเริ่มต้นจากการวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 1970 ซึ่งในขณะนั้นเป็นชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง หรือ Primary cell คุณสมบัติที่ดีของ ลิเทียม คือเป็นโลหะที่เบา ให้แรงดันไฟฟ้าสูง และยังมี ความหนาแน่นเชิงกำลังไฟฟ้า (Power density) สูงที่สุด ในน้ำหนักที่เท่ากัน ปัญหาของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมในระยะแรกคือเรื่องความปลอดภัย กล่าวคือในระหว่างอัดประจุไฟมีแนวโน้มที่จะเกิดความร้อนสูง ทำให้ระเบิดได้ง่าย งานวิจัยในระยะต่อมาจึงได้มีการทดลองเปลี่ยนจากการใช้ลิเทียมในรูปของโลหะ (Lithium metal) มาเป็นรูปของไอออน (Lithium ion) ซึ่งมีความปลอดภัยสูงมากถึงแม้จะให้พลังงานที่น้อยกว่า แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบประจุไฟใหม่ได้ (Secondary cell) ออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดยบริษัท Sony corporation จากนั้นก็ได้มีการผลิตลิเทียมไอออนแบตเตอรี่เพื่อตอบสนองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลากหลายประเภทและเป็นกลุ่มแบตเตอรี่ที่มีความนิยมในการใช้งานสูงที่สุด

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีส่วนประกอบหลักคือ ขั้วบวก (แคโทด) ขั้วลบ (แอโนด) สารละลายตัวนำไฟฟ้าหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) แผ่นกั้นระหว่างขั้ว (Separator) และกรอบภายนอก โดยส่วนใหญ่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้จะมีขั้วบวกที่เป็นแผ่น Al Foil ปกคลุมด้วยชั้นของผง Metal oxide ส่วนใหญ่จะเป็นลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO_2) และ ขั้วลบจะเป็นแผ่น Cu Foil ปกคลุมด้วยชั้นของผงคาร์บอนกราฟต์ ส่วนสารละลายตัวนำไฟฟ้าที่ใช้คือเกลือลิเทียม (เช่น LiF_6) ในสารอินทรีย์คาร์บอนเนต (Organic carbonates) [17]

โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบทรงกระบอกแสดงดังรูปที่ 2.3 และแบบทรงสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 2.4

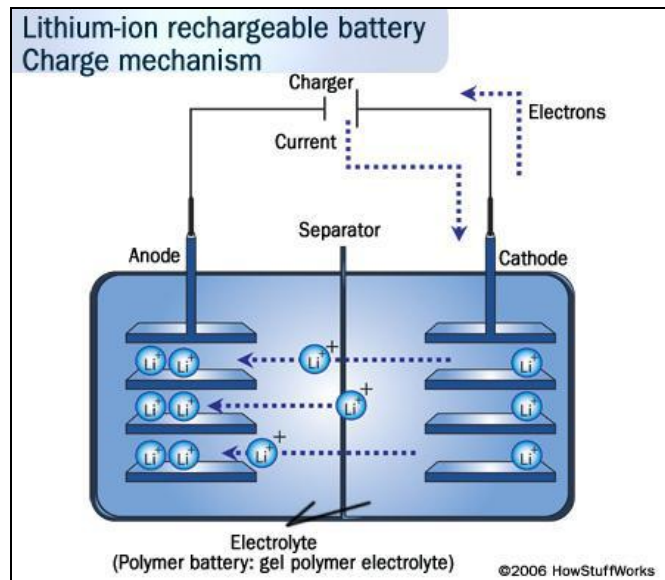


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบทรงกระบอก

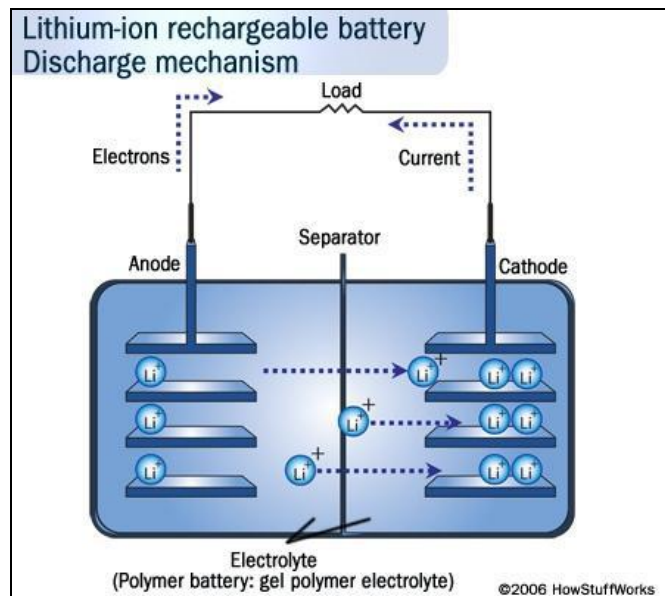


รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบทรงเหลี่ยม

หลักการทำงาน ในระหว่างการประจุไฟ (รูปที่ 2.5) ลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่จากขั้วบวกผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วลบ และเกาะติดกับขั้วคาร์บอน ในระหว่างการจ่ายไฟ (รูปที่ 2.6) ลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่กลับไปยังขั้วลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์



รูปที่ 2.5 กลไกการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



รูปที่ 2.6 กลไกการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับความนิยมในการนำมาใช้กักเก็บพลังงาน โดยเฉพาะในอุปกรณ์เคลื่อนที่ขนาดพกพาทุกประเภท เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น ดังต่อไปนี้

1. มีความสามารถในการจุพลังงานได้อย่างดีเยี่ยม มีประสิทธิภาพประมาณ 85% ในขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา

2. มีอายุการใช้งานยาวนาน

3. อัตราการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-discharge) ต่ำ ประมาณ 0.03 – 0.1% ต่อวัน (Beurskens, 2003)

4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย

แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ลิเทียมที่ใช้ในปัจจุบัน ยังมีข้อจำกัดอยู่ด้วยกันหลายด้าน ดังต่อไปนี้

1. มีการเสื่อมอายุตามเวลาแม้ไม่มีการใช้งาน

2. เสียว่ายได้ง่าย ถ้าใช้งานไม่ถูกวิธี จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันประกอบอยู่ในแพ็คเกจแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย โดยวงจรป้องกันจะจำกัดแรงดันสูงสุดของเซลล์ขณะอัดประจุรวมทั้งป้องกันไม่ให้มีการใช้งานจนแรงดันต่ำลงจนเกินไป และป้องกันการลัดวงจร แรงดันที่ต่ำหรือสูงเกินไปและกระแสไหลที่สูงผิดปกติ เช่น การลัดวงจร ทำให้เซลล์ลิเทียมสูญเสียความจุหรือเสียหายเป็นการถาวร

3. อุณหภูมิมีผลต่ออายุการใช้งาน โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมได้ง่าย จึงต้องมีการวัดอุณหภูมิเพื่อป้องกันไม่ให้มีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำผิดปกติ แต่ถ้าต้องเก็บแบตเตอรี่เป็นเวลานาน การเก็บในที่เย็นจะชะลอการเสื่อมของแบตเตอรี่ทุกชนิดลงได้

4. ราคาค่อนข้างสูง จึงไม่นิยมผลิตเพื่อสำรองพลังงานขนาดใหญ่ แต่ก็ยังได้รับความนิยมในการนำมาเก็บพลังงานที่ใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งต้องมีการพัฒนาด้านวัสดุ และเน้นที่การลดต้นทุนในการผลิต

5. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นของเหลว ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถจุดติดไฟได้และอาจทำให้เกิดการระเบิดได้ง่าย จึงเป็นอันตรายอย่างยิ่งถ้ามีการรั่วไหลและเกิดความร้อนสูง

2.2.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ (Li-Ion Polymer)

ลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ (Li-Ion polymer) ต่างจากลิเทียมไอออนธรรมดาที่ชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ผลิตจากโพลิเมอร์และไม่นำไฟฟ้า แต่ยอมให้มีการแลกเปลี่ยนไอออน ขั้วลบคือลิเทียมซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานต่ำที่สุด มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ส่วนขั้วบวกใช้สารที่เรียกว่าสารประกอบแทรกชั้น (Insertion compound) ได้แก่ TiS_2 ลิเทียมโพลิเมอร์ใช้ฟิล์มคล้ายพลาสติกร่วมกับสารละลายตัวนำไฟฟ้าชนิดเจล เป็นตัวส่งผ่านไอออน ทำให้ง่ายต่อการผลิต มีความแข็งแรง ปลอดภัยและสามารถทำให้มีความบางได้น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร จึงสามารถผลิตให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ตามความต้องการของการใช้งานได้หลากหลาย ตอบสนองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่แนวโน้มมีขนาดเล็กลง

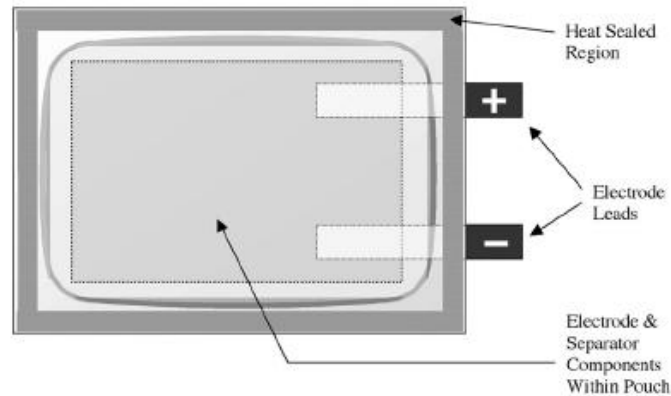
มีการคาดการณ์ว่าจะเป็นแบตเตอรี่อีกชนิดหนึ่งที่จะได้รับความนิยมในอนาคต ทั้งนี้เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะมีรูปร่างค่อนข้างจะใหญ่ แต่แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์จะใช้ตัวนำไฟฟ้าที่เป็นพลาสติกซึ่งเบากว่า และสามารถปรับเปลี่ยนรูปทรง ได้หลายแบบ สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์จะมีอัตราการคายประจุไฟฟ้าน้อยกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อย่างไรก็ตาม แม้การผลิตลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ในเชิงการค้านั้นจะมีมาตั้งแต่ปี 1999 แต่ในปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควรเป็น เพราะสาเหตุสำคัญสองอย่างคือ จำนวนครั้งในการอัดประจุไฟฟ้าน้อยเกินไป และราคาที่สูงเกินไป จึงยังไม่มีผู้นำไปใช้แพร่หลายนัก เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่ยังสูงอยู่

2.3 ของสำหรับบรรจุแบตเตอรี่

การพัฒนาของเซลล์บรรจุแบตเตอรี่นั้นน่าจะใช้เทคโนโลยีที่มีการพัฒนามาแล้วทางด้านพลาสติกลามิเนต (Plastic-laminate technology) ที่ประกอบด้วยชั้นของโลหะอลูมิเนียมฟอยด์เป็นตัวพองให้แข็งแรงและเคลือบด้วยชั้นของวัสดุโพลิเมอร์ที่มีสมบัติที่ดีเหมาะกับการใช้งาน โดยชั้นลามิเนตนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการบรรจุเซลล์ในลิเทียมแบตเตอรี่แบบ Pouch Cell ที่ต้องการความทนต่อสารเคมี ทนต่อความร้อนและแข็งแรง สมบัติที่ต้องการ ได้แก่

1. ชั้นที่ทนต่อความชื้น ซึ่งจะปกป้องความชื้นจากภายนอกเข้ามาสู่เซลล์และทำปฏิกิริยากับสารอิเล็กโทรไลต์
2. ชั้นที่ทนต่อสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solvent) ซึ่งจะป้องกันสารอิเล็กโทรไลต์ไหลออกจากเซลล์
3. ชั้นที่ทนต่อก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (Hydrogen fluoride, HF) ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโทรไลต์เข้ามาสัมผัสกับวัสดุที่บรรจุ (pouch)

4. ชั้นสารยัดติด (Sealant) ซึ่งจะทำให้มีการยัดติดระหว่างลามิเนตกับขั้วตะกั่วอิเล็กโทรด (Electrode Leads)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่แบบ Pouch Cell

Pouch Cell หรือบางครั้งเรียกว่า Lithium Polymer Cell (Lipo Cell) เป็นเซลล์ลิเทียมแบตเตอรี่ ทำประกอบขึ้นจากขั้วบวก ขั้วลบและสารอิเล็กโทรไลต์แบบของแข็ง (solid polymer electrolyte) มีได้ในราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูง การออกแบบอิสระ ดังรูป 2.7 และส่วนที่สำคัญที่ปัจจุบันยังต้องมีพัฒนาคือซองบรรจุเซลล์เหล่านี้ โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายประการเช่นต้องน้ำหนักเบา ยึดหยุ่นได้ เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูงๆ ได้ ซึ่งวัสดุพลาสติกก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนา โดยเซลล์แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ต้องการแบตเตอรี่ เช่น มือถือ กล้องถ่ายรูป เป็นต้น

2.4 วัสดุฟิล์มลามิเนต

ฟิล์มพลาสติกสามารถผลิตได้จากเม็ดพลาสติกหลายชนิด ทั้ง Polyester (PET), Polypropylene (PP), Polyethylene (HDPE, LDPE, LLDPE) Polyvinyl Chloride (PVC) โดยฟิล์มที่ผลิตจากพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวตามคุณสมบัติของฟิล์มที่แตกต่างกันออกไป เช่น คุณสมบัติทนความร้อน ป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมี ป้องกันไฟฟ้าสถิต การหดตัวเมื่อโดนความร้อน การป้องกันการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ปัจจุบันฟิล์มพลาสติกได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น นำมาผลิตเป็นถุงพลาสติก หรือถูกนำมาทอเป็นกระสอบ เป็นต้น โดยฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์สามารถผลิตได้จากฟิล์มหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการต้องการ

ของผู้ผลิต เช่น ฟิล์มยืด ฟิล์มหด และฟิล์มลามิเนต (Laminated Films) ก็เป็นหนึ่งในฟิล์มหลายๆประเภทที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบัน

2.4.1 ฟิล์มลามิเนต

ลามิเนต (Laminate) คือ “การทำให้เป็นแผ่นบางๆ ประกอบด้วยชั้นบางๆ” เช่นเดียวกับฟิล์มพลาสติกลามิเนตโดยการนำฟิล์มพลาสติกหลายๆ ชั้นมาเคลือบติดเข้าด้วยกันเป็นฟิล์มแผ่นเดียว หรือการเคลือบฟิล์มพลาสติกเข้ากับวัสดุอื่นๆ เช่น กระดาษหรือฟอยล์โลหะ โดยทำการยึดติดระหว่งชั้นฟิล์มด้วยการใช้ความร้อนหรือใช้กาว (Adhesive) โดยฟิล์มลามิเนตจะมีจำนวนชั้นของฟิล์มมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิต

ที่ผ่านมามีการผลิตฟิล์มลามิเนตก็เพื่อต้องการให้ขวดพลาสติกหรือตัวอักษรที่พิมพ์ลงไปในฟิล์มนั้นสามารถติดอยู่บนฟิล์มมาเคลือบติดบนฟิล์มอีกแผ่นหนึ่งที่ผ่านกระบวนการพิมพ์ขวดพลาสติกไม่ให้หลุดลอกจากปัจจัยภายนอก เช่น ชีตช่วง น้ำและความชื้น ซึ่งการลามิเนตจะช่วยให้ขวดพลาสติกที่พิมพ์ลงไปในฟิล์มสามารถติดทนนาน ทำให้สินค้ามีความสวยงามดูน่าใช้ อีกทั้งยังช่วยยืดอายุของสินค้า (Shelf Life) ให้ยาวนานขึ้น

แต่ปัจจุบันการผลิตฟิล์มลามิเนต นอกจากความสวยงามที่ควบคู่ไปกับคุณภาพของฟิล์แล้ว ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เช่น ขวดแก้ว กระดาษ หรือกระป๋องโลหะมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับผู้บริโภคเองก็มีแนวโน้มที่จะให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพ อนามัยและด้านคุณภาพของสินค้ามากขึ้น ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่สามารถตอบสนองกับความต้องการของตลาด ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตฟิล์มลามิเนตในปัจจุบันมีการพัฒนาไปมาก โดยสามารถนำฟิล์มที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาผ่านกระบวนการลามิเนตเพื่อที่จะให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพสูงมากขึ้น ช่วยในการปกป้องสินค้าที่บรรจุภายในให้รักษาคุณภาพเอาไว้ รวมถึงรูปลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์ที่จะต้องดูสวยงามดึงดูดให้ผู้บริโภคมาซื้อสินค้า และการนำเทคโนโลยีลามิเนตนี้มาใช้ทำซองสำหรับบรรจุเซลล์แบตเตอรี่ที่มีสมบัติตามต้องการในการทนกรด ด่าง สารเคมี ก๊าซ อากาศผ่านเป็นต้น

2.4.2 ประเภทของฟิล์มสำหรับการลามิเนต

ประเภทของฟิล์มที่นำเข้ามากระบวนการลามิเนตจะขึ้นอยู่กับนำไปใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์หรือส่วนประกอบสำหรับสินค้าประเภทอะไร และบรรจุภัณฑ์หรือสินค้าประเภทดังกล่าวต้องการคุณสมบัติในด้านใดบ้าง เมื่อทราบความต้องการดังกล่าวแล้วจึงจะสามารถเลือกประเภทของฟิล์มให้

เหมาะสมและมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการเพื่อการทำลามิเนตต่อไป ประเภทของฟิล์มและวัสดุที่นิยมนำมาผลิตฟิล์มลามิเนตสำหรับบรรจุภัณฑ์ดังนี้

2.4.2.1 ฟิล์ม Polyethylene : PE

ส่วนใหญ่นิยมใช้ฟิล์ม LDPE และฟิล์ม LLDPE ในชั้นในสุดหรือชั้นที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง โดยฟิล์ม PE ให้คุณสมบัติที่ยืดหยุ่นได้ดี ทนความร้อนได้ สามารถใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนได้ (Heating Sealing) และยังสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและการกัดกร่อนจากกรดบางประเภทได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ถุงเย็น ถุงซิป ฟิล์มยืด ฟิล์มหด ฟิล์มคลุมดิน

2.4.2.2 ฟิล์ม Polypropylene : PP

ฟิล์ม PP ที่นิยมใช้ในกระบวนการลามิเนต คือ ฟิล์ม CPP (Cast Polypropylene Film) และฟิล์ม BOPP (Bi axially Oriented Polypropylene Film) ซึ่งฟิล์มทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติโดดเด่นมากทั้งในด้านความใส ผิวมันวาว เหนียว ทนต่อแรงดึง ไม่มีไฟฟ้าสถิต กันน้ำได้ดี ฟิล์ม CPP และ BOPP มักถูกใช้ควบคู่กัน โดย CPP จะทำหน้าที่เป็นชั้นเคลือบเพื่อให้อาหารหรือสินค้าที่บรรจุปลอดภัยจากผลกระทบของสีที่พิมพ์ลงบน BOPP ฟิล์ม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ คือ ฟิล์มหุ้มซองบุหรี่

2.4.2.3 ฟิล์ม Polyester : PET

ฟิล์ม PET ที่นำมาใช้ในการลามิเนต คือ ฟิล์ม (Biaxially Oriented Polyethylene Terephthalate Film) มีผิวที่เงางาม เรียบ มีความใส ทนทานต่อการฉีกขาดหรือการกดกระแทก รักษารูปทรงได้ดีในอุณหภูมิระดับต่างๆ ทนความร้อนสูง สามารถใช้กับไมโครเวฟได้ ทนต่อความชื้น ทนต่อสารเคมีและตัวทำละลายได้หลากหลายประเภท สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่างๆได้ดี และมีความสามารถในการทนอมและรักษากลิ่นของอาหารและรักษาความกรอบของขนมขบเคี้ยวได้ดีกว่าฟิล์ม BOPP ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ฟิล์มสำหรับแผงโซลาร์เซลล์

2.4.2.4 ฟิล์ม Nylon, Polyamide : PA

ฟิล์ม PA ที่นิยมนำมาใช้ในการลามิเนตก็คือ (Biaxially Oriented Polyamide Film) มีคุณสมบัติที่ดีในการต้านทานการรั่วซึม ทนต่ออุณหภูมิร้อน-เย็น มีความเหนียวเป็นพิเศษ BOPP จึงสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับบรรจุอาหารได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับอาหารแช่แข็ง ถุงข้าวสาร

2.4.2.5 ฟิล์ม Metalized

เป็นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉาบด้วยโลหะอะลูมิเนียม (Aluminum) ทำให้ซองบรรจุภัณฑ์มีสีมันแวววาว กันการซึมผ่านก๊าซได้ดี ช่วยยืดอายุของสินค้าภายในได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มชนิดธรรมดา ฉะนั้นฟิล์ม Metalized จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานในด้านบรรจุภัณฑ์เป็นอย่างมาก โดยฟิล์ม

Metalized ที่นิยมใช้ในการลามิเนต ได้แก่ M-BOPA (Metalized Nylon Film), M-CPP (Metalized Cast Polyethylene Film), M-PET (Metalized Polyester Film) เป็นต้น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ของขนม ของกาแฟสำเร็จรูป 3 in 1

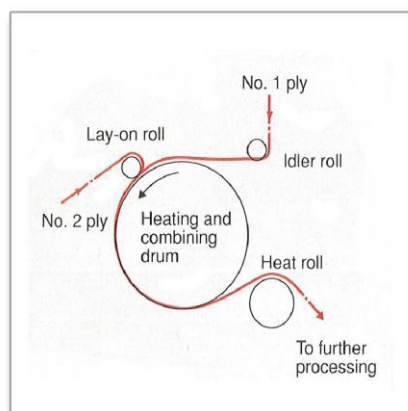
2.4.2.6 ฟอยล์อลูมิเนียม Aluminum Foil

ฟอยล์อลูมิเนียมมีคุณสมบัติสำหรับการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ดีที่สุดถ้าเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิดอื่นๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น แต่ก็มีราคาแพงที่สุดเช่นกัน โดยฟอยล์อลูมิเนียมมีคุณสมบัติในการป้องกันได้ทั้งก๊าซต่างๆ กันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำ กลิ่น น้ำมัน และแสง ได้อย่างดีเยี่ยม ทำให้สามารถปกป้องและถนอมผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายใน ได้ยาวนานกว่า ฟิล์มชนิดอื่นๆ อลูมิเนียมฟอยล์ใช้ได้กับบรรจุภัณฑ์อาหาร ยา ฯลฯ ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ถ้าหากผลิตภัณฑ์กักความร้อนได้ก็ยังสามารถเคลือบฟอยล์อลูมิเนียมด้วยสารอื่นๆ ที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ และผิวของฟอยล์อลูมิเนียมก็มีความมันวาวสวยงาม เช่นเดียวกับฟิล์ม Metalized อีกด้วย

2.5 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มลามิเนต

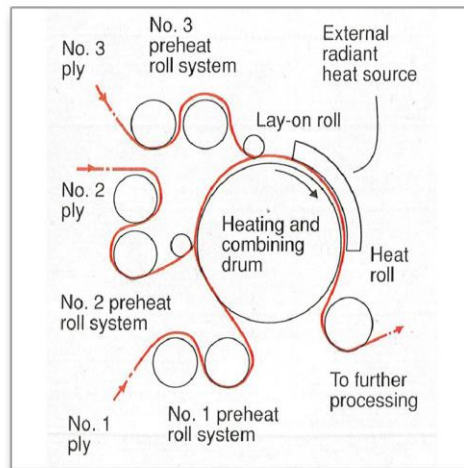
กระบวนการผลิตฟิล์มลามิเนตทำได้สองวิธีหลักๆ ได้แก่ การลามิเนตให้ฟิล์มยึดติดประสานกันด้วยความร้อน(Thermal Lamination) และการลามิเนตโดยใช้กาว (adhesive) เป็นตัวประสานให้ฟิล์มยึดติดกัน (Wet Lamination)

กระบวนการลามิเนตด้วยความร้อนในรูปที่ 2.8 เป็นการผลิตฟิล์มลามิเนตแบบสองชั้น โดยฟิล์มจาก ply หมายเลข 1 และ ply หมายเลข 2 จะถูกส่งมาที่ Heating and Combining Drum เพื่อที่จะให้ความร้อนทำให้ฟิล์มประสานติดกัน แล้วฟิล์มจะถูกส่งต่อไปยัง Heat roll ที่ยังคงให้ความร้อนต่อเพื่อที่จะรักษา



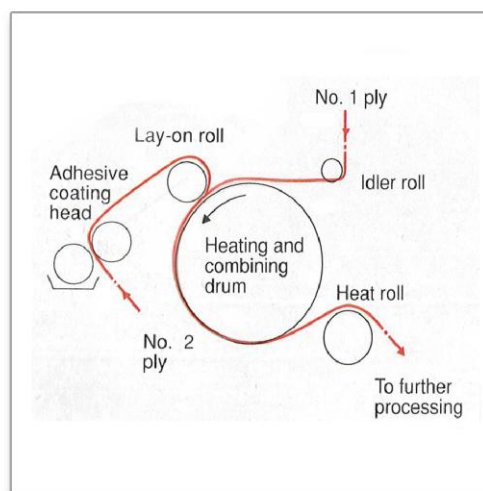
รูปที่ 2.8 กระบวนการลามิเนตด้วยความร้อนแบบ 2 ชั้น

ระดับความหนาและขนาดของฟิล์มให้ยังคงที่ก่อนที่จะทำให้การม้วนเก็บหรือส่งต่อไปยังกระบวนการอื่นๆต่อไป โดยการลามิเนตด้วยวิธีนี้นิยมใช้ฟิล์มที่มีความหนาไม่มากและไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนมากนัก จึงไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่ฟิล์ม (Preheat) ก่อนที่จะส่งฟิล์มเข้าสู่ Heating and Combining Drum



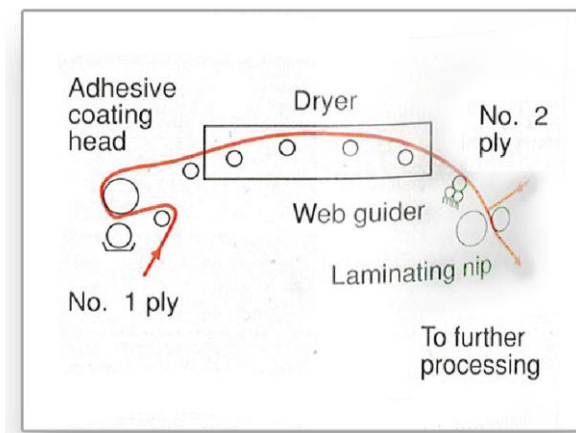
รูปที่ 2.9 กระบวนการลามิเนตด้วยความร้อนแบบ 2 ชั้น

กระบวนการลามิเนตด้วยความร้อนแบบ 3 ชั้น ดังรูปที่ 2.9 จะแตกต่างกับกระบวนการในรูปที่ 2.8 ที่เพิ่มฟิล์มเข้ามาอีกชั้นที่ ply หมายเลข 3 ซึ่งในแต่ละ ply จะมีระบบให้ความร้อนแก่ฟิล์ม (Preheat roll system) ก่อนที่จะส่งฟิล์มไปยัง Heating and Combining Drum ที่มีการให้ความร้อนเพิ่มเติมจากภายนอก (External Radiant heat source) เพื่อที่จะทำให้ฟิล์มมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประกบและยึดติดกันนั่นเอง



รูปที่ 2.10 กระบวนการลามิเนตด้วยกาว (adhesive)

การใช้กาว (adhesive) หรือสารเคมีชนิดอื่นๆ มาเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างชั้นฟิล์ม ก็เพราะว่าฟิล์มบางชนิดไม่สามารถประสานติดกันได้โดยสมบูรณ์ด้วยการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มทั้งสองชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ ดังรูปที่ 2.10 เป็นกระบวนการลามิเนตฟิล์ม โดยมีการใช้การหรือสารเคลือบประสานฟิล์ม (adhesive) ที่มีคุณสมบัติเป็น 100%-solid base ซึ่งทำให้สามารถประสานติดฟิล์มเข้าด้วยกันได้ทันทีเมื่อฟิล์มเข้าสู่กระบวนการที่ Heating and Combining Drum โดยไม่จำเป็นต้องทำการเป่าลมร้อนให้ฟิล์มแห้งหลังจากทำการเคลือบฟิล์มด้วยกาว หรือสารเคลือบประสาน (adhesive) ที่ ply หมายเลข 2 วังกระบวนการลามิเนตด้วยการใช้กาว (adhesive) ชนิด 100%-solid base นี้จะทำให้สามารถลามิเนตฟิล์มให้ประสานติดกันด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ (below critical temperature) ของฟิล์มนั้นๆ ที่ใช้ในการลามิเนตแบบ Thermal Lamination



รูปที่ 2.11 กระบวนการลามิเนตด้วยกาว (adhesive) ร่วมกับ Dryer

กระบวนการลามิเนตฟิล์มในรูปที่ 2.11 นั้นเป็นกระบวนการลามิเนตฟิล์มโดยใช้กาว (adhesive) ประเภทที่ไม่ใช่ 100%-solid base จึงจำเป็นต้องมีเครื่องเป่าลมร้อนเพื่อเป่าไล่ไอน้ำและตัวละลายอื่นๆ (solvent) ให้เหลือแค่เนื้อของกาวหรือสารเคลือบประสานฟิล์ม (adhesive) ที่มีคุณสมบัติ 100%-solid base เท่านั้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำการลามิเนตในกระบวนการต่อไปนั่นเอง

2.5.1 บรรจุภัณฑ์จากฟิล์มลามิเนต

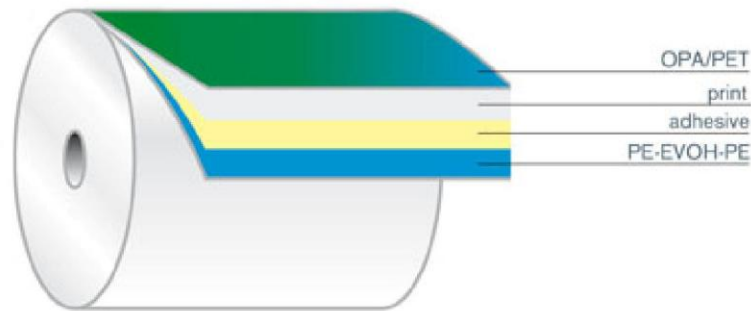
ความหลากหลายของฟิล์มลามิเนตนี้เองทำให้ผู้ใช้ต้องเลือกฟิล์มให้เหมาะสมกับสินค้า เช่น การใช้ฟิล์มลามิเนตมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงประเภทของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน ไม่ว่าจะเป็นสินค้าประเภทเหลว อาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ สินค้าประเภทผง อาหารแช่แข็ง เบเกอรี่

ขนมขบเคี้ยว ฯลฯ โดยเฉพาะสินค้าส่งออก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีคุณภาพดีในเรื่องการบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดให้กับสินค้านั้นๆ เพื่อคงคุณสมบัติของสินค้าที่บรรจุไว้ภายในให้เหมือนเดิมมากที่สุด เพราะฉะนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเหมาะสำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทใด ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

2.5.1.1 บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าแช่แข็ง บรรจุภัณฑ์สุญญากาศ

อาหาร เนื้อสัตว์แช่แข็ง ไข่กรอก อาหารพร้อมรับประทาน บรรจุภัณฑ์ที่ใช้จะต้องมีความเหนียว เพื่อที่จะสามารถใช้กระบวนการบรรจุแบบสุญญากาศได้ ต้องทนต่อกรด น้ำมัน และป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดี อีกทั้งสามารถเก็บรักษากลิ่น รส และความสดของอาหารได้

ประเภทฟิล์มลามิเนตที่นิยมใช้ BOPP + Aluminum +LLDPE หรือ PA+LLDPE



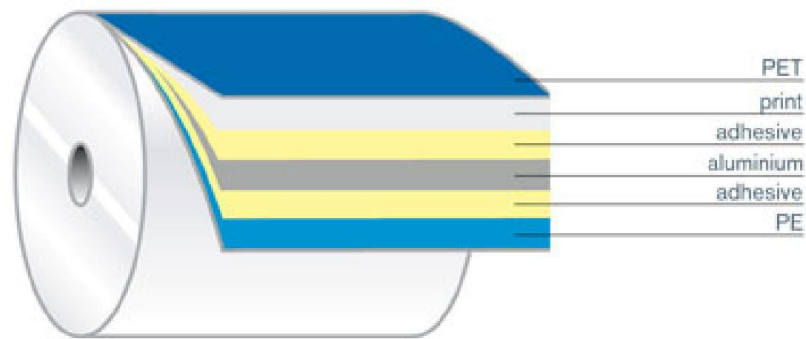
รูปที่ 2.12 ฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับอาหารแช่เย็น

ที่มา: ข้อมูลและภาพประกอบจาก <http://www.constantia-flexibles.com>

2.5.1.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าประเภทผง

ครีมเทียม, กาแฟ, ผงซักฟอก นมผง ฯลฯ บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซ กันความชื้นรวมทั้งความร้อนและแสงได้ เพราะการที่บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้สัมผัสกับอากาศ ความร้อนหรือแสง จะทำให้คุณสมบัติของสินค้าภายในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมลงได้

ประเภทฟิล์มลามิเนตที่นิยมใช้ BOPET + Aluminum +LLDPE หรือ BOPET + M-PET + LLDPE



รูปที่ 2.13 फिल्मสำหรับบรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ที่มา: ข้อมูลและภาพประกอบจาก <http://www.constantia-flexibles.com>

2.5.1.3 บรรจุภัณฑ์สำหรับขนมขบเคี้ยว, เบเกอรี่

บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะมีความใส มีผิวมันวาว ป้องกันแสงและความชื้นได้ เก็บรักษากลิ่นและรสของอาหารได้ดี เพื่อที่จะช่วยให้สินค้าจะคงความกรอบและสดใหม่อยู่เสมอ

ประเภทฟิล์มลามิเนตที่นิยมใช้ BOPP + M-CPP หรือ BOPP + M-PET + CPP



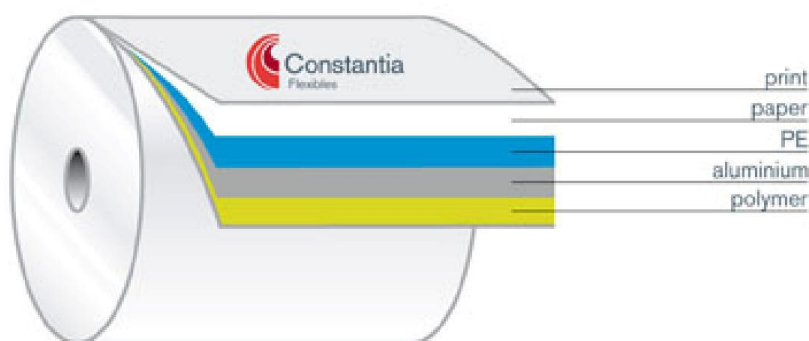
รูปที่ 2.14 फिल्मสำหรับบรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ที่มา: ข้อมูลและภาพประกอบจาก <http://www.constantia-flexibles.com>

2.5.1.4 บรรจุภัณฑ์สำหรับของเหลว

น้ำยาล้างจาน, น้ำยาปรับผ้านุ่ม บรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าแช่แข็ง บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะต้องมีความยืดหยุ่นได้ดีในทุกๆสภาพอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการฉีกขาด ต้องสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซและน้ำมัน ทนต่อความเป็นกรด ด่าง ได้

ประเภทฟิล์มลามิเนตที่นิยมใช้ BOPET + M- PET + LLDPE หรือ PA + LLDPE



รูปที่ 2.15 ฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ที่มา: ข้อมูลและภาพประกอบจาก <http://www.constantia-flexibles.com>

2.5.2 อุตสาหกรรมฟิล์มลามิเนตของไทย

ข้อมูลจากการสำรวจผู้ประกอบการพลาสติกของประเทศไทยจากเว็บไซต์ Plastic Intelligence Unit หรือ <http://plastic.oie.go.th> พบว่าประเทศไทยมีผู้ประกอบการพลาสติกที่ทำการผลิตฟิล์มพลาสติกหรือสินค้าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มพลาสติก เป็นจำนวนทั้งสิ้น 572 ราย โดยกว่า 54% เป็นผู้ประกอบการรายย่อย และมีผู้ประกอบการขนาดกลางคิดเป็น 28% และขนาดใหญ่คิดเป็น 18% โดยกว่า 80 % ของผู้ประกอบการเหล่านี้ ผลิตผลิตภัณฑ์ให้กับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยมีกำลังการผลิตรวมกันทั้งสิ้น 7.4 แสนต่อปี มีโรงงานอยู่ในอุตสาหกรรมฟิล์มบรรจุภัณฑ์ประมาณ 5.5 หมื่นคน

จำนวนผู้ประกอบการที่ผลิตผลิตภัณฑ์ฟิล์มลามิเนตหรือผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 42 ราย คิดเป็น 7% ของผู้ประกอบการที่ทำการผลิตฟิล์มพลาสติกหรือผลิตสินค้าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มพลาสติกทั้งหมด โดยมีจำนวนโรงงานรวมกันทั้งสิ้นประมาณ หนึ่งหมื่นคน และมีกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้นประมาณหนึ่งแสนตันต่อปี ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น BOPP Film BOPET Film BOPA Film ฟิล์มติดกระฉกรถยนต์ ซองอาหารสำเร็จรูป ฝาชีลถ้วย บะหมี่ ซองไอศกรีม ฯลฯ

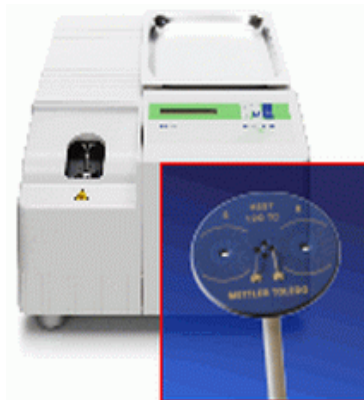
ภาพรวมของการออกผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกของประเทศไทย ในปี 2552 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น ประมาณ 637 ล้านดอลลาร์ โดยมิตลาดส่งออกอยู่ที่ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย จีน เวียดนาม สหราชอาณาจักร มาเลเซีย และออสเตรเลีย สำหรับมูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกจากประเทศในปี 2552 มีมูลค่าการนำเข้าทั้งสิ้นประมาณ 565 ล้านดอลลาร์ โดยส่วนใหญ่ในประเทศไทยนำเข้าผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกจากญี่ปุ่น เกาหลีใต้ มาเลเซีย จีน สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย

2.6 การทดสอบ

2.6.1 การทดสอบทางความร้อน

ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือที่เรียกกันย่อๆ ว่าเครื่อง DSC เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง (เช่น พอลิเมอร์) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม



รูปที่ 2.16 เครื่อง DSC

ที่มา : <http://www.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5102/nkc5102t.html>

1) หลักพื้นฐานของ DSC ก็คือ นำถาด 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้างๆ กัน เมื่อเริ่มการทดลอง Furnace จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือ

เครื่อง DSC จะควบคุมให้ Furnace ทั้งสอง (Furnace ของ Sample Pan และของ Reference Pan) เพิ่มอุณหภูมิธาตุทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง

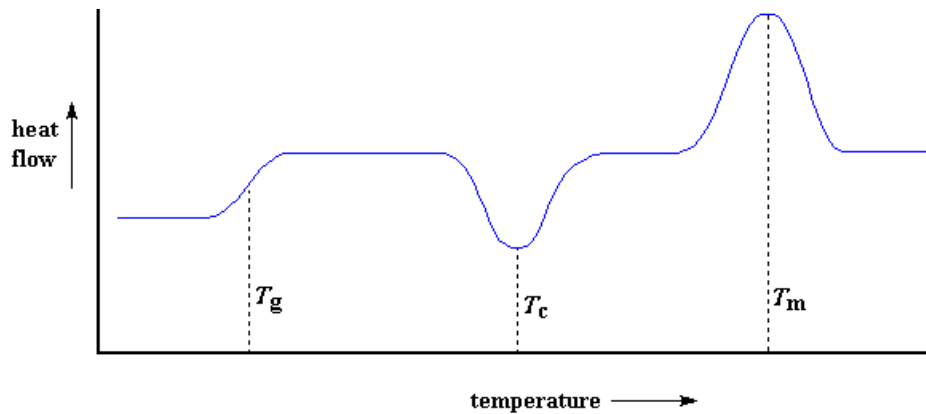
สาเหตุที่ความร้อนของธาตุทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันก็คือ ธาตุทั้งสองมีความแตกต่างกัน นั่นคือ Sample Pan มีตัวอย่างพอลิเมอร์อยู่ข้างใน แต่ Reference Pan ไม่มี การมีสารตัวอย่างอยู่ข้างในทำให้ Sample Pan มีสารในปริมาณที่มากกว่า Reference Pan นั้นหมายความว่า Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าทำให้ Reference Pan เพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน ดังนั้น Furnace ที่อยู่ใต้ Sample Pan จะต้องทำงานหนักกว่า Furnace ที่อยู่ใต้ Reference Pan คือมันต้องให้ความร้อนมากกว่าและการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก Furnace ทั้งสองนี้ ก็คือหน้าที่หลักของเครื่อง DSC และเพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย เราจะสร้างกราฟ โดยมีแกน X เป็นค่าของอุณหภูมิ และแกน Y เป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของ Furnace ทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

โดยปกติแล้ว การทดสอบสารตัวอย่างทำได้โดยการเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิสารตัวอย่างด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่คงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที โดยเริ่มต้นที่ 25°C และสิ้นสุดการทดลองที่ 300°C) หรือการรักษาอุณหภูมิสารตัวอย่างไว้คงที่ (Isothermal) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 200°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) และสำหรับการทดลองส่วนใหญ่แล้ว บรรยากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อผลการทดลองเช่นเดียวกับอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ โดยส่วนใหญ่แล้วบรรยากาศที่ใช้ในการทดลองมีสองแบบคือ บรรยากาศเฉื่อย (Inert Atmosphere เช่น แก๊สไนโตรเจน) และบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน (Oxidizing Atmosphere เช่น แก๊สออกซิเจน หรืออากาศ)

ความร้อนที่ไหลสารตัวอย่าง (Heat Flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ไหลสารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือ มิลลิจูลล์ (mJ) พลังงานที่ไหลสารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Endothermic และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Exothermic

เมื่อสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว (Melting) Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าทำให้ Reference Pan เพื่อที่จะคุมอุณหภูมิของ Sample Pan และ Reference Pan ให้เท่ากัน ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยัง Sample Pan มากกว่าหรือน้อยกว่าที่ถูกส่งผ่านไปยัง Reference Pan นั้น ขึ้นอยู่กับว่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบ Exothermic หรือแบบ Endothermic DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยาน

ยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้



The entire DSC plot, right before your very eyes!

รูปที่ 2.17 แสดงกราฟเทอร์โมแกรม

ที่มา <http://pslc.ws/macrog/dsc.htm>

2.6.2 ทดสอบความหนาแน่น (ASTM D 792)

ความหนาแน่น (Density) ของสารใดๆ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวล (Mass) ต่อปริมาตร (Volume) ของสารนั้น โดยจะหาความหนาแน่นของสารใดๆ ได้นั้น ต้องหามวล และ ปริมาตรของสารนั้น ให้ได้ก่อน มวล (Mass) แทนสัญลักษณ์ด้วย m เป็นปริมาณเนื้อสารที่มีอยู่จริง และมวลของวัตถุจะมีค่าคงที่เสมอ มวลมีหน่วยได้หลายหน่วยเช่น กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (Kg) การหามวลทำได้โดยการชั่ง ซึ่งต้องใช้เครื่องชั่ง ซึ่งก็มีหลายแบบด้วยกันเช่น ความหนาแน่นจึงมีหน่วยเป็นหน่วยของมวลต่อปริมาตร คือ เป็น กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3) ในระบบเอสไอ หรือเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ก็ได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$D = \frac{M}{V}$$

เมื่อ D (Density) คือ ความหนาแน่นของสาร หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

M (mass) คือ มวลสาร หน่วยเป็นกรัม (g) หรือ กิโลกรัม (Kg)

V (Volume) คือ ปริมาตร หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

2.6.3 การวิเคราะห์ด้วยโครงสร้าง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



รูปที่ 2.18 เครื่อง (FTIR)

ที่มา http://www.sci.nu.ac.th/slc/tools.php?tool_ID=7

เป็นเครื่องวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้หลักการการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืน พลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานการหมุนและการสั่นของโมเลกุล โดยโมเลกุลของสารแต่ละชนิด จะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบ

1) แสงอินฟราเรด (Infrared radiation)

แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่มองเห็น (Visible light) และ microwave ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ในอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีคือช่วงอินฟราเรดกลางซึ่งมีความยาวคลื่น 2.5-25 ไมโครเมตร

2) การดูดกลืนแสงอินฟราเรด

การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงชนิดอื่นๆ นั่นคือโมเลกุลหนึ่งๆ จะดูดกลืนแสงที่มีพลังงานพอดีที่ทำให้เกิดการกระตุ้นหนึ่งๆ เท่านั้น แต่แสงอินฟราเรดมีพลังงานต่ำ เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงจึงทำให้เกิดเพียงการเคลื่อนไหวของพันธะ โดยพันธะแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่มีความถี่เฉพาะแตกต่างกันไป การดูดกลืนขนาดพลังงานที่เฉพาะนี้ เราเรียกว่าเป็น Quantized energy ผลของการดูดกลืนพลังงานที่เฉพาะนี้ ทำให้เราทราบได้ว่าเป็นการดูดกลืนแสงที่เกิดจากพันธะชนิดใด อย่างไรก็ตาม หากการเคลื่อนไหวของพันธะเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง dipole moment แล้วเราจะตรวจไม่พบการดูดกลืนแสงของพันธะนั้นๆ ยิ่งการเคลื่อนไหวของพันธะที่ก่อให้เกิด dipole moment มากเท่าใดสัญญาณที่ตรวจได้จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

ช่วงคลื่นของอินฟราเรด

Region	Wavelength range (mm)	Wavenumber range (cm ⁻¹)
Near	12800-2.5	0.78-4000
Middle	2.5-50	4000-200
Far	1000-50	10-20

3) การประยุกต์ใช้

3.1) การหาสูตรโครงสร้างของสาร (Structure elucidation)

ข้อมูลที่ได้จากอินฟราเรดสเปกตรัมมีข้อจำกัดในการหาสูตรโครงสร้างของสาร โดยจะบอกได้เพียงหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโมเลกุลจากส่วนของ Group frequency region โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลจากอินฟราเรดสเปกตรัมเป็นส่วนสนับสนุนข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น Nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) และ Mass spectrometry (MS) เป็นต้น

3.2) การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Identification)

การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีอินฟราเรดถือว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด กล่าวได้ว่าถ้าอินฟราเรดสเปกตรัมของสารสองตัวเหมือนกันทุกประการโดยเปรียบเทียบฟีกต่อฟีกแล้ว สารสองตัวนี้จะเป็นสารเดียวกันแน่นอน ยกเว้นสารสองตัวนั้นจะเป็น enantiomer กัน ซึ่งเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของสารที่เป็น Enantiomer กันได้ วิธีพิสูจน์เอกลักษณ์ทำได้โดย นำสารมาตรฐาน (Reference compound) กับสารที่สงสัยมาตรวจวัดด้วยเครื่องมือเดียวกัน การเตรียมแบบเดียวกัน สภาพแวดล้อมเหมือนกัน ถ้าสารที่สงสัยให้อินฟราเรดสเปกตรัมเหมือนกับสเปกตรัมของสารมาตรฐาน ก็แสดงว่าสารที่สงสัยเป็นสารชนิดเดียวกับ สารมาตรฐาน บางครั้งหากไม่มีสารมาตรฐาน ก็อาจเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐาน (Reference spectra) สำหรับใน Thai pharmacopoeia ได้แสดงสเปกตรัมมาตรฐานของยาบางชนิดไว้ ดังได้กล่าวมาแล้วว่า Group frequency region (ส่วนความถี่ของหมู่อะตอม) ของอินฟราเรดสเปกตรัม เป็นส่วนที่บอกหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโมเลกุล สำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์นั้น ส่วนที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคือส่วน Fingerprint ซึ่งจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละสาร ตัวอย่างเช่น เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Betamethasone และ dexamethasone

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุ / อุปกรณ์ / เครื่องมือ

3.1.1 วัสดุที่ใช้คือ

1. พลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (Oriented polypropylene, OPP)
2. พลาสติกประเภทโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเส้นตรง (Linear low density polyethylene, LLDPE)
3. พลาสติกประเภทโพลิเอทิลีนเทอแรฟทาเรต (Polyethylene terephthalate, PET)
4. อลูมิเนียมฟอยล์
3. ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF₆)
4. ไดเอทิลคาร์บอเนต (DEC)
5. เอทิลีนคาร์บอเนต (EC)

3.2.2 เครื่องมือ

- 1) เครื่องทดสอบความร้อน DSC ของ PERKIN ALMER รุ่น DSC 7
- 2) เครื่องวิเคราะห์หัตถ์โครงสร้าง (FTIR), Perkin Elmer
- 3) เครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (Universal testing machine) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น TX 0121 Model, H50KS ของ Hounsfield Test Equipment
- 4) เครื่องวัดความหนาแน่น METTLER AT200 โดยใช้เครื่องยี่ห้อ SNR รุ่น 1113261186
- 5) ตู้อบของ Memmert

3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มลามิเนต

ทำได้โดยการนำฟิล์มพลาสติกประเภท LLDPE, PET, OPP และ Al.Foil มาทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการ casting เพื่อได้เป็นฟิล์มลามิเนตออกมา

3.2.2 นำฟิล์มที่ลามิเนต 3 ชั้นมาทำการทดสอบ เปรียบเทียบกับฟิล์มก่อนการลามิเนต

3.2.3 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

3.2.4 ทดสอบสมบัติทางกล

3.2.5 ทดสอบการให้ผ่านก๊าซและไอน้ำ

3.2.6 ทดสอบการทนต่อสารละลาย

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย Differential scanning calorimetry (DSC)

Differential Scanning Calorimetry หรือเรียกย่อๆ ว่า DSC ซึ่งวัดอุณหภูมิ และ heat flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน (thermal transition) ของวัสดุเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิหรือเวลา ทำให้ได้ข้อมูลทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ (qualitative and quantitative) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (endothermic or exothermic processes) หรือการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (heat capacity changes) จึงนำมาใช้เพื่อศึกษาสมบัติที่เป็น ลักษณะพิเศษของวัสดุต่างๆ ทดสอบโดยการนำชิ้นบรรจุลงภาชนะบรรจุ(Pan) โดยใช้สภาวะการ

อุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิสูงสุด 250 องศาเซลเซียส

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate) 10 องศาเซลเซียส / นาที

สูตรหาค่าความเป็นผลึก [13] คือ

$$\%X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_f} \times \frac{100}{x} \quad (3.1)$$

โดยที่ ΔH_m คือ เอนทาลปีของการหลอมเหลว

ΔH_f คือ ความเป็นผลึกทั้งหมดของ PLA (93.1 J/g) (Fischer,sterzel,&wegner,1973)

x คือ weight fraction

3.3.2 การทดสอบลักษณะทางโครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR

โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด 5×3 เซนติเมตร ในแต่ละสูตร สูตรละ1 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

3.3.3 การทดสอบความหนาแน่น

การนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างมาทดสอบหาความหนาแน่น โดยตัดชิ้นงานขนาด 40×40 เซนติเมตร ในแต่ละสูตรมาสูตรละ5 ตัวอย่าง

1) สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาความหนาแน่น

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

เป็นสูตรที่ใช้ในการหาความหนาแน่นของชิ้นงานเพื่อที่จะนำไปหาค่าความหนาแน่นในแต่ละสูตร

2) สูตรหาความหนาแน่นของคอมโพสิต

$$\rho_c = \rho_f f + \rho_m (1 - f) \quad (3.3)$$

เป็นการหาค่าคอมโพสิตของชิ้นงานโดยนำค่าของชิ้นงานตัวอย่างไปแทนในสูตรเป็นการคำนวณหาค่า แล้วนำค่าที่ได้ไปลบกับ ρ ทดลอง เพื่อเป็นการหาปริมาณฟองอากาศในแผ่นฟิล์มคอมโพสิต ค่าความหนาของเส้นใยบัว คือ เท่ากับ 1.1848 g/cm^3 และค่าความหนาแน่นของ PLA เท่ากับ 1.25 g/cm^3 [13]

ρ_c คือ ความหนาแน่นของคอมโพสิต

ρ_m คือ ความหนาแน่นที่ทดลอง

ρ_f คือ ความหนาแน่นของเส้นใยบัว เท่ากับ 1.1848 g/cm^3 [13]

f คือ weigh fraction

3.3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง เป็นการทดสอบเพื่อหาความทนทานของวัสดุเมื่อได้รับแรงคงที่หรือได้รับแรงอย่างช้าๆ ซึ่งจะบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง) ชิ้นทดสอบจะมีขนาด $50 \times 25 \text{ mm}$ ตามมาตรฐาน ASTM D 882-88 ความยาวเกจ (Gauge length) 50 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที รายงานผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength เป็นเปอร์เซ็นต์ของการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่ายังมอดูลัส (Young's modulus) สภาวะที่ใช้ทดสอบอัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที

1) การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงเตรียมได้โดยกระบวนการขึ้นรูปเป็นฟิล์มหนา 100 ไมโครเมตร ขนาดชิ้นงานทดสอบ $50 \times 25 \text{ mm}$

2) ขั้นตอนการทดสอบ

- ใส่ชิ้นงานทดสอบเข้าที่หัวจับของเครื่องทดสอบยึดให้แน่น เพื่อป้องกันการเลื่อนของชิ้นงานขณะทำการทดสอบ

- ตรวจสอบความพร้อมของสภาพเครื่อง และเริ่มทำการทดสอบ

- บันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และสรุปผล

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.1 ค่าความหนาแน่นของฟิล์มแต่ละชนิด

ค่าความหนาแน่นของฟิล์มแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับราคาของวัสดุ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นและราคาของวัสดุ

วัสดุโพลิเมอร์	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ราคา (บาท/กิโล)
PET	1.39	52
Al. Foil	2.71	150
OPP	0.92	52
LLDPE	0.92	55

4.2 ค่าสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มแต่ละชนิด

สมบัติการให้ผ่านของไอน้ำ จะทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E) Plastic-Film and sheeting-Determination of water vapor transmission rate-Part 1- Humidity detection sensor method โดยใช้เครื่องมือทดสอบชื่อ Water vapor permeation tester; Lyssy L80-4000 ภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 38°C และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ผลการทดสอบสามารถดังตารางที่ 4.2

และผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน จะทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05-Oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor โดยใช้เครื่องมือทดสอบชื่อ oxygen permeation tester; Illinois 8000 ภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 23°C และความชื้นสัมพัทธ์ 0% ผลการทดสอบสามารถดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์มของวัสดุ

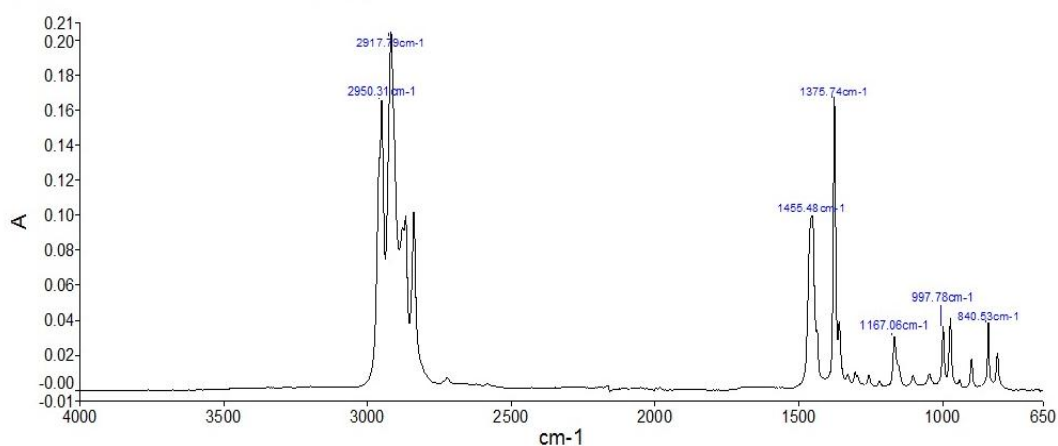
วัสดุโพลิเมอร์	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g/m ² /day)	อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (cm ³ /m ² /day)
PET	25.7	0.054
Al. Foil	9.8	0.012
OPP	10.5	0.57
LLDPE	22.5	0.89

จากตารางพบว่า อลูมิเนียมฟอยล์และฟิล์มพลาสติกชนิด OPP นั้นมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำดีที่สุด อยู่ที่ 9.8 และ 10.5 g/m²/day ตามลำดับ ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกชนิด PET และ LLDPE มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำไม่ดัดนัก คืออยู่ที่ 25.7 และ 22.5 g/m²/day ตามลำดับ

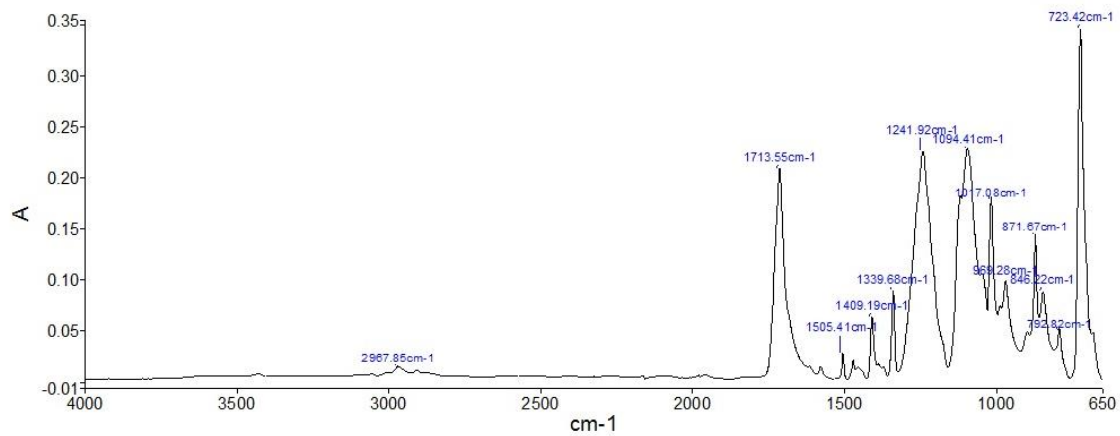
ผลอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนพบว่า อลูมิเนียมฟอยล์นั้นมีอัตราการซึมผ่านก๊าซได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PET, OPP และ LLDPE ตามลำดับ

4.3 ลักษณะทางโครงสร้างทางเคมี

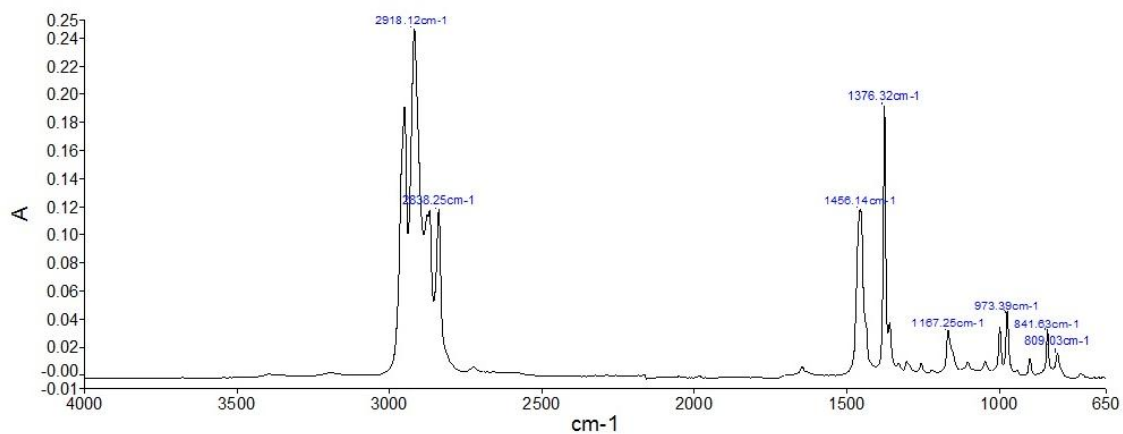
ลักษณะทางโครงสร้างทางเคมีของฟิล์มพลาสติกแต่ละประเภทและฟิล์มลามิเนต ทดสอบได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี สามารถแสดงดังรูปที่ 4.1-4.5



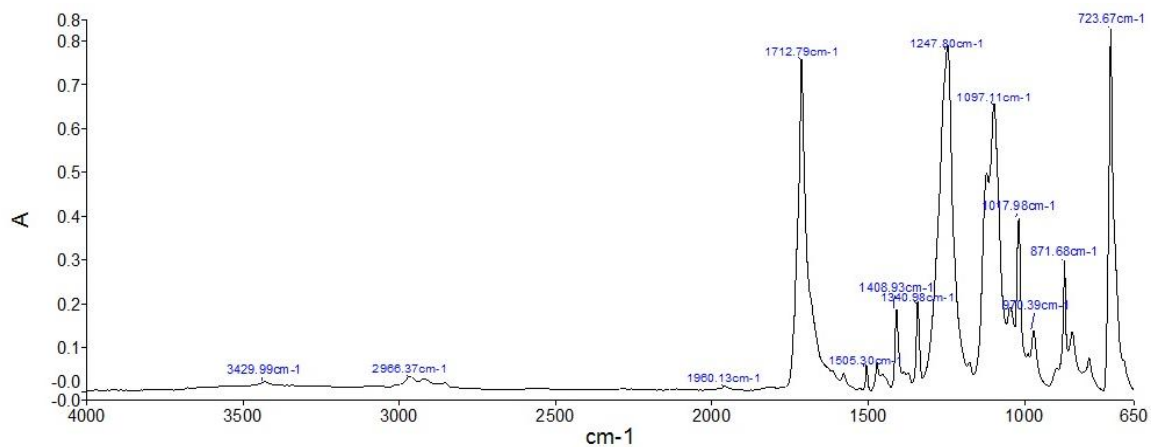
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกประเภท OPP



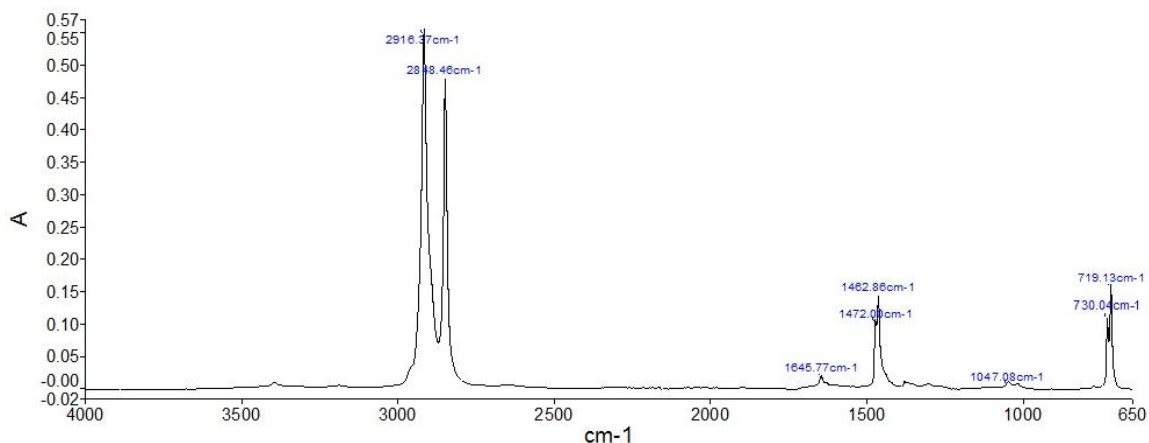
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกประเภท PET



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกประเภท LLDPE



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกประเภท LLDPE-ALU-PET



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกประเภท OPP-ALU-PET

4.4 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนได้แก่ อุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) วัสดุฟิล์มพลาสติกแต่ละประเภทและฟิล์มลามิเนต ทดสอบได้ด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ สามารถแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุฟิล์มโพลิเมอร์

วัสดุโพลิเมอร์	อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)
PET	255
Al. Foil	-
OPP	165
LLDPE	125

จากตารางพบว่าฟิล์มชนิด PET มีจุดหลอมเหลวที่สูงที่สุดคือ 255 °C ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยอะตอมหมู่ออกซิเจน ซึ่งส่งผลให้ค่าการหลอมเหลวสูงขึ้นเหมือนกับพลาสติกประเภทโอเลฟิน เช่น PE และ PP ค่าอุณหภูมิดังกล่าวนำมาใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกหรือวิเคราะห์ผลการทนต่ออุณหภูมิขณะใช้งาน

4.5 สมบัติการทนต่อสารเคมี

การทดสอบการทนต่อสารเคมีอิเล็กโทรไลต์ ทำโดยการตัดชิ้นงานพลาสติกขนาด 1x1 นิ้ว ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน และนำไปแช่ในสารละลาย 1.0 M LiPF₆ ละลายในสารละลาย EC/DEC 3/7 v/v นาน 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาชั่งน้ำหนักหลังผ่านสารละลาย และนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

ตารางที่ 4.4 การสูญเสียน้ำหนักของวัสดุฟิล์มโพลิเมอร์

วัสดุโพลิเมอร์	การสูญเสียน้ำหนัก (%)
PET	0.51
Al. Foil	0
OPP	0.35
LLDPE	0.42

4.6 สมบัติทางกล

วัสดุโพลิเมอร์	การทนต่อแรงดึง (MPa)	มอดูลัสของยัง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
PET	1.10	9.91	919
Al. Foil	4.20	13.64	127
OPP	3.93	10.25	77
LLDPE	1.70	7.03	1299
OPP-ALU-PET	3.29	42.40	853
LLDPE-ALU-PET	3.27	12.67	1024

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยถึงการเตรียมวัสดุพลาสติกลามิเนตนั้นสามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุพลาสติกให้เหมาะสมตามความต้องการด้านการนำไปใช้งาน เช่นกรณีการทำของบรรจุแบตเตอรี่ การทนต่อสารอิเล็กโทรไลต์ ก๊าซ ไอ่น้ำ มีความจำเป็น นอกจากนี้ยังมีเรื่องของราคา ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเลือกใช้วัสดุประเภทโพลีเอทิลีน และเอสเทอร์ ซึ่งมีราคาเม็ดพลาสติกไม่เกิน 55 บาทต่อกิโลกรัมและมีความแข็งแรงถึง 27,000 psi และทนต่อการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนได้ดี นั้นมีความเป็นไปได้ในการพัฒนา โดยมีปัจจัยหลักคือ การติดตามการพัฒนาประเภทของแบตเตอรี่ที่มีการเปลี่ยนแนวโน้มของการใช้สารละลายที่ทำเป็นสารอิเล็กโทรไลต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาด้านของบรรจุภัณฑ์แบตเตอรี่อย่างเป็นระบบควรมีการสนับสนุนอย่างจริงจังในประเทศไทยเพื่อให้สามารถผลิตแบตเตอรี่ชนิดของขึ้นใช้เอง ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงการศึกษาการปลดปล่อยและคายพลังงานและขึ้นรูปแบตเตอรี่ใช้เอง และให้มีกระบวนการในการรีไซเคิลได้อย่างเป็นระบบเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้พลังงานจะสามารถใช้ได้อย่างยั่งยืนและเงินตราไม่รั่วไหลไปต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.V. Wright, British Polymer Journal, 1975; Vol.17: 319
- [2] J. Moacanin and E. F. Cuddihy, Journal of Polymer Science, Part C 1966; Vol. 14: 313
- [3] M.B. Armand, J. M. Chabagno and M. J. Duclot, in Fast Ion Transport in Solids, P. Vashishta, J. N. Mundy and G. K. Shenoy, editors, Elsevier, North Holland NY 1979;131
- [4] R. Paradis and M. Davis, The Lithium Metal Polymer pack for Stationary Applications, Battcon 2002
- [5] C. St-Pierre, A VESTOR Lithium Metal Polymer Batteries: Proven reliability Based on Customer Trails, Battcon 2003
- [6] Klinklai W, Kawahara S, Mizumo T, Yoshizawa M, Sakdapipanich JT, Isono Y and Ohno H. European Polymer Journal 2003; 39: 1707-1712.
- [7] Klinklai W, Kawahara S, Mizumo T, Yoshizawa M, Sakdapipanich JT, Isono Y and Ohno H. Solid State Ionics 2004; 168: 131-136.
- [8] Kawahara S, Klinklai W, and Isono Y. Polymer for Advanced Technologies 2004; 15: 181- 184.
- [9] Klinklai W, Saito T, Kawahara S, Tashiro K, Suzuki Y, Sakdapipanich J and Isono Y. Journal of Applied Polymer Science 2004; 93: 555-559.
- [10] Yoshikawa M, Marwanta E and Ohno H. Polymer 2000; 41: 9049-9053.
- [11] MacCallum J R and Vincent C A. Polymer Electrolyte Reviews-2., Elsevier Science Publications Ltd. England, 1989; 338
- [12] Glasse M D, Idris R, Latham R J, Linford R G and Schlindwein W S. Solid State Ionics 2002; 147: 289-294.
- [13] Idris R, Glasse M D, Latham R J, Linford R G and Schlindwein W S. J Power Sources 2001; 94: 206-211.
- [14] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/3201030.html>
- [15] Hadjipaschalis, A. Poulikkas, Efthimiou., (2009) Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and sustainable energy reviews 13, pp. 1513-1522.

[16] ชีรพล โอภาสพันธุ์วงศ์และประกาศิต จัวงพานิช.(2546). ความเป็นไปได้ในการนำโลหะกลับคืนจากแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเครื่องแยกแร่โลหะด้วยแม่เหล็ก.วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[17] Anderson., (2001) Surface Phenomena in Li-ion Batteries, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology, vol. 656, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala, Sweden.

ภาคผนวก 1

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. วารุณี อริยวิริยะนันท์, บุญยัง ปลั่งกลาง, และจักรี ศรีนนท์ฉัตร. “การพัฒนาของบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต” บทความวิชาการในงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. จ.ประจวบคีรีขันธ์. 27-29 มีนาคม 2556,
2. Warunee Ariyawiriyanan, Boonyang Plangklang and Jakkree Srinonchat. Properties of Laminated Polymer Use for Packaging Cell of Lithium Polymer Battery. Proceeding of *The 4th Rajamangala University of Technology International Conference*, Bangkok. 16-18 June, 2013.

ภาคผนวก 2
ผลสัมฤทธิ์ทางกล

การพัฒนาของบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบบเตอร์จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต

Development of Lithium Polymer Battery Cell Packaging from Laminated Polymer Materials

วารุณี อริยวิริยะนันท์* บุญยัง ปลั่งกลาง^๑ และจักรี ศรีนันทน์^๒

^๑สาขาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ ^๒สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ^๓สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี โทรศัพท์ : 02-5493484-5 *E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการพัฒนาของบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบบเตอร์จากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตที่มีราคาถูกเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแบบเตอร์ในประเทศ โดยคำนึงถึงบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้ แนวทางในการวิเคราะห์และการทดสอบเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคตได้ ในปัจจุบันสารละลายในอิเล็กโทรไลต์ที่นิยมใช้ในแบบเตอร์จะเป็นกลุ่มคาร์บอนเนต เช่น ไดเมทิลคาร์บอนเนต ไดเอทิลคาร์บอนเนต เอทิลเมทิลคาร์บอนเนตและเมทิลลิเนียมคาร์บอนเนตได้มีการศึกษากันเป็นจำนวนมาก แต่ผลอันเนื่องมาจากสารละลายที่ไม่ใช่คาร์บอนเนตและสารเติมแต่งที่ใช้ในลิเทียมไอออน ลิเทียมโพลิเมอร์ เจลโพลิเมอร์และ ซิลอกเซนอิเล็กโทรไลต์ (Siloxane electrolyte) นั้นมีความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้เพิ่มอีกมาก ดังนั้นการใช้วัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตในของบรรจุเซลล์แบบเตอร์ก็ควรจะต้องมีการพัฒนาไปพร้อมๆ กันด้วย โดยแบบเตอร์สมัยใหม่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าและรถไฟฟ้าไฮบริด จะนิยมทำเป็นของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถปรับปรุงได้และพัฒนาให้มีราคาถูกลง การเลือกใช้วัสดุประเภทสารอินทรีย์นาโนเคลย์คอมโพสิต (Organoclay nanocomposite) ได้มีการศึกษาเป็นสารซีลันต์ (Sealant) โดยมีสมบัติเด่นด้านการป้องกัน (Barrier properties) จากการทดลองพบว่าการใช้สารอินทรีย์นาโนเคลย์คอมโพสิตนี้ช่วยให้สมบัติในการกั้นการผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น 30% แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยประเภทของสารที่ช่วยในการกระจายตัวของนาโนเคลย์และการพัฒนาสมบัติด้านการซึมผ่านของความชื้นยังไม่พบรายงานในปัจจุบัน

คำสำคัญ: โพลิเมอร์แบบเตอร์ ของบรรจุเซลล์ ลิเทียมโพลิเมอร์ ลามิเนตโพลิเมอร์

Abstract

This article describes a development of lithium polymer battery cell packaging from laminated polymer materials. This report is on low-cost flexible battery packaging useful for battery industry in Thailand and a test protocols to evaluate a packaging design for future research improvement. At present, only carbonate solvent such as

dimethyl carbonate, diethyl carbonate, ethyl methyl carbonate, ethylene carbonate and propylene carbonate have been investigated. The effects of non-carbonate solvent and additives that are present in lithium-ion, lithium-polymer, gel polymer and siloxane electrolyte need to be studies. Thus, laminated polymer used in cell packaging was also development. A novel and low cost flexible packaging in pouch cell battery is usually used for electrical vehicles (EVs) and hybrid electrical vehicles (HEVs). Organoclay nanocomposite is being investigated as a sealant layer with improved barrier properties. Oxygen and carbon dioxide barrier properties of these organoclay nanocomposite film show improvement more than 30%. However, the research on types of surfactant helps for clay dispersion and improvement of moisture still not found in the present.

Keywords: Polymer Battery, Cell Packaging, Lithium Polymer, Laminated Polymer

1. บทนำ

บทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาวัสดุสำหรับเก็บพลังงาน คือแบบเตอร์ การพัฒนาโพลิเมอร์แบบเตอร์เพื่อเก็บพลังงานเป็นเทคโนโลยีของแบบเตอร์ในปัจจุบันที่มีความคืบหน้าไปมาก [1-3] เช่น ลิเทียมไอออนแบบเตอร์ (Lithium ion battery) ซึ่งมีขนาดเล็กและสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มาก นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในส่วนของลิเทียมโพลิเมอร์แบบเตอร์ (Lithium polymer battery) ซึ่งมีสมบัติ ต่างจากลิเทียมไอออนที่ชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยในลิเทียมโพลิเมอร์แบบเตอร์ใช้ฟิล์มคล้ายพลาสติกร่วมกับอิเล็กโทรไลต์ชนิดเจล แทนที่จะใช้แผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุน เป็นตัวส่งผ่านไอออน ลิเทียมโพลิเมอร์แบบเตอร์ทำการผลิตง่าย มีความแข็งแรง ปลอดภัย รับประทานไฟฟ้านได้มากกว่า โอกาสรั่วของสารอิเล็กโทรไลต์ลดลง น้ำหนักเบาและบางสามารถทำให้บางได้ถึง 1 มิลลิเมตร ไม่จำกัดรูปแบบ สามารถผลิตให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ตามความต้องการของการใช้งาน ไม่จำเป็นต้องจกักอยู่แค่ขนาดเซลล์มาตรฐาน ขนาดที่ต้องการสามารถสั่งผลิตได้วัสดุสำหรับบรรจุแบบเตอร์ (Battery packaging) ที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นจะมีลักษณะแข็ง (Rigid) และตายตัวโดยภายในจะบรรจุด้วยเซลล์ที่มีสาร

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2013 (EENET 2013)

อิเล็กทรอนิกส์อยู่และต้องควบคุมการผ่านเข้าออกของอากาศภายนอก ลักษณะวัสดุบรรจุที่แข็งและตายตัวนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการพัฒนา แบตเตอรี่ให้มีขนาดเล็กเพื่อใช้งาน เช่น มือถือ คอมพิวเตอร์แบบพกพา อุปกรณ์ไฟฟ้าพกพาได้ทำไดยาก นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดอื่นๆ ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์และราคาในการประกอบแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนที่กำลังพัฒนาใช้กับรถไฟฟ้า (Electrical vehicles, EVs) และ รถไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid electrical vehicles, HEVs) ที่มีขนาดใหญ่ โดยปกติจะให้กำลัง 10-100 Ah ส่งผลให้ต้องใช้ไฟฟ้าหรือการเชื่อมด้วย เลเซอร์ของฝาปิดโลหะกับตัววัสดุที่ทำจากโลหะ และสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในแบตเตอรี่เหล่านี้จะเป็นแบบสารละลายที่คิดไฟได้ ดังนั้นทำให้ต้อง มีการเพิ่มส่วนของช่องระบายอากาศเพื่อช่วยลดแรงดันในกรณีชาร์จเกิน หรือร้อนเกินไป ทำให้แบตเตอรี่ดังกล่าวมีราคาที่สูงมาก [4]

ดังนั้นบทความวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวัสดุบรรจุแบตเตอรี่ที่อ่อนตัว ได้ (Flexible packaging) สำหรับบรรจุเซลล์ลิเทียมโพลิเมอร์แบตเตอรี่ที่ทำจากวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต (Laminated polymer materials) ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ในปัจจุบัน โพลิเมอร์ลามิเนตประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น ประกอบกัน[5-6] คล้ายกับของบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยวัสดุลามิเนตที่มีการพัฒนานี้จะประกอบด้วยแผ่นฟิล์มโลหะที่ทำจาก อลูมิเนียม (aluminium) ซึ่งจะปกป้องการซึมผ่านของโพลิเมอร์ด้านหนึ่ง พร้อมช่วยพองให้แข็งแรง และอีกด้านจะเป็น โพลิเมอร์ที่ทนต่อ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งระบบการใช้วิธีการลามิเนตจะช่วยทำให้ราคาของของบรรจุแบตเตอรี่ลดลงและมีการใช้ประโยชน์ ได้ดีเนื่องจากการขึ้นรูปง่าย ชนิดเซลล์แบตเตอรี่คือแบบซอง (Pouch Cell) หรือบางครั้งเรียกว่า Lithium Polymer Cell (Lipo Cell) เป็นเซลล์ ลิเทียมแบตเตอรี่ประกอบขึ้นจากขั้วบวก ขั้วลบและสารอิเล็กโทรไลต์ แบบของแข็ง (solid polymer electrolyte) เป็นเซลล์มีราคาไม่แพง มี ประสิทธิภาพสูง การออกแบบอิสระ และส่วนสำคัญที่ควรพัฒนาคือของ บรรจุเซลล์เหล่านี้ โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายประการ เช่น ต้อง น้ำหนักเบา ยืดหยุ่นได้ เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูงๆ ได้ สามารถ ป้องกันความร้อนและอากาศเข้าออกได้ดี ซึ่งวัสดุพลาสติกก็เป็นอีก ทางเลือกหนึ่งในการพัฒนา สมบัติของวัสดุที่เป็นของบรรจุเซลล์นี้ คือ ต้องการความทนต่อสารเคมี ทนต่อความร้อนและแข็งแรง โดยสมบัติ ที่ต้องการ ได้แก่ [7]

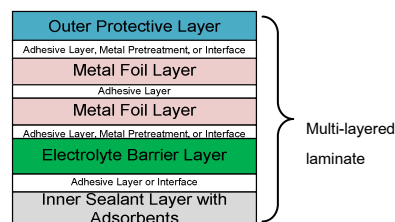
1. ชั้นที่ทนต่อความชื้น ซึ่งจะปกป้องความชื้นจากภายนอก เข้าสู่เซลล์และทำปฏิกิริยากับสารอิเล็กโทรไลต์
2. ชั้นที่ทนต่อสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solvent) ซึ่งจะ ป้องกันสารอิเล็กโทรไลต์ไหลออกจากเซลล์
3. ชั้นที่ทนต่อก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (Hydrogen fluoride, HF) ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโทรไลต์เข้ามาสัมผัสกับวัสดุที่บรรจุ (pouch)

4. ชั้นสารยึดติด (Sealant) ซึ่งจะทำให้การยึดติดระหว่าง ชั้นลามิเนตกับขั้วตะกั่วอิเล็กโทรด (Electrode Leads)

วัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาของบรรจุเซลล์โพลิเมอร์ แบตเตอรี่นี้คือ ราคาที่ลดลง กล่าวคือ ของบรรจุแบตเตอรี่นั้น ประกอบด้วยเซลล์หลายๆ ชั้น โดยพยายามให้ราคาลดลงเซลล์ละ ประมาณ 35 บาท ซึ่งในแบตเตอรี่ 1 ลูกจะประกอบด้วยเซลล์ประมาณ 50 เซลล์ และแบตเตอรี่ 1 ลูกสามารถใช้กับรถยนต์ 1 คัน

2. วัสดุลามิเนต (Laminated materials)

การทำบรรจุภัณฑ์ให้มีความยืดหยุ่นสามารถทำได้โดยวิธีการ ลามิเนตจากชั้นวัสดุต่างๆ เป็นแผ่นหรือม้วน โดยการลามิเนตขึ้นรูปจาก ชั้นบาง หลายๆ ชั้นและมีฟิล์มโลหะบางอยู่ระหว่างกลางเพื่อป้องกันการ ซึมผ่านของผิวหนังภายนอกของวัสดุและชั้นฟิล์มโพลิเมอร์ที่ทนความ ร้อนได้ดีประกอบอยู่อีกด้านหนึ่ง ซึ่งจะกลายมาเป็นองค์ประกอบภายใน หลังจากบรรจุเป็นเซลล์แบบซองแล้ว ภาพตัดขวางของชั้นลามิเนต สามารถแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยชั้นนอกสุดสำหรับปกป้อง ความชื้น (Outer protection layer) โดยปกติจะใช้วัสดุพลาสติกกลุ่ม โพลีนหรือโพลีเอสเตอร์ที่มีความหนาประมาณ 10-40 ไมครอน ชั้นใน สุดเป็นชั้นยึดติด (Inner sealant layer) ส่วนมากจะใช้วัสดุพลาสติก ประเภทโพลีโอลิฟินส์ เช่น โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน หรืออื่นๆ เป็น ดัน และมีความหนาประมาณ 20-40 ไมครอน ชั้นโลหะ (Metal foil layer) จะนิยมใช้อลูมิเนียมฟอยล์ที่มีความหนาประมาณ 5-30 ไมครอน โดยจะประกอบเป็น 2 ชั้นเพื่อลดปัญหาการรั่วและมีการวางเพิ่มชั้นป้องกัน ที่ทำจากวัสดุโพลิเมอร์ เช่น ใช้วัสดุโพลีเอสเตอร์ เพื่อป้องกันชั้นโลหะ จากสารอิเล็กโทรไลต์ และจะใช้สารประสาน (Adhesive) ช่วยในการยึด ติดในแต่ละชั้นวัสดุ โดยชั้นสารประสานนี้จะใช้ได้ทั้งสารประเภทเทอร์ โมเซตติงหรือเทอร์โมพลาสติก โดยปกติจะทำการปรับสภาพผิวโลหะ ด้วยวิธีประจุโคโรนา (Corona discharge) เพื่อปรับผิวให้เป็นออกไซด์ ช่วยในการยึดติดกับสารประสานและชั้นโพลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยการ เลือกวัสดุสารประสาน กระบวนการปรับสภาพผิวและชั้นวัสดุโพลิเมอร์ที่ สามารถป้องกันความชื้นในชั้นเซลล์แบตเตอรี่ได้โดยปราศจากการเติม ด้วยสารดูดความชื้นภายใน ซึ่งก็ถือว่าเป็นงานวิจัยที่ทำภายในอนาคตและ ต้องการการพัฒนาเพิ่มเติมอีกมาก [8-10]



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางของวัสดุลามิเนตแบบหลายชั้น

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

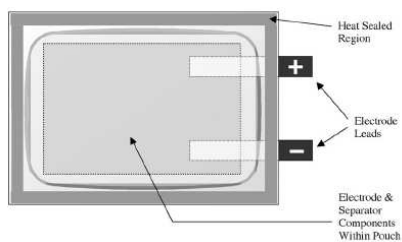
Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2013 (EENET 2013)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความแข็งแรงและราคาของวัสดุโพลิเมอร์ลามิเนต [6]

วัสดุโพลิเมอร์	ความทนต่อแรงดึง (psi)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ราคาบาท/กิโล
PET	27000	1.39	52
Al. Foil	7000	2.7	150
Nylon 6	7000	1.15	151
PP	6100	1.07	52
HDPE	4000	0.95	50
LDPE	2400	0.92	55

3. การประกอบเซลล์แบตเตอรี่แบบซอง (Pouch cell) [7]

ชั้นวัสดุลามิเนตจะถูกตัดเป็นแผ่นและนำมาประกอบเป็นเซลล์ในแบบซอง การพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทนี้มีมากขึ้นและต้องใช้นักวิจัยสาขาเคมี ไฟฟ้าและอื่นๆ เข้ามาร่วมพัฒนาด้วย โดยภายในจะประกอบด้วยขั้วบวก (Positive electrode) ชั้นตัวแยกหรืออิเล็กโทรไลต์ (Separator/electrolyte) และขั้วลบ (Negative electrode) โดยขั้วบวกและลบจะติดกาวและวางไว้ตำแหน่งตรงกลางของซองและชั้นลามิเนตวางภายในและเดิมด้วยสารอิเล็กโทรไลต์ ถ้าเป็นของเหลว แล้วปิดด้วยความร้อน (Heat seal) ทั้ง 4 ด้าน บางครั้งอาจจะทำการดูดอากาศออกให้ภายในเป็นสุญญากาศเพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในและช่วยให้สารอิเล็กโทรไลต์ภายในซึมผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดและชั้นตัวแยกได้ดียิ่งขึ้น โดยแสดงการประกอบเซลล์แบบซองในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่แบบ Pouch Cell

4. การทดสอบของบรรจุเซลล์แบตเตอรี่ [11]

การทดสอบเซลล์แบตเตอรี่แบบซองจะใช้สารอิเล็กโทรไลต์บรรจุภายในประมาณ 50 กรัม สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 25 kW และต้องเป็นสารละลายที่มีอัตราส่วนผสมเหมือนกับที่นักวิจัยใช้ในการพัฒนาแบตเตอรี่จริง โดยปกติจะใช้ของผสมคาร์บอน 5 ชนิดแตกต่างกัน และกำหนดให้เซลล์ที่สร้างขึ้นสำหรับใช้กับรถ HEVs มีขนาดแบตเตอรี่ 25 kW และความกว้าง x ยาว x สูง คือ 100x110x20 มม.

4.1 การทนต่อการสภาวะอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C

การทดสอบนี้จะใช้ซองที่บรรจุเซลล์แบตเตอรี่จำนวนอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง วางเรียงตามแนวนอนภายในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 55°C และภายในบรรจุด้วยเม็ดสารคัดขนาด (Molecular sieve beads) ชนิด 13X การเลือกทดสอบที่อุณหภูมิ 55°C นี้เนื่องจากเกลืออิเล็กโทรไลต์ LiPF₆ นั้นเริ่มสลายตัวเหนืออุณหภูมินี้ สารคัดขนาดนี้จะทำหน้าที่ดูดความชื้นจากสารละลายคาร์บอนได้ดี สารชนิดนี้จะถูกเปลี่ยนทุกๆ เดือนหลังจากอัดตัวแล้วโดยคิดเป็น 25% เทียบกับน้ำหนักแห้ง การวิเคราะห์จะทำการชั่งน้ำหนักของเซลล์แบตเตอรี่ทุกๆ 2 สัปดาห์ และตรวจสอบสภาพการบิดเบี้ยว รั่วซึม ตลอดระยะเวลา 1 ปี อัตราการสูญเสียของสารอิเล็กโทรไลต์จะคำนวณจากความชื้นของกราฟระหว่างน้ำหนักของเซลล์กับระยะเวลาในการทดสอบ มีหน่วยเป็น กรัมของสารอิเล็กโทรไลต์ที่สูญหายไปต่อเซนติเมตรของซองบรรจุเซลล์แบตเตอรี่ และการวิจัยอาจจะทดสอบที่อุณหภูมิ 30°C และ 40°C และสามารถนำมาหาจุดตัดเพื่อคำนวณหาการใช้งานที่อุณหภูมิห้องได้ด้วย

4.2 การทนต่อการสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 83 % และอุณหภูมิ 55 °C

การทดสอบนี้จะใช้ซองที่บรรจุเซลล์แบตเตอรี่อย่างน้อย 18 ตัวอย่าง วางเรียงตามแนวนอนภายในภาชนะปิดที่มีสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (KNO₃) อัดตัวอยู่ รักษาอุณหภูมิที่ 55°C สารละลาย KNO₃ นี้จะช่วยควบคุมให้ความชื้นสัมพัทธ์ 83% การทดสอบนี้เป็นที่นิยมสำหรับการทดสอบความทนทานของซองบรรจุแบตเตอรี่ ซึ่งสารอิเล็กโทรไลต์จะแพร่ผ่านออกมาภายนอกขณะที่ความชื้นจะเข้าสู่ภายในเซลล์แบตเตอรี่โดยจะส่งผลให้เกิดการขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารอิเล็กโทรไลต์กับความชื้นนั่นเอง การวิเคราะห์จะทำการชั่งน้ำหนักของเซลล์แบตเตอรี่ทุกๆ 2 สัปดาห์ และตรวจสอบสภาพการบิดเบี้ยว รั่วซึม ตลอดระยะเวลา 1 ปี อัตราของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจะหาได้จากความชื้นระหว่างน้ำหนักของเซลล์แบตเตอรี่กับระยะเวลา

4.3 การทนต่อความร้อนต่อเนื่องระหว่างอุณหภูมิ -40 ถึง 60°C ที่สภาวะอากาศชื้น

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างอย่างน้อย 18 ตัวอย่างและจะวางในภาชนะที่ความชื้นปรกติและจะให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องระหว่างอุณหภูมิ -40 ถึง 60°C การทดสอบนี้ใช้ทดสอบผลของสัมประสิทธิ์ทางความร้อนของวัสดุโพลิเมอร์และโลหะพอยด์ที่มีต่อการดูดความชื้นและการตกผลึกของสารอิเล็กโทรไลต์ในชั้นระหว่างสารยึดติดกับสารประสาน (Sealant/adhesive layer) โดยจะวัดที่อุณหภูมิ -40°C และปล่อยให้ไว้ให้สมดุลนาน 60 ถึง 90 นาที และที่อุณหภูมิ 60°C ทิ้งให้สมดุลนาน

บทความวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2013 (EENET 2013)

60 ถึง 90 นาที เช่นกันทำอย่างนี้ต่อ 1 รอบของการทดสอบ การวิเคราะห์ จะทำการชั่งน้ำหนักของเซลล์แบตเตอรี่ทุกๆ 200 รอบของการเพิ่มและลดอุณหภูมิ ภายในระยะเวลา 1 ปี

4.4 การหาความชื้นและความเป็นกรดของเกลืออิเล็กโทรไลต์

การทดสอบความชื้นทำได้โดยการไตเตรตด้วยเครื่อง Karl Fisher โดยเกลืออิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบต้องเก็บในโถดูดความชื้นหรือตู้ดูดความชื้น (Glove box) และทุกๆ ตัวอย่างจะต้องทำการไตเตรตอย่างน้อย 2 ครั้ง การรายงานผลมีหน่วยเป็นส่วนต่อล้านส่วนโดยน้ำหนักของ น้ำในสารละลายเกลืออิเล็กโทรไลต์

การทดสอบความเป็นกรดจะใช้การไตเตรตแบบดั้งเดิมโดยใช้ บิวเรต ทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH solution) ใช้อินดิเคเตอร์เป็นโบโมไทมอลบลูเข้มข้น 0.4 wt% ซึ่งจะเป็น สีเหลืองที่ pH<6 และเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่ pH>7 ระดับความเป็นกรด กำหนดเทียบกับกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid, HF) บริสุทธิ์ มี หน่วยเป็นส่วนในล้านส่วนของน้ำหนักของ HF ในสารอิเล็กโทรไลต์

5. สรุป

บทความวิชาการนี้เป็นการช่วยให้การพัฒนาด้านบรรจุภัณฑ์ HEVs แบตเตอรี่ ที่มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 15 ปี ราคาถูกและยืดหยุ่น ได้ รวมถึงการรวบรวมการทดสอบของบรรจุเซลล์แบตเตอรี่อย่าง ครบถ้วนสำหรับนักวิจัยเพื่อการพัฒนาวัสดุในอนาคต ที่ผ่านมาพบว่า การใช้วัสดุโพลิเมอร์ลามิเนตหลายชั้นนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะทำเป็นของ บรรจุเซลล์แบตเตอรี่แทนที่วัสดุแข็งที่ใช้แบบทั่วไปได้ นอกจากนี้ยังมี ส่วนที่ยังไม่ได้รับการศึกษาอีก ได้แก่ การติดตามผลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่มากเกินไป การแปรสภาพของชั้นสารประสานกับโลหะฟอยด์เป็น ดัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุน ประจำปี 2555 และมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1]. A. N. Jansen, K. Amine, A. E. Newman, D. R. Vissers, and G. L. Henriksen, *Journal of Materials*, 54 (3), 29-32, 2002.
- [2]. A. N. Jansen, K. Amine, D. J. Chaiko, G. L. Henriksen, T. Hosokawa, K. Tanaka, and H. Saen, *Proceedings of the 204th Meeting of the Electrochemical Society*, Orlando, FL, Oct. 12-17, 2003.

- [3]. D. J. Chaiko, *Proceedings of the 204th Meeting of the Electrochemical Society*, Orlando, FL, Oct. 12-17, 2003.

- [4]. L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, M. Ouyang. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, pp. 272-288, 2013.

- [5]. J. Brandrup, E. H. Immergut, and E. A. Grulke (Eds.), *Polymer Handbook*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.

- [6]. J. N. Epel, J. M. Margolis, S. Newman, R. B. Seymour (Editorial Steering Committee), *Engineered Materials Handbook*, Vol. 2, "Engineering Plastics," in ASM International, 4th printing, 1997.

- [7]. B. Scrosati, J. Garche. Lithium batteries: Status, prospects and future, *Journal of Power Sources* 195, pp. 2419-2430, 2010.

- [8]. F. Xia, S.A. Xu. Effect of surface pre-treatment on the hydrophilicity and adhesive properties of multilayered laminate used for lithium battery packaging. *Applied Surface Science*, 2013 (in press).

- [9]. *Plastics Design Library (PDL)*, Permeability and Other Film Properties, PDL Handbook Series, Norwich, NY, 1995.

- [10]. H. F. Brinson (Technical Chairman), *Engineered Materials Handbook*, Vol. 3, "Adhesives and Sealants," in ASM International, 2nd printing, 1999.

- [11]. *Freedom CAR Battery Test Manual for Plug-In Hybrid Electric Vehicles*, INL/EXT-07-12536, March, 2008.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมพลาสติก มทร.ธัญบุรี จบปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาฯ และจบปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยี Nagaoka University of Technology ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันรับราชการเป็นอาจารย์สังกัดภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความสนใจในการทำวิจัยด้าน การพัฒนาวัสดุโพลิเมอร์ เทคโนโลยียาง เทคโนโลยีแบตเตอรี่ และการวิเคราะห์วัสดุ

Properties of Laminated Polymer Use for Packaging Cell of Lithium Polymer Battery

Warunee Ariyawiriyanan^{1*}, Boonyang Plangklang² and Jakkree Srinonchat³

¹ *Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Materials and Metallurgical Engineering, Patumthani, Thailand 12110*

² *Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Patumthani, Thailand 12110*

³ *Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Patumthani, Thailand 12110*

Abstract

Properties of laminated polymer materials uses for a cell packaging of lithium polymer battery were studies. This study is on low-cost flexible materials useful for battery industry in Thailand to evaluate a packaging design for future research improvement. Dimethyl carbonate, diethyl carbonate, ethyl methyl carbonate, ethylene carbonate and propylene carbonate have been investigated as a solvent in lithium battery. The effects of non-carbonate solvent and additives that are present in lithium-ion, lithium-polymer, gel polymer and siloxane electrolyte need to be studies. Thus, laminated polymer used in cell packaging was also development. In the present study, plastic films that are oriented polypropylene (OPP), linear low density polyethylene (LLDPE), nylon (PA), polyethylene terephthalate (PET) and its laminated were used. Then, plastics film was laminated with aluminum foil (Al) using film calendaring process. Structural and morphology characterization of films were characterized using attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The effect of plastics film of each multilayer laminated polymer on mechanical properties was investigated. It was found that a tensile strength, modulus and elongation at break of PET-Al-LLDPE was 3.3 KPa , 12.6 KPa, 1,024% while that of PET-Al-OPP was 3.3 KPa, 41.5 KPa, 853% , respectively. Gas and water permeable properties of laminated films were improved compared to the neat plastics.

Keywords: Lithium Polymer Battery, Cell Packaging, Laminated Film, Permeable properties

*Corresponding Author: warunee.a@en.rmutt.ac.th Tel. +662-5493484-5

มีผลงานตีพิมพ์และได้รับรางวัล Frist Prize Winner for Poster Presentation in Engineering ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 5th Rajamangala University of Technology International Conference ระหว่างวันที่ 15-16 กรกฎาคม 2556 กรุงเทพฯ

เรื่อง Properties of Laminated Polymer Use for Packaging Cell of Lithium Polymer Battery ของ ผศ. ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ ที่ได้รับทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2555 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



Properties of Laminated Polymer Use for Packaging Cell of Lithium Polymer Battery

Warunee Artyawiryanan^{1*}, Boonyang Plangklang² and Jakkree Srinoncha³

¹ Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Materials and Metallurgical Engineering, Pathumthani, Thailand 12110
² Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Pathumthani, Thailand 12110
³ Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Pathumthani, Thailand 12110

Abstract

Properties of laminated polymer materials uses for a cell packaging of lithium polymer battery were studies. This study is on low-cost flexible materials useful for battery industry in Thailand to evaluate a packaging design for future research improvement. Dimethyl carbonate, diethyl carbonate, ethyl methyl carbonate, ethylene carbonate and propylene carbonate have been investigated as a solvent in lithium battery. The effects of non-carbonate solvent and additives that are present in lithium-ion, lithium-polymer, gel polymer and siloxane electrolyte need to be studies. Thus, laminated polymer used in cell packaging was also development. In the present study, plastic films that are oriented polypropylene (OPP), linear low density polyethylene (LLDPE), nylon (PA), polyethylene terephthalate (PET) and its laminated were used. Then, plastics film was laminated with aluminum foil (Al) using film calendaring process. Structural and morphology characterization of films were characterized using attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The effect of plastics film of each multilayer laminated polymer on mechanical properties was investigated. It was found that a tensile strength, modulus and elongation at break of PET-AL-LLDPE was 3.3 KPa, 12.6 KPa, 1,024% while that of PET-AL-OPP was 3.3 KPa, 41.5 KPa, 853%, respectively. Gas and water permeable properties of laminated films were improved compared to the neat plastics.

Introduction

Energy Economy
 Increase a clean energy source
 High efficiency Energy Storage i.e. Battery

Fig. 1. 1997 world statistics.
 R. Sarnad, J. Dunder. Journal of Power Sources 117 (2002) 2419-2420

Aim of this work

To study a laminated materials suitable for low-cost flexible materials useful for battery industry in Thailand.

Experimental

Materials

- K18-560 (3-Glycidioxypropyltrimethoxy silane)
- Methacel
- Aluminum foil (AA 8021) was used as the substrate.
- Cast polypropylene film (CPP) was used as the sealant layer.

Fig. 2. Structure of the laminated polymer film in the laminated electrode and electrolyte. R. Sarnad, J. Dunder. Journal of Power Sources 117 (2002) 2419-2420.

Typical laminated pouch cell

Concept for lamination

Result and Discussions

Table 1. Comparison between tensile strength and Price of Plastic Laminated.

Materials	Tensile strength (psi)	Density (g/cm ³)	Price (Baht/Kg)
PET	27000	1.39	50
Al Foil	9000	2.7	130
Nylon 6	9000	1.15	131
PP	6100	1.07	53
LDPE	4000	0.95	36
LLDPE	3800	0.93	53

The packaging concept is based on plastic laminate technology that consists of using an aluminum metal foil to form the support base for applying polymers coating. The layers of the laminate work synergistically to create a cell packaging material that has attractive mechanical, heat stability, and high rupture strength. The required properties of the laminate are as follows:

- A moisture barrier, which prevents ambient moisture from penetrating into the cell and reacting with electrolyte.
- An electrolyte barrier layer, which prevents electrolyte solvents from leaking out of the cell. Typical solvents used in the lithium-ion system are ethylene carbonate (EC), dimethyl carbonate (DMC), diethyl carbonate (DEC), ethyl methyl carbonate (EMC), and propylene carbonate (PC).
- A hydrogen fluoride (HF) barrier layer, which prevents any HF present in the electrolyte from attacking the pouch support materials. HF is formed if moisture comes in contact with many of the electrolytes used in lithium ion batteries.
- A solvent layer, which provides the seal between the laminate and also seals the laminate to the electrode leads (tabs), via a simple and inexpensive hot press process.

Figure 5 shows the FTIR spectra of aluminum foil before and after silane solution treatment. (a) untreated, (b) silane solution treatment.

FTIR spectra of aluminum foil before and after silane solution treatment. (a) untreated, (b) silane solution treatment.

Conclusions

Lithium battery technology is develop so rapid and it is still high cost. Therefore, we have tried to find a way to fabricate a battery packaging from plastic laminated in order to reduce a cost. We found that the type of materials that, based on their related electrochemistry, morphology and engineering design, are expected to influence the progress of these important power sources in terms of energy and cycling performance.

	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
1	6/8/2012	4:04:15 ...	MME	True	OPP-1	OPP-1
2	6/8/2012	4:08:56 ...	MME	True	OPP-2	OPP-2
3	6/8/2012	4:13:10 ...	MME	True	OPP-3	OPP-3
4	6/8/2012	4:18:04 ...	MME	True	OPP-4	OPP-4
5	6/8/2012	4:21:45 ...	MME	True	OPP-5	OPP-5

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
1	1	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
2	2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
3	3	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
4	4	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
5	5	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
1	50.573 mm	100.37 N	122.00 mm
2	50.563 mm	94.596 N	119.06 mm
3	50.749 mm	96.196 N	109.23 mm
4	50.652 mm	103.32 N	144.00 mm
5	50.563 mm	96.733 N	130.62 mm

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
1	4014.8 N/m	241.24	True	5229.4 ...
2	3783.8 N/m	235.47	True	4718.8 ...
3	3847.9 N/m	215.23	True	5114.2 ...
4	4132.9 N/m	284.29	True	3952.6 ...
5	3869.3 N/m	258.34	True	6300.9 ...

	Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
1	10579.0 N/m	100.37 N	122.00 mm	4014.8 N/m	241.24
2	9543.8 N/m	94.596 N	119.06 mm	3783.8 N/m	235.47
3	10382.0 N/m	96.196 N	109.23 mm	3847.9 N/m	215.23
4	8008.2 N/m	103.32 N	144.00 mm	4132.9 N/m	284.29
5	12744.0 N/m	96.733 N	130.62 mm	3869.3 N/m	258.34

	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield	Strength at Offset Yield
1	33.891 N	8.4611 mm	1355.6 N/m
2	31.926 N	8.5252 mm	1277.0 N/m
3	33.684 N	8.1401 mm	1347.4 N/m
4	32.205 N	9.1580 mm	1288.2 N/m
5	27.948 N	6.5596 mm	1117.9 N/m

	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break	Strength at Break	Percentage St
1	16.730	100.37 N	122.00 mm	4014.8 N/m	241.24
2	16.861	94.596 N	119.06 mm	3783.8 N/m	235.47
3	16.040	96.196 N	109.23 mm	3847.9 N/m	215.23
4	18.080	103.32 N	144.00 mm	4132.9 N/m	284.29
5	12.973	96.733 N	130.62 mm	3869.3 N/m	258.34

	Strength at Offset Yield	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break	Strength at Break
1	1021.5 N/m	9.0818	28.811 N	20.897 mm	1152.4 N/m
2	996.43 N/m	8.9623	29.231 N	26.953 mm	1169.3 N/m
3	1176.1 N/m	10.281	39.917 N	53.199 mm	1596.7 N/m
4	1176.0 N/m	10.489	38.257 N	43.525 mm	1530.3 N/m
5	1137.0 N/m	10.024	31.659 N	24.103 mm	1266.4 N/m
6	1044.4 N/m	9.6118	28.232 N	9.5506 mm	1129.3 N/m
7	1073.4 N/m	9.5103	27.883 N	20.507 mm	1115.3 N/m
8	1139.3 N/m	10.249	46.795 N	97.287 mm	1871.8 N/m
9	1171.4 N/m	10.496	55.695 N	133.72 mm	2227.8 N/m
10	1083.9 N/m	9.4632	53.292 N	133.27 mm	2131.7 N/m
11	1012.6 N/m	9.1677	37.731 N	58.939 mm	1509.2 N/m
12	1134.3 N/m	9.3192	43.195 N	75.422 mm	1727.8 N/m
13	910.44 N/m	9.0287	25.222 N	16.263 mm	1008.9 N/m
14			16.442 N	3.3855 mm	657.70 N/m
15	1007.3 N/m	9.9949	62.886 N	125.48 mm	2515.4 N/m

	Percentage Strain at Break	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Strength at Lower Yield	Percentage Strain at Lower Yield
1	20.849				
2	26.893				
3	53.053				
4	43.391				
5	24.049				
6	9.5248				
7	20.450				
8	96.942	42.327 N	76.356 mm	1693.1 N/m	76.086
9	133.26	45.542 N	94.140 mm	1821.7 N/m	93.821
10	132.92	39.166 N	67.334 mm	1566.6 N/m	67.159
11	58.785				
12	75.212	38.528 N	53.790 mm	1541.1 N/m	53.641
13	16.222				
14	3.3778				
15	125.15	29.506 N	20.748 mm	1180.2 N/m	20.695

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness	Elastic Modulus	Load at Yield
1	1152.4 N/m	20.849	True	5923.0 ...	23747.0 N/m	28.811 N
2	1169.3 N/m	26.893	True	5962.7 ...	23904.0 N/m	29.231 N
3	1596.7 N/m	53.053	True	5771.2 ...	23148.0 N/m	39.917 N
4	1530.3 N/m	43.391	True	5658.9 ...	22706.0 N/m	38.257 N
5	1266.4 N/m	24.049	True	5731.3 ...	22977.0 N/m	31.659 N
6	1134.2 N/m	7.2992	True	5678.5 ...	22776.0 N/m	28.356 N
7	1173.8 N/m	20.408	True	6114.1 ...	24526.0 N/m	29.344 N
8	1871.8 N/m	96.942	True	6395.6 ...	25673.0 N/m	42.597 N
9	2227.8 N/m	133.26	True	5599.4 ...	22474.0 N/m	48.062 N
10	2136.2 N/m	132.32	True	6518.3 ...	26141.0 N/m	40.951 N
11	1509.2 N/m	58.785	True	6718.5 ...	26944.0 N/m	37.731 N
12	1733.0 N/m	74.198	True	7077.3 ...	28388.0 N/m	39.037 N
13	1008.9 N/m	16.222	True	5557.6 ...	22287.0 N/m	25.222 N
14	681.50 N/m	3.2628	True	9013.0 ...	36135.0 N/m	17.038 N
15	2523.1 N/m	124.96	True	5697.5 ...	22849.0 N/m	30.487 N

	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
1	20.897 mm	1152.4 N/m	20.849	25.538 N	9.1028 mm
2	26.953 mm	1169.3 N/m	26.893	24.911 N	8.9825 mm
3	53.199 mm	1596.7 N/m	53.053	29.402 N	10.309 mm
4	43.525 mm	1530.3 N/m	43.391	29.400 N	10.521 mm
5	24.103 mm	1266.4 N/m	24.049	28.425 N	10.046 mm
6	7.3191 mm	1134.2 N/m	7.2992	26.111 N	9.6379 mm
7	20.466 mm	1173.8 N/m	20.408	26.835 N	9.5371 mm
8	74.397 mm	1703.9 N/m	74.134	28.483 N	10.286 mm
9	93.932 mm	1922.5 N/m	93.613	29.286 N	10.532 mm
10	67.096 mm	1638.0 N/m	66.923	27.096 N	9.4878 mm
11	58.939 mm	1509.2 N/m	58.785	25.316 N	9.1918 mm
12	53.083 mm	1561.5 N/m	52.935	28.358 N	9.3452 mm
13	16.263 mm	1008.9 N/m	16.222	22.761 N	9.0516 mm
14	3.2703 mm	681.50 N/m	3.2628		
15	20.555 mm	1219.5 N/m	20.502	25.183 N	10.021 mm

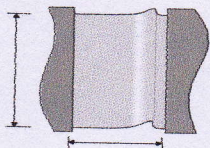
Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference	Sample Reference	Width
1	6/8/2012	11:33:4...	MME	PET-1	PET-1	1	25.000 ...
2	6/8/2012	11:38:4...	MME	PET-2	PET-2	2	25.000 ...
3	6/8/2012	11:43:5...	MME	PET-3	PET-3	3	25.000 ...
4	6/8/2012	11:48:1...	MME	PET-4	PET-4	4	25.000 ...
5	6/8/2012	11:52:4...	MME	PET-5	PET-5	5	25.000 ...
6	6/8/2012	11:56:3...	MME	PET-6	PET-6	6	25.000 ...
7	6/8/2012	12:00:5...	MME	PET-7	PET-7	7	25.000 ...
8	6/8/2012	12:05:5...	MME	PET-8	PET-8	8	25.000 ...
9	6/8/2012	12:11:5...	MME	PET-9	PET-9	9	25.000 ...
10	6/8/2012	2:33:01 ...	MME	PET-10	PET-10	10	25.000 ...
11	6/8/2012	2:39:46 ...	MME	PET-11	PET-11	11	25.000 ...
12	6/8/2012	2:46:00 ...	MME	PET-12	PET-12	12	25.000 ...
13	6/8/2012	2:52:21 ...	MME	PET-13	PET-13	13	25.000 ...
14	6/8/2012	2:55:02 ...	MME	PET-14	PET-14	14	25.000 ...
15	6/8/2012	2:57:52 ...	MME	PET-15	PET-15	15	25.000 ...

Initial Grip Separation				Corrected Gauge Length			Extension at Maximum Load	
	Speed	Preload Force			Maximum Load			
1	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.23 mm	28.811 N	20.897 mm		
2	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.23 mm	29.231 N	26.953 mm		
3	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.27 mm	39.917 N	53.199 mm		
4	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.31 mm	38.257 N	43.525 mm		
5	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.23 mm	31.659 N	24.103 mm		
6	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.27 mm	28.356 N	7.3191 mm		
7	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.28 mm	29.344 N	20.466 mm		
8	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.36 mm	46.795 N	97.287 mm		
9	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.34 mm	55.695 N	133.72 mm		
10	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.26 mm	53.406 N	132.67 mm		
11	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.26 mm	37.731 N	58.939 mm		
12	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.28 mm	43.324 N	74.404 mm		
13	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.25 mm	25.222 N	16.263 mm		
14	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.23 mm	17.038 N	3.2703 mm		
15	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N	100.26 mm	63.078 N	125.28 mm		

Strength (N/m)

3000
Fibre Tensile Setup

25.0 mm



125.0 mm

OPP-3

2000

1000

000

Offset Yield

Preload

Greatest Slope

Yield

Lower Yield

Break

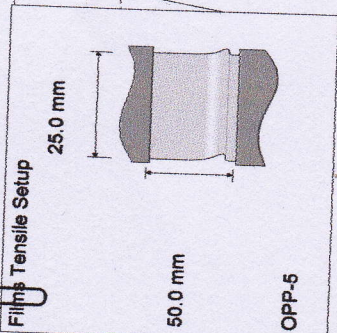
0

50

100

Percentage Strain

Strength (N/m)



4000

3000

2000

1000

000

Yield

Break

Offset Yield

Greatest Slope

Preload

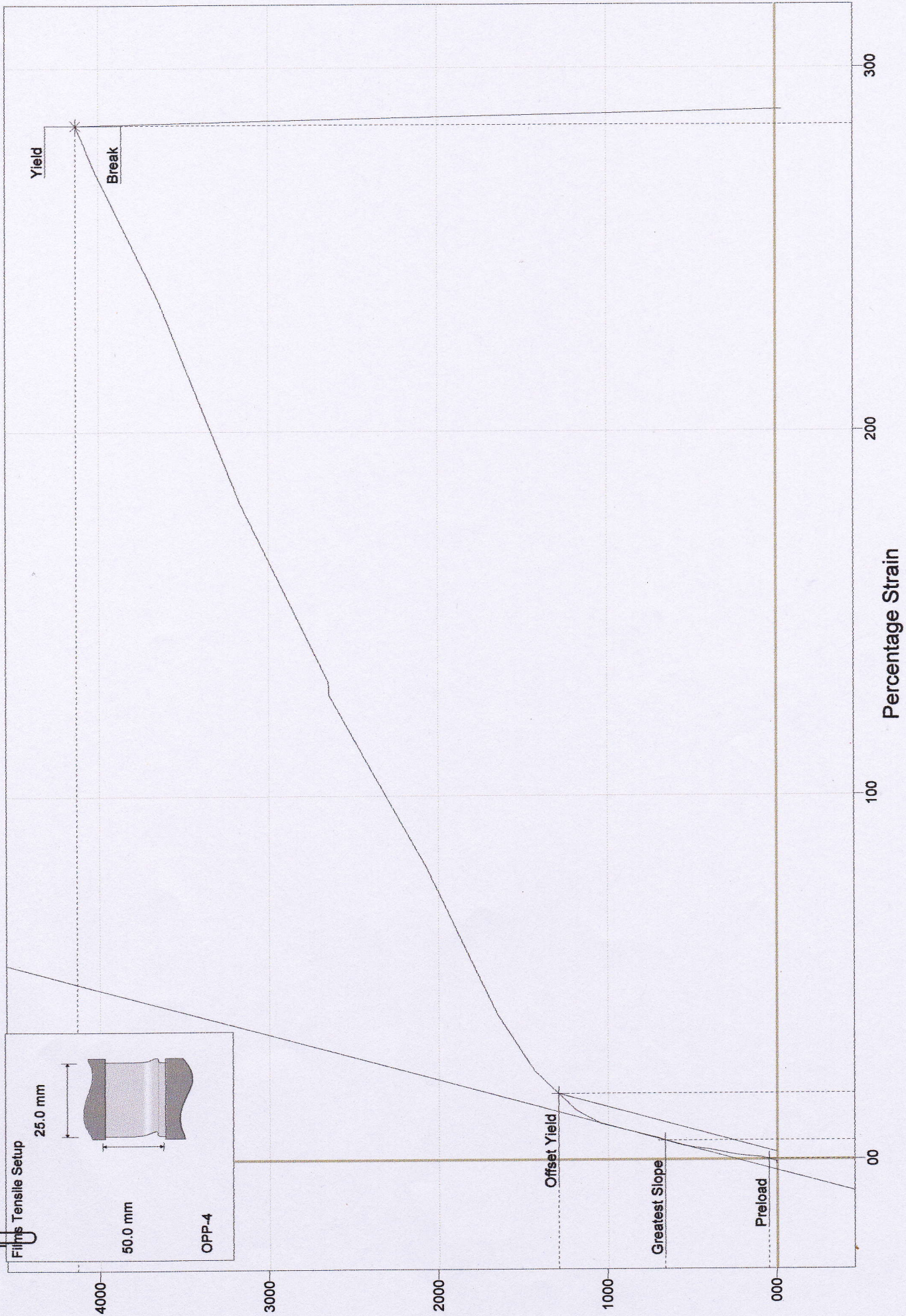
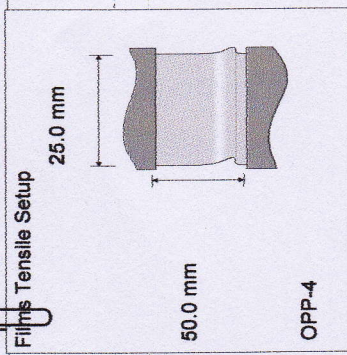
00

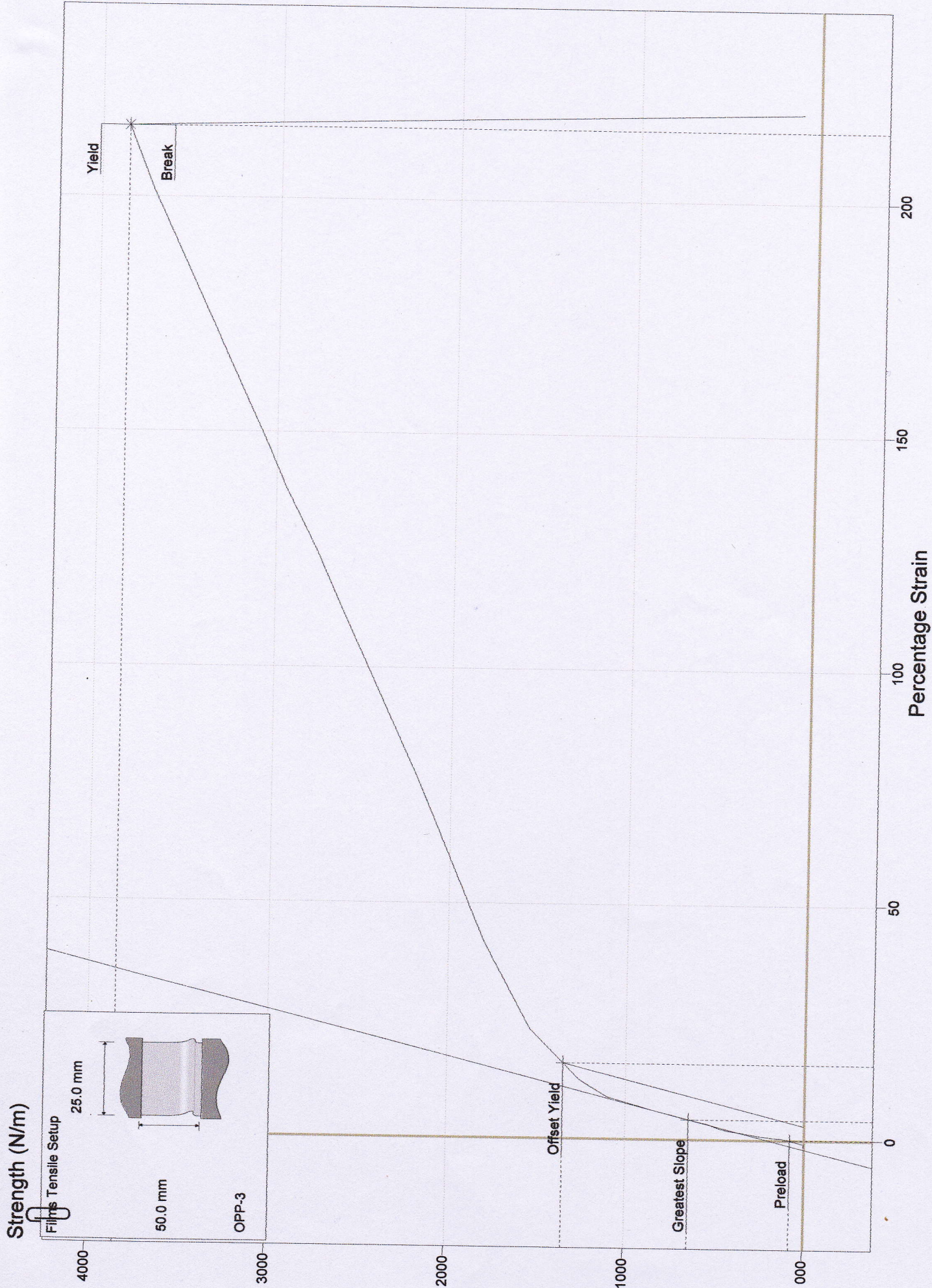
100

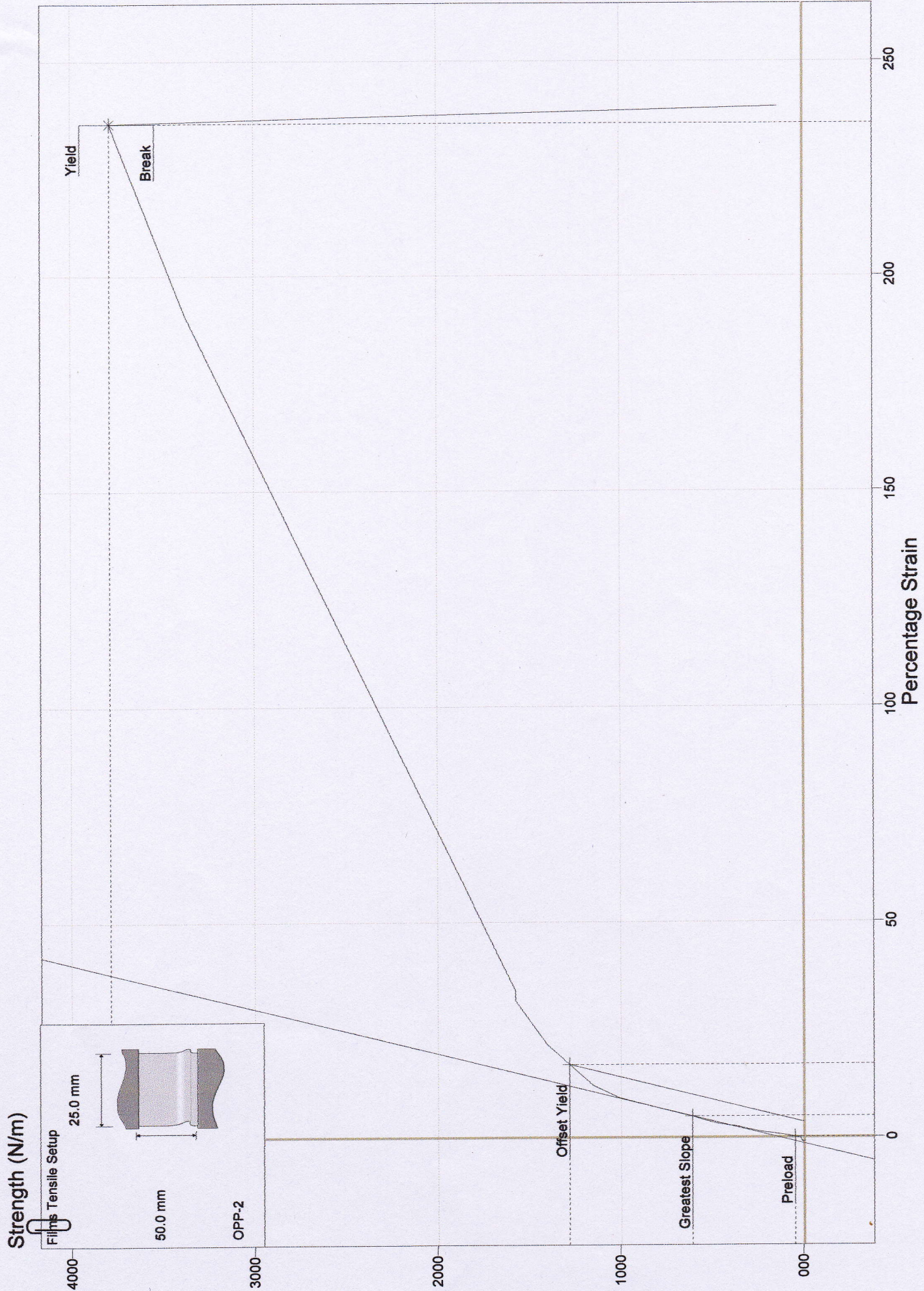
200

Percentage Strain

Strength (N/m)



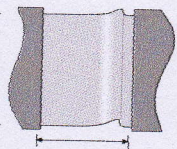




Strength (N/m)

Films Tensile Setup

25.0 mm



50.0 mm

OPP-1

Yield

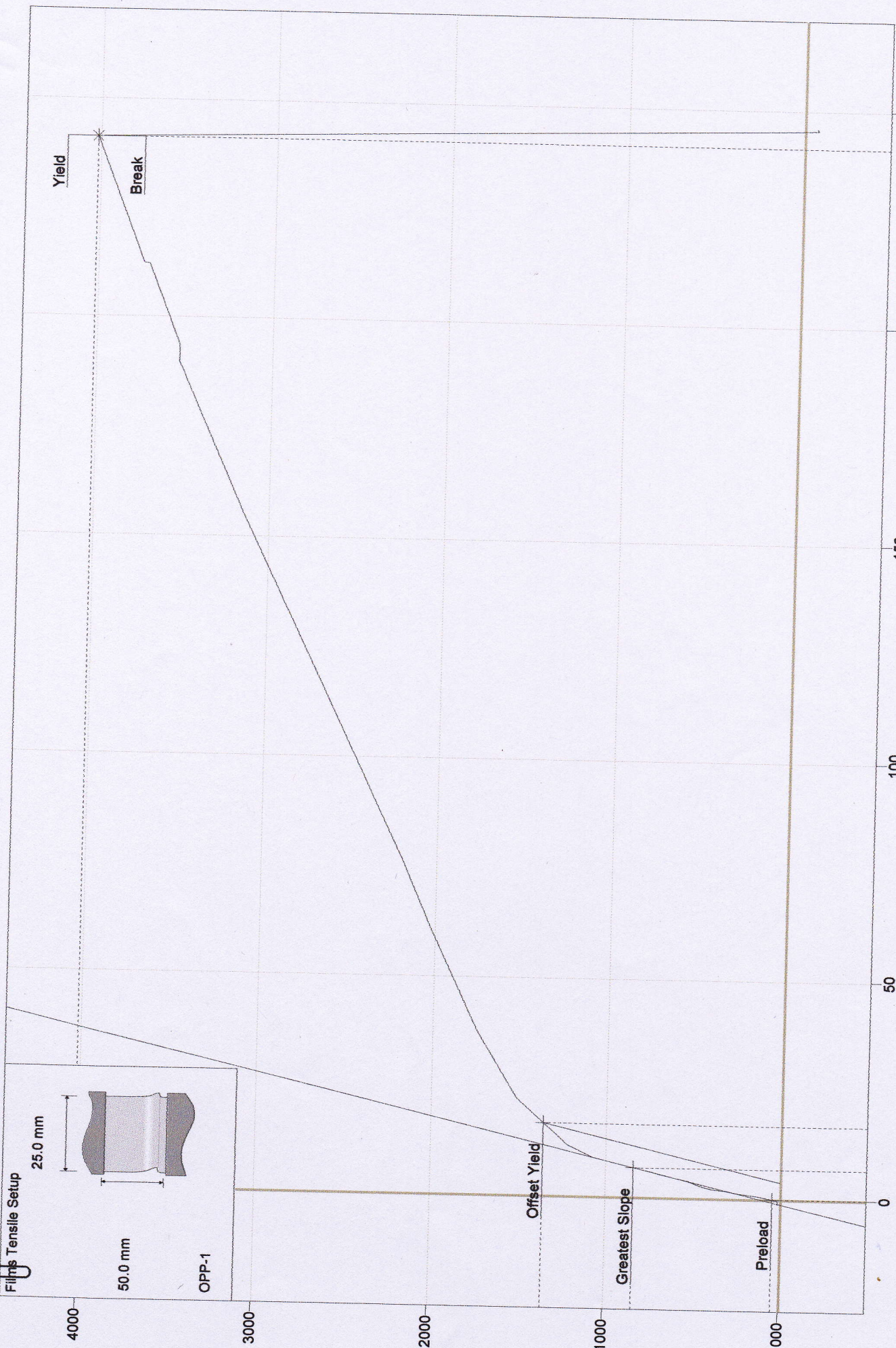
Break

Offset Yield

Greatest Slope

Preload

Percentage Strain



	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
1	6/6/2012	2:12:34 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.1	PET-AL-LL-1.1
2	6/6/2012	2:18:42 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.2	PET-AL-LL-1.2
3	6/6/2012	2:22:43 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.3	PET-AL-LL-1.3
4	6/6/2012	2:33:04 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.4	PET-AL-LL-1.4
5	6/6/2012	2:42:36 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.5	PET-AL-LL-1.5
6	6/6/2012	2:50:58 ...	MME	True	PET-AL-LL-1.6	PET-AL-LL-1.6
7				True		

P-AL-LL-3

P-AL-LL-4

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
1	1.1	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
2	1.2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
3	1.3	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
4	1.4	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
5	1.5	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
6	1.6	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
7					

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
1	50.489 mm	84.785 N	53.000 mm
2	50.490 mm	89.830 N	68.108 mm
3	50.351 mm	89.772 N	72.935 mm
4	50.508 mm	74.396 N	36.197 mm
5	50.324 mm	77.105 N	51.096 mm
6	50.390 mm	74.004 N	37.003 mm
7			

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
1	3391.4 N/m	104.97	True	6365.9 ...
2	3593.2 N/m	134.90	True	6582.9 ...
3	3590.9 N/m	144.85	True	6308.5 ...
4	2975.8 N/m	71.666	True	6072.6 ...
5	3084.2 N/m	101.53	True	6396.0 ...
6	2960.2 N/m	73.434	True	5935.0 ...
7				

	Young's modulus Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
1	12856.0 N/m	84.785 N	53.000 mm	3391.4 N/m	104.97
2	13295.0 N/m	89.830 N	68.108 mm	3593.2 N/m	134.90
3	12706.0 N/m	89.772 N	72.935 mm	3590.9 N/m	144.85
4	12269.0 N/m	74.396 N	36.197 mm	2975.8 N/m	71.666
5	12875.0 N/m	77.105 N	51.096 mm	3084.2 N/m	101.53
6	11963.0 N/m	74.004 N	37.003 mm	2960.2 N/m	73.434
7	$E_x = 126641$			$E_x = 3266$	

	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield	Strength at Offset Yield
1	62.860 N	12.834 mm	2514.4 N/m
2	61.171 N	12.447 mm	2446.9 N/m
3	60.196 N	12.315 mm	2407.8 N/m
4	59.195 N	12.466 mm	2367.8 N/m
5	53.885 N	10.401 mm	2155.4 N/m
6	57.428 N	11.648 mm	2297.1 N/m
7			

	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break	Strength at Break
1	25.420	84.785 N	53.000 mm	3391.4 N/m
2	24.653	89.830 N	68.108 mm	3593.2 N/m
3	24.458	44.093 N	545.96 mm	1763.7 N/m
4	24.682	7.8980 N	95.616 mm	315.92 N/m
5	20.668	76.919 N	51.275 mm	3076.8 N/m
6	23.116	42.056 N	486.31 mm	1682.2 N/m
7				

	<i>Elongation at Break</i> Percentage Strain at Break	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield
1	104.97		
2	134.90		
3	1084.3	20.599 N	90.764 mm
4	189.31	23.796 N	47.236 mm
5	101.89		
6	965.10	18.949 N	43.969 mm
7	1024		

	Strength at Lower Yield	Percentage Strain at Lower Yield
1		
2		
3	823.98 N/m	180.26
4	951.84 N/m	93.521
5		
6	757.97 N/m	87.259
7		

Strength (N/m)

3000

2000

1000

000

Yield

Offset Yield

Greatest Slope

Lower Yield

Preload

Film Tensile Setup

25.0 mm

50.0 mm

PET-AL-LL-1.6

Break

Percentage Strain

00

200

300

400

500

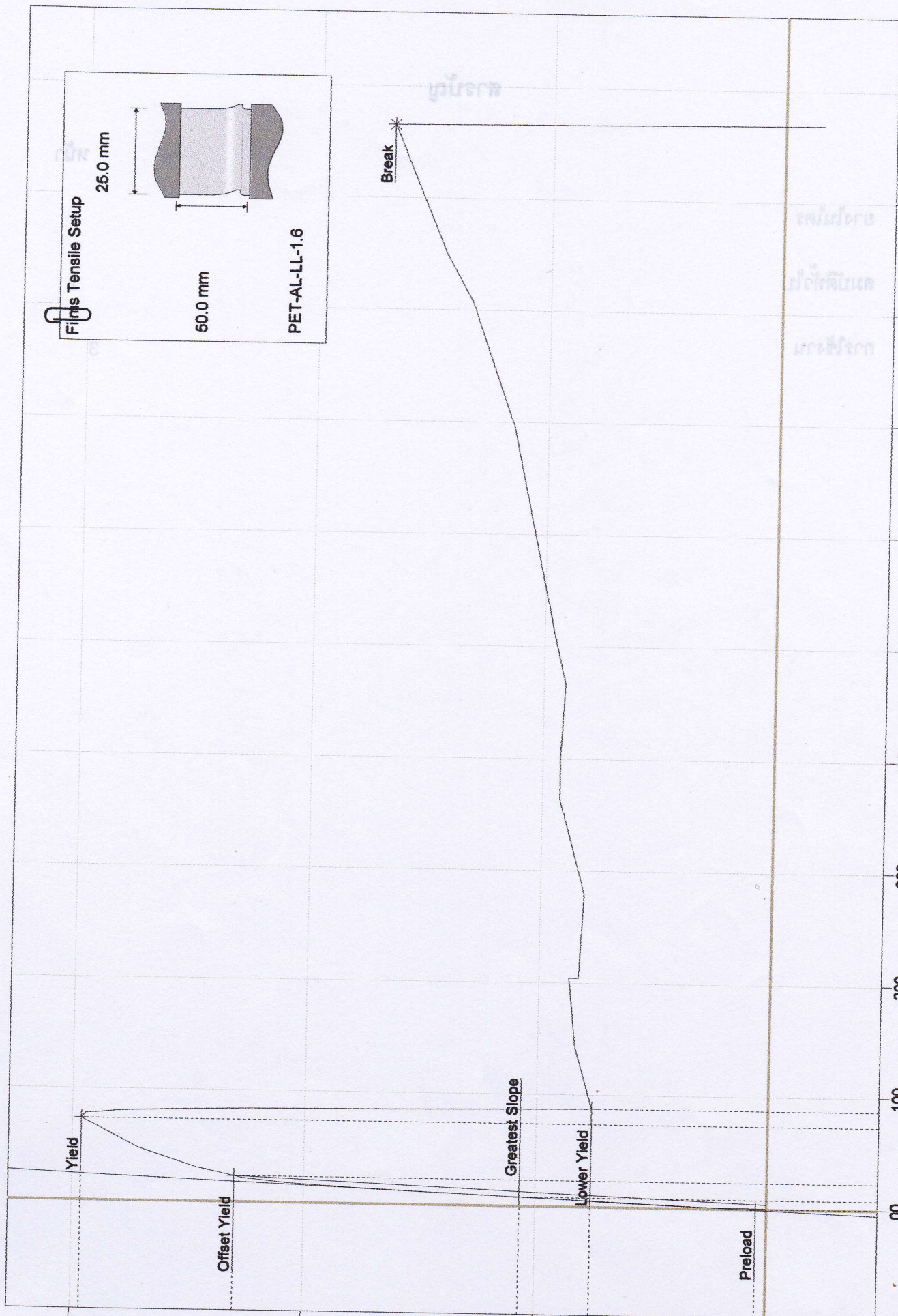
600

700

800

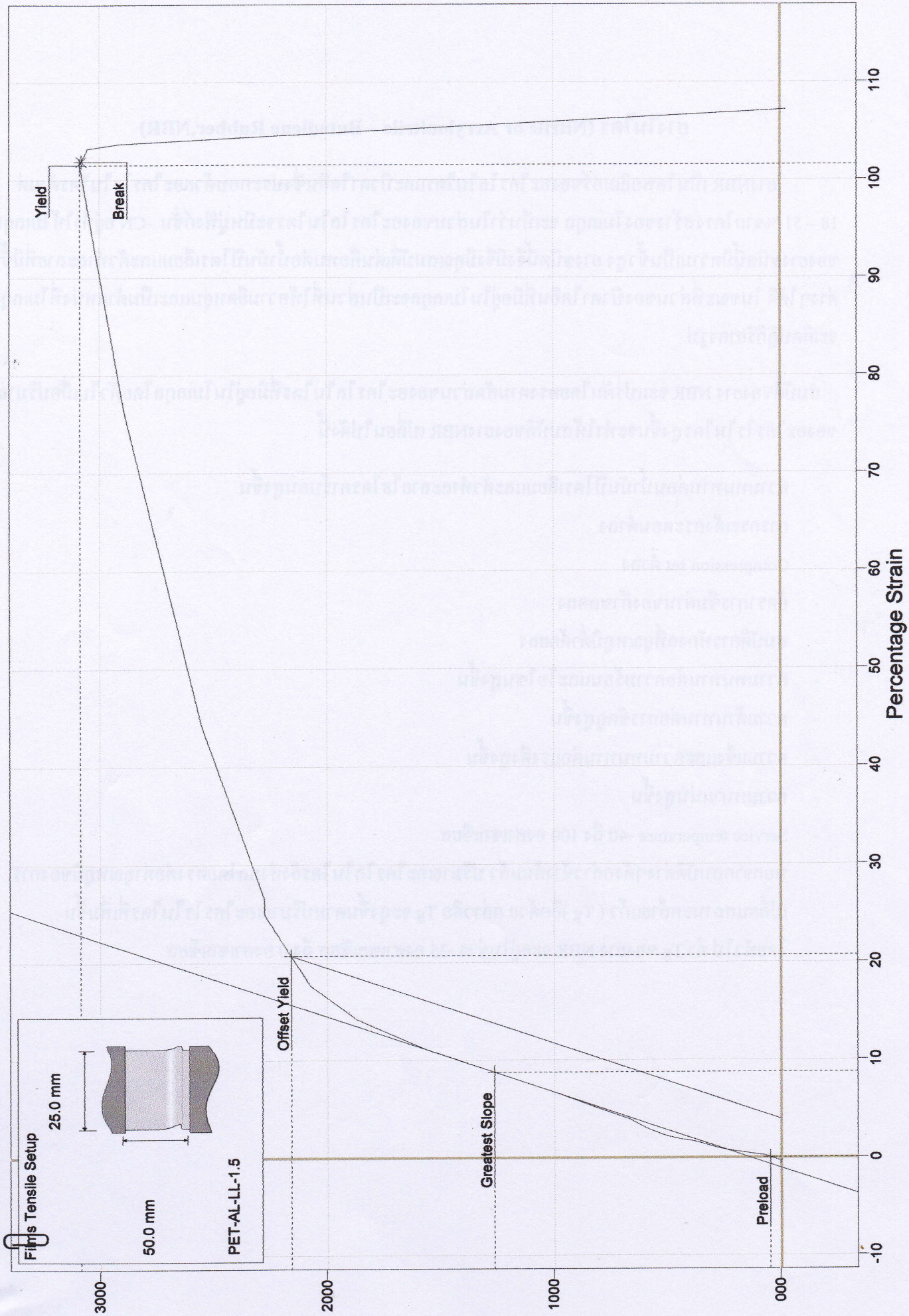
900

1000

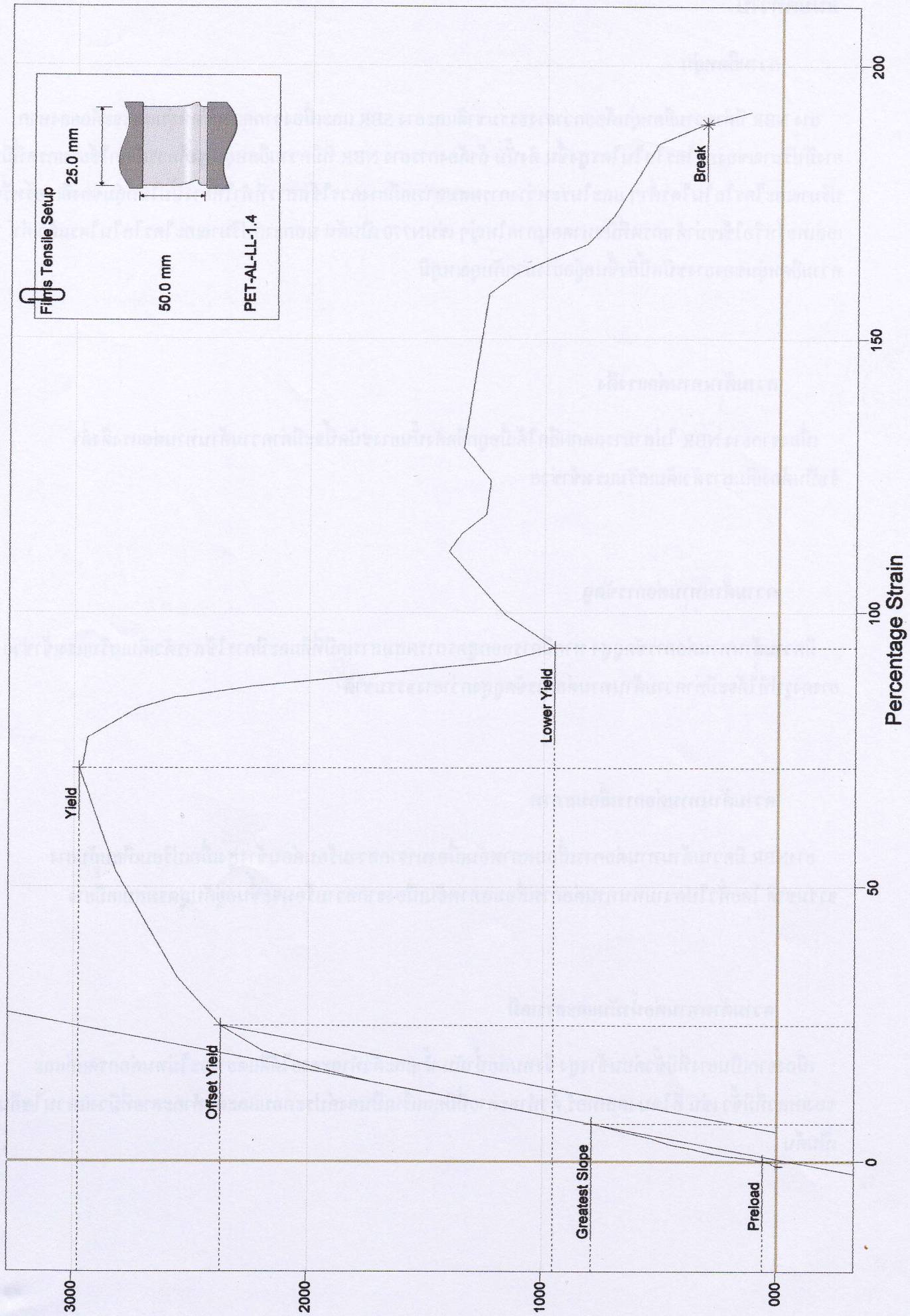


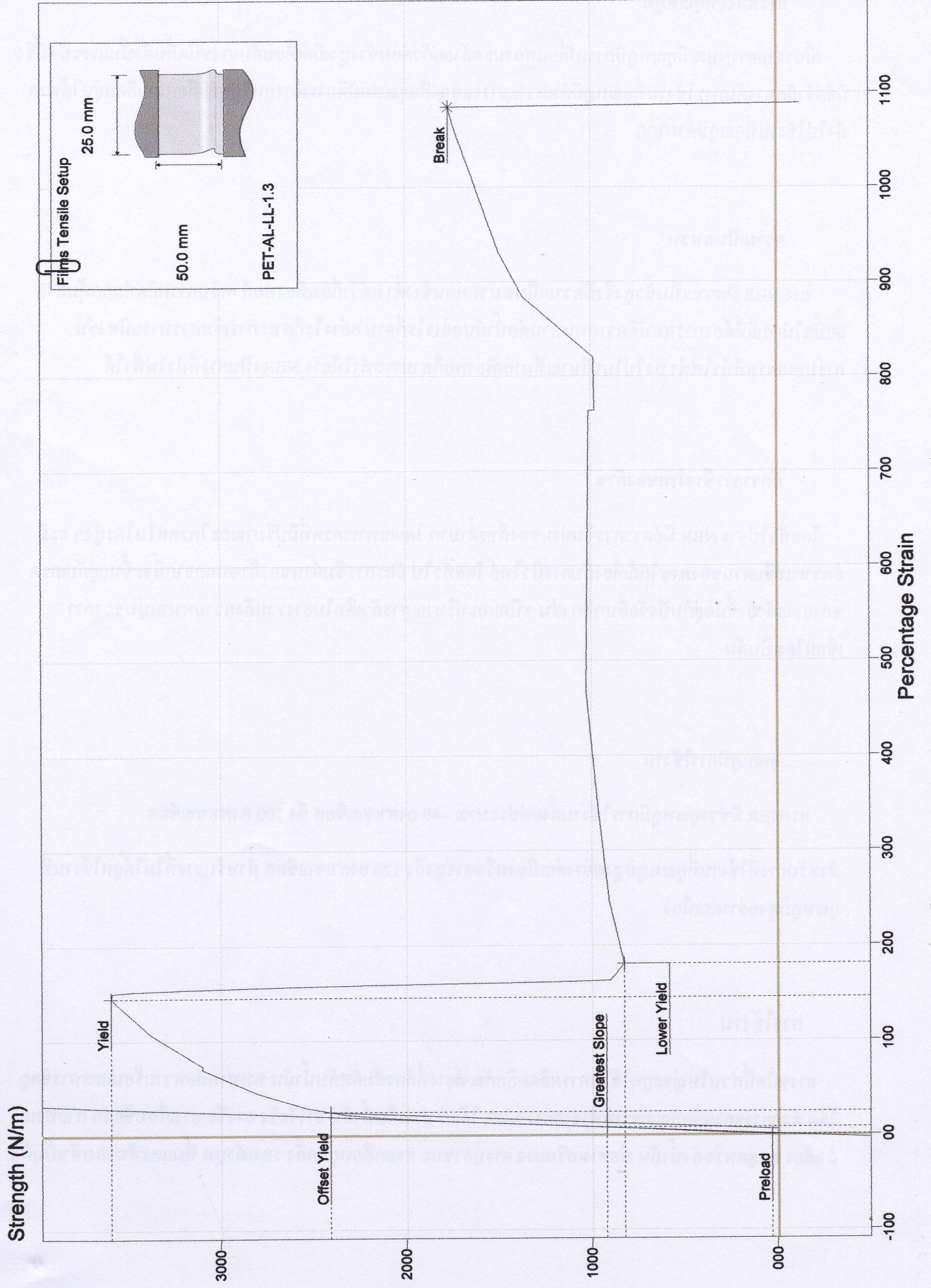
Strength (N/m)

Percentage Strain

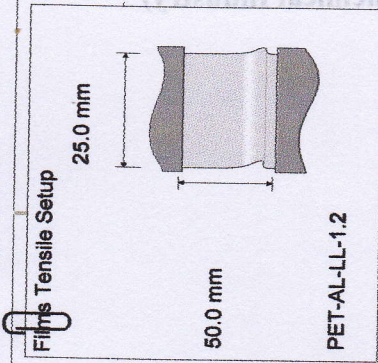


Strength (N/m)





Strength (N/m)



Offset Yield

Greatest Slope

Preload

Yield

Break

Percentage Strain

150

100

50

0

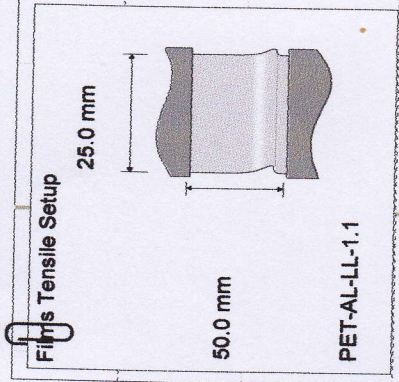
3000

2000

1000

000

Strength (N/m)



Offset Yield

Greatest Slope

Preload

Yield

Break

Percentage Strain

12

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

ค่า

การคำนวณค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุพลาสติก (Plastic)

การคำนวณค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุพลาสติก (Plastic)

การคำนวณค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุพลาสติก (Plastic)

ค่า

การคำนวณค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุพลาสติก (Plastic)

	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
8	6/26/2012	11:48:3...	MME	True	AL-8	AL-8
11	6/26/2012	11:54:3...	MME	True	AL-11	AL-11
12	6/26/2012	11:56:2...	MME	True	AL-12	AL-12
14	6/26/2012	12:00:4...	MME	True	AL-14	AL-14

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
8	8	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
11	11	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
12	12	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
14	14	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
8	50.795 mm	108.34 N	65.212 mm
11	50.363 mm	110.21 N	70.428 mm
12	50.340 mm	98.311 N	56.894 mm
14	50.340 mm	103.63 N	65.467 mm

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
8	4333.4 N/m	128.38	True	7150.4 ...
11	4408.4 N/m	139.84	True	6387.0 ...
12	3932.4 N/m	113.02	True	6563.0 ...
14	4145.3 N/m	130.05	True	6926.2 ...

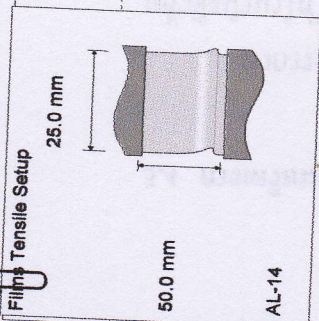
	Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
8	14528.0 N/m	108.34 N	65.212 mm	4333.4 N/m	128.38
11	12867.0 N/m	110.21 N	70.428 mm	4408.4 N/m	139.84
12	13215.0 N/m	98.311 N	56.894 mm	3932.4 N/m	113.02
14	13947.0 N/m	103.63 N	65.467 mm	4145.3 N/m	130.05

	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Strength at Lower Yield
8			
11			
12			
14			

	Percentage Strain at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
8		64.178 N	11.612 mm
11		62.764 N	12.186 mm
12		59.267 N	12.100 mm
14		60.156 N	11.425 mm

	Strength at Offset Yield	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break
8	2567.1 N/m	22.860	108.34 N	65.212 mm
11	2510.6 N/m	24.196	110.21 N	70.428 mm
12	2370.7 N/m	24.037	98.311 N	56.894 mm
14	2406.2 N/m	22.696	103.63 N	65.467 mm

Strength (N/m)



Yield

Break

Offset Yield

Greatest Slope

Preload

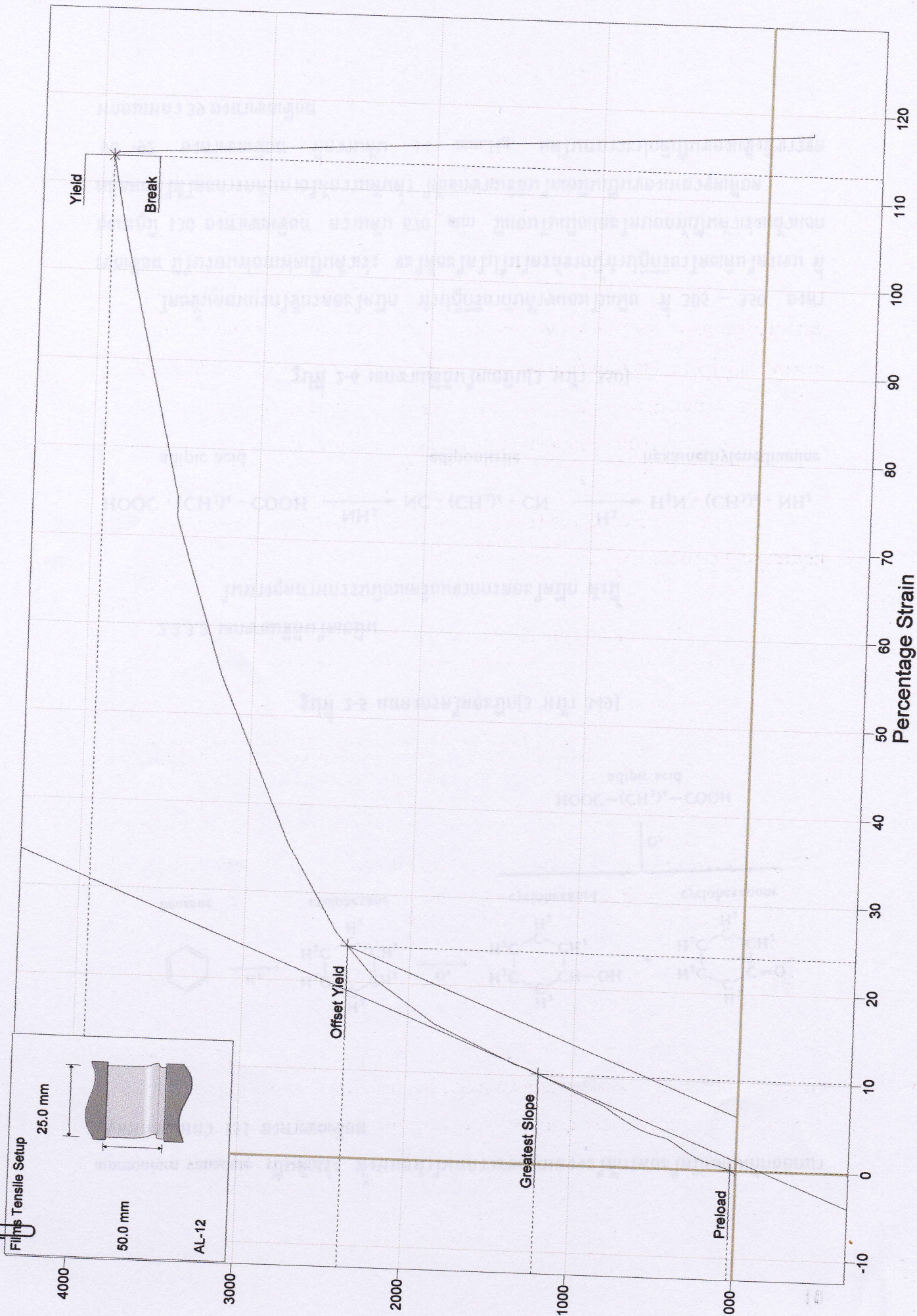
100

50

Percentage Strain

E	0	100	-
D	32	32	2
C	20	20	2
B	32	32	2
A	100	0	-

Strength (N/m)



Strength (N/m)

Percentage Strain

150

100

50

0

Yield

Break

Offset Yield

Greatest Slope

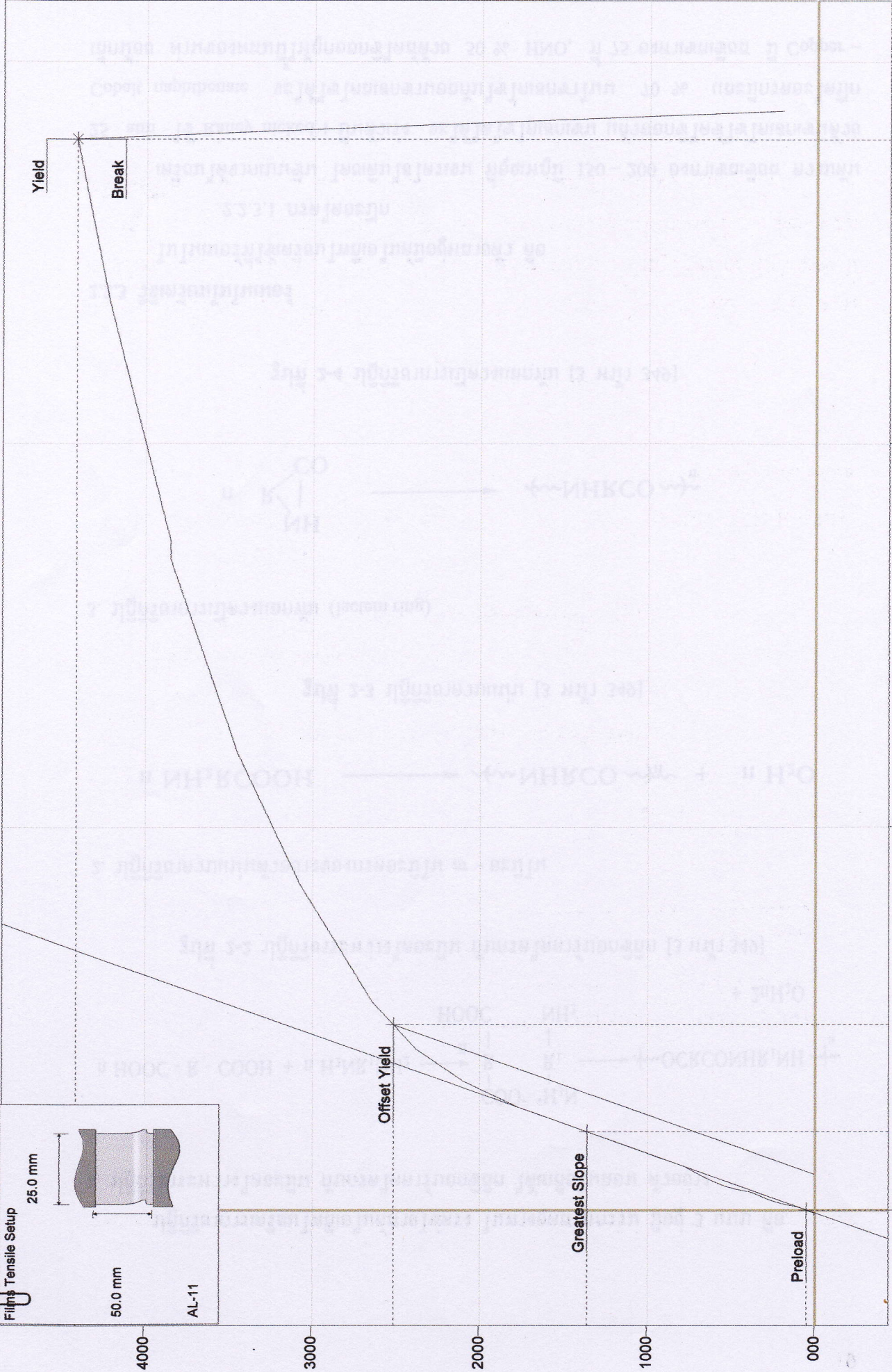
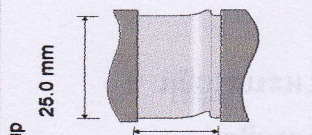
Preload

Film Tensile Setup

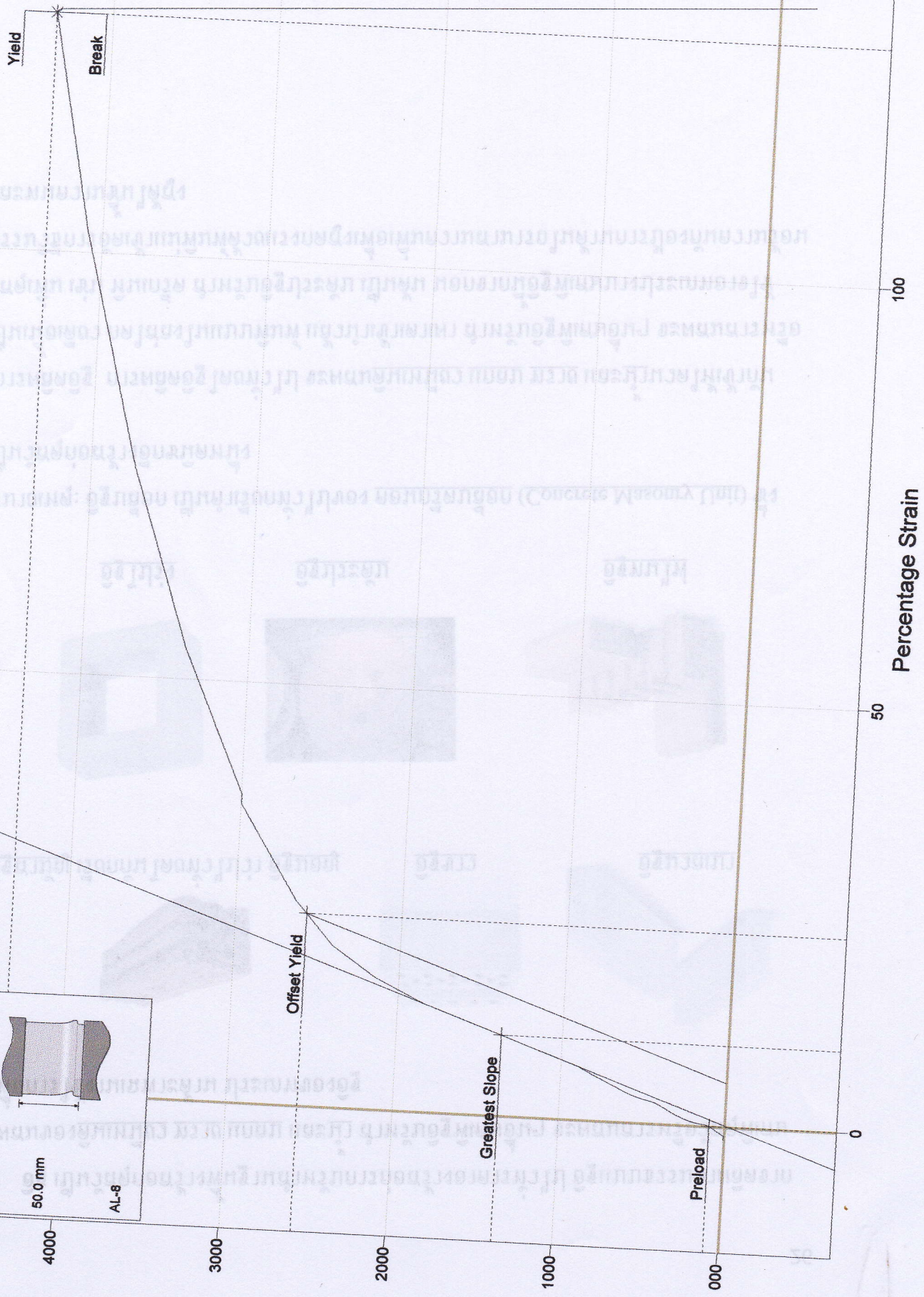
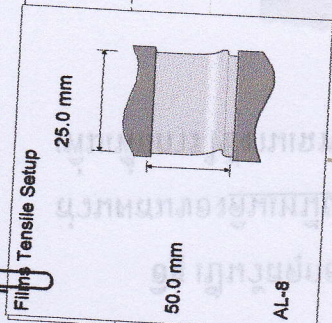
25.0 mm

50.0 mm

AL-11



Strength (N/m)



	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
1	6/6/2012	2:58:42 ...	MME	True	NYLON - 1	NYLON 1
2	6/6/2012	3:12:58 ...	MME	True	NYLON - 1.1	NYLON 1.1
3	6/6/2012	3:22:55 ...	MME	True	NYLON - 2	NYLON 2
4	6/6/2012	3:29:47 ...	MME	True	NYLON - 3	NYLON 3
5	6/6/2012	3:35:11 ...	MME	True	NYLON - 4	NYLON 4
6	6/6/2012	3:41:35 ...	MME	True	NYLON - 5	NYLON 5

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
1	1	25.000 ...	125.00 mm	12.500 ...	1.0000 N
2	1.1	25.000 ...	125.00 mm	12.500 ...	1.0000 N
3	2	25.000 ...	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N
4	3	25.000 ...	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N
5	4	25.000 ...	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N
6	5	25.000 ...	100.00 mm	50.000 ...	1.0000 N

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
1	125.82 mm	51.498 N	58.388 mm
2	125.33 mm	53.243 N	65.199 mm
3	100.31 mm	75.658 N	100.93 mm
4	100.61 mm	64.479 N	72.033 mm
5	100.34 mm	56.006 N	59.849 mm
6	100.35 mm	49.082 N	39.312 mm

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
1	2059.9 N/m	46.406	True	2664.8 ...
2	2129.7 N/m	52.020	True	3101.1 ...
3	3026.3 N/m	100.62	True	3881.5 ...
4	2579.2 N/m	71.597	True	2523.5 ...
5	2240.2 N/m	59.648	True	2919.4 ...
6	1963.3 N/m	39.174	True	3577.9 ...

	Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
1	13411.0 N/m	21.621 N	12.582 mm	864.84 N/m	9.9997
2	15547.0 N/m	27.612 N	19.365 mm	1104.5 N/m	15.451
3	15574.0 N/m	16.148 N	8.2651 mm	645.94 N/m	8.2397
4	10156.0 N/m	22.945 N	12.764 mm	917.81 N/m	12.686
5	11717.0 N/m	14.750 N	6.1087 mm	590.00 N/m	6.0882
6	14362.0 N/m	49.082 N	39.312 mm	1963.3 N/m	39.174

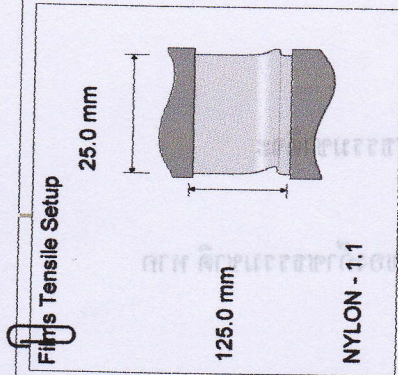
	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Strength at Lower Yield
1	20.722 N	12.582 mm	828.89 N/m
2	26.719 N	19.366 mm	1068.8 N/m
3	15.268 N	8.5110 mm	610.70 N/m
4	22.428 N	13.132 mm	897.14 N/m
5	13.734 N	6.4679 mm	549.35 N/m
6			

	Percentage Strain at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
1	10.000	23.412 N	14.790 mm
2	15.452	20.551 N	12.647 mm
3	8.4849	15.866 N	8.9065 mm
4	13.052	24.719 N	14.678 mm
5	6.4461	21.877 N	12.046 mm
6		21.927 N	11.139 mm

	Strength at Offset Yield	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break
1	936.47 N/m	11.755	51.498 N	58.388 mm
2	822.02 N/m	10.091	53.243 N	65.199 mm
3	634.66 N/m	8.8792	75.547 N	101.59 mm
4	988.76 N/m	14.589	64.479 N	72.033 mm
5	875.08 N/m	12.006	56.006 N	59.849 mm
6	877.08 N/m	11.099	48.856 N	39.355 mm

	Strength at Break	Percentage Strain at Break
1	2059.9 N/m	46.406
2	2129.7 N/m	52.020
3	3021.9 N/m	101.27
4	2579.2 N/m	71.597
5	2240.2 N/m	59.648
6	1954.3 N/m	39.216

Strength (N/m)



Break

Yield

Lower Yield

Offset Yield

Preload

Greatest Slope

Percentage Strain

2000

1500

1000

500

00

0

10

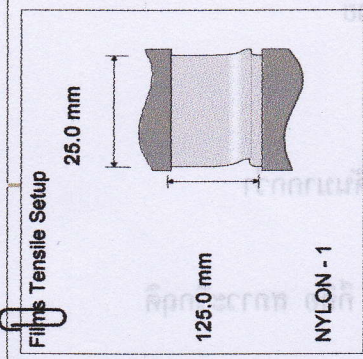
20

30

40

50

Strength (N/m)



Break

Offset Yield

Yield

Lower Yield

Preload

Greatest Slope

Percentage Strain

50

40

30

20

10

0

2000

1500

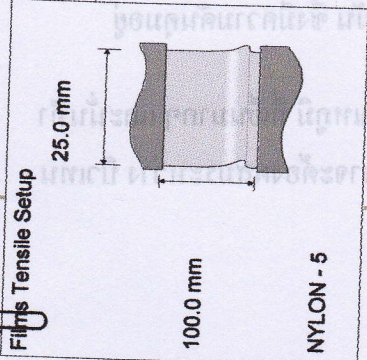
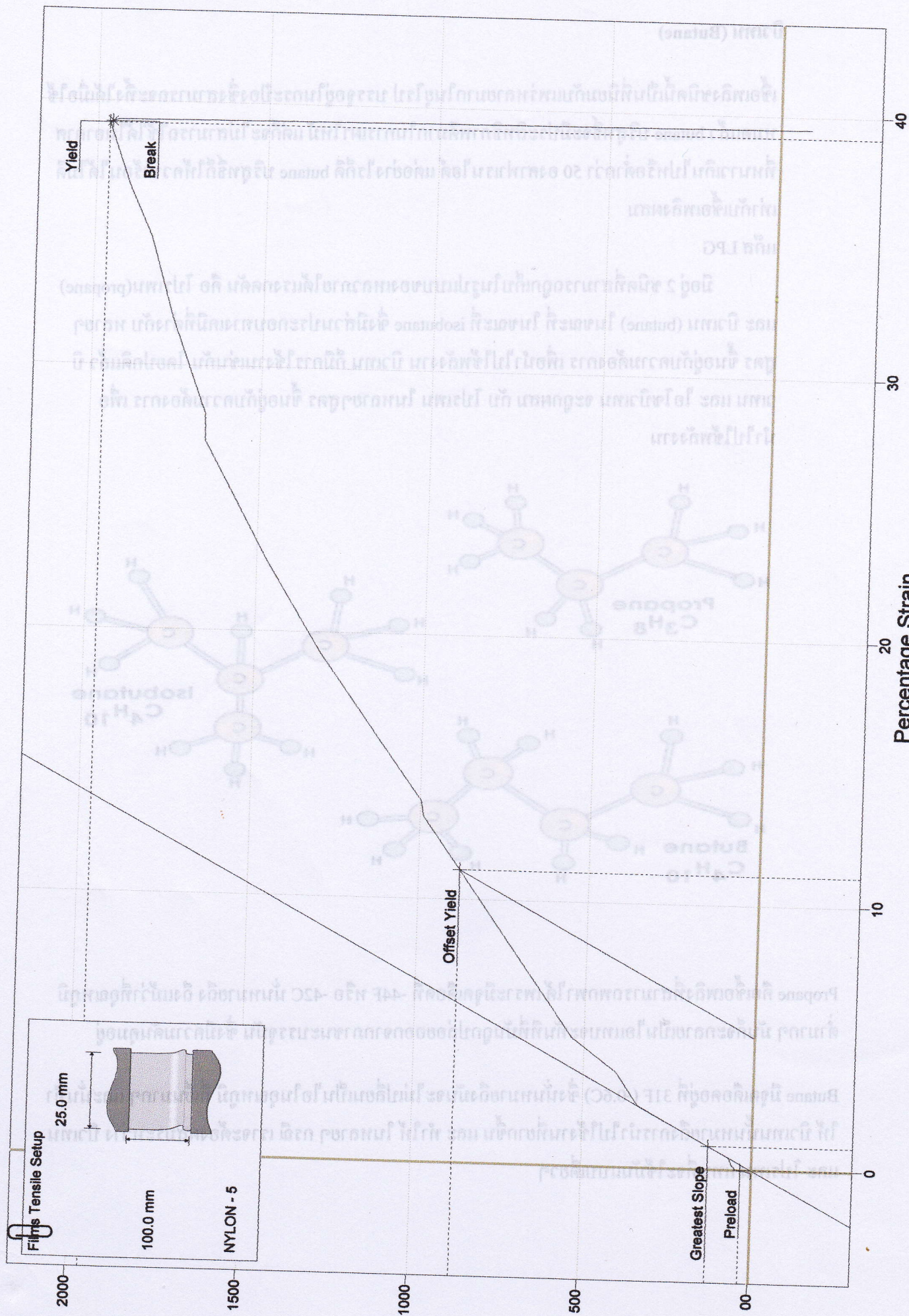
1000

500

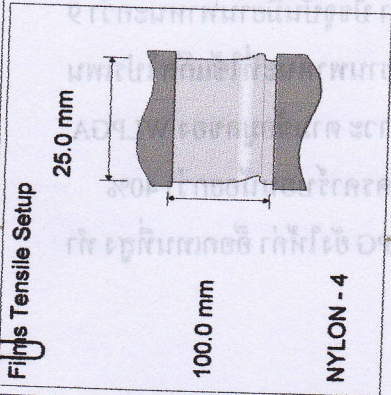
00

Strength (N/m)

Percentage Strain



Strength (N/m)



Break

Offset Yield

Yield

Lower Yield

Greatest Slope

Preload

Percentage Strain

60

50

40

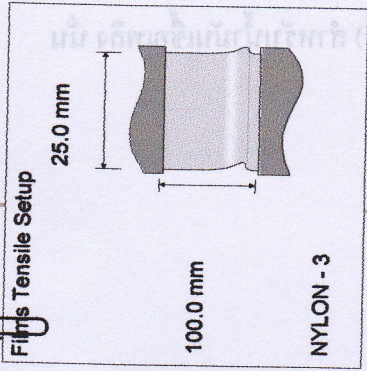
30

20

10

0

Strength (N/m)



Break

2000

1000

000

Yield
Offset Yield

Lower Yield

Greatest Slope

Preload

Percentage Strain

70

60

50

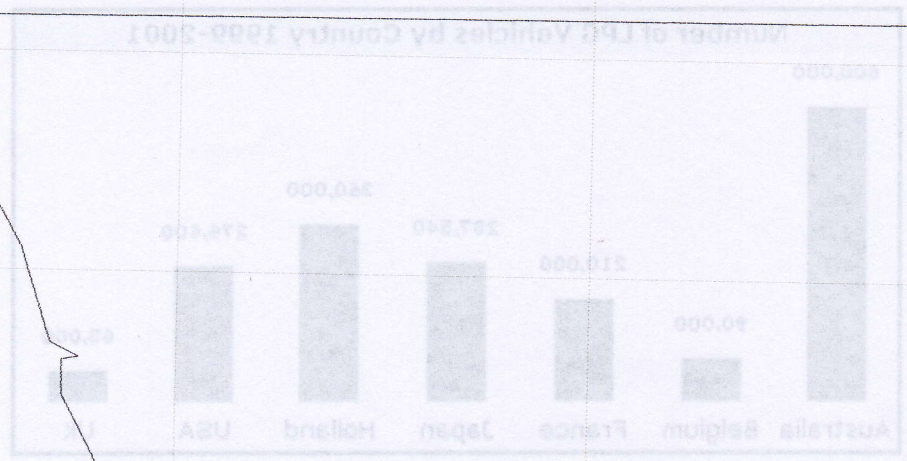
40

30

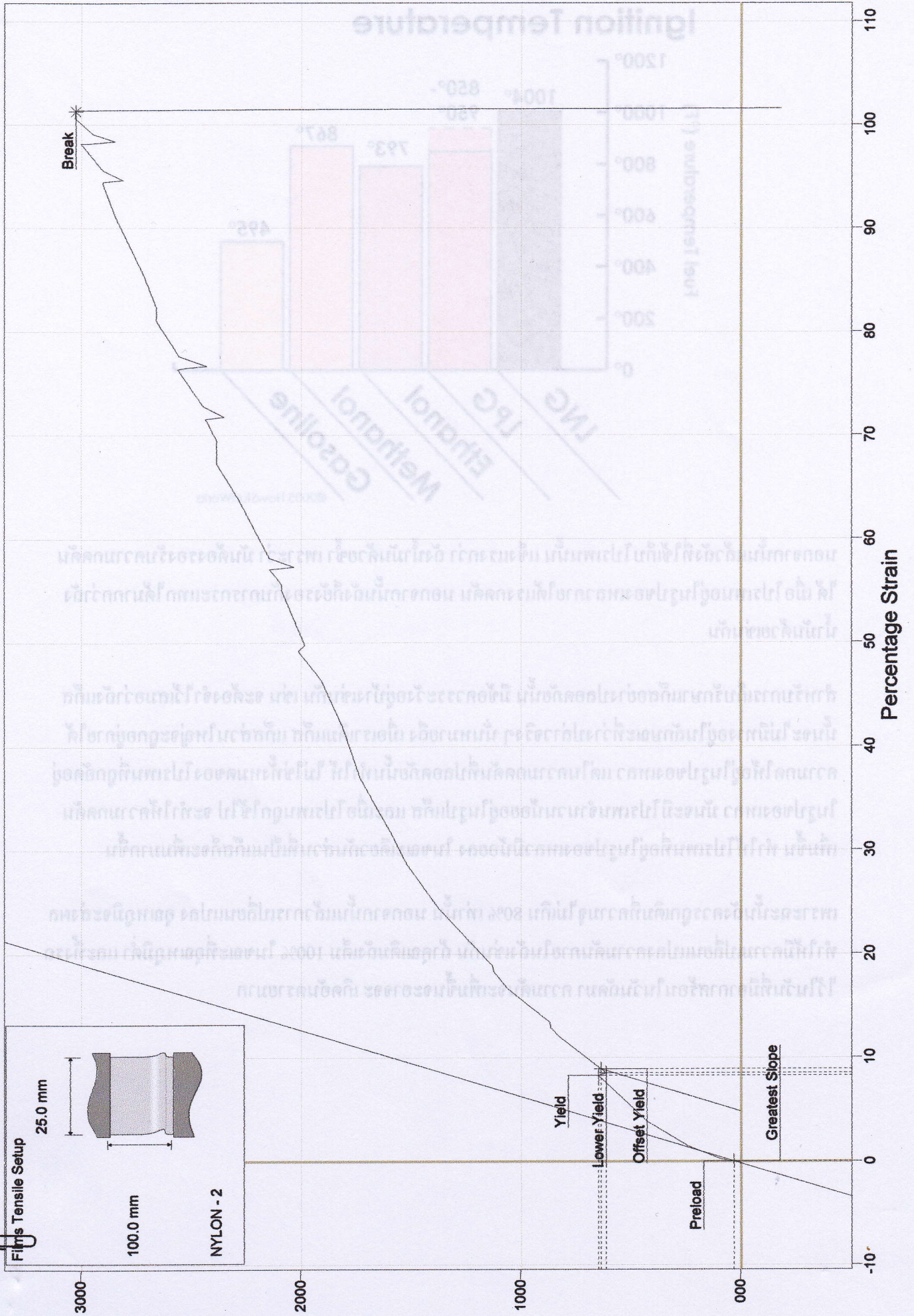
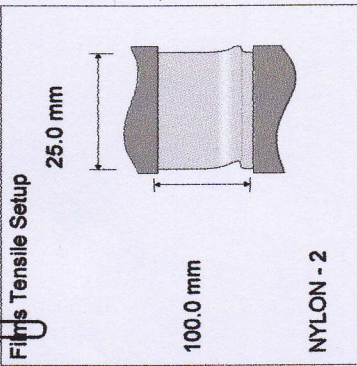
20

10

0



Strength (N/m)



	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
①	5/31/2012	11:02:1...	MME	True	PET+ALU+LL-1	PET+ ALU +LL-1 ^{OPP}
2	5/31/2012	11:09:0...	MME	True	PET+ALU+LL-2	PET+ ALU +LL-2 ^{OPP}
3	5/31/2012	11:13:1...	MME	True	PET+ALU+LL-2.1	PET+ ALU +LL-2.1
④	5/31/2012	11:23:5...	MME	True	PET+ALU+LL-2.2	PET+ ALU +LL-2.2
5	5/31/2012	11:30:0...	MME	True	PET+ALU+LL-2.3	PET+ ALU +LL-2.3
6	5/31/2012	11:39:0...	MME	True	PET+ALU+LL-2.4	PET+ ALU +LL-2.4
7	5/31/2012	11:45:2...	MME	True	PET+ALU+LL-2.5	PET+ ALU +LL-2.5

P-AL-LL-1
no OPP

P-AL-LL-2
no OPP

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
1	1	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
2	2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
3	2.1	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
4	2.2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
5	2.3	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
6	2.4	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
7	2.5	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
1	50.375 mm	85.830 N	64.467 mm
2	50.231 mm	5.0863 N	19.565 mm
3	50.339 mm	40.320 N	13.639 mm
4	50.293 mm	83.148 N	35.094 mm
5	50.160 mm	44.632 N	16.211 mm
6	50.162 mm	49.843 N	16.625 mm
7	50.242 mm	89.850 N	67.002 mm

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
1	3433.2 N/m	127.97	True	9587.8 ...
2	203.45 N/m	38.950	True	38269.0 ...
3	1612.8 N/m	27.094	True	5681.7 ...
4	3325.9 N/m	69.781	True	10202.0 ...
5	1785.3 N/m	32.318	True	35352.0 ...
6	1993.7 N/m	33.143	True	12803.0 ...
7	3594.0 N/m	133.36	True	17713.0 ...

	Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
1	19319.0 N/m	73.620 N	13.979 mm	2944.8 N/m ✓	27.751
2	76892.0 N/m	5.0863 N	19.565 mm	203.45 N/m ✗	38.950
3	11440.0 N/m ✗	40.320 N	13.639 mm	1612.8 N/m ✗	27.094
4	20523.0 N/m	83.148 N	35.094 mm	3325.9 N/m ✓	69.781
5	70930.0 N/m	44.632 N	16.211 mm	1785.3 N/m ✗	32.318
6	25690.0 N/m	49.843 N	16.625 mm	1993.7 N/m ✗	33.143
7	35598.0 N/m	89.850 N	67.002 mm	3594.0 N/m ✓	133.36

41492

3288

	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Strength at Lower Yield
1	70.894 N	22.772 mm	2835.7 N/m
2			
3			
4	24.438 N	41.288 mm	977.52 N/m
5			
6			
7			

	Percentage Strain at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
1	45.204	67.913 N	8.3353 mm
2		4.5769 N	2.5947 mm
3		39.195 N	11.778 mm
4	82.096	65.074 N	8.0299 mm
5		25.838 N	3.2053 mm
6		27.443 N	4.1234 mm
7		40.297 N	4.2930 mm

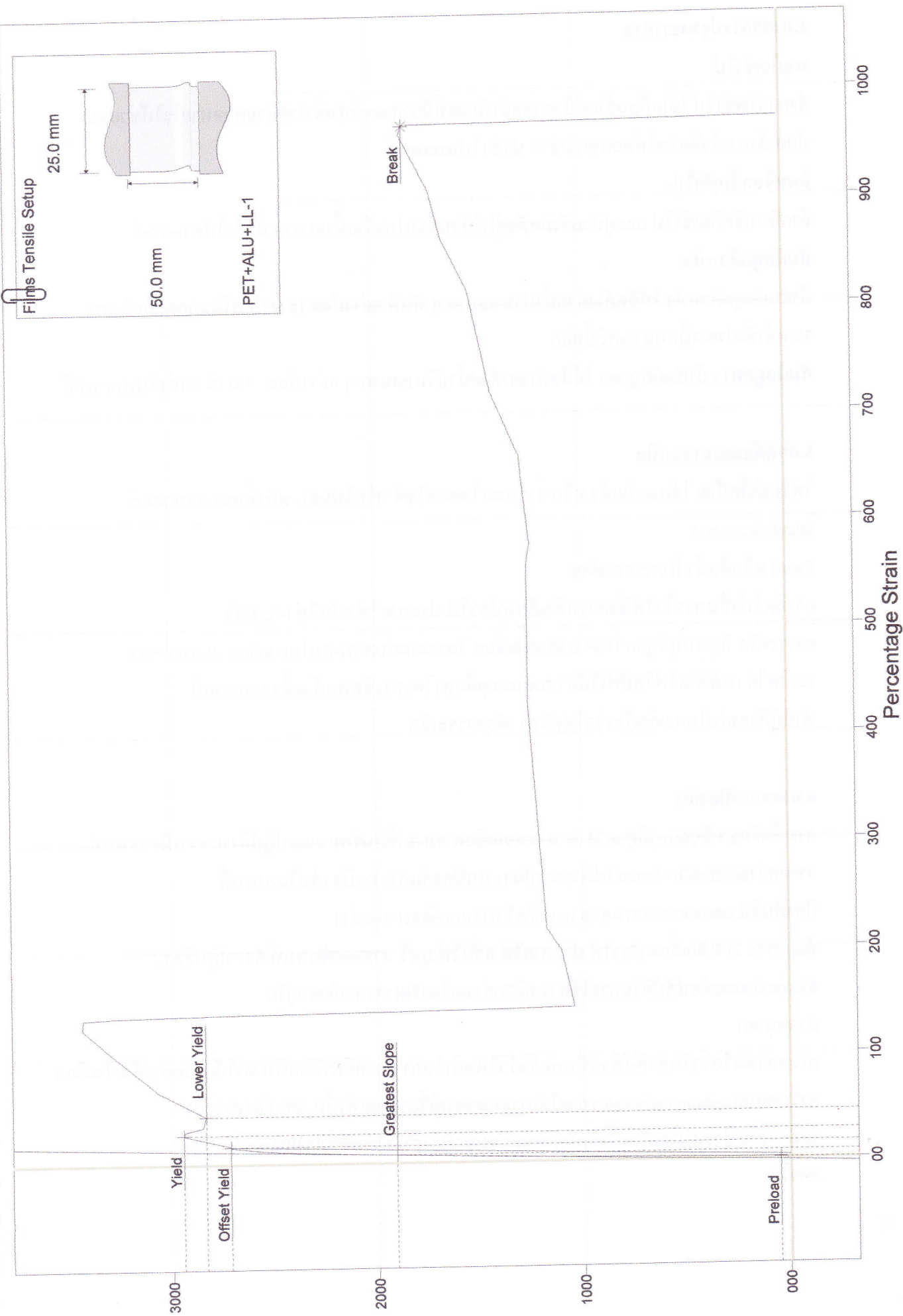
	Strength at Offset Yield	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break
1	2716.5 N/m	16.547	45.822 N	486.87 mm
2	183.07 N/m	5.1656	2.6918 N	32.509 mm
3	1567.8 N/m	23.397	20.095 N	39.804 mm
4	2603.0 N/m	15.966	43.748 N	372.24 mm
5	1033.5 N/m	6.3903	14.035 N	42.635 mm
6	1097.7 N/m	8.2203	21.983 N	38.543 mm
7	1611.9 N/m	8.5446	89.850 N	67.002 mm

	Strength at Break	Percentage Strain at Break
1	1832.9 N/m	966.50
2	107.67 N/m	64.720
3	803.80 N/m	79.072
4	1749.9 N/m	740.14
5	561.38 N/m	84.998
6	879.33 N/m	76.838
7	3594.0 N/m	133.36

2392

853

Strength (N/m)



Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
2	6/25/2012	1:37:26 ...	MME	True	CPP-2
3	6/25/2012	1:41:59 ...	MME	True	CPP-3
7	6/25/2012	1:54:23 ...	MME	True	CPP-7
8	6/25/2012	1:58:12 ...	MME	True	CPP-8

Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
2	2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...
3	3	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...
7	7	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...
8	8	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...

Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
2	51.042 mm	34.600 N
3	50.657 mm	37.355 N
7	50.571 mm	36.578 N
8	50.727 mm	27.338 N

Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
2	1384.0 N/m	874.36	True
3	1494.2 N/m	1006.0	True
7	1463.1 N/m	1051.1	True
8	1093.5 N/m	19.505	True

Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
2	7737.9 N/m	29.753 N	10.547 mm	1190.1 N/m
3	12330.0 N/m	27.277 N	10.507 mm	1091.1 N/m
7	11711.0 N/m	25.810 N	10.844 mm	1032.4 N/m
8	7856.0 N/m	27.338 N	9.8940 mm	1093.5 N/m

Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Strength at Lower Yield
2	18.819 N	85.184 mm
3	16.866 N	71.513 mm
7	14.754 N	14.545 mm
8	16.007 N	68.031 mm

Percentage Strain at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
2	166.89	28.966 N
3	141.17	24.918 N
7	28.761	24.483 N
8	134.11	26.412 N

Strength at Offset Yield	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break
2	1158.6 N/m	18.136	34.600 N
3	996.72 N/m	12.836	37.355 N
7	979.33 N/m	13.102	36.578 N
8	1056.5 N/m	16.886	20.374 N

	Strength at Break	Percentage Strain at Break
2	1384.0 N/m	874.36
3	1494.2 N/m	1006.0
7	1463.1 N/m	1051.1
8	814.95 N/m	746.35

ความแข็งแรงของดินเหนียว (Strength) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของดินเหนียวจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของดินเหนียว วิธีการเตรียมดินเหนียว และขนาดของตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ทดสอบ เป็นต้น

ดินเหนียว (Clay) เป็นดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 2 ไมครอน) และมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถรวมตัวกันเป็นก้อนเหนียวได้ (Cohesion) และมีความแข็งแรงสูง (Strength) ดินเหนียวมีหลายชนิด เช่น ดินเหนียวขาว (White Clay) ดินเหนียวแดง (Red Clay) ดินเหนียวสีน้ำตาล (Brown Clay) เป็นต้น

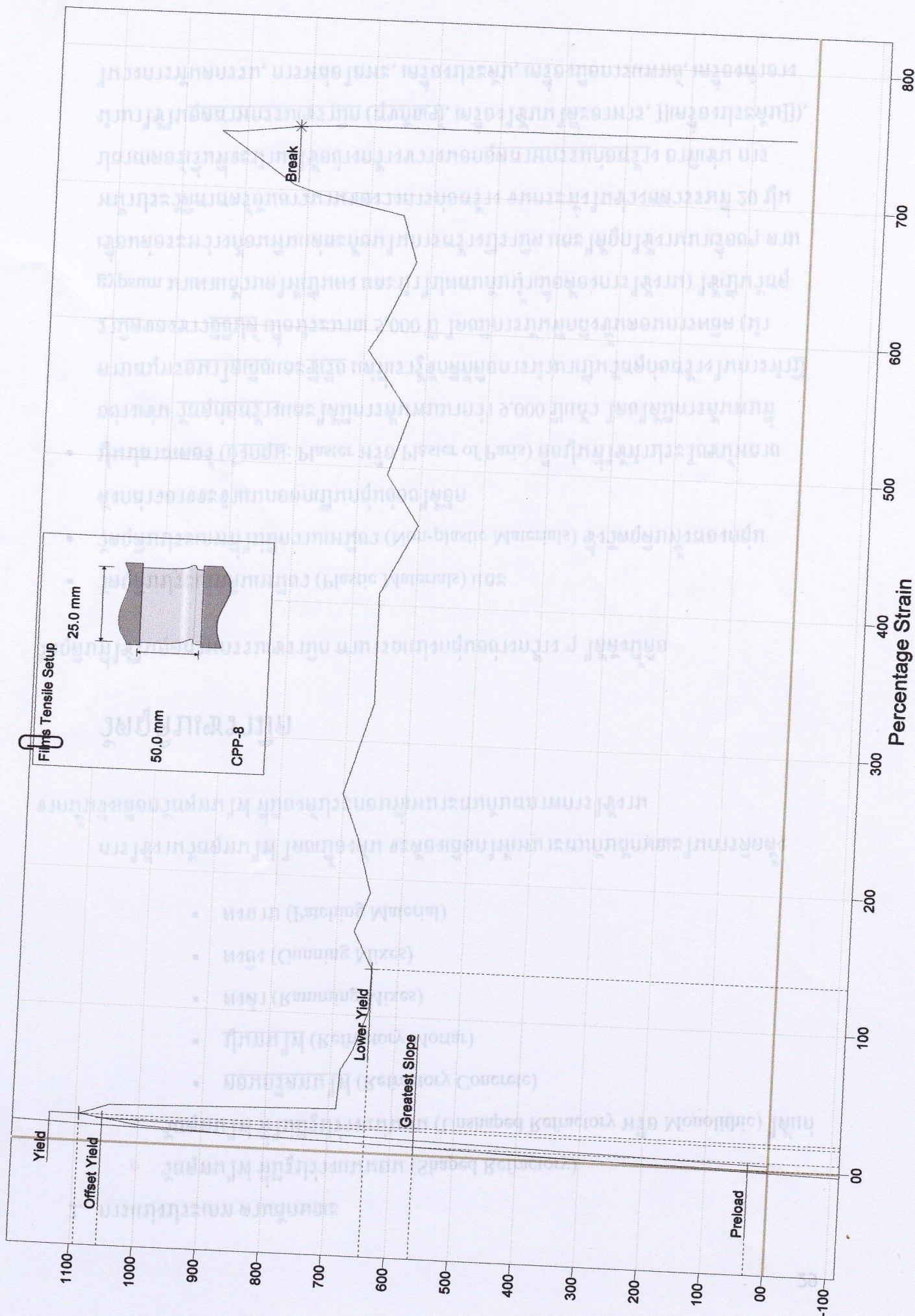
ดินเหนียวมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถรวมตัวกันเป็นก้อนเหนียวได้ (Cohesion) และมีความแข็งแรงสูง (Strength) ดินเหนียวมีหลายชนิด เช่น ดินเหนียวขาว (White Clay) ดินเหนียวแดง (Red Clay) ดินเหนียวสีน้ำตาล (Brown Clay) เป็นต้น

AL2O3 3SiO2 2SH2O คีโนซีอ



Strength (N/m)

Percentage Strain



Film Tensile Setup

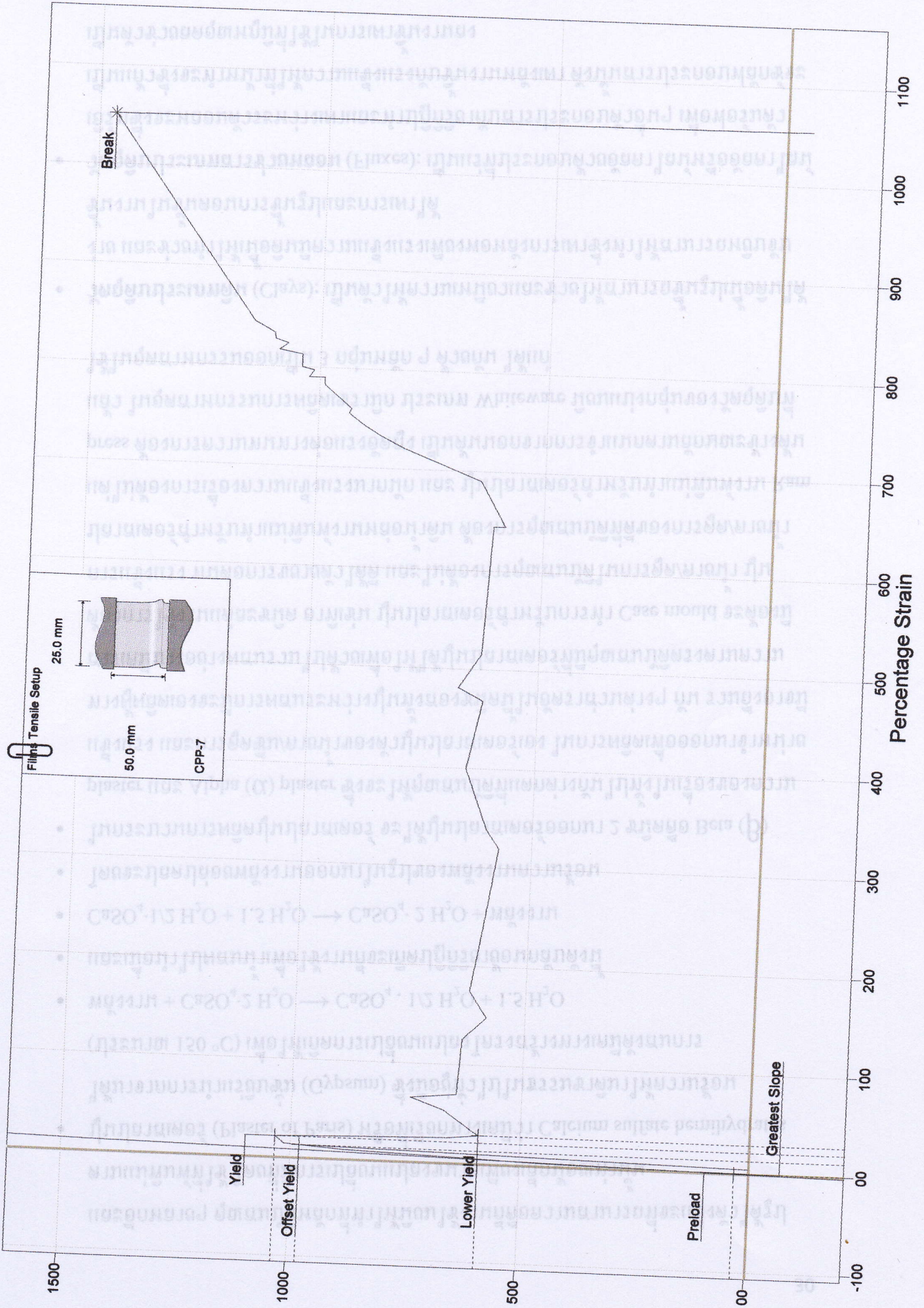
25.0 mm

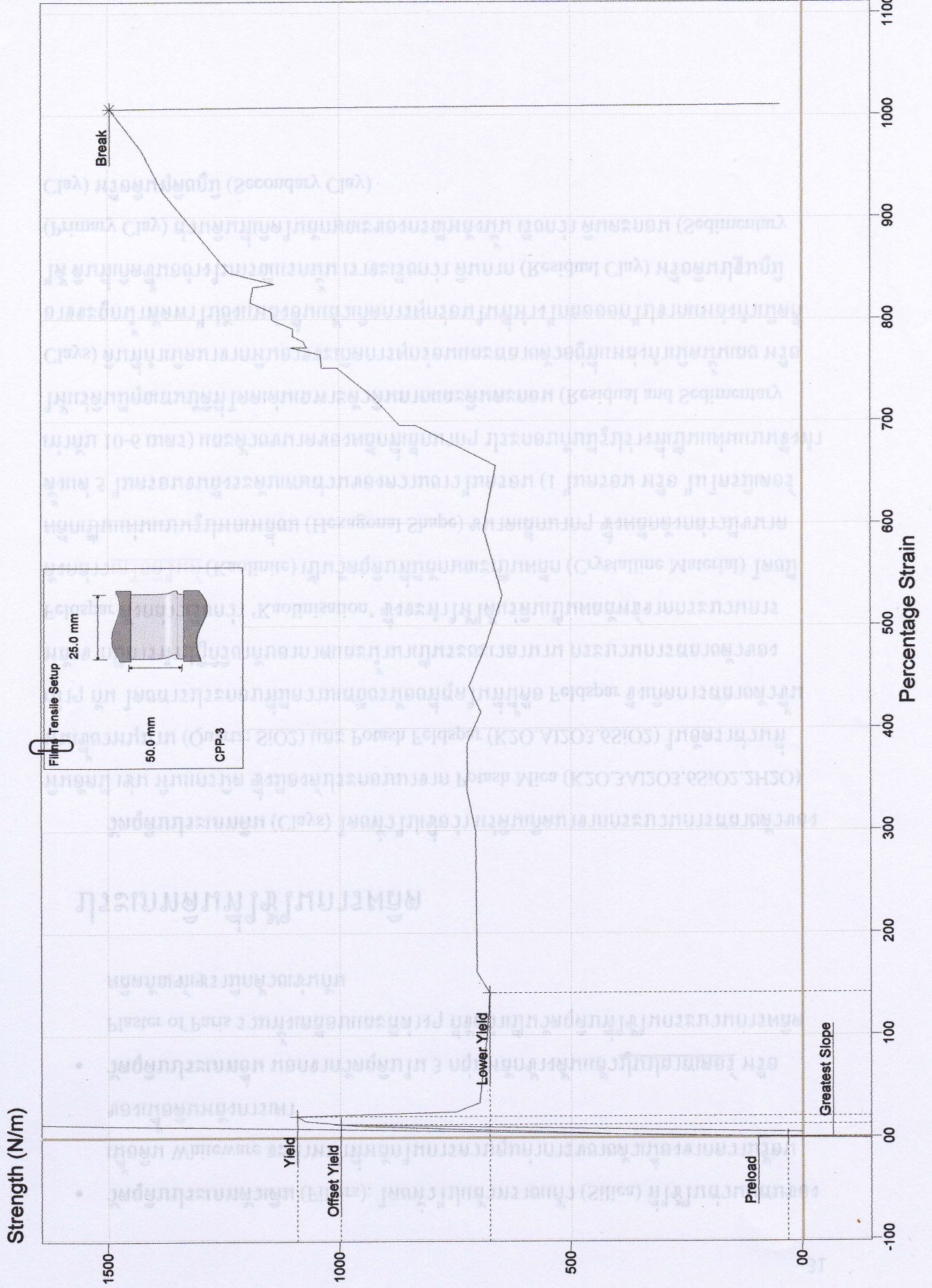
50.0 mm

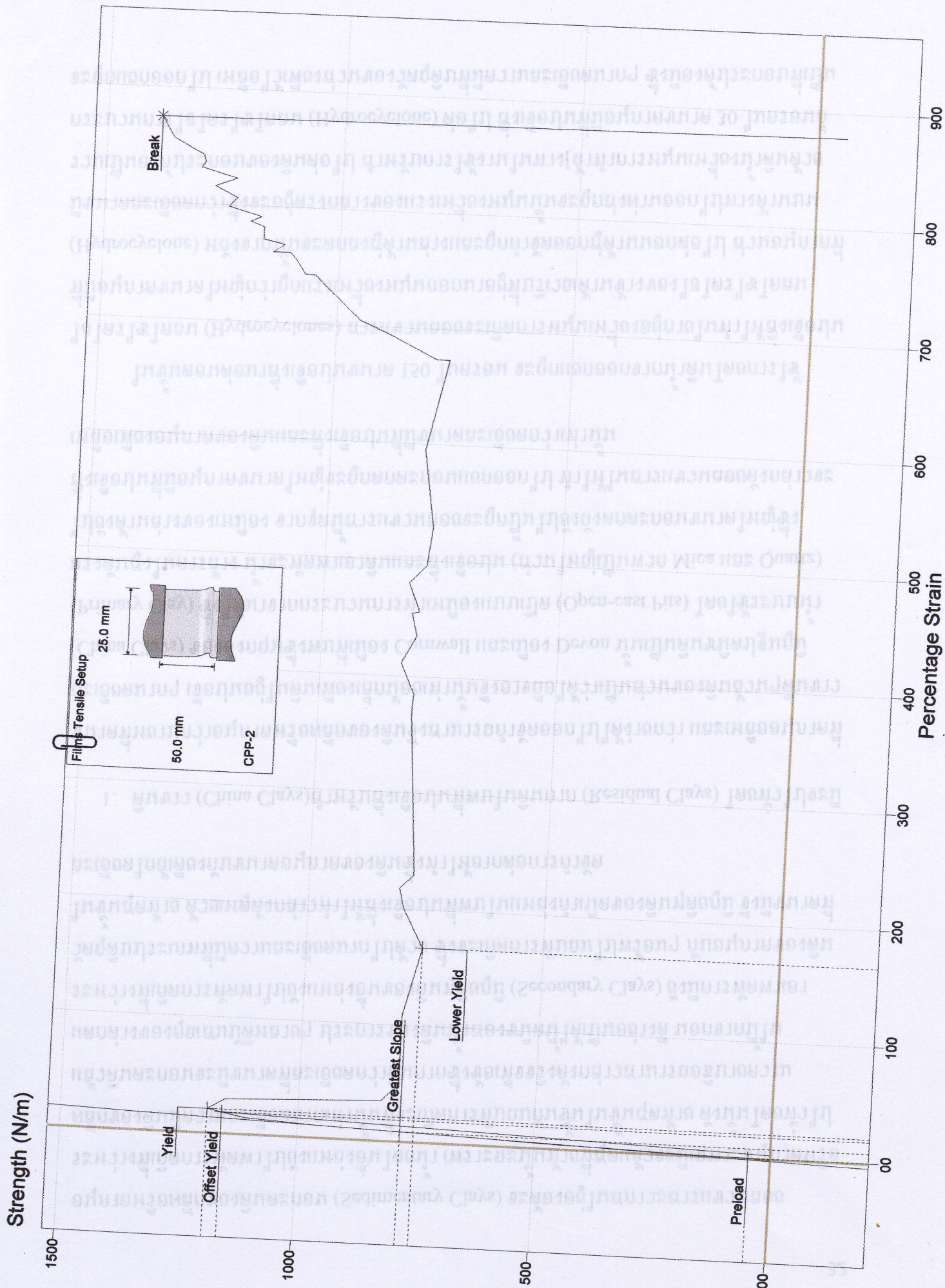
CPP-8

Strength (N/m)

Percentage Strain







	Date	Time	User	Sample...	Sample Information	Batch Reference
1	6/25/2012	10:57:3...	MME	True	LLDPE-1	LLDPE-1
2	6/25/2012	12:01:3...	MME	True	LLDPE-2	LLDPE-2
3	6/25/2012	12:10:3...	MME	True	LLDPE-3	LLDPE-3
4	6/25/2012	12:13:0...	MME	True	LLDPE-4	LLDPE-4
5	6/25/2012	12:19:5...	MME	True	LLDPE-5	LLDPE-5
6	6/25/2012	12:25:3...	MME	True	LLDPE-6	LLDPE-6

	Sample Reference	Width	Initial Grip Separation	Speed	Preload Force
1	1	25.000 ...	125.00 mm	12.500 ...	1.0000 N
2	2	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
3	3	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
4	4	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
5	5	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N
6	6	25.000 ...	50.000 mm	500.00 ...	1.0000 N

	Corrected Gauge Length	Maximum Load	Extension at Maximum Load
1	125.20 mm		
2	50.614 mm		
3	50.855 mm	37.366 N	16.408 mm
4	50.764 mm	68.920 N	590.80 mm
5	50.847 mm	61.289 N	606.61 mm
6	50.680 mm	45.340 N	442.43 mm

	Strength at Maximum Load	Percentage Strain at Maximum Load	Break	Stiffness
1				
2				
3	1494.7 N/m	32.264		
4	2756.8 N/m	1163.8	True	9983.0 ...
5	2451.6 N/m	1193.0	True	3631.8 ...
6	1813.6 N/m	872.98	True	3306.3 ...
			True	3448.4 ...

	Elastic Modulus	Load at Yield	Extension at Yield	Strength at Yield	Percentage Strain at Yield
1					
2					
3	20307.0 N/m	37.366 N	16.408 mm	1494.7 N/m	32.264
4	7374.7 N/m	44.852 N	24.119 mm	1794.1 N/m	47.512
5	6724.5 N/m	43.007 N	30.705 mm	1720.3 N/m	60.387
6	6990.5 N/m	45.058 N	29.055 mm	1802.3 N/m	57.330

	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield	Strength at Offset Yield
1			
2			
3	18.231 N	4.1779 mm	729.26 N/m
4	40.576 N	13.550 mm	1623.0 N/m
5	37.563 N	13.335 mm	1502.5 N/m
6	38.978 N	13.290 mm	1559.1 N/m

	Percentage Strain at Offset Yield	Load at Break	Extension at Break	Strength at Break
1				
2				
3	8.2154	3.1128 N	41.055 mm	124.51 N/m
4	26.691	35.937 N	760.60 mm	1437.5 N/m
5	26.227	38.845 N	714.68 mm	1553.8 N/m
6	26.223	27.384 N	503.77 mm	1095.4 N/m

	Percentage Strain at Break	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield
1			
2			
3	80.730		
4	1498.3	37.893 N	87.263 mm
5	1405.5	36.622 N	73.093 mm
6	994.02	38.529 N	106.92 mm

	Strength at Lower Yield	Percentage Strain at Lower Yield
1		
2		
3		
4	1515.7 N/m	171.90
5	1464.9 N/m	143.75
6	1541.2 N/m	210.97

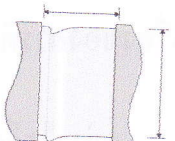
Strength (N/m)

Films Tensile Setup

25.0 mm

50.0 mm

LLDPE-5



Yield

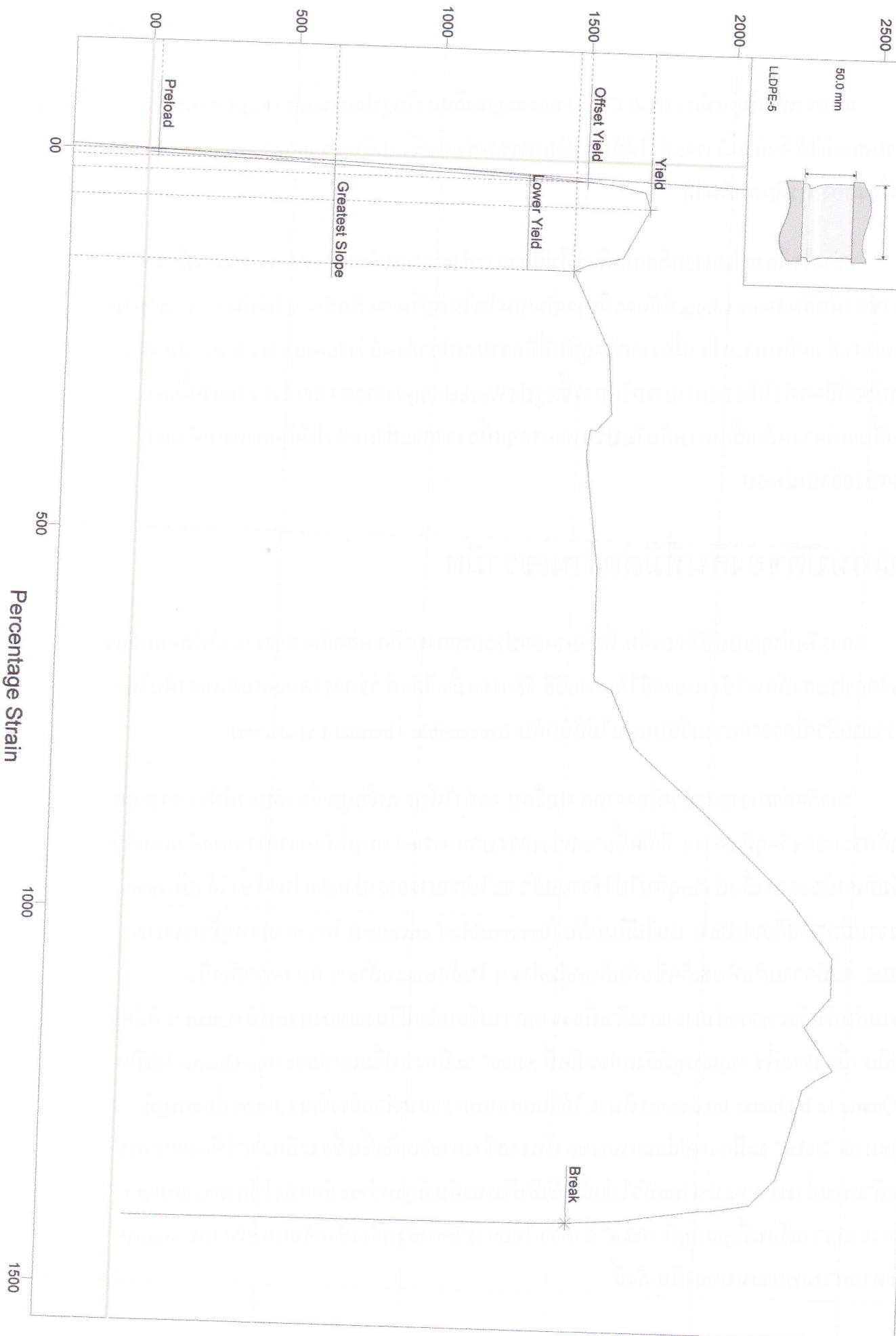
Offset Yield

Lower Yield

Greatest Slope

Preload

Break



Strength (N/m)

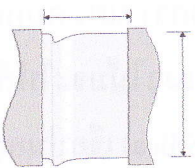
3000

Films Tensile Setup

25.0 mm

50.0 mm

LDPE-4



2000

Yield

Offset Yield

Lower Yield

1000

Greatest Slope

000

Preload

00

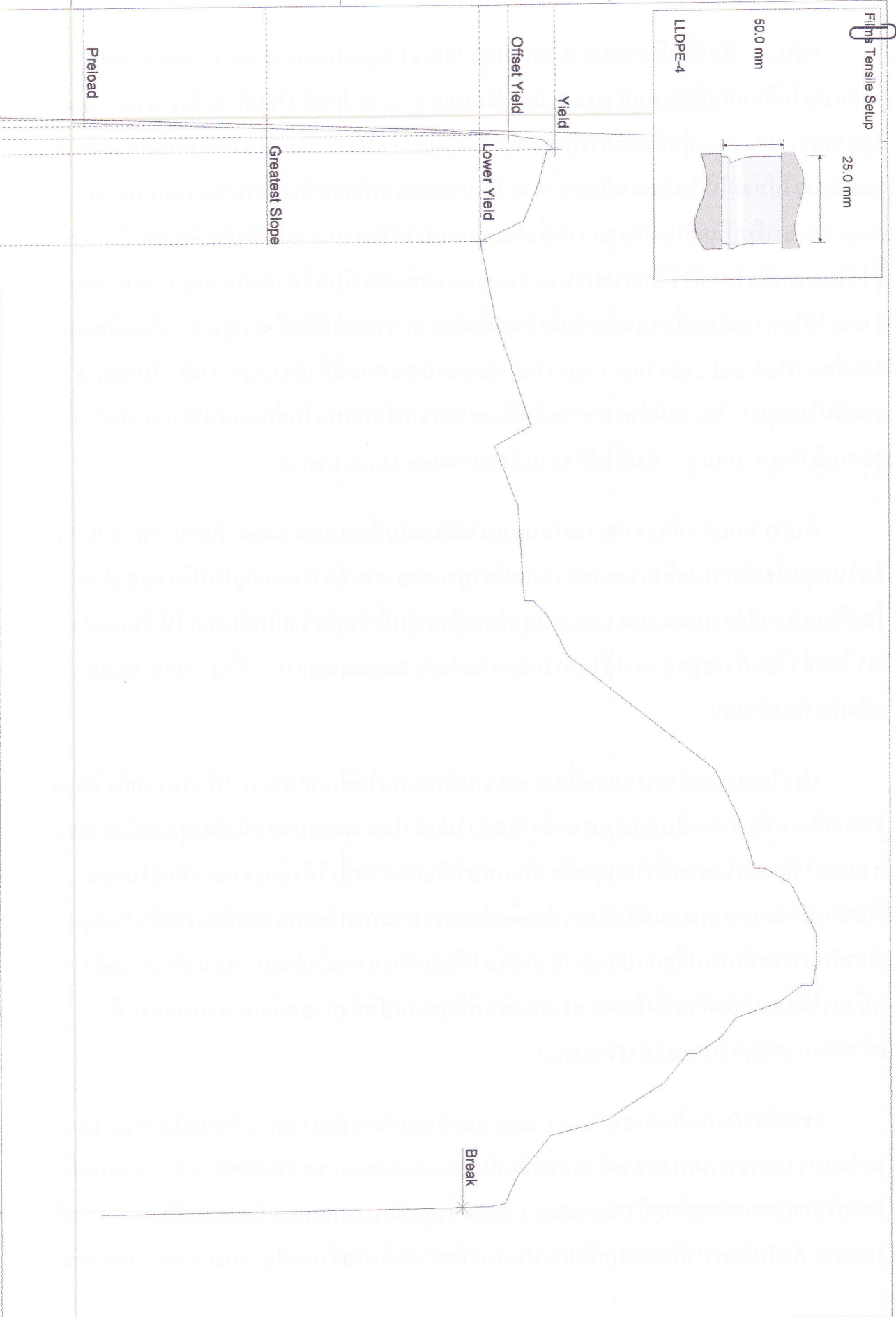
500

1000

1500

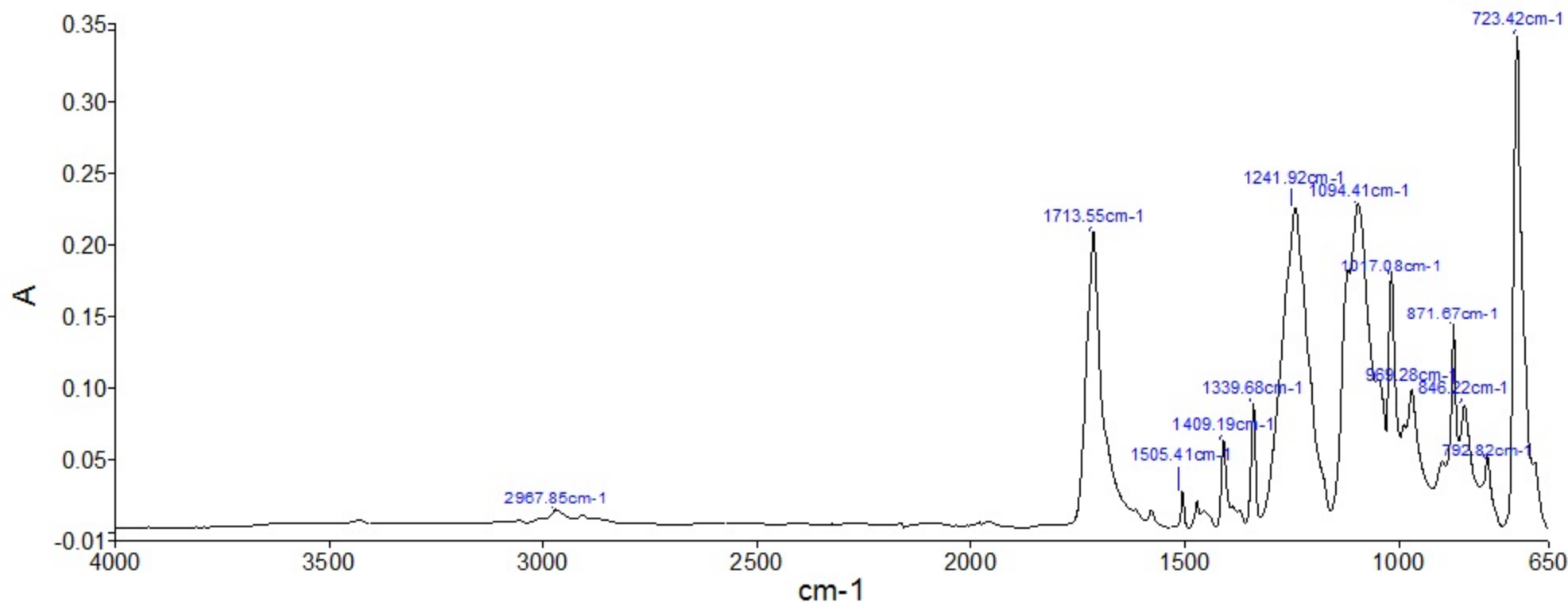
Percentage Strain

Break



Analyst
Date

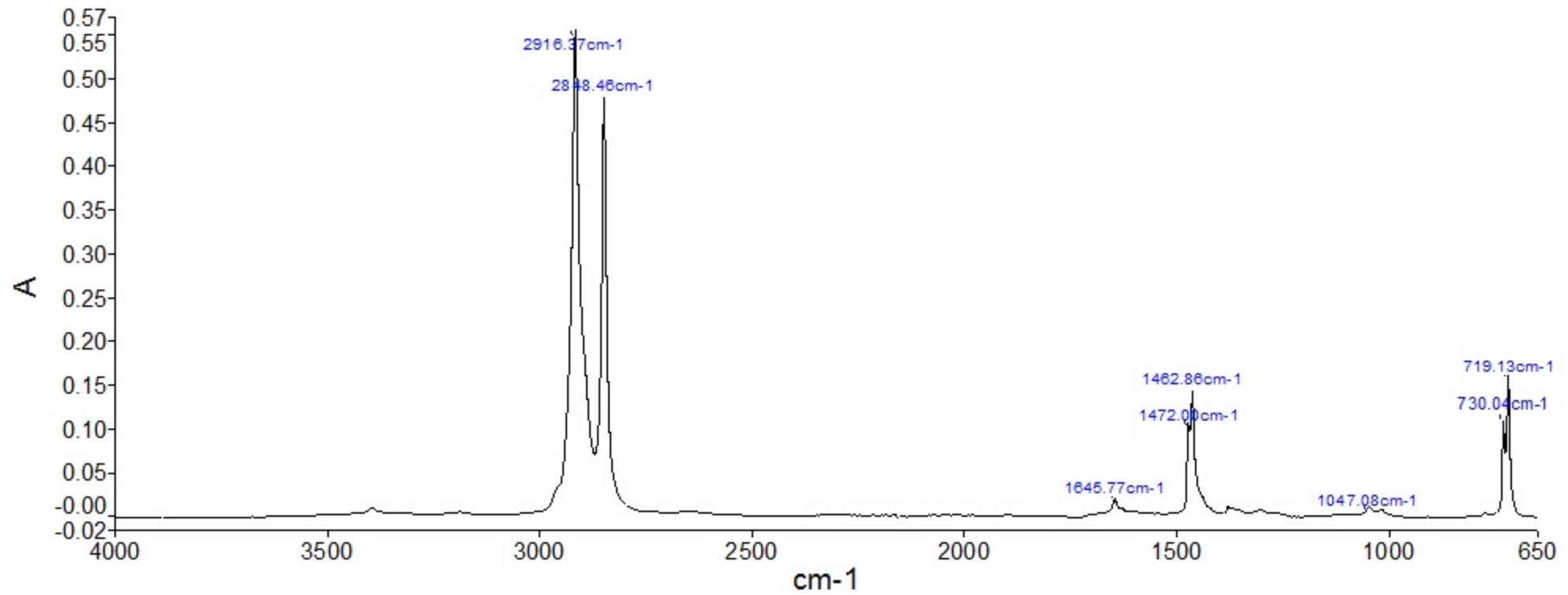
Administrator
20 สิงหาคม 2557 17:29



Sample Name	Description	Quality Checks
PET	Sample 004 By Administrator Date พ.ร. พฤษภาคม 23 2555	The Quality Checks do not report any warnings for the sample.

Analyst
Date

Administrator
20 สิงหาคม 2557 17:30



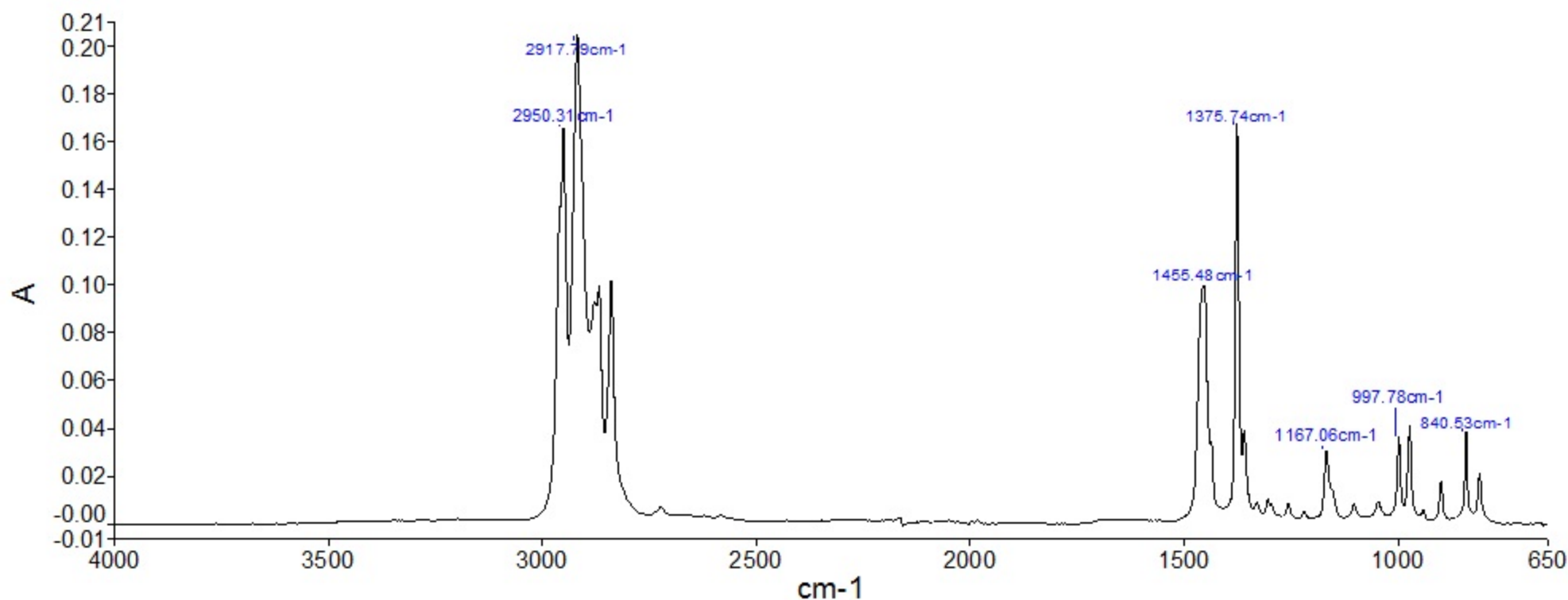
Sample Name	Description	Quality Checks
PET ALU LL	Sample 002 By Administrator Date พ.ร. พุทธศักราช 2555	The Quality Checks do not report any warnings for the sample.

Analyst

Administrator

Date

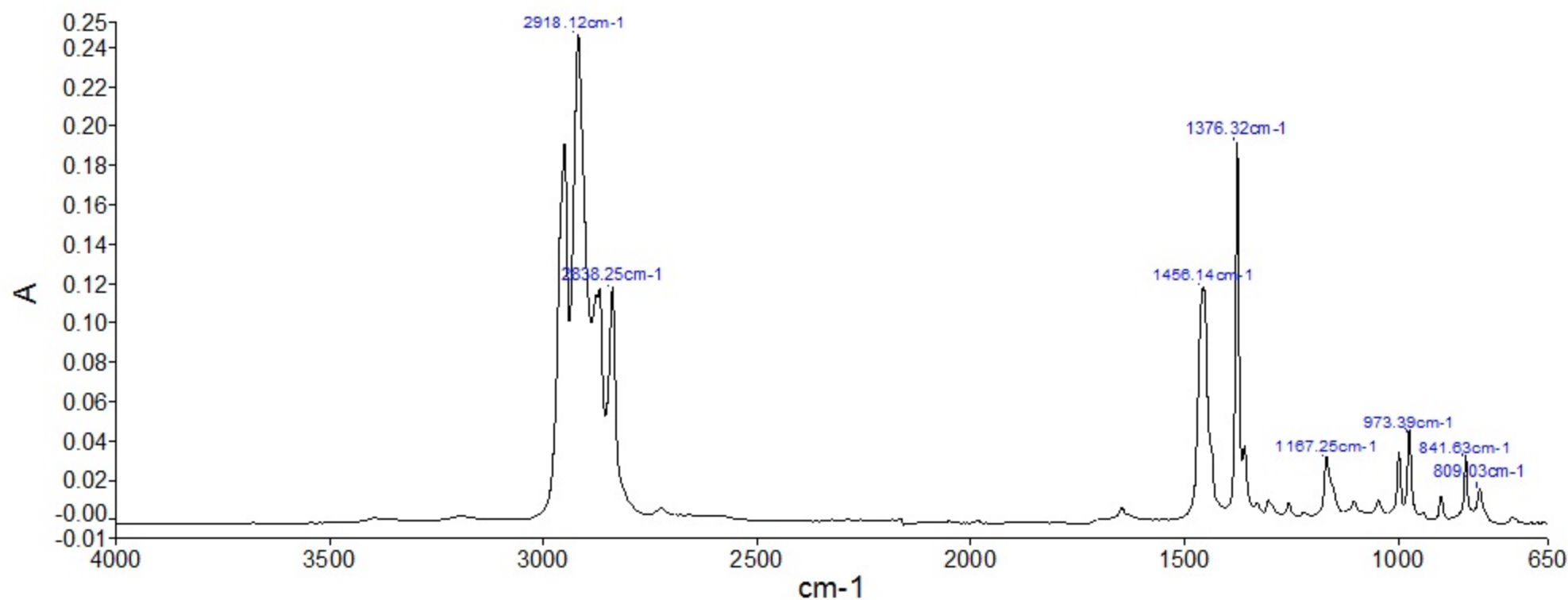
20 สิงหาคม 2557 17:31



Sample Name	Description	Quality Checks
OPP	Sample 005 By Administrator Date พ.ร. พุทธศักราช 23 2555	The Quality Checks do not report any warnings for the sample.

Analyst
Date

Administrator
20 สิงหาคม 2557 17:34



Sample Name	Description	Quality Checks
CPP	Sample 006 By Administrator Date พ.ร. พฤษภาคม 23 2555	The Quality Checks do not report any warnings for the sample.