



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier

อาจารย์ ดร. จันทร์ฉาย ทองปิ่น และคณะ

เมษายน 2547

สัญญาเลขที่ RDG4750003

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

“การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น
Impact modifier”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

นาย วิโรจน์	จันทร์สูตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นาย ศักดิ์ชัย	โสภะ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
นางสาว ไสวิภา	โคกกระเทียม	มหาวิทยาลัยศิลปากร

ชุดโครงการ กลุ่มโครงการวิจัยย่อยการประยุกต์ใช้น้ำยางธรรมชาติใน
การผลิตผลิตภัณฑ์ — มศก.(1).

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.)
(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG4750003

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยการประยุกต์ใช้น้ำยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ - มศก. (1)”

รายงานฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อโครงการ “ การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่ผลิตโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ”

สัญญาโครงการเลขที่ RDG4750003

ชื่อหัวหน้าโครงการ วิจัย ผู้รับทุนวิจัย อาจารย์ ดร. จันทน์ฉาย ทองปิ่น

โครงการเริ่ม วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546

ส่วนที่ 2 รายงานและกระบวนการวิจัย

1. ในรอบ 6 เดือนที่มาได้

- ติดต่อทางโทรศัพท์ 5 ครั้ง
- ประชุมร่วมกับ User 2 ครั้ง
- ไปพบ user ณ สถานที่ 10 ครั้ง
- ประชุมทีมวิจัย 12 ครั้ง

เป็นเรื่อง	วางแผนงาน	5	ครั้ง
	หารือปัญหางานวิจัย	12	ครั้ง
	วิเคราะห์ผล	9	ครั้ง
	มอบหมายงาน	8	ครั้ง
	การจัดหาจัดจ้าง	4	ครั้ง

2. ในรอบ 6 เดือน ที่ผ่านมามีได้ติดตามข้อมูลวิจัย โดย

- บันทึกการทำวิจัย (สมุดเล่มดำ) จำนวน 100 หน้า
- อ่าน Paper ที่เกี่ยวข้อง 20 เรื่อง
- ค้นข้อมูลทาง Internet 30 ครั้ง

3. ในกรณีที่มีนักศึกษาบัณฑิตศึกษา หรือผู้ช่วยวิจัยในโครงการ ในรอบ 6 เดือน

- นักศึกษาเสนอความก้าวหน้า 12 ครั้ง
- นักศึกษาขอพบเพื่อหารือการทำวิจัย 40 ครั้ง
- ตรวจสอบแก้ผลงานวิจัยที่ทำโดยนักศึกษา 12 ครั้ง

แบบสรุปโครงการวิจัย

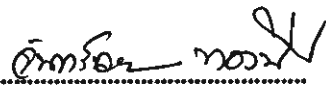
ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในโครงการ และแผนการดำเนินงานที่ได้ทำจริง

กิจกรรม	ผลคาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	หมายเหตุ
1. ค้นคว้าศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	เข้าใจและได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานวิจัย ที่ผ่านมาจากเอกสารวิชาการรวมถึงบทความวิจัย ที่เกี่ยวข้อง	100 %
2. สังเคราะห์สาร Chlorinated Natural Rubber ให้มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 12 %	ได้ Chlorinated Natural Rubber ที่มีปริมาณ คลอรีนเท่ากับ 12 %	100%
3. การขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ตามสูตรของ โรงงานโดยมีการเปลี่ยน Heat stabilizer	ได้ชิ้นงานแผ่น PVC Overlay ที่มีความหนา 0.1-0.15 mm.	100%
4. การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้ เทคนิค TGA	ทราบถึงสมบัติการต้านทานความร้อนของ PVC Overlay	100 %
5. การทดสอบสมบัติเชิงกล	ทราบถึงสมบัติเชิงกลของแผ่น PVC Overlay ตามสูตรต่างๆเพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานและหา ชนิด heat stabilizer ที่ทำให้ PVC Overlay มี สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด	100%
6. การวัดความเหลืองของแผ่น PVC Overlay	ค่าความเหลืองที่ได้สามารถนำมาทำการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ heat stabilizer	100%
7.การทดสอบ Morphology	ทราบถึงความเข้ากันได้ของน้ำยางธรรมชาติกับ PVC Compound	100%
8.วิเคราะห์ผลการวิจัย	สามารถทราบถึงปัจจัยที่สามารถลดความเหลือง ในแผ่น PVC Overlay	100%

ลงนาม.....
(อาจารย์ ดร. จันทร ธรปาน)
หัวหน้ากลุ่มโครงการวิจัยย่อยผู้รับทุน
วันที่ 31 ม.ค. 47

ตาราง Output

Output		สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100 %)
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ	
1. ค้นคว้าศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัย	100 %	
2. สังเคราะห์สาร CNR มี CI 12 %	100 %	
3. การขึ้นแผ่น PVC Overlay ตามสูตรของบริษัทเอพีเค พลาสติกส์ จำกัด และมีการเปลี่ยนชนิดของ heat stabilizer	100 %	
4. การวัดความเหลืองของแผ่น PVC Overlay	100 %	
5. การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเทคนิค DMA / Tensile	100 %	
6. การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA	100 %	
7. การตรวจสอบ Morphology ด้วยเทคนิค TEM และ SEM	100 %	
8. วิเคราะห์ผลและสรุปผล	100 %	
9. เขียนรายงานวิจัย	100 %	

ลงนาม.....
(อาจารย์ ดร. จันทรฉาย ทองปิ่น)
หัวหน้ากลุ่มโครงการวิจัยย่อยผู้รับทุน
วันที่ 31 พ.ค. 47.....

บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

1. ชื่อโครงการ “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่ผลิตโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact Modifier”

“Factors affecting the yellowness in PVC Overlay Containing Natural Rubber as Impact modifier”

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ดร. จันทร์ฉาย ทองปิ่น

ชื่อผู้ร่วมโครงการ นาย วิโรจน์ จันทรสุตร

นาย ศักดิ์ชัย โสภา

นางสาว ไสวิภา โคกกระเทียม

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยาเขต พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

โทรศัพท์ 034 219363

โทรสาร 034 219363

E-mail Chanchai@su.ac.th

wit_ch81@hotmail.com

sakchai.sopha@chaiyo.com

sovipha@chaiyo.com

3. งบประมาณทั้งโครงการ 110,000 บาท

4. ระยะเวลาดำเนินการ 6 เดือน

5. ปัญหาที่ท้าวจัยและความสำคัญของปัญหา

ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก พบว่า Polyvinyl Chloride , PVC เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก PVC ตัวอย่างเช่น Wallpaper เลื่อน้ำมัน ผนังเทียม แผ่น PVC Overlay เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์จาก PVC จึงมีการใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยทั่วไป PVC Compound จะมีส่วนผสม ดังต่อไปนี้ PVC Resin, Heat stabilizer, Processing aid, Plasticizer, Lubricant, Impact modifier, Filler และ สีตามต้องการ

ในที่นี้จะกล่าวถึง PVC Overlay ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ตัวอย่างเช่น ตู้เสื้อผ้า ชั้นวางหนังสือ โต๊ะคอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์

จะมีขั้นตอนการทำ คือ นำ PVC Overlay หลาย ๆ แผ่นมา laminate โดยอาศัยแรงอัดจากเครื่องรีด (Calendering) แล้วปิดทับลงบนหน้าไม้ เนื่องด้วยลักษณะการนำ PVC Overlay ไปใช้งานนี้ การผลิต PVC Overlay จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่ทำให้ PVC Overlay มีสมบัติด้านทานแรงกระแทกที่ดี ในอุตสาหกรรมการผลิตจะมีการใช้ Acrylonitrile – Butadiene – Styrene, ABS มาเป็น Impact modifier ซึ่ง ABS เป็นสารที่มีราคาสูง และจากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ผู้ทำการวิจัยได้มีศึกษาการผลิต PVC Overlay โดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier แทนการใช้ ABS เป็น Impact modifier เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และยังพบว่าการใช้ Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน จะทำให้ PVC Overlay ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งจากงานวิจัยสามารถนำมาใช้ในการผลิต PVC Overlay ได้จริง แต่ปัญหาที่พบตามมา คือ แผ่น PVC Overlay ที่ผลิตได้มีความเหลืองเกิดขึ้น ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิต PVC Overlay แบบใสไม่มีสี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวประสาน เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น

6. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 6.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และมี Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวประสาน
- 6.2 เพื่อจะได้นำ PVC Overlay ที่ผลิตโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น
- 6.3 เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าน้ำยางธรรมชาติที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยให้มีการเพิ่มมูลค่ามากขึ้น และใช้ทรัพยากรภายในประเทศได้อย่างคุ้มค่า
- 6.4 เพื่อเป็นการส่งเสริมการทำงานวิจัยที่มีความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยและโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม

7. ระเบียบวิธีวิจัย

- 7.1 ทำ Chlorination ของน้ำยางธรรมชาติให้ได้ปริมาณคลอรีน ~ 12 %
- 7.2 ขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay
- 7.3 วัดค่าความเหลืองของแผ่น PVC Overlay
- 7.4 ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA
- 7.5 ทดสอบสมบัติเชิงกล
- 7.6 ตรวจสอบ Morphology

8. สิ่งที่ได้คาดว่าจะได้รับ

- 8.1 สามารถทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และใช้ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน
- 8.2 สามารถกำจัดปัญหาความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ได้
- 8.3 สามารถนำแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier มาใช้งานได้กว้างขึ้น

9. ผลการวิจัย

กิจกรรม	ผลคาดว่าจะได้รับ	หมายเหตุ
1. ค้นคว้าศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	เข้าใจและได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานวิจัยที่ผ่านมาจากเอกสารวิชาการรวมถึงบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง	100 %
2. สังเคราะห์สาร Chlorinated Natural Rubber ให้มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 12 %	ได้ Chlorinated Natural Rubber ที่มีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 12 %	100%
3. การขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ตามสูตรของโรงงาน โดยมีกระบวนการเปลี่ยน Heat stabilizer	ได้ชิ้นงานแผ่น PVC Overlay ที่มีความหนา 0.1-0.15 mm.	100%
4. การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA	ทราบถึงสมบัติการต้านทานความร้อนของ PVC Overlay	100 %
5. การทดสอบสมบัติเชิงกล	ทราบถึงสมบัติเชิงกลของแผ่น PVC Overlay ตามสูตรต่างๆเพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานและหาชนิด heat stabilizer ที่ทำให้ PVC Overlay มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด	100%
6. การวัดความเหลืองของแผ่น PVC Overlay	ค่าความเหลืองที่ได้สามารถนำมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ heat stabilizer	100%
7.การทดสอบ Morphology	ทราบถึงความเข้ากันได้ของน้ำยางธรรมชาติกับ PVC Compound	100%
8.วิเคราะห์ผลการวิจัย	สามารถทราบถึงปัจจัยที่สามารถลดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay	100%

บทคัดย่อ

PVC Overlay ที่นำไปติดลงบนหน้าไม้ของเฟอร์นิเจอร์ไม้ัดจะมีการพิมพ์ลายลงที่แผ่น PVC Overlay ก่อน ซึ่งจากลักษณะการนำไปใช้งานของ PVC Overlay จะต้องมีส่วนรับแรงกระแทกที่ดี ดังนั้นการผลิตจะต้องมีการเติม Impact modifier ซึ่งปกติในอุตสาหกรรมการผลิตจะใช้ Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, ABS ซึ่งมีราคาสูง จึงได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติแทน ABS แต่พบว่า PVC Overlay มีความเหลืองเกิดขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay โดยศึกษาปัจจัยที่เกิดจาก Heat stabilizer โดยทำการผสม PVC resin 100 g, Plasticizer 21 g, Processing aid 1 g, น้ำยางธรรมชาติ 2 g, CNR 0.1 g เป็นตัวประสาน และ Heat stabilizer 2.2 g และทำการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer แต่ส่วนผสมอื่นยังคงที่ เมื่อผสม PVC compound แล้ว จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll mill ที่อุณหภูมิ 160 °C และปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งแผ่น PVC Overlay มีความหนาให้ได้ 0.10 - 0.15 mm แล้วนำ PVC Overlay ที่ได้ไปวัดความเหลืองด้วยเครื่อง Spectrophotometer, ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA, ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเทคนิค Tensile และ DMA และตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นตัวอย่างในระดับอนุภาคด้วยเทคนิค TEM และ SEM พบว่าสูตรผสมที่มีการผสม PVC compound และมีการใช้ Heat Stabilizer ผสมระหว่าง Stab กับ DBL เป็นสูตรที่มีความเหลืองน้อยที่สุด และใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก PVC Overlay ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน และจากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่ามีการสลายตัว 2 ช่วง โดยช่วงแรกเป็นการปลดปล่อย HCl และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของโครงสร้าง Polyene และจากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อมีการเติมน้ำยางธรรมชาติและ CNR ลงไปจะทำให้ PVC Overlay มีความต้านทานแรงดึงลดลง แต่สามารถยืดได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟ Loss Modulus กับ อุณหภูมิ โดย PVC Overlay ที่มีไม่เห็นพีกของน้ำยางธรรมชาติจะมีค่า percent strain at break ที่ต่ำและจาก TEM พบว่าอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอด้วยและจากผลการทดลอง SEM พบว่าชิ้นงานในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งจะเกิด yield ที่ชัดเจนกว่าตามแนวการหมุน

การผลิต PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และมี CNR เป็นตัวประสาน พบว่า สูตรผสมที่ใช้ Heat stabilizer ผสมระหว่าง Ba/Cd/Zn metal complex และ Dibasic lead stearate ,DBL มีความเหมาะสมในการผลิต PVC Overlay เนื่องจากมีความเหลืองน้อยที่สุด และยังมีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ซึ่งจะสามารถนำไปใช้งานได้จริง

Abstract

PVC Overlay is normally used as printed and then laid on wood surface. The impact properties are very important therefore Acrylonitrile - Butadiene - Styrene copolymer, ABS, is used as impact modifier. However, ABS is quite expensive, natural rubber will then be used as impact modifier. The problem of using natural rubber as impact modifier is yellowness of natural rubber impact modified PVC Overlay film obtained from the process. Thus the application of natural rubber impact modified PVC Overlay film is limited on some products such as for colored PVC Overlay film.

The project is then aimed to study factors affecting yellowness in PVC Overlay film using natural rubber as impact modifier. The study starts with mixing PVC resin 100 g, plasticizer 21 g, processing aid 1 g, natural rubber latex 2 g, chlorinated natural rubber, CNR 0.1 g and heat stabilizer 2.2g. In this study, various types of heat stabilizer will be used and the PVC Overlay film obtained will be compared.

The resin will be processed on two-roll mill with the temperature of 160 degree celcius to the thickness of 0.1-0.15 mm The yellowness index, thermogravimetric analysis, TGA, tensile test, dynamic mechanical analysis, DMA, transmission electron microscope, TEM and scanning electron microscope, SEM will be studied.

The results show that the heat stabilizer system, i.e. mixture of Ba/Cd/Zn metal complex and dibasic lead stearate give the least yellowness index which is comparable to the standard PVC overlay film. TGA result show two steps weight loss, i.e. elimination of hydrogen chloride producing polyene in the first step, and the decomposition of polyene in the second step. From tensile result, it was shown that natural rubber impact modified PVC Overlay film show higher percent strain at break than the standard one which also show the compatible natural rubber and PVC blend. The compatibility of the blend is confirmed by DMA and TEM results. From SEM result, it can be seen that yield can occur more clearly in transverse direction than in machine direction due to the better PVC fusion in machine direction than in transverse direction.

From the result it can be concluded that PVC containing natural rubber as impact modifier and CNR as compatibilizer can give good properties. In order to eliminate the yellowness problem, the mixture of Ba/Cd/Zn metal complex and dibasic lead stearate is used as heat stabilizer.

Keywords: PVC Overlay, Yellowness, mixture of heat stabilizer.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ข้อมูลโครงการ	ก
บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร	จ
บทคัดย่อ	ซ
Abstract	ณ
สารบัญเรื่อง	ญ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 แนวคิดงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา และ ข้อจำกัดงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับ PVC Overlay	5
2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.2.1 Polyvinyl chloride : PVC	7
2.2.2 การเกิดเจล (Gelation) หรือการหลอมตัว (Fusion) ของ PVC	7
2.2.3 การ degradation ของ PVC	9
2.2.4 การทำงานของ Heat stabilizer	10
2.2.5 ชนิดของ Heat stabilizer	11
2.2.6 น้ำยารักษา	13
2.2.7 Literature survey	14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 วัตถุประสงค์	16
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.2.1 การสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber	26
3.2.2 การขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay	32
3.2.3 การวัดค่า Yellowness Index	36
3.2.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA	36
3.2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	37
3.2.6 การตรวจสอบ Morphology	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
4.1 กระบวนการขึ้นรูป	41
4.2 การทดสอบความเหลืองของแผ่น PVC Overlay	45
4.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	46
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	51
4.5 การตรวจสอบ Morphology	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73

สารบัญตาราง

	หน้า
<u>ตารางที่ 2.1</u> การทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป PVC Overlay	6
<u>ตารางที่ 2.2</u> ตัวอย่างของ Lead stabilizer ที่ทำหน้าที่เป็น Heat stabilizer	12
<u>ตารางที่ 3.1</u> ส่วนผสมของแผ่น PVC Overlay ที่ใช้ในการขึ้นรูป	34
<u>ตารางที่ 4.1</u> ส่วนผสมชนิด Heat stabilizer และลักษณะ โดยทั่วไปของแผ่น PVC Overlay	42
<u>ตารางที่ 4.2</u> ผลการทดสอบค่าความเหลืองของแผ่น PVC Overlay สูตรต่าง ๆ	45
<u>ตารางที่ 4.3</u> เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปในช่วงแรกและอุณหภูมิในการสลายตัว ในช่วงแรกของ PVC Resin และแผ่น PVC Overlay ชนิดต่าง ๆ	49
<u>ตารางที่ 4.4</u> การสรุปค่าต่าง ๆ ของชิ้นงานหลังการทดสอบ Tensile properties ที่ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 50 mm/min	54
<u>ตารางที่ 4.5</u> การสรุปค่าต่าง ๆ ของชิ้นงานหลังการทดสอบ Tensile properties ที่ความเร็วในการ ทดสอบ 500 mm/min	59

สารบัญรูป

	หน้า
<u>รูปที่ 2.1</u>	การผลิตแผ่น PVC Overlay 5
<u>รูปที่ 2.2</u>	กลไกการเกิด Gelation ของ PVC 8
<u>รูปที่ 2.3</u>	การแบ่งหมวดหมู่ของเครื่องมือในกลไกการเกิด Gelation ของ PVC 8
<u>รูปที่ 3.1</u>	การตั้งอุปกรณ์สังเคราะห์สาร Chlorinated Natural Rubber, CNR 27
<u>รูปที่ 3.2</u>	เครื่อง Fourier Transforms Infrared Spectrophotometer, FT-IR 28
<u>รูปที่ 3.3</u>	สเปกตรัม FT-IR ของ CNR 30
<u>รูปที่ 3.4</u>	สเปกตรัม FT-IR ของ น้ำยางธรรมชาติ 30
<u>รูปที่ 3.5</u>	สเปกตรัม FT-IR ของ Chloroacetic acid 31
<u>รูปที่ 3.6</u>	ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วย เครื่อง Two-roll-mill 35
<u>รูปที่ 3.7</u>	เครื่อง Spectrophotometer 36
<u>รูปที่ 3.8</u>	เครื่อง Perkin-Elmer Thermal Analysis 37
<u>รูปที่ 3.9</u>	เครื่อง Universal Testing Machine 37
<u>รูปที่ 3.10</u>	ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638 38
<u>รูปที่ 3.11</u>	เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer 38
<u>รูปที่ 3.12</u>	เครื่อง Ultra microtome 39
<u>รูปที่ 3.13</u>	เครื่อง Transmission Electron Microscope, TEM 40
<u>รูปที่ 3.14</u>	เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM 40
<u>รูปที่ 4.1</u>	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ CNR 46
<u>รูปที่ 4.2</u>	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ PVC Resin 47
<u>รูปที่ 4.3</u>	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ PVC Overlay 47
	สูตร PA Stab/Zn
<u>รูปที่ 4.4</u>	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ PVC Overlay 48
	สูตร PN Stab/Zn
<u>รูปที่ 4.5</u>	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 52
	50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง

รูปที่ 4.6	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง	52
รูปที่ 4.7	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง	52
รูปที่ 4.8	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	53
รูปที่ 4.9	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	53
รูปที่ 4.10	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	53
รูปที่ 4.11	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง	56
รูปที่ 4.12	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง	57
รูปที่ 4.13	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง	57
รูปที่ 4.14	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	57
รูปที่ 4.15	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	58
รูปที่ 4.16	กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง	58
รูปที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Storage Modulus กับอุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ	62
รูปที่ 4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Loss Modulus กับอุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ	62
รูปที่ 4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Tan delta กับอุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ	63
รูปที่ 4.20	TEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab Zn ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า	64
รูปที่ 4.21	TEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab Zn ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า	65
รูปที่ 4.22	TEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN DBL ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า	65
รูปที่ 4.23	TEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า	66

รูปที่ 4.24	SEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	67
รูปที่ 4.25	SEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	68
รูปที่ 4.26	SEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Ca ตามแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	68
รูปที่ 4.27	SEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Cd ตามแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	69
รูปที่ 4.28	SEM Microgram ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL ตามแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งที่กำลังขยาย 3,000 เท่า	69
รูปที่ 4.29	ภาพจำลองลักษณะการเกิด Fusion ของ PVC	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก พบว่า Polyvinyl Chloride , PVC เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก PVC ตัวอย่างเช่น Wallpaper เสื้อน้ำมัน หนังสือพิมพ์ ภาชนะใส่บรรจุอาหาร ใบครีมาสต์ แผ่น PVC Overlay เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์จาก PVC จึงมีการใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยทั่วไป PVC Compound จะมีส่วนผสม ดังต่อไปนี้ PVC Resin, Heat stabilizer, Processing aid, Plasticizer, Lubricant, Impact modifier, Filler และ สีตามต้องการ

ในที่นี้จะกล่าวถึง PVC Overlay ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ตัวอย่างเช่น ตู้เสื้อผ้า ชั้นวางหนังสือ โต๊ะคอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์จะมีขั้นตอนการทำ คือ นำ PVC Overlay หลาย ๆ แผ่นมา laminate โดยอาศัยแรงอัดจากเครื่องรีด (Calendering) แล้วปิดทับลงบนหน้าไม้ เนื่องจากลักษณะการนำ PVC Overlay ไปใช้งานนี้ การผลิต PVC Overlay จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งที่ทำให้ PVC Overlay มีสมบัติด้านทนแรงกระแทกที่ดี ในอุตสาหกรรมผลิตจะมีการใช้ Acrylonitrile – Butadiene – Styrene, ABS มาเป็น Impact modifier ซึ่ง ABS เป็นสารที่มีราคาสูง และจากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ผู้ทำการวิจัยได้มีศึกษาการผลิต PVC Overlay โดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier แทนการใช้ ABS เป็น Impact modifier เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และยังพบว่าการใช้ Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน จะทำให้ PVC Overlay ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งจากงานวิจัยสามารถนำมาใช้ในการผลิต PVC Overlay ได้จริง แต่ปัญหาที่พบตามมา คือ แผ่น PVC Overlay ที่ผลิตได้มีความเหลืองเกิดขึ้น ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิต PVC Overlay แบบใสไม่มีสี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีการใช้น้ำยางธรรมชาติ เป็น Impact modifier เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และมี Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวประสาน
- 1.2.2 เพื่อจะได้นำ PVC Overlay ที่ผลิตโดยใช้ยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น
- 1.2.3 เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าน้ำยางธรรมชาติที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยให้มีการเพิ่มมูลค่ามากขึ้น และใช้ทรัพยากรภายในประเทศได้อย่างคุ้มค่า
- 1.2.4 เพื่อเป็นการส่งเสริมการทำงานวิจัยที่มีความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยและโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 แนวคิดงานวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ได้มีการศึกษาการผลิต PVC Overlay โดยใช้ยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ซึ่ง พบว่าการใช้น้ำยางธรรมชาติ ผสมกับ PVC compound มีความเข้ากันได้ไม่ดี ดังนั้น จึงได้ทำการสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber, CNR สำหรับเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่าง PVC กับ น้ำยางธรรมชาติ เนื่องจาก CNR มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับน้ำยางธรรมชาติ และ มีส่วนที่มีความเป็นขั้วคล้ายคลึงกับ PVC ทำให้ CNR สามารถเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่าง PVC กับน้ำยางธรรมชาติให้มีความเข้ากันได้มากขึ้น เมื่อนำมาใช้ผลิตเป็น PVC Overlay พบว่า สามารถนำมาใช้ได้จริงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่ปัญหาที่พบตามมา คือ เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคอการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะการผลิต PVC Overlay ที่ใสไม่มีสี

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษา ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay โดยใช้ยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน จากงานวิจัยของ C.T. Ratman, K.Zaman [2] กล่าวว่า ประสิทธิภาพการทำงานของ Heat stabilizer แต่ละชนิดจะทำงานที่แตกต่างกัน ออกไป ซึ่งส่งผลต่อความเหลืองที่เกิดขึ้นในงาน และ ยังพบว่าชนิดของ Heat stabilizer ยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษา Heat stabilizer ที่เหมาะสมสำหรับใช้ขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน เพื่อให้ได้ PVC Overlay ที่มีความเหลืองน้อยที่สุด

งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. เป็นการสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber, CNR โดย Sodium chlorate มาทำปฏิกิริยากับกรด HCl เพื่อให้เกิดเป็น ก๊าซคลอรีน ไป Chlorination น้ำยางธรรมชาติ และวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนในสายโซ่ของ CNR โดยใช้เทคนิค FTIR
2. ขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ตามสูตรที่ผลิตในบริษัทเอเพ็ค พลาสติกส์ เพื่อเป็นสูตรมาตรฐาน และ แผ่น PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมีการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer แต่ละส่วนผสมอื่นคงที่ ด้วยเครื่อง two-roll mill
3. ทำการวัดค่าความเหลืองของ PVC Overlay แต่ละสูตรเทียบกับสูตรมาตรฐาน แล้วนำค่าความแตกต่างที่ได้มาเปรียบเทียบกับ PVC Overlay ที่มีความเหลืองใกล้เคียงกับ สูตรมาตรฐาน
4. ศึกษาสมบัติเชิงกล, สมบัติทางความร้อน และ การตรวจสอบโครงสร้างในระดับอนุภาค

1.4 ขอบเขตการศึกษาและข้อจำกัดงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเหลืองของแผ่น PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และมี Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน
- 1.4.2 ศึกษาปัจจัยที่เกิดจาก Heat stabilizer

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 การออกแบบวิธีการทดลอง และวางแผนการทดสอบ
- 1.5.3 การดำเนินงานวิจัย
 - 1.5.3.1 การเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำ Chlorination คือ น้ำยางธรรมชาติ, HCl, NaClO_3 , Na_2SO_4
 - 1.5.3.2 ทำ Chlorination ของน้ำยางธรรมชาติให้ได้ปริมาณคลอรีน ~ 12 %
 - 1.5.3.3 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนในสายโซ่ของ CNR โดยใช้เทคนิค FTIR ซึ่งจะใช้การเทียบพื้นที่ใต้พีคกับสารมาตรฐานที่ตำแหน่ง 700 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C-Cl

1.5.3.4 ขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ตามสูตรที่ใช้ผลิตในบริษัท เอเจ็ค พลัสเท็คส์ จำกัด เป็นสูตรมาตรฐานแผ่น PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมี การเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer แต่ส่วนผสมอื่นคงที่ ด้วยเครื่อง two - roll mill

1.5.3.5 วัดค่าความเหลืองของแผ่น PVC Overlay ตัวอย่างเทียบกับสูตรที่เป็นมาตรฐาน

1.5.3.8 ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน แผ่น PVC Overlay โดยใช้ เครื่อง TGA

1.5.3.9 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึง (Tensile test)

1.5.3.10 ตรวจสอบ Morphology

1.5.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1.5.5 สรุปผลการวิจัย

1.5.6 รายงานผลการวิจัย

- เสนอผลการวิจัยในรูปแบบรายงาน
- งานวิจัยในรูปแบบ पोสเตอร์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.6.1. สามารถทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และใช้ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน

1.6.2 สามารถกำจัดปัญหาความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ได้

1.6.3 สามารถนำแผ่น PVC Overlay ที่มีน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier มาใช้ได้กว้างขึ้น

บทที่ 2

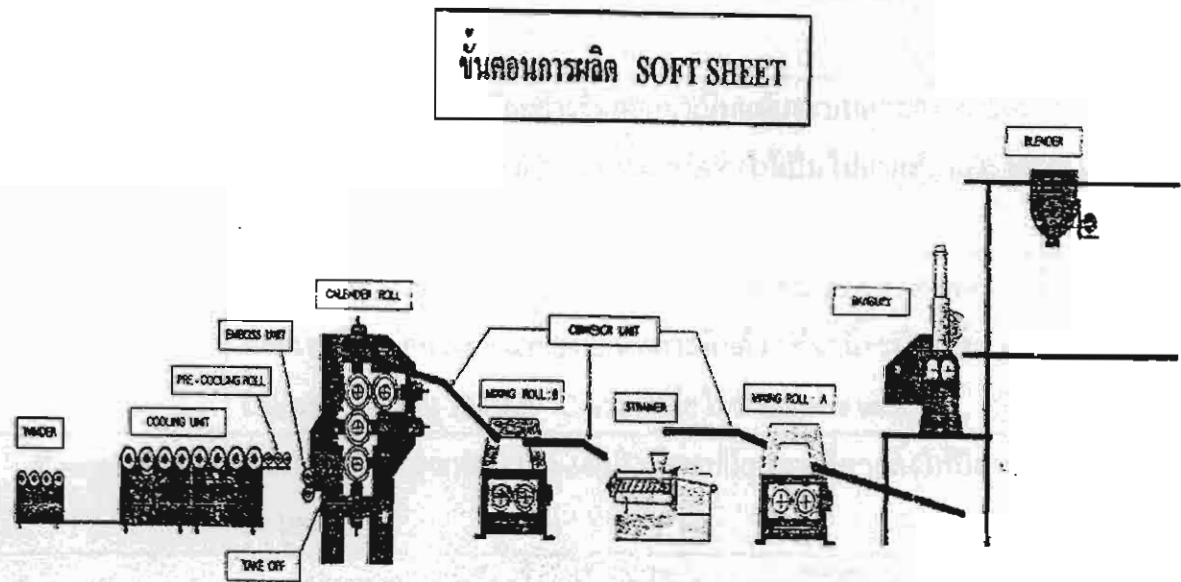
เอกสารและรายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับ PVC Overlay

ผลิตภัณฑ์จาก PVC เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะ PVC สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย โดย PVC มีส่วนผสมหลายอย่างเช่น PVC resin, Lubricant, Plasticizer, Heat stabilizer, Processing aid และ Filler ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้หลายประเภท ตัวอย่างเช่น PVC Overlay ซึ่งผลิตโดยการนำแผ่น PVC Overlay หลาย ๆ แผ่นมา laminate กันโดยอาศัยแรงอัดจากเครื่อง Calendaring แล้วใช้ปิดลงบนหน้าไม้ นอกจากผลิตภัณฑ์ประเภท PVC Overlay ที่ใช้ปิดลงบนหน้าไม้ได้ดีแล้ว ยังสามารถใช้ในด้านการเคลือบบัตรประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น บัตรเครดิต และบัตร ATM เป็นต้น

2.1.1 กระบวนการผลิต PVC Overlay

ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต PVC Overlay ที่ใช้ผลิตจริงในบริษัท เอพีเค พลาสติกส์ จำกัด จะมีการผลิตดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตแผ่น PVC Overlay [3]

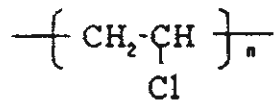
ตารางที่ 2.1 การทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป PVC Overlay [3]

เครื่องมือที่ใช้	หน้าที่
Blender	ที่ใช้จะมีลักษณะของใบพัดแบบ ribbon จะมีหน้าที่ทำการคลุกเคล้า compound ให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 20 นาทีจากนั้นจะเทออกเพื่อรอเข้า Banburyต่อไป
Banbury	เป็นการหลอม compound ให้เป็น gelation โดยที่จุดนี้จะมีการใส่พลาสติกกรีไซเคิล (scab) และหากต้องการให้มีสีจะใส่สีที่จุดนี้ สีที่ใส่จะเป็น pigment อุณหภูมิใน Banbury คือ 150°C เวลาที่ใช้ในการหลอม compound นี้จะขึ้นอยู่กับสูตรของ compound ถ้ามี plasticizer มากจะใช้เวลาในการหลอมน้อย เมื่อทำการหลอมเสร็จพลาสติกจะถูกส่งไปตามสายพานเข้าสู่ Mixing roll
Mixing roll	ทำการผสม compound อีกครั้งก่อนจะส่งต่อไปที่ Strainer ด้วยระบบสายพาน
Strainer	จะมี screw ทำการคลุกเคล้า compound ให้บางส่วนที่ยังหลอมไม่หมดให้หลอมจนหมดด้วยอุณหภูมิ 160°C และจะทำการกรอง compound แล้วส่งต่อไปที่ Mixing roll ด้วยระบบสายพาน
Mixing roll	ทำการผสม compound อีกครั้งก่อนจะส่งต่อไปที่ calender roll ด้วยระบบสายพาน
Calender roll	ทำการขึ้นรูปพลาสติกโดยการรีดออกมาเป็นแผ่นระบบลูกกลิ้งจะเป็นแบบ L หัวลกลับ ในจุดนี้จะมีการปรับความหนาของแผ่นให้เป็นไปตามต้องการ โดยการเลื่อนความห่างของลูกกลิ้ง
Take off	จะทำหน้าที่ดึงแผ่นพลาสติกออกจากลูกกลิ้งโดยจะมีการควบคุมความเร็วในการดึงซึ่งจะมีผลต่อความหนาของแผ่นพลาสติกด้วย ที่จุดนี้จะมีการลดอุณหภูมิจาก Calender roll เป็น $130-140^{\circ}\text{C}$ และส่งต่อไปที่ Emboss unit
Emboss unit	ทำการอัดลายที่อุณหภูมิ $130-140^{\circ}\text{C}$ โดยเปลี่ยนลายที่ลูกกลิ้งให้มีลายตามต้องการ
Precooling and cooling	เป็นกระบวนการสุดท้ายซึ่งจะมีการปรับลดอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อไม่ให้แผ่น sheet หดตัวอีก
Winder	จัดเก็บแผ่น sheet เข้าม้วน

2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Polyvinyl chloride : PVC

สูตรทั่วไปของ Polyvinyl chloride



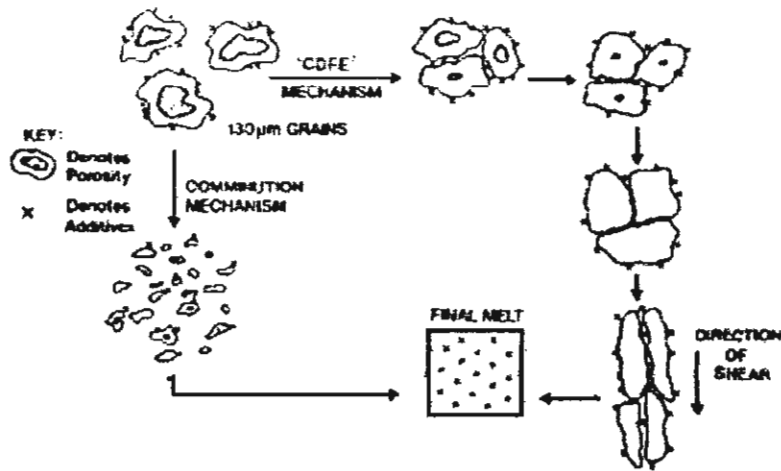
PVC เป็น Thermoplastic [4] ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง มีอะตอมของคลอรีนภายในสายโซ่ ทำให้มีคุณสมบัติต่างไปจาก Polyethylene อื่น ๆ เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ทำให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้น เพราะมีสภาพมีขั้วมีอุณหภูมิ T_g ประมาณ 87°C แต่ถ้าใส่ Plasticizer จะทำให้ T_g ลดลง ลักษณะการเรียงตัวของ PVC เป็นแบบ Atactic ทำให้มีลักษณะความเป็นผลึกที่ต่ำ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ไม่ติดไฟ ไม่มีสี ทนต่อสารเคมี แข็งแต่เปราะ ไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดที่ไม่มีขั้ว

ประโยชน์ของโพลิไวนิลคลอไรด์ : Poly (vinyl chloride): PVC

ประโยชน์ของ PVC นั้นสามารถใช้ทำแผ่นฟิล์ม กระเบื้องปูพื้น ผนังเทียม เสื้อกันฝน ผ้ากันน้ำ เลื่อนน้ำมันเชื้อเพลิง ผ้าม่านห้องน้ำใช้ทำท่อ Overlay เบาะรถมอเตอร์ไซด์ ใช้อ่อหุ้มสายเคเบิลและลวดไฟฟ้า การทำงานแผ่นเสียง ของเด็กเล่น ของใช้ในครัวเรือน และขวดพลาสติก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม PVC ไม่เหมาะสมที่จะนำไปทำเป็นภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ขวดใส่อาหาร ดังได้กล่าวมาแล้วว่า PVC มีสารอื่นผสมอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสารเหล่านี้อาจหลุดออกมาปะปนกับอาหาร ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

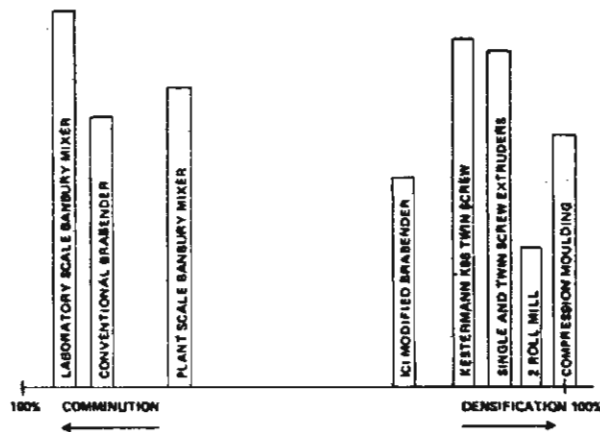
2.2.2 การเกิดเจล (Gelation) หรือ การหลอมตัว (Fusion) ของ PVC

ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต PVC จะได้รับแรงเฉือน (shear) และ อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ขนาดอนุภาคเปลี่ยนไป เนื่องจากการแตกตัวของอนุภาคให้เล็กลงและจะเกิดการหลอมตัวจนเกิดเจล (Gelation) ขึ้น โดยอาศัยกระบวนการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ การรวมตัว (Compaction), การอัดแน่น (Densification), การหลอมตัว (Fusion) และ การยืดตัวของเกรน (Elongation of grain) โดยกลไกของการเกิดเจล ของ PVC ระหว่างการผลิตดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กลไกการเกิด Gelation ของ PVC [5]

ซึ่งโดยทั่วไปในกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) หรือ เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) จะมีแรงเฉือนต่ำ ทำให้อนุภาคของ PVC จะเกิดแต่การแตกร้าว (Aggregates) และตามด้วยการอัดแน่น (Densification) จะเห็นได้จากรูปที่ 2.3

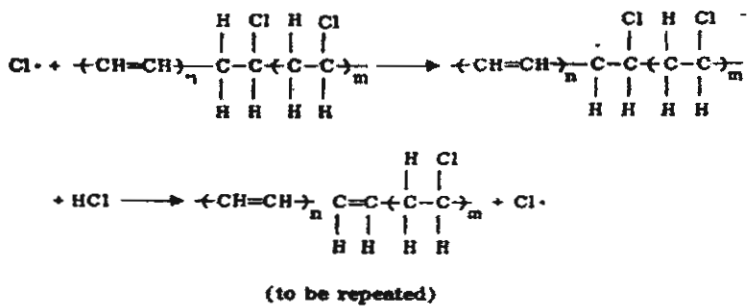


รูปที่ 2.3 การแบ่งหมวดหมู่ของเครื่องมือ ในกลไกการเกิด Gelation ของ PVC [5]

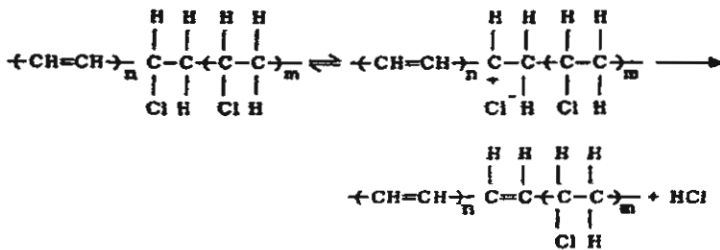
ซึ่งพบว่าใน Two-roll mill ส่วนใหญ่เกิดการอัดแน่น (Densification) จนเกิดการหลอมตัวโดยอาศัยการยืดตัวของเกรน (Elongation of grain) และเกิดเจล (gelation)

2.2.3 การ degradation ของ PVC

เมื่อ PVC ได้รับความร้อนจะเกิดการเสื่อมสภาพ โดย Dehydrochlorination, Autoxidation และ Mechanochemical chain scission โดยการเกิด Dehydrochlorination คือ เกิดการหลุดออกของคลอรีนอะตอม ตรงตำแหน่งที่ไม่เสถียร (labile site) ดังรูปที่ I และ II ทำให้เกิดการปลดปล่อย HCl และทำให้เกิด double bond conjugated ขึ้น ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่า zipper ทำให้ได้โครงสร้างที่เป็น polyene โดยสามารถแสดงกลไกการเกิด Dehydrochlorination เป็นปฏิกิริยาแบบ อนุมูลอิสระ (free radical) และเป็นแบบไอออนคู่ (Ion-pair) ซึ่งแสดงในสมการที่ 2.1 ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองและค่อย ๆ เข้มขึ้น จนเป็นสีน้ำตาลไหม้ และมีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล

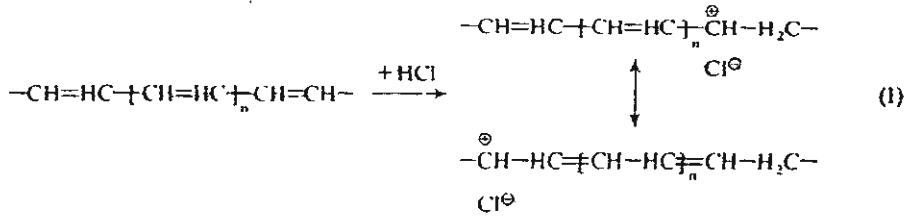


The ion-pair mechanism is as follows:



สมการที่ 2.1 กลไกการเกิด ปฏิกิริยา Dehydrochlorination แบบ free radical และ แบบ ion-pair [6]

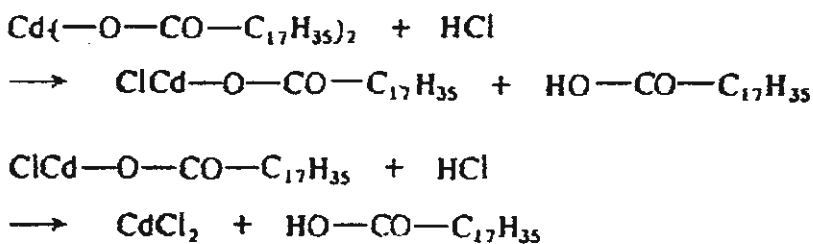
นอกจากนี้ HCl ที่ปลดปล่อยออกมา ยังสามารถทำปฏิกิริยากับ polyene ทำให้เกิดเป็น carbonium salt สามารถทำให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดพันธะคู่ต่อไป แสดงดังสมการที่ 2.2



สมการที่ 2.2 อิทธิพลของ HCl ที่มีผลต่อการเกิด Dehydrochlorination [5]

2.2.4 การทำงานของ Heat stabilizer

Heat stabilizer คือสารเคมีที่ช่วยไม่ให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพไปเมื่อได้รับความร้อนซึ่งจะนิยมใช้กันมากในพลาสติกที่มี Heat stability ที่ต่ำ เนื่องจาก PVC ประกอบด้วยพันธะระหว่าง C-C, C-Cl และ C-H ทั้งสามพันธะนี้มีพลังงานพันธะที่ไม่สูงมากนัก เมื่อได้รับความร้อนมากขึ้นก็จะเริ่มการเสื่อมสภาพทำให้สามารถ ปลดปล่อย HCl และได้โครงสร้างที่เป็น Polyene ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวที่สามารถมองเห็นได้ (Visible light) ดังนั้น PVC ที่เกิดการเสื่อมสภาพจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการขึ้นรูป PVC ที่อุณหภูมิสูงต้องมีการเติม Heat stabilizer เพื่อที่จะไปหน่วงหรือยับยั้งการเกิด Dehydrochlorination แบ่งตามการเสื่อมสภาพโดยความร้อนของ PVC และ Heat stabilizer ต้องสามารถป้องกันการเกิด Dehydrochlorination หรือให้เกิด ปฏิกิริยา Dehydrochlorination น้อยที่สุด โดย Heat stabilizer สามารถทำปฏิกิริยากับ HCl ซึ่งทำให้ HCl ไม่สามารถไปเร่งการเกิด Dehydrochlorination จะเห็นได้ดังสมการที่ 2.3



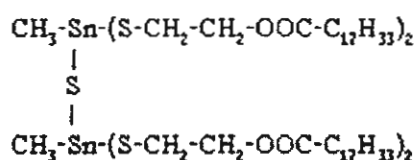
สมการที่ 2.3 กลไกของการกำจัด HCl ของ Heat stabilizer [7]

2.2.5 ชนิดของ Heat stabilizer

2.2.5.1 Organotin stabilizer

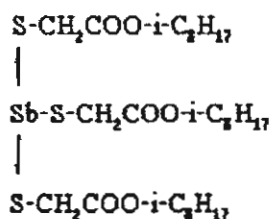
เป็นสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด เนื่องจากใช้ได้กับการขึ้นรูปทุกประเภท ซึ่งเหมาะกับการขึ้นรูป rigid PVC ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.2.5.1.1 Organotin and Antimony Mercaptides



Thiobis[monomethyltin bis(2-mercaptoethylolate)]

2.2.5.1.2 Antimony Analogs of Tin stabilizer



Antimony tris(isooctylmercaptoacetate)

2.2.5.2 Lead stabilizer

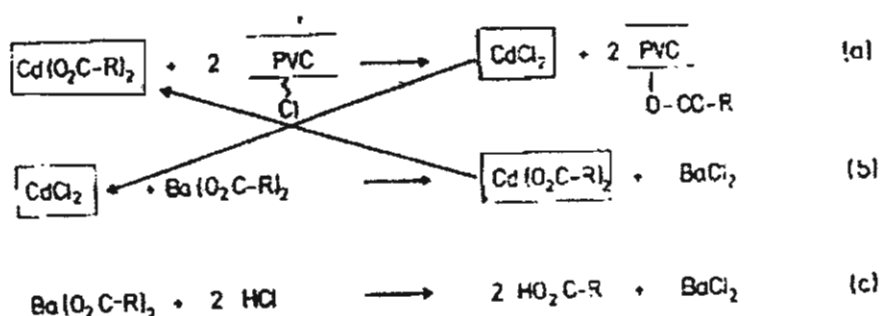
มีลักษณะการทำงานโดยการแทนที่คลอรีนอะตอม ลักษณะทั่วไปของ Lead stabilizer มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดี สามารถดูดซับน้ำได้น้อยมาก ซึ่งจะนิยมใช้ในการขึ้นรูป ฉนวนไฟฟ้า โฟม และผลิตภัณฑ์ประเภทที่ผลิตจากกระบวนการ Extrude เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทท่อต่าง ๆ ซึ่งตัวอย่างของ Heat stabilizer ประเภท Lead stabilizer ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของ Lead stabilizer ที่ทำหน้าที่เป็น Heat stabilizer

Lead Sulfate	PbO. PbSO ₄
Tribasic Lead Sulfate	3Pbo. PbSO ₄ .H ₂ O
Basic Lead Carbonate	2PbOCO ₃ .Pb(OH) ₂
Tetrabasic Lead Heat stabilizer	4PbO.PbSO ₄ .H ₂ O
Dibasic Lead phosphite	2PbO.PbHPO ₃ .1/2H ₂ O
Monobasic Lead phthalate	C ₆ H ₄ (COOPbOH)
Dibasic Lead Stearate	2PbO.Pb (COOC ₁₇ H ₃₅) ₂

2.2.5.3 metal carboxylate stabilizer

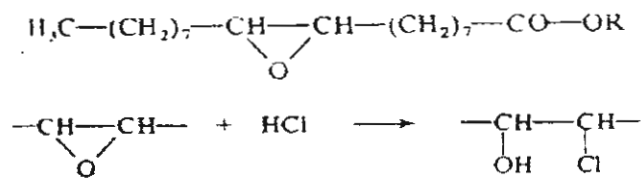
Metal carboxylate คือ การผสมเกลือของ carboxylic, cadmium และ Zinc Cadmium or Zinc carboxylate สามารถแทนที่ labile chlorine อะตอมแสดงดังสมการที่ 2.4 a. และสามารถกลับมาปฏิกิริยาตามสมการ 2.4 b. โดย cadmium or Zinc carboxylate สามารถแทนที่ labile chlorine ได้อีกครั้ง



สมการที่ 2.4 การทำงานของ Metal heat stabilizer [7]

2.2.5.4 Co stabilizer

พวก Epoxy compound ตัวอย่างเช่น epoxidized soybean oil ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้ง Plasticizer และ lubricant นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น heat stabilizer อีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากสมการที่ 2.5

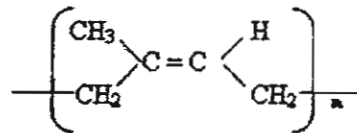


สมการที่ 2.5 การจับกับ HCl ของ epoxidized soybean oil [7]

2.2.6 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex)

น้ำยางธรรมชาติ [8] จัดเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน (Repeating unit) เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมี มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) มีลักษณะโครงสร้างดังสมการที่ 2.6 หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะ เรียงตัวกันในรูปแบบ cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น cis- 1, 4 polyisoprene

โครงสร้างเคมี



สมการที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของน้ำยางพารา (cis- 1, 4 polyisoprene) [8]

ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรัม (Serum) อนุภาคยางมีรูปร่างกลม มีขนาด 0.05 - 5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด - ด่างประมาณ 6.5 - 7.0 อนุภาคยางแขวนลอยแบ่งเป็นชนิด ไฮโดรโซล (Hydrosol) (คือสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไปคือ น้ำยางจะมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่าง Hydrophobic และ Hydrophilic โดยมีลักษณะของ hydrophobic มากกว่า จึงเกิดสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย

น้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้

ส่วนประกอบ

ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)

1. สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
- เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
- สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 - 1.5
- สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
- เถ้า สูงถึง	1
2. น้ำ	~ 64

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (Membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนโดยแต่ละอนุภาคมีอนุโมลของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุโมล จะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง เกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน

2.2.7 Literature survey

L. Mascia, [9] อธิบายถึงในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะเกิด Double bond conjugate ของ PVC เกิดสีเหลืองขึ้น ซึ่งสามารถทำให้ PVC เสถียรมากขึ้น โดยการเติม Heat stabilizer โดย Heat stabilizer จะเข้าไปแทนที่หมู่ของคลอรีนอะตอม ส่งผลกระทบให้การสลายตัวในขณะขึ้นรูปเกิดได้ช้าลง อีกทั้งยังทำให้ HCl เกิดปฏิกิริยาการสะเทิน ป้องกันการเกิด Double bond conjugate ของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีเหลืองขึ้น ผลของการร่วมกันทำงานของตัว Heat stabilizer ที่มากกว่า 2 ชนิดขึ้นไปว่า ประสิทธิภาพที่ได้จะสูงกว่าการทำงานของ Heat stabilizer เพียงตัวเดียว

C.T.Ratnam, K. Zaman, [2] กล่าวว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของ PVC โดยนำ (Epoxidized Natural rubber) ENR มาผสมกับ PVC เพื่อให้ PVC ที่ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่าง PVC/ENR50 สามารถเข้ากันได้ในทุกอัตราส่วน โดยการทำการทดลองในอัตราส่วนที่ 70:30 และมีการปรับชนิดของ Heat Stabilizer ต่าง ๆ กัน คือ Tribasic lead sulfate, Ca/Zn, Mg/Zn, Calcium stearate และ Zinc octoate และทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่ได้ โดยการทำการทดสอบ Torque, Tensile Strength, Yellowness Index, Hardness และ Gel fraction ในการผสมพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปนั้น จะเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติทางด้านความร้อน และสมบัติทางด้านการไหลของพอลิเมอร์ จากการศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของพอลิเมอร์ โดยพิจารณาจากค่า Torque, Tensile Strength, Hardness และ

Gel fraction พบว่า PVC/ENR blend ที่มี Tribasic lead sulfate เป็น Heat stabilizer มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในขณะเดียวกันก็มีค่า Yellowness Index ที่ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ที่ได้มีความเหลืองที่น้อยที่สุด

H.Yu, S. Li, J.Zhong, K. Xu, [10] อธิบายถึงการทดสอบ Thermo oxidative ของ CNR ของน้ำยางธรรมชาติด้วยเทคนิค Thermogravimetry Analysis (TGA) และ เทคนิค Fourier transform infrared Spectroscopy (FTIR) , Ultraviolet-visible (UV- vis) Spectroscopy ทำการทดสอบโดยการนำ CNR มาทดสอบด้วยเครื่อง TGA ในสภาวะออกซิเจนที่อุณหภูมิ 300 - 600 °C ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่ 10 °C/min พบว่า CNR เกิดการสลายตัวสองช่วงอุณหภูมิคือ 160 - 390 °C ซึ่งเป็นการปลดปล่อย HCl ออกจากสายโซ่ของ CNR และ ปริมาณของ CO₂ เกิดขึ้นเล็กน้อย และช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 390-585 °C CNR ที่เหลือจากการปลดปล่อย HCl ในช่วงแรกเกิดการสลายตัวเป็น CO₂ ขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

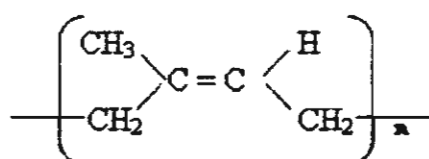
3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 กระบวนการคลอรีนชัน (Chlorination) น้ำยางธรรมชาติ

3.1.1.1 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex)

น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีปริมาณของเนื้อยางประมาณ 60 % น้ำหนักโดยปริมาตร และมีการรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติ โดยมีการเติมแอมโมเนีย ซึ่งในน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยมีการเติมแอมโมเนียมาแล้วจากโรงงานที่ผลิตน้ำยางธรรมชาติ

สูตรโมเลกุล



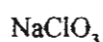
คุณสมบัติ

Appearance	เป็นของเหลว สีขาวขุ่น
Density	0.92
Refractive index (20 °C)	1.52
Heat of combustion	0.00062 °C
Thermal conductivity	0.00032 cal/sec/cm ²
Dielectric strength	1.000 volts/mil

3.1.1.2 โซเดียมคลอเรต (Sodium Chlorate)

โซเดียมคลอเรตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับ กรดไฮโดรคลอริก เกิดเป็นก๊าซคลอรีนขึ้น เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber, CNR

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	เป็นผลึก สีขาวขุ่น
Molecular Weight	106.4
pH	7
Water Solubility	ละลายในน้ำที่ 0 °C, 79 g/100 ml และที่ 100 °C, 230 g
Melting Point	248 °C

3.1.1.3 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

กรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับโซเดียมคลอไรด์ เกิดเป็นก๊าซคลอรีนขึ้น เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber, CNR

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	เป็นของเหลวใส กลิ่นฉุน
Molecular weight	36.5
Boiling point	65.6 to 110 °C
Freezing point	-74 °C
Specific gravity ที่ 20 °C	1.17
Vapor pressure	78 mmHg

3.1.1.4 โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulphate)

โซเดียมซัลเฟต ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นนำไปใช้เพื่อเสถียรน้ำยางธรรมชาติ ขณะที่ทำปฏิกิริยาคลอรีเนชัน (Chlorination)

สูตรโมเลกุล Na_2SO_4
คุณสมบัติ

Appearance	เป็นผลึก สีขาวขุ่น
Molecular weight	142 .04
Specific gravity	2.6
pH	6.0 to 9.0 for 1% solution
Melting point	884 °C

3.1.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ซึ่งจะนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ ละลายน้ำกลั่น เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นของสาร 1 M เพื่อนำไปใช้ล้างตะกอนน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการคลอรีเนชัน (Chlorination) ให้มีสารมีสภาพเป็นกลางก่อนที่จะล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น

สูตรโมเลกุล NaOH
คุณสมบัติ

Appearance	เป็นผลึกสีขาวขุ่น
Molecular weight	40
Specific gravity	2.130
Boiling point	1390 °C
Melting point	318 °C

3.1.2 ส่วนผสมการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay

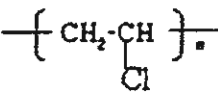
ในการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay สารประกอบ PVC Compound ที่ใช้สำหรับผลิต PVC Overlay เป็นไปตามสูตรที่ใช้ใน บริษัท เอพีเค พลาสติกส์ จำกัด ซึ่งมีส่วนผสมของ PVC Compound 122 g คือส่วนผสม ดังนี้

PVC resin K= 60 (PVC103)	100	g
Plasticizer (DOP)	19	g
Plasticizer (EPO)	2	g
Processing aid (P201)	1	g

3.1.2.1 PVC Resin (K value = 60)

สารมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีการเตรียมโดยวิธี Suspension polymerization โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ PVC 103 ”

สูตรโมเลกุล



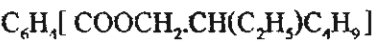
คุณสมบัติ

Appearance	เป็นผงละเอียด สีขาว
Molecular weight	10,000 – 20,000
T _g	87 °C

3.1.2.2 Di-2-ethylhexyl phthalate , DOP

เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็น Plasticizer ของ PVC มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อน โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ DOP”

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appcarance	ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน
Molecular weight	390
Specific gravity	0.983
Boiling point	230 °C
Melting point	- 48 °C
Flash point	420 F
Viscosity	57 cps

3.1.2.3 Epoxidized Soybean Oil , EPO

เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็น Plasticizer ของ PVC มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อนโดยสารใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “EOP”

3.1.2.4 P201

เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็น Processing aid ของ PVC มีลักษณะเป็นผงสีขาว โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “P 201”

3.1.2.5 Impact modifier

สมบัติของสารชนิดนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกให้แก่ PVC Overlay เพื่อสามารถทนทานต่อแรงกระแทกได้ขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ซึ่งได้มีการศึกษา การใช้น้ำยางธรรมชาติ เป็น Impact modifier ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำ ชนิดของ Impact modifier มาใช้ดังนี้

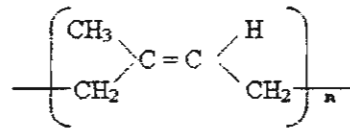
3.1.2.5.1 Acrylonitrile -Butadiene – Styrene, ABS

ABS ถูกนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงการรับแรงกระแทก ในการผลิต PVC Overlay เป็นไปตามการผลิตในบริษัท เอพีเค พลาสติกส์ จำกัด

3.1.2.5.2 น้ำยางธรรมชาติ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ที่ได้มีการศึกษาการผลิต PVC Overlay โดยใช้ยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ซึ่งผลการศึกษาพบว่าใช้ได้ค่อนข้างดี เมื่อมี Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวประสาน และมีการใส่ในปริมาณที่เหมาะสม

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	เป็นของเหลว สีขาวขุ่น
Density	0.92
Refractive index (20 °C)	1.52
Heat of combustion	0.00062 °C
Thermal conductivity	0.00032 cal./sec/cm ²
Dielectric strength	1.000 volts/mil

3.1.2.6 Heat stabilizer

สมบัติของสารชนิดนี้ จะช่วยในการเสถียรทางความร้อนให้แก่ PVC Overlay เนื่องจากสมบัติของ PVC ไม่สามารถทนความร้อนได้สูง ดังนั้นจึงมีการใช้สารประเภทนี้มาแก้ปัญหาการทนทานต่อความร้อน ให้ดีขึ้น โดยในงานวิจัยมีการเติมชนิด Heat stabilizer ดังนี้

3.1.2.6.1 Ba/Cd/Zn metal soap complex

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “Stab”

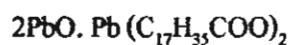
คุณสมบัติ

Appearance	ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน
Density ที่ 25 °C	0.985 ~ 1.010
Refractive index ที่ 25 °C	1.435 ~ 1.445
Viscosity ที่ 25 °C	60 ± 10 cps

3.1.2.6.2 Dibasic lead stearate

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “DBL”

สูตรโมเลกุล



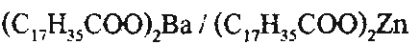
คุณสมบัติ

Appearance	ผงละเอียด สีขาว
Specific gravity (25°C)	2.02
Moisture	1.0 Max %
Melting Point	280 °C
Metallic ingredient	51±0.5 %

3.1.2.6.3 Barium / Zinc Stearate

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ BZ ”

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	ของเหลวใส สีเหลือง
Metal content	6.5 ± 0.5
Density	1.04
Melting point	148 – 155 °C
Moisture content	2 max %

3.1.2.6.4 Zinc Stearate

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ Zn-St ”

สูตรโมเลกุล



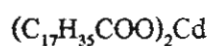
คุณสมบัติ

Appearance	ผงสีขาว
Metal content	10 ± 0.5 %
Melting point	117 - 120 °C
Moisture content	1.17 - 1.20 %

3.1.2.6.5 Cadmium Stearate

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ Cd-St ”

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	ผงละเอียด สีขาว
Specific gravity (25°C)	1.19
Moisture content	1.0 Max %
Melting Point	100 ± 5 °C
Metallic ingredient	17 ± 0.5 %

3.1.2.6.6 Barium Stearate

โดยสารที่ใช้ในงานวิจัยมีชื่อทางการค้า คือ “ Ba-St ”

สูตรโมเลกุล



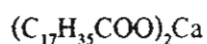
คุณสมบัติ

Appearance	ผงละเอียด สีขาว
Specific gravity (25°C)	1.15
Moisture content	1.0 Max %
Melting Point	200 °C
Metallic ingredient	19.5±0.5 %

3.1.2.6.7 Calcium Stearate

โดยสารที่มีชื่อทางการค้า คือ “Ca-St”

สูตรโมเลกุล



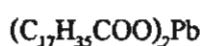
คุณสมบัติ

Appearance	ผงละเอียด สีขาว
Specific gravity (25°C)	1.04
Moisture content	1.5 Max %
Melting Point	135±5 °C
Metallic ingredient	7.0±0.5 %

3.1.2.6.8 Lead Stearate

โดยสารที่มีชื่อทางการค้า คือ “Pb-St”

สูตรโมเลกุล



คุณสมบัติ

Appearance	ผงสีขาว ไขมันน้ำตาล
Specific gravity ที่ 25°C	1.3
Moisture content	0.5 Max %
Melting Point	105±5 °C
Metallic ingredient	27.5±0.5 %

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 กระบวนการคลอรีเนชัน (Chlorination) นำยางธรรมชาติ ให้มีปริมาณคลอรีน ในน้ำยางธรรมชาติ ~ 12 %

3.2.1.1 สภาพะที่ใช้ในการทดลอง

ปฏิกิริยา Chlorination จะมีการทำในระบบที่มีการผ่านสถานะก๊าซออกซิเจน ที่มีการหล่อเย็นรอบภาชนะด้วยอุณหภูมิ 25 °C

3.2.1.2 การเตรียมสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์

3.2.1.2.1 การเตรียมสารละลาย HCl 32 % (W/V)

เตรียมจากสารละลาย HCl 37 % (W/V) โดยใช้ปิเปต ปิเปตสารละลาย HCl ปริมาตร 173 ml ลงในขวดปริมาตรขนาด 200 ml ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ เขย่าสารให้เข้ากันแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 200 ml

3.2.1.2.2 การเตรียมสารละลาย NaClO_3 50 % (W/V)

เตรียมจากผลึก NaClO_3 99 % (W/V) โดยชั่ง NaClO_3 ด้วยเครื่องชั่งละเอียดปริมาณ 100 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ละลายสารด้วยน้ำกลั่นพอประมาณ คนจน NaClO_3 ละลายหมด เทลงในขวดปริมาตรขนาด 200 ml แล้วเติมน้ำจนครบปริมาตร 200 ml

3.2.1.2.3 การเตรียมสารละลาย Na_2SO_4 30 % (W/V)

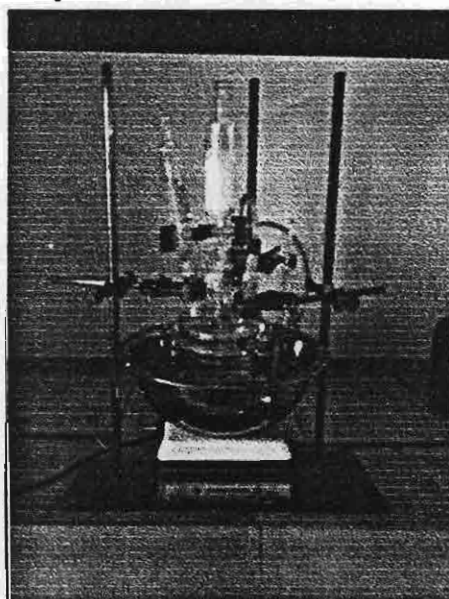
เตรียมจากผลึก Na_2SO_4 99.99 % (W/V) โดยชั่ง Na_2SO_4 ด้วยเครื่องชั่งละเอียดปริมาณ 60 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ละลายสารด้วยน้ำกลั่นพอประมาณ คนจน Na_2SO_4 ละลายหมด เทลงในขวดปริมาตรขนาด 200 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 200 ml

3.2.12.4 การเตรียมสารละลาย NaOH 1.0 M

เตรียมจากผลึก NaOH โดยชั่ง NaOH ด้วยเครื่องชั่งละเอียดปริมาณ 8 g ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 ml ละลายสารด้วยน้ำกลั่นพอประมาณ คนจน NaOH ละลายหมด เทลงในขวด ปริมาตร ขนาด 200 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 200 ml

3.2.1.3 วิธีการสังเคราะห์ Chlorinated Natural Rubber, CNR

1. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติ มีความเข้มข้นร้อยละ 10% w/v โดยใช้น้ำยางธรรมชาติที่มี ร้อยละ 60% w/v มา 9 ml เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 70 ml และเติม Na_2SO_4 ความเข้มข้น 30 % w/v ปริมาตร 30 ml ลงในน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมได้เพื่อสลายน้ำยาง ธรรมชาติขณะทำปฏิกิริยา
2. เทสารละลาย NaClO_3 ปริมาตร 30 w/v ปริมาตร 20 ml ลงในขวด 5 คอ และเติมน้ำ กลั่น 30 ml
3. เทสารละลาย HCl 32 % w/v ปริมาตร 64 ml ลงในขวดหยดสาร
4. เทน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมจากข้อที่ 1 ลงในขวดหยดสารใส่แม่เหล็กสำหรับกวนสาร ลงในขวด 5 คอ
5. จัดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.1 ต่อท่อปล่อยก๊าซออกซิเจนมาที่ ขวด 5 คอ



รูปที่ 3.1 การตั้งอุปกรณ์สังเคราะห์สาร Chlorinated Natural Rubber, CNR

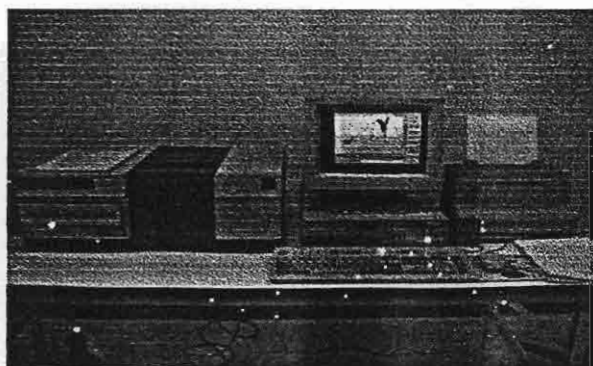
6. เริ่มการสังเคราะห์โดยผ่านก๊าซออกซิเจนลงในขวด 5 คอ จากนั้นเริ่ม หยคน้ำยางธรรมชาติและสารละลาย HCl ลงในขวด 5 คอ ใช้เวลาในการหยดประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที และมีการกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็กตลอดเวลา
7. เมื่อหยคน้ำยางธรรมชาติและกรดไฮโดรคลอริกหมด และ ครบตามเวลา ให้นำท่อออกซิเจนออกแล้วทำการกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็กต่อไปอีก 1 ชั่วโมง 30 นาที
8. เมื่อครบเวลา ปิดเครื่องกวนสารเก็บสาร ไว้ในขวด 5 คอ เพื่อทำปฏิกิริยาต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. เมื่อครบตามเวลา นำสารที่สังเคราะห์ได้มาสะเทินด้วย NaOH แล้วกรองด้วย เครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นจะใช้น้ำกลั่นล้างอีกหลายครั้งจนได้สารที่สะอาด
10. นำสารที่ได้มาทำให้สะอาดอีกครั้งโดยเทน้ำกลั่นลงในสารที่กรองได้พอประมาณแล้ว กวนสารด้วยเครื่องกวนสารประมาณ 5 ชั่วโมงที่ได้มีกลิ่นของคลอรีนลดลง
11. เก็บสารที่ได้ไว้ในโถอุทกความชื้น

3.2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนใน CNR โดยใช้เทคนิค *Fourier Transforms Infrared Spectrophotometer , FT-IR*

ทำการตรวจสอบ CNR ที่สังเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณคลอรีนที่แน่นอนโดยใช้ Chloroacetic acid เป็นสารเทียบมาตรฐาน

3.2.1.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Fourier Transforms Infrared Spectrophotometer, FT-IR รุ่น Impact 410
2. เครื่องชั่ง สารแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
3. ครกบดสาร



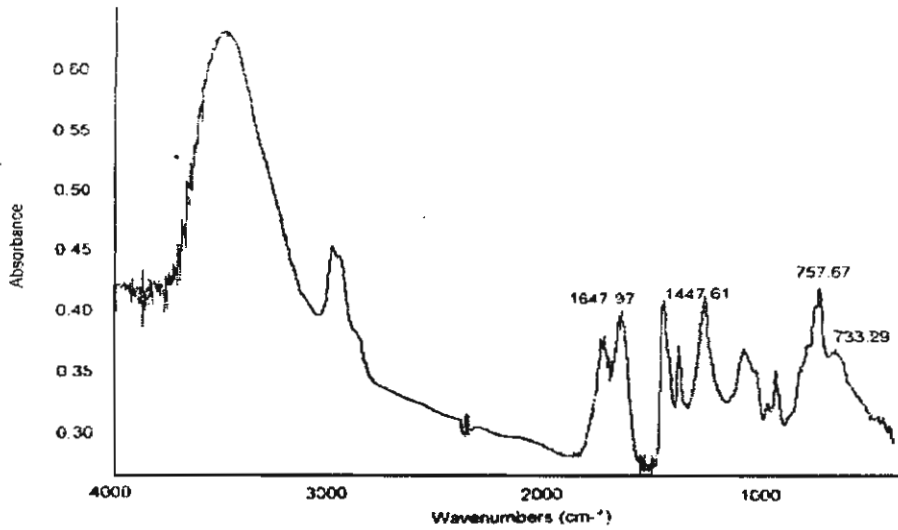
รูปที่ 3.2 เครื่อง Fourier Transforms Infrared Spectrophotometer, FTIR

3.2.1.4.2 วิธีการทดลอง

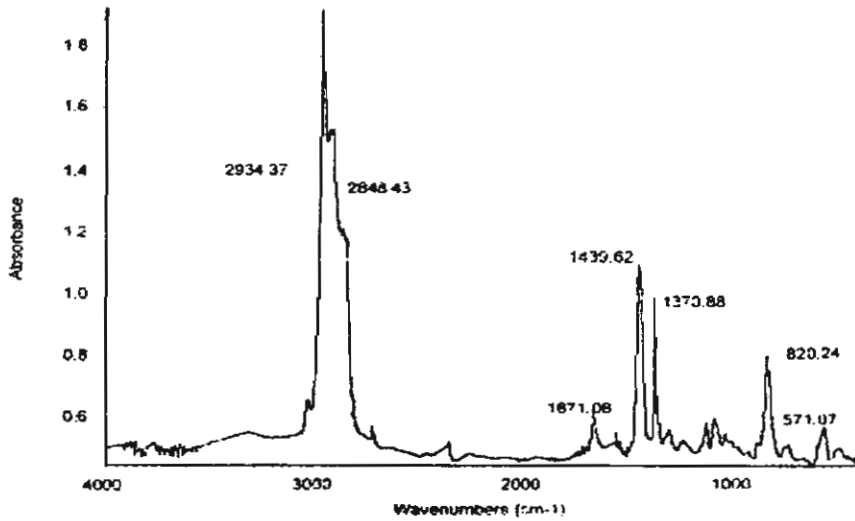
1. ชั่งสารมาตรฐาน Chloroacetic acid ที่ทราบความเข้มข้นของคลอรีนที่แน่นอนปริมาณ 5 mg. เพื่อนำไปเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ FT-IR
2. บด Chloroacetic acid ที่เตรียมไว้กับ KBr ในครกบดสาร จนสารทั้งสองละเอียดและเข้ากันอย่างทั่วถึง
3. นำสารที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ใส่ลงใน mould แล้วนำไปอัดด้วยเครื่อง Compressionทิ้งไว้ในเครื่อง Compression ประมาณ 2 นาที จากนั้นนำออกจากเครื่องจะได้ชิ้นงานสำหรับทดสอบ FT-IR ที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม
4. นำชิ้นงานที่ได้มาใส่ลงในแผ่นเซลล์ใส่สารตัวอย่าง แล้วเริ่มวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยรูปกราฟที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ Wave Number
5. ทำการวิเคราะห์ ผลของการกราฟ โดยพิจารณา ค่า Absorbance ที่ตำแหน่ง Wave Number ประมาณ 700cm^{-1}
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนจากสารมาตรฐาน Chloroacetic acid เป็นสาร CNR ที่ต้องการหาปริมาณคลอรีน

5.2.1.4.3 การวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ที่ได้

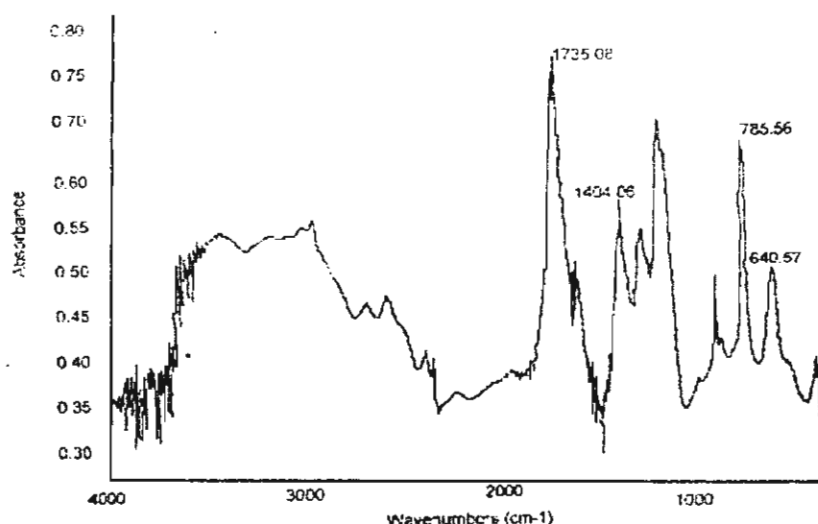
ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ดังรูปที่ 3.3 – 3.5



รูปที่ 3.3 สเปกตรัม FT-IR ของ CNR



รูปที่ 3.4 สเปกตรัม FT-IR ของ น้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 3.5 สเปกตรัม FT-IR ของ Chloroacetic acid

ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอรีน จะมีการวิเคราะห์พิกศสัญญาณที่ปรากฏในช่วง $700 - 770 \text{ cm}^{-1}$ จากรูปที่ 3.3 - 3.4 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของ CNR และ น้ำยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของ CNR และ น้ำยางธรรมชาติ จะพบว่ามีพิกศสัญญาณที่ปรากฏในช่วงที่คล้ายกัน แสดงว่า CNR และ น้ำยางธรรมชาติ มีโครงสร้างที่คล้ายกัน แต่เมื่อสังเกตที่สเปกตรัม FT-IR ของ CNR พบว่า มีพิกศสัญญาณปรากฏที่ 757.67 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกศสัญญาณ C-Cl แสดงว่าใน CNR มีคลอรีนอยู่ภายใต้โครงสร้าง

จากการ วิเคราะห์ปริมาณคลอรีน ได้มีการใช้ สารมาตรฐาน มาเปรียบเทียบกับสารที่ใช้ คือ Chloroacetic acid แสดงดังรูปที่ 3.5 พบพิกศสัญญาณ C-Cl ที่ 785.56 cm^{-1} และจากการหาค่า Absorbance (A) Chloroacetic acid มีค่า Absorbance (A) เท่ากับ 0.275 และใน CNR มีค่า Absorbance (A) เท่ากับ 0.10

3.2.1.4.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของ Chloroacetic acid

จาก น้ำหนักโมเลกุลของ Chloroacetic acid = 94.5

ค่า absorbance ของ Chloroacetic acid ที่ได้เท่ากับ 0.275

จาก Chloroacetic acid เข้มข้น $99.8\% \text{ w/v}$ นำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณสารด้วย FT-IR 5 mg . ซึ่งมีปริมาณของเนื้อสารอยู่ $4.99 \times 10^{-3} \text{ g}$ ปริมาณคลอรีนอยู่ $1.8746 \times 10^{-3} \text{ g}$ ดังนั้น ปริมาณคลอรีนทั้งหมดใน Chloroacetic acid 100 g เท่ากับ 34.0677 g

3.2.1.4.5 การคำนวณปริมาณคลอรีนของ CNR ที่สังเคราะห์ได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนโดยการนำค่า Absorbance การขีดของพันธะ C-Cl ที่ wave number ประมาณ 757cm^{-1} และคำนวณเทียบกับสารมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

จากสมการ

$$C_u = C_s A_u / A_s$$

โดยที่

C_s = ปริมาณของ Cl ใน Chloroacetic acid เท่ากับ 34.0677

A_u = ค่า absorbance ของ สารตัวอย่าง

หาได้จาก

$$A_u = A_1 - A_2$$

โดยที่

$$A_1 = 0.40 \text{ และ } A_2 = 0.30$$

ดังนั้น

$$A_u = 0.40 - 0.30 = 0.10$$

A_s = ค่า absorbance ของ Chloroacetic acid เท่ากับ 0.275

แทนค่าได้

$$C_u = (34.0677 \times 0.10) / 0.275$$

$$C_u = 12.3882\% \text{ คือ ปริมาณ } 12\%$$

ดังนั้น ปริมาณคลอรีนที่พบใน CNR ที่สังเคราะห์ได้ประมาณ 12 %

3.2.2 การขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay

3.2.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้ง (two roll mill) ผลิตโดย บริษัท Troserity mechninary Ltd. รุ่น CR 820

3.2.2.2 วิธีการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay

3.2.2.2.1 ทำการขึ้นรูป PVC Overlay ตามสูตรของโรงงานบริษัท เอเพ็ค พลาสติกส์ จำกัด เพื่อใช้เป็นมาตรฐาน

1. ทำการผสม PVC compound โดยใช้ PVC resin 100 g, DOP 19 g, EPO 2 g, Processing acid 1 g, ABS 2 g, Stab 2 g และ Zinc-St 0.2 g ทำการคนให้เข้ากันเป็นอย่างดี

2. ใส่ PVC compound ทั้งหมดในเครื่อง Two-roll mill ที่มีการตั้งอุณหภูมิไว้ประมาณ 160°C
3. ขณะทำการขึ้นรูปนั้น ให้ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ได้ความหนาของแผ่นซีทที่ประมาณ 0.10 - 0.15 mm
4. ใช้เวลาขึ้นรูปแผ่นซีทประมาณ 15 นาที จากนั้นนำแผ่นซีทจะออกจากเครื่อง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปทำการทดสอบสมบัติต่อไป

3.2.2.2.2 ทำการขึ้นรูป PVC Overlay เพื่อหา Heat stabilizer ที่เหมาะสม

1. ทำการผสม PVC compound โดยใช้ PVC resin 100 g, DOP 19 g, EPO 2 g, Processing acid 1 g, น้ำยางธรรมชาติ 2 g, CNR 0.1 g, Stab 2 g และ Zn-St 0.2 g ทำการคนให้ เข้ากันเป็นอย่างดี
2. ใส่ PVC compound ทั้งหมดในเครื่อง Two-roll mill ที่มีการตั้งอุณหภูมิ ไว้ประมาณ 160°C
3. ขณะทำการขึ้นรูปนั้น ให้ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ได้ความหนาของแผ่น PVC Overlay ที่ประมาณ 0.10 - 0.15 mm
4. ใช้เวลาขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำแผ่นซีทออกจากเครื่อง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปทำการทดสอบสมบัติต่อไป
5. ทำการขึ้นรูปซ้ำแต่เปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer โดยยังคงใช้ส่วนผสมอื่นเท่าเดิม ส่วนผสมของ PVC Overlay แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของแผ่น PVC Overlay ที่ใช้ขึ้นรูป และชนิด Heat stabilizer ที่ใช้ในการขึ้นรูป

PVC compound (g)	ส่วนผสมที่แปรผันใน PVC Overlay (phr)		น้ำหนักและชนิด Heat Stabilizer (phr)
	น้ำยาง	CNR	
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Zn-St 0.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Zn-St 0.2
122	2	0.1	Stab 2.2
122	2	0.1	BZ 2.2
122	2	0.1	DBL 2.2
122	2	0.1	Cd - St 2.2
122	2	0.1	Ba - St 2.2
122	2	0.1	Pb - St 2.2
122	2	0.1	Ca - St 2.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Cd 0.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Ba 0.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Ca 0.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ Pb-St 0.2
122	2	0.1	Stab 2.0 และ DBL 0.2

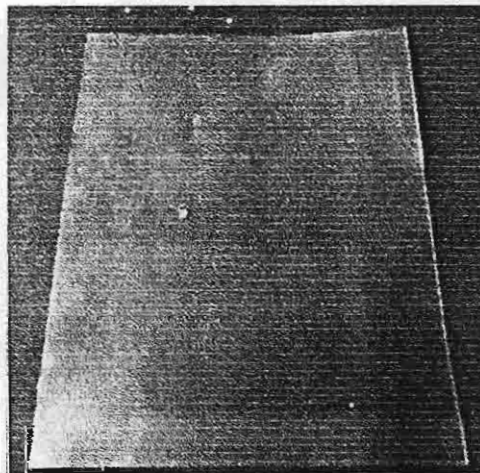
หมายเหตุ

PVC Compound มีส่วนผสม ดังนี้

PVC Resin	100 g
DOP	19 g [Plasticizer]
EPO	2 g [Plasticizer]
P201	1 g [Processing aid]

ซึ่ง Heat Stabilizer ที่แสดงในตารางเป็นชื่อย่อของ ชนิด Heat Stabilizer ต่อไปนี้

Stab	= Ba / Cd / Zn metal complex
Zn - St	= Zinc stearate
Pb - St	= Lead stearate
Cd - St	= Cadmium stearate
Ca - St	= Calcium stearate
Ba - St	= Barium stearate
BZ	= Barium - Zinc stearate
DBL	= Dibasic lead stearate



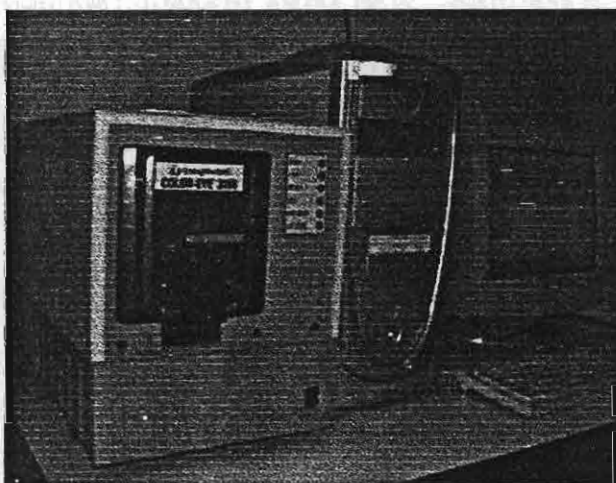
รูปที่ 3.6 แผ่น PVC ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two-roll mill

3.2.3 การวัดค่า Yellowness index ด้วย Spectrophotometer CIELAB

การทดสอบนี้ใช้วัดระดับความเหลืองหรือการเปลี่ยนของค่าระดับความเหลือง ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Gretag mach รุ่น Color Eye 3100 โดยใช้โปรแกรม Largo Match 2000 เป็นการ scan ในช่วงความยาวคลื่นที่เรามองเห็น คือ 400 – 700 nm โดยใช้หลอดไฟ D65 และ เตรียมชิ้นงานตัวอย่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10X10 cm

3.2.3.1 วิธีการทดลอง

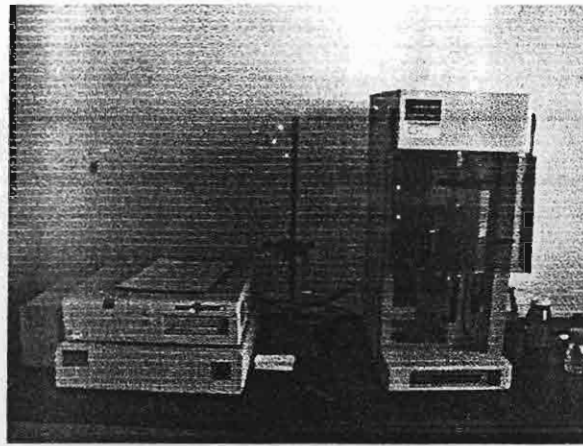
1. นำแผ่น PVC Overlay ที่เป็น Reference มาทำการทดสอบวัดค่าก่อน เพื่อเก็บไว้เป็นค่าเปรียบเทียบ
2. นำแผ่น PVC Overlay ส่วนผสมต่างๆ มาทำการทดสอบค่าความเหลืองโดยเทียบกับค่า Reference



รูปที่ 3.7 เครื่อง Spectrophotometer

3.2.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis , TGA

การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของ PVC Overlay และ CNR โดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis, TGA ด้วยเครื่อง Perkin - Elmer Thermal Analysis รุ่น TGA 7 เพื่อดูความต้านทานต่อความร้อนของสาร การทดลองเริ่มต้นด้วยการนำแผ่นอะลูมิเนียมไปแขวนในเครื่องที่ใช้ทดสอบ แล้วใส่สารลงในแผ่นอะลูมิเนียมประมาณ 5-30 mg และทำการทดสอบในสภาวะก๊าซเฉื่อย (N_2) โดยมีช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 40-700 °C และ ควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 °C/min



รูปที่ 3.8 เครื่อง Perkin-Elmer Thermal Analysis

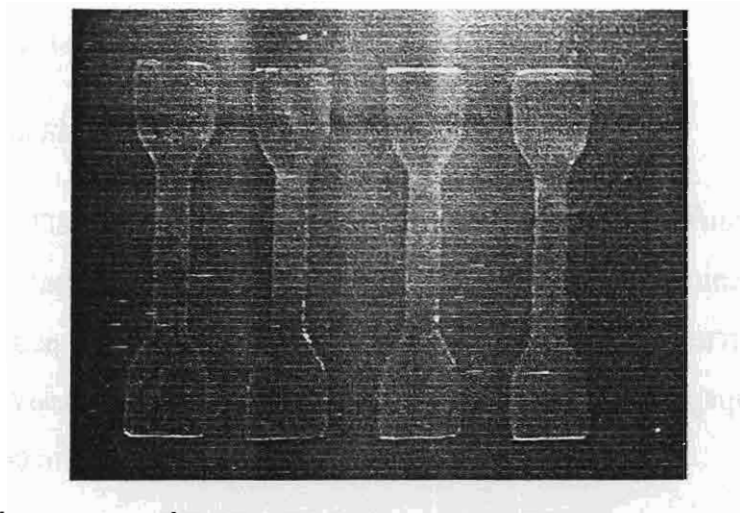
3.2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.2.5.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test)

ในงานวิจัยได้ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 เป็นมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานของบริษัท เอเพ็ค พลาสติกส์ จำกัด เพื่อคุณสมบัติพื้นฐานของแผ่น PVC Overlay เช่น ความทนทานต่อแรงดึง ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหักของวัสดุ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของ LLOYD Instruments, Uk รุ่น LR 50 k ขนาดของ load Cell เท่ากับ 5 kN สถานะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ที่อุณหภูมิ $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ทำการทดสอบด้วยความเร็วในการดึง 500 mm/min และ 50 mm/min ชิ้นตัวอย่างมีความยาวเกจ (Gauge length) เท่ากับ 50 mm โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็นชิ้นงานที่ตัดตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง และ แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง



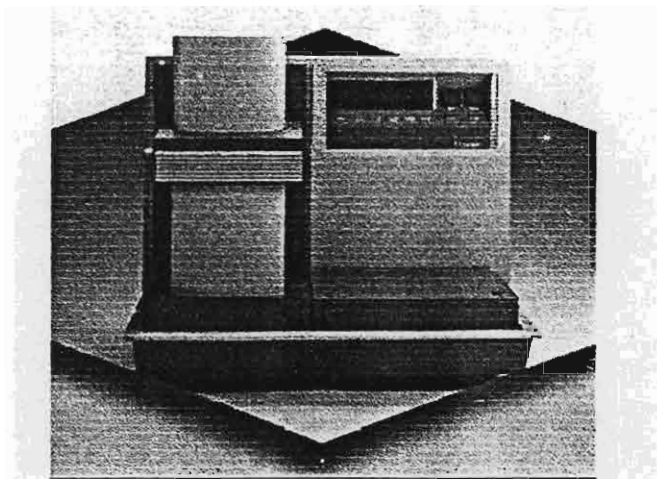
รูปที่ 3.9 เครื่อง Universal Testing Machine



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างที่ทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638

3.2.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเทคนิค *Dynamic Mechanical Analysis, DMA*

ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลแบบไดนามิกส์ เครื่อง TA Instruments Dynamic Mechanical Analyzer รุ่น DMA 2980 จากการทดสอบสามารถอธิบายคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่มีการแสดงพฤติกรรมเป็น viscoelastic ได้ดี ซึ่งจะอยู่ในรูปของค่า Storage Modulus (E'), Loss Modulus (E'') และค่า Damping coefficient ($\tan \delta$) โดยในการทดสอบจะให้แรงกระทำต่อชิ้นงานด้วยค่าแอมพลิจูดและความถี่ค่าหนึ่งพร้อม ๆ กับการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ สภาวะในการทดสอบ คือ ทำการทดสอบภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย (ไนโตรเจน) โดยมีช่วงอุณหภูมิ -100 ถึง 150°C แอมพลิจูด $15\ \mu\text{m}$ และ ความถี่ $1\ \text{Hz}$



รูปที่ 3.11 เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer

3.2.6 การตรวจสอบ Morphology

3.2.6.1 Transmission Electron Microscope, TEM

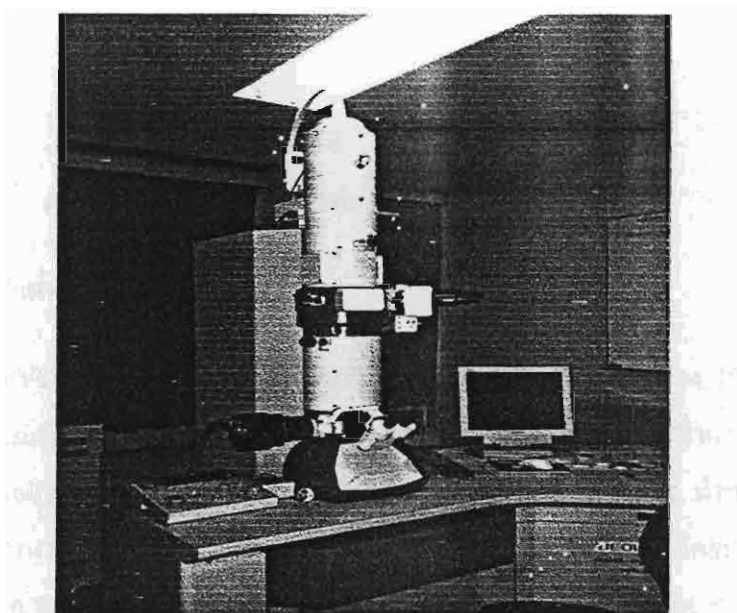
Transmission Electron Microscope, TEM ใช้ตรวจสอบโครงสร้างระดับอนุภาคของ PVC Overlay แต่ละสูตรเพื่อดูความเข้ากันได้ระหว่าง PVC compound กับน้ำยางธรรมชาติ และ CNR โดยใช้เครื่อง Transmission Electron Microscope, TEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM 1230 สามารถปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า (Acceleration Voltage) ของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนได้ต่ำสุด 40 KV และสูงสุดได้ถึง 120 KV และมีกำลังขยายได้ต่ำสุด 50 เท่า สูงสุด 600,000 เท่า

3.2.6.1.1 การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบ

1. นำชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบไปแช่ในสารละลายที่มีปริมาณ 2.5% Gluteraldehyde และ 4% ของ paraformaldehyde ใน Buffer และเกิดไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C
2. จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปล้างให้สะอาดแล้วนำไปทำให้แห้งจะได้ชิ้นงานในรูปแบบ เรซิน
3. จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปตัดในรูปแบบแผ่น Slide โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Ultramicrotome ซึ่งสามารถตัดชิ้นงานในช่วง 40-60 nm
4. จากนั้นนำชิ้นงานไปผ่านแสงอิเล็กตรอนซึ่งในขณะนี้ชิ้นงานจะอยู่ในรูป Grid
5. หลังจากผ่านแสงอิเล็กตรอนแล้วจึงนำชิ้นงานไปย้อมสีโดยใช้สารละลายที่ประกอบด้วยโลหะที่มีเลขอะตอม เช่น ตะกั่ว ยูเรเนียม เป็นต้น



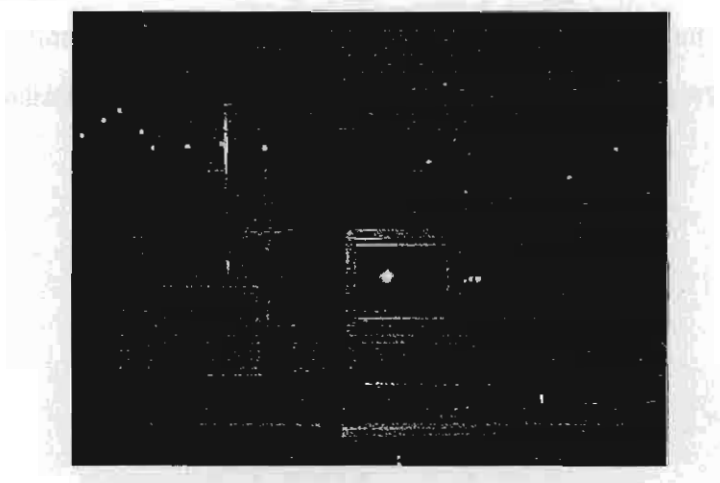
รูปที่ 3.12 เครื่อง Ultramicrotome



รูปที่ 3.13 เครื่อง Transmission Electron Microscope, TEM

3.2.6.2 การตรวจสอบ Scanning Electron Microscope, SEM

Scanning Electron Microscope, SEM ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผิวชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึง เพื่อดูลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM รุ่น JFM-5800 โดยทำการทดสอบที่สภาวะสุญญากาศ ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกเตรียมโดยนำไปเคลือบด้วย ทองคำ เพื่อให้ชิ้นตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 กระบวนการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay

การขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay จะมีการใช้ PVC Compound ที่มีส่วนผสมของ PVC resin 100 g, Plasticizer 21 g, Processing aid 1 g, Impact modifier 2 g และ Heat stabilizer 2.2 g ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง (two-roll mill) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปประมาณ 160°C และ ทำการขึ้นรูปเป็นเวลา 15 นาที แล้วปรับความหนาของแผ่น PVC Overlay ให้มีความหนา $0.10 - 0.15 \text{ mm}$ โดยปกติแล้วใน บริษัท เอพีเค พลาสติกส์ จำกัด จะมีการผลิต PVC Overlay โดยใช้ Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS เป็น Impact modifier จากงานวิจัยที่ผ่านมา[1] ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติ มาเป็น Impact modifier แทน ABS และใช้ Chlorinated Natural Rubber, CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน (Compatibilizer) ซึ่งพบว่าการใช้ยางธรรมชาติ เป็น Impact modifier แทน ABS สามารถนำมาใช้ได้จริง แต่ปัญหาที่พบ คือ แผ่น PVC Overlay ที่ได้มีความเหลืองเกิดขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

จากงานวิจัยของ C.T. Ratnam , K.Zaman, [2] กล่าวว่า ประสิทธิภาพของ Heat stabilizer แต่ละชนิด จะทำงานแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะส่งผลต่อความเหลืองที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน และ ยังพบว่าชนิดของ Heat stabilizer ยังมีผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาชนิดของ Heat stabilizer โดยทำการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติมาเป็น Impact modifier และใช้ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน และมีการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer แต่ส่วนผสมอื่นยังคงใช้ปริมาณเท่าเดิม โดยชนิดของ Heat stabilizer และลักษณะทั่วไปของแผ่น PVC Overlay ที่ได้เป็นดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสม, ชนิด Heat stabilizer และ ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่น PVC Overlay

สูตร PVC Overlay	PVC Compound (g)	ส่วนผสมที่ถูกแปรผันใน PVC Overlay (phr)			ลักษณะทั่วไป
		ABS	น้ำยาง / CNR	Heat Stabilizer	
PA stab/Zn	122	2	-	Stab 2 Zn-St 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง ไม่มีสี
PN stab/Zn	122	-	2 / 0.1	Stab 2 Zn-St 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN stab	122	-	2 / 0.1	Stab 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN BZ	122	-	2 / 0.1	BZ 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลือง
PN DBL	122	-	2 / 0.1	DBL 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองเข้ม
PN Cd	122	-	2 / 0.1	Cd-St 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลือง
PN Ba	122	-	2 / 0.1	Ba-St 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองเข้ม
PN Pb	122	-	2 / 0.1	Pb-St 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN Ca	122	-	2 / 0.1	Ca-St 2.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน

สูตร PVC Overlay	PVC Compound (g)	ส่วนผสมที่ถูกแปรผันใน PVC Overlay (phr)			ลักษณะทั่วไป
		ABS	น้ำยาง / CNR	Heat Stabilizer	
PN Stab/Cd	122	-	2 / 0.1	Stab 2.0 Cd 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN Stab/Ba	122	-	2 / 0.1	Stab 2.0 Ba 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN Stab/Ca	122	-	2 / 0.1	Stab 2.0 Ca 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN Stab/Pb	122	-	2 / 0.1	Stab 2.0 Pb-St 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน
PN Stab/DBL	122	-	2 / 0.1	Stab 2.0 DBL 0.2	เป็นแผ่นโปร่งแสง สีเหลืองอ่อน

หมายเหตุ PVC Compound มีส่วนผสม ดังนี้

PVC Resin 100 g

DOP 19 g [Plasticizer]

EPO 2 g [Plasticizer]

P201 1 g [Processing aid]

จาก สูตร PVC Overlay

PA Stab/Zn หมายถึง PVC Compound ผสมกับ ABS และใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด คือ Stab กับ Zn-St

PN x หมายถึง PVC Compound ผสม น้ำยางธรรมชาติ กับ CNRและใช้ Heat stabilizer ชนิดเดียว

PN y / z หมายถึง PVC Compound ผสม น้ำยางธรรมชาติ กับ CNRและใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด คือ x กับ y

โดยที่ x , y , z คือ ชนิดของ Heat stabilizer

ซึ่ง Heat stabilizer ที่แสดงในตารางเป็นชื่อย่อ โดยเป็น ชนิด Heat stabilizer ดังนี้

1. Stab = Ba/Cd/Zn metal complex.
2. Zn - St = Zinc stearate
3. Pb - St = Lead stearate
4. Cd - St = Cadmium stearate
5. Ca - St = Calcium stearate
6. Ba - St = Barium stearate
7. BZ = Barium - Zinc stearate
8. DBL = Dibasic lead stearate

4.2 ผลการทดสอบความเหลืองของแผ่น PVC Overlay

จากการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ที่มีการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer พบว่า แผ่น PVC Overlay ที่ได้มีความเหลืองที่แตกต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยของ C.T. Ratman, K. Zaman, [2] กล่าวไว้ว่า ประสิทธิภาพของ Heat stabilizer จะส่งผลต่อความเหลืองที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน โดยสามารถวัดได้จากค่าความเหลือง (Yellowness Index) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำแผ่น PVC Overlay มาทำการทดสอบวัดค่าความเหลือง เพื่อศึกษา Heat stabilizer ที่เหมาะสม กับ PVC Overlay ที่ใช้น้ำยาธรรมชาติเป็น Impact modifier และใช้ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยทำการทดสอบค่าความเหลืองของแผ่น PVC Overlay มีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความเหลืองของแผ่น PVC Overlay สูตรต่าง ๆ

สูตร PVC Overlay	ค่าความเหลือง	ค่าความเหลืองที่แตกต่าง	ผลที่ได้
PA Stab/Zn (Reference)	-6.00	0.00	ค่ามาตรฐาน
PN Stab/Zn	-4.00	2.00	เหลืองกว่า
PN Stab	-4.62	1.38	เหลืองกว่า
PN BZ	-1.67	4.34	เหลืองกว่า
PN DBL	6.22	12.22	เหลืองกว่า
PN Cd	-3.77	2.23	เหลืองกว่า
PN Ba	2.17	8.17	เหลืองกว่า
PN Ca	4.97	10.97	เหลืองกว่า
PN Pb	-1.73	4.27	เหลืองกว่า
PN Stab/Cd	-4.50	1.50	เหลืองกว่า
PN Stab/Ba	-3.66	2.34	เหลืองกว่า
PN Stab/Ca	-4.81	1.24	เหลืองกว่า
PN Stab/Pb	-4.95	1.10	เหลืองกว่า
PN Stab/BZ	-5.13	0.92	เหลืองกว่า
PN Stab/DBL	-5.72	0.33	ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

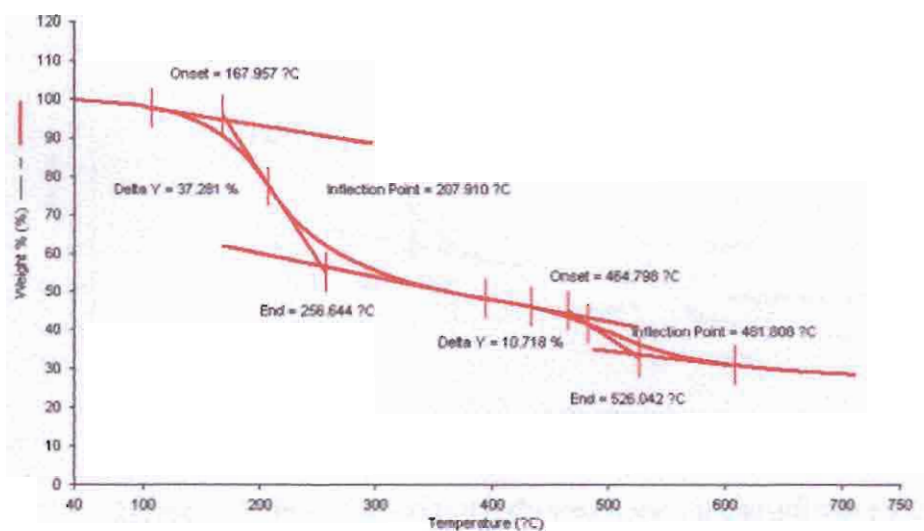
หมายเหตุ ค่าความเหลืองที่แตกต่าง = ค่าความเหลืองของ PVC Overlay สูตรต่างๆ - ค่าความเหลืองของ Reference (PA Stab/Zn)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า PVC Overlay ที่ผสมด้วยสูตร PN Stab/Zn มีค่าความเหลืองที่มากกว่า สูตร PA Stab/Zn ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน แสดงว่า เมื่อมีการเติมน้ำยางธรรมชาติ และ CNR จะทำให้ PVC Overlay มีความเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ชนิดของ Hcat stabilizer ที่เปลี่ยนไป พบว่า สูตรที่มีการใช้ Hcat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด จะมีค่าความเหลืองที่ต่ำกว่า PVC Overlay ที่มีการใช้ Heat stabilizer ชนิดเดียว ดังนั้น ในการผลิต PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ ใช้ CNR เป็นตัวเชื่อมประสานควรใช้ Hcat stabilizer ผสมระหว่าง Stab(Ba/Cd/Zn Complex) และ DBL(Dibasic lead stearate) จะทำให้เกิดความเหลืองน้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ C.T.Ratnam และ K.zaman [3] ที่ทำให้ทราบว่า การใช้ Heat stabilizer ผสมกันที่อัตราส่วนหนึ่ง จะทำให้ชิ้นงานมีความเหลืองเกิดขึ้นน้อยมาก

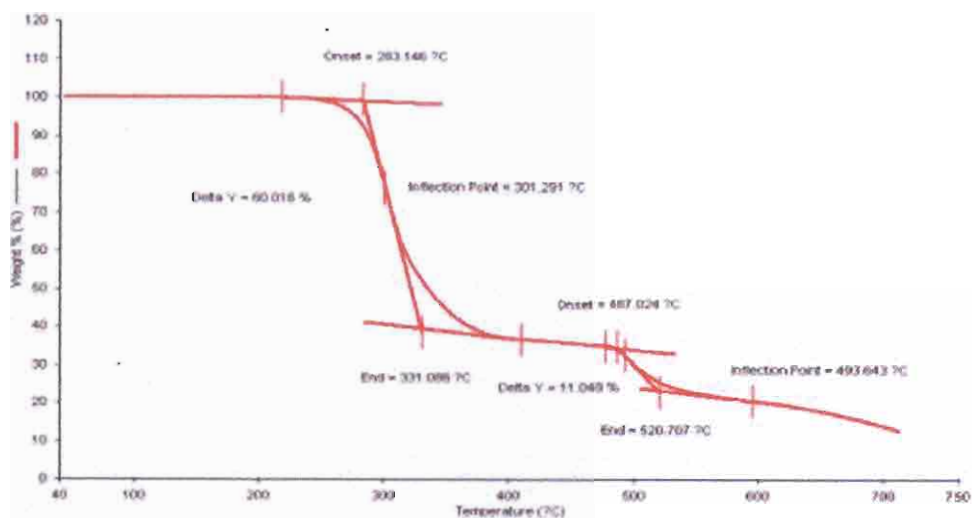
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis)

ผลจากการทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis, TGA ซึ่งสถานะในการทดสอบคือ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 40 °C ถึง 700 °C ภายใต้สถานะก๊าซเฉื่อย (Nitrogen gas) ด้วยอัตราเร็วในการทดสอบเท่า 10 °C/min

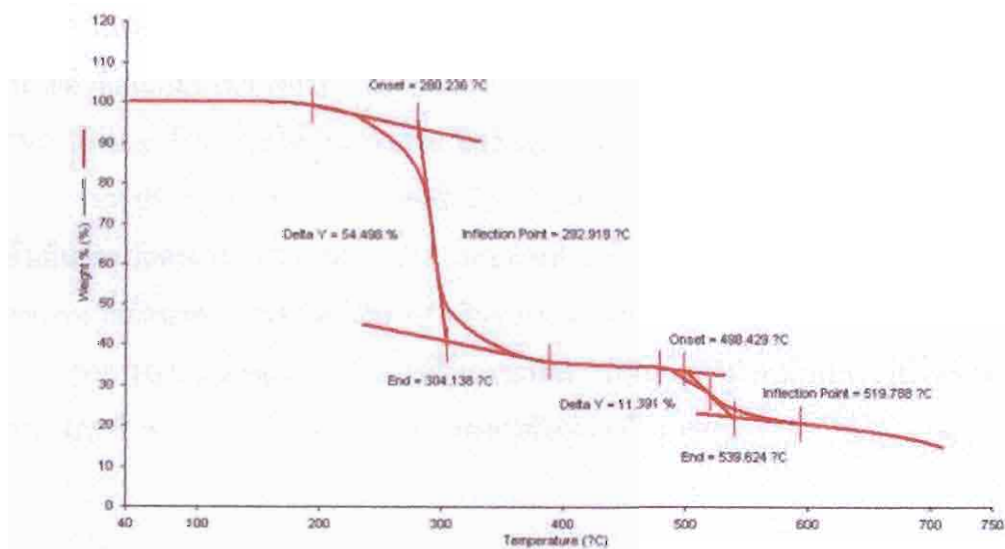
ผลจากการทดสอบสมบัติทางความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.1 - 4.4



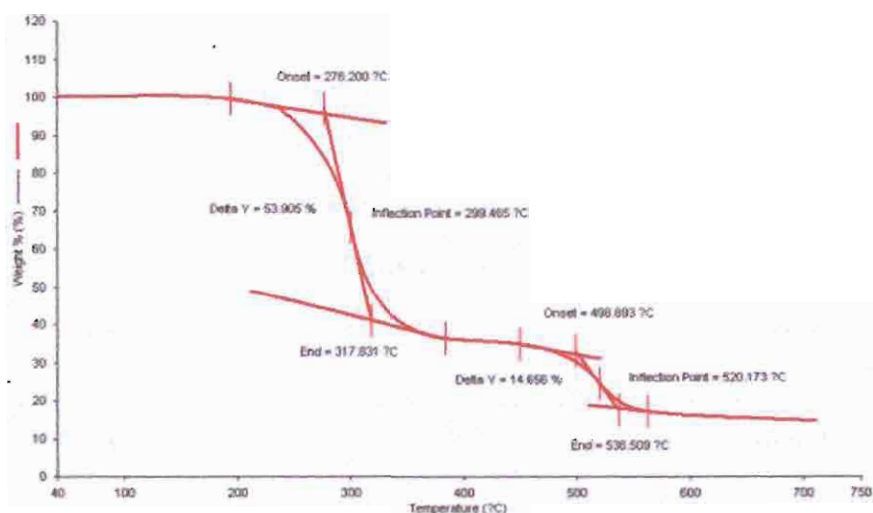
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ CNR



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับอุณหภูมิของ PVC Resin



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับ อุณหภูมิ ของ PVC Overlay
สูตร PA Stab/Zn



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight loss กับ อุณหภูมิ ของ PVC Overlay
สูตร PN Stab/Zn

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดง TGA Thermogram ของ CNR พบว่า CNR เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ 2 ช่วง คือ ที่อุณหภูมิ 167.56 °C ซึ่งเป็นการปลดปล่อย HCl ของ CNR ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 467.80 °C จะเป็นการสลายตัวของเนื้อยาง จากงานวิจัย H.P.Yu, S.D.Li, J.P.Zhong, K.Xu [10] พบว่า CNR มีการสลายตัวที่อุณหภูมิในช่วงแรก 160 ถึง 390 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับ อุณหภูมิในการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay ดังนั้น จะได้เห็นว่า CNR มีความเสถียรทางความร้อนที่ต่ำ

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.3 พบว่า PVC มีการสลายตัวของพอลิเมอร์ 2 ช่วง คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 280 °C ซึ่งเป็นการปลดปล่อย HCl ของ PVC และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 480 °C จะเป็นการสลายตัวของ Polyene ที่เกิดมาจากการปลดปล่อย HCl ในช่วงแรก (ดูหัวข้อ 2.2.3)

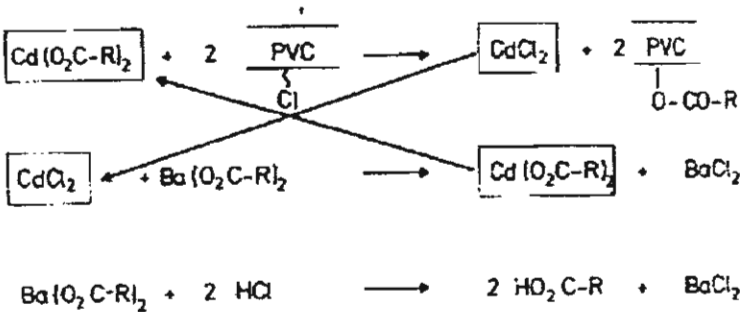
จาก TGA Thermogram ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ เปรียบเทียบของน้ำหนักที่หายไปในช่วงแรก และ อุณหภูมิ การสลายตัว ของตัวอย่างทุกสูตรผสม แสดงค่าดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปในช่วงแรก และอุณหภูมิ ในการสลายตัวในช่วงแรกของ CNR, PVC Resin และ แผ่น PVC Overlay ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ทดสอบ	%ของน้ำหนักที่หายไป ในช่วงแรก	อุณหภูมิ การสลายตัวในช่วงแรก
CNR	37.28	167.96
PVC Resin	60.03	289.80
PA Stab/Zn	54.50	280.24
PN Stab/Zn	53.91	276.20
PN Stab	56.83	278.07
PN BZ	56.17	278.96
PN DBL	60.38	276.85
PN Cd	58.06	274.64
PN Ba	56.65	271.07
PN Ca	57.80	281.78
PN Pb	56.45	287.90
PN Stab/Cd	54.27	277.35
PN Stab/Ba	57.05	276.21
PN Stab/Ca	55.01	277.73

ตัวอย่างที่ทดสอบ	%ของน้ำหนักที่หายไป ในช่วงแรก	อุณหภูมิ การสลายตัวในช่วงแรก
PN Stab/Pb	55.98	279.46
PN Stab/BZ	55.16	280.02
PN Stab/DBL	55.57	283.84

เมื่อพิจารณา เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป ของ PVC Resin กับ PVC Overlay พบว่า PVC ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งใดๆเลย พบว่ามี เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปมากกว่า PVC Overlay ซึ่งมีการเติม Heat stabilizer แสดงว่า PVC Resin มีการปลดปล่อย HCl ที่มากกว่า PVC Overlay ที่มีการเติม Heat stabilizer จะเห็นได้ว่า Heat stabilizer มีผลทำให้การปลดปล่อย HCl ลดลง เนื่องจาก การทำงานของ Heat stabilizer ดังสมการที่ 4.2



สมการที่ 4.2 ตัวอย่างกลไกการทำงานของ Heat stabilizer

(Cadmium stearate กับ Barium stearate) [7]

โดยที่ R คือ C₁₇H₃₅

เมื่อพิจารณา PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ที่ใช้ ABS เป็น Impact modifier กับ PN Stab/Zn ที่มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และใช้ CNR เป็นตัวประสาน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่พบว่า PA Stab/Zn มีอุณหภูมิในการสลายตัวที่สูงกว่า PN Stab/Zn ซึ่งเนื่องจาก PN Stab/Zn มีการเติม CNR ลงไป จากอุณหภูมิการสลายตัวของ CNR พบว่า CNR มีความเสถียรทางความร้อนที่ต่ำ จึงทำให้ PN Stab/Zn มีความเสถียรทางความร้อนที่ลดลง

เมื่อพิจารณาจาก PVC Overlay ที่มีการใช้ Heat stabilizer ที่แตกต่างกัน พบว่า PVC Overlay ที่มีการใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด (PN Stab/ DBL) จะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป ที่น้อยกว่า PVC Overlay ที่ใช้ Heat stabilizer ชนิดเดียว (PN DBL) แสดงว่าการใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด จะมีประสิทธิภาพในการเสถียรทางความร้อนที่ดีกว่าการใช้ Heat stabilizer ชนิดเดียว

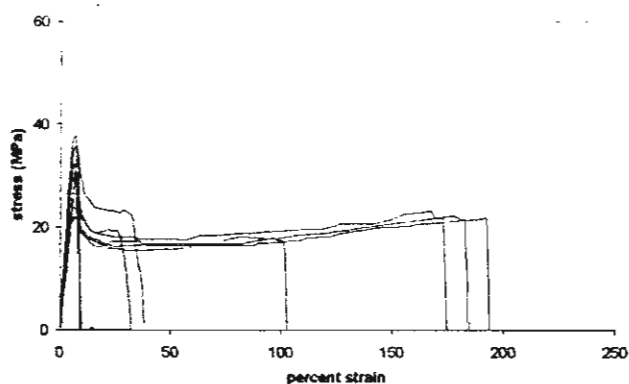
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.4.1 การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง

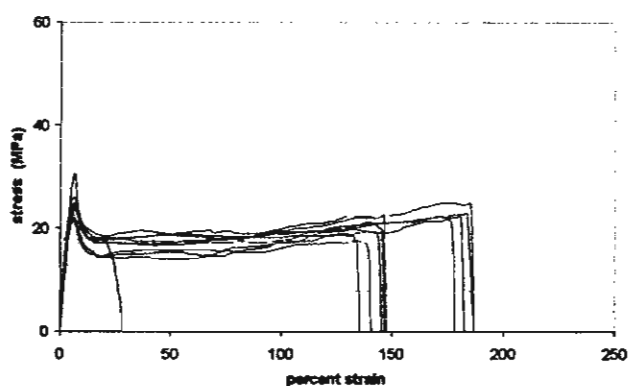
การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile Properties) ของแผ่น PVC Overlay เพื่อทำการศึกษาผลของการเติมน้ำยางธรรมชาติและ CNR ที่มีต่อสมบัติเชิงกล โดยทั่วไปแล้ว อนุภาคของ PVC ที่ผ่านการขึ้นรูปแบบลูกกลิ้งนี้จะได้รับแรงเฉือน ทำให้อนุภาคของ PVC เกิดการแตกร้าว และเกิดการอัดแน่นของอนุภาคจนอนุภาค PVC เกิดการหลอมตัว (fusion)[5] โดยการหลอมตัวของอนุภาค PVC เนื่องจากตามแนว Shear จะเห็นว่าการเกิด Shear ในเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้งนี้ไม่เท่ากันใน 2 ทิศ คือ จะมี Shear มากในทิศแนวตามลูกกลิ้งและน้อยในทิศแนวขวางลูกกลิ้ง จึงมีการทดสอบสมบัติดังกล่าวทั้ง 2 แนวทิศทาง คือ ทิศตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง (Machine Direction) และ ทิศขวางแนวการหมุนของลูกกลิ้ง (Transverse Direction) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ใช้อัตราเร็วในการทดสอบที่ 50 mm/min และที่ 500 mm/min ซึ่งอัตราเร็วในการดึง 500 mm/min นี้เป็นอัตราเร็วที่ บริษัท เอเพ็ค พลาสติกส์ จำกัด ใช้ในการทดสอบ และในการทดสอบที่อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min จะใช้ทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการยืดของชิ้นตัวอย่าง PVC Overlay

4.4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay โดยใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min

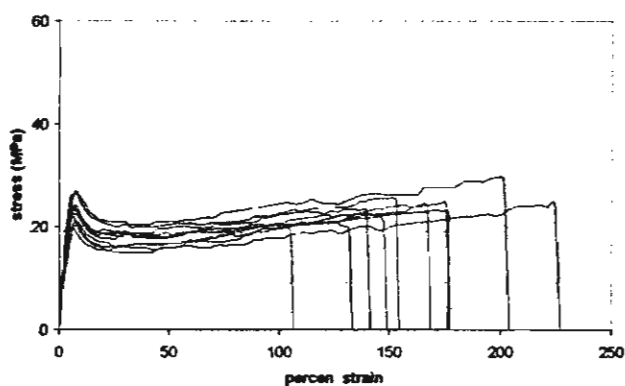
ผลจากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.5-4.10



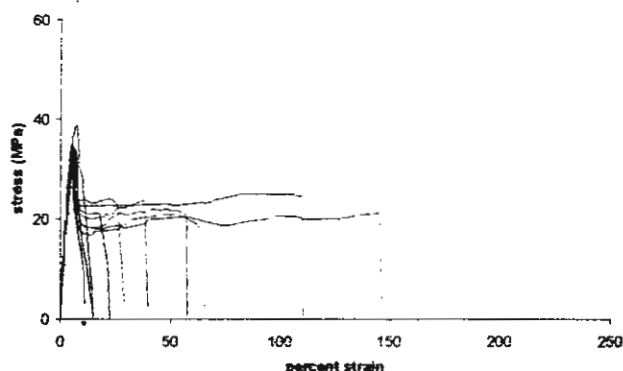
รูปที่ 4.5 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



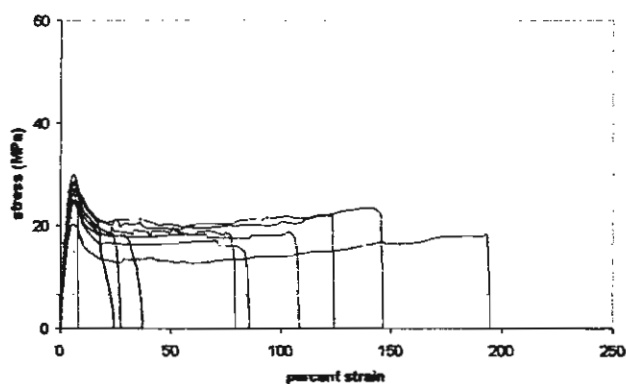
รูปที่ 4.6 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



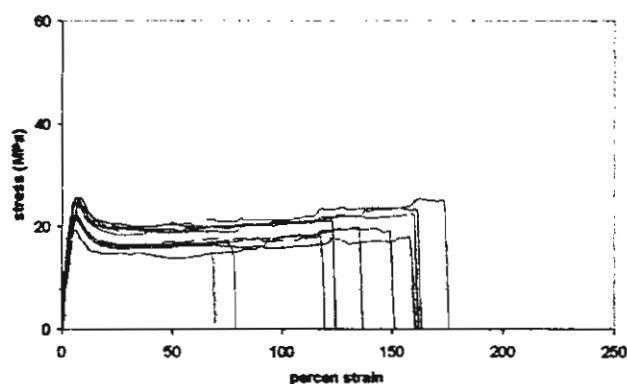
รูปที่ 4.7 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.8 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.9 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.10 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง

จากกราฟ Stress - Strain ของแผ่น PVC Overlay ทุกสูตรผสม สามารถคำนวณสมบัติต่างๆของ Tensile properties แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การสรุปค่าต่างๆของชิ้นงานหลังการทดสอบ Tensile properties ที่ความเร็วใน

การทดสอบ 50 mm/min

ชนิด PVC Overlay	Machine Direction			Transverse Direction		
	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
PA Stab/Zn	28.10 ±6.29	90.08 ±13.91	920.35 ±84.40	34.04 ±0.26	51.11 ±15.68	892.35 ±84.40
PN Stab/Zn	24.80 ±2.50	144.68 ±48.58	880.97 ±80.97	25.83 ±3.84	132.15 ±41.81	966.66 ±118.13
PN Stab	24.83 ±1.83	146.45 ±44.13	958.11 ±115.00	24.85 ±2.40	156.88 ±30.79	810.84 ±129.50
PN BZ	23.56 ±2.28	145.70 ±20.39	722.90 ±129.68	24.72 ±1.90	156.46 ±25.25	893.20 ±116.16
PN DBL	35.69 ±3.03	102.58 ±16.46	990.52 ±97.02	35.10 ±2.42	27.69 ±2.78	941.12 ±37.50
PN Cd	30.70 ±1.65	169.3 ±29.50	661.53 ±105.23	36.50 ±1.59	21.59 ±6.88	881.51 ±116.93
PN Ba	41.15 ±0.59	69.13 ±26.34	849.27 ±133.18	27.22 ±0.63	194.76 ±15.53	657.68 ±105.63
PN Ca	28.64 ±0.87	163.26 ±22.66	722.66 ±108.47	29.61 ±2.09	140.46 ±44.22	745.76 ±122.23
PN Pb	32.86 ±1.73	174.72 ±32.42	842.12 ±127.04	32.22 ±0.94	139.12 ±21.89	832.69 ±97.82

ชนิด PVC Overlay	Machine Direction			Transverse Direction		
	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
PN Stab/Cd	26.00 ±2.75	151.05 ±29.68	836.07 ±138.48	25.53 ±2.48	163.97 ±11.20	825.05 ±109.18
PN Stab/Ba	29.90 ±2.46	138.22 ±30.64	991.82 ±140.08	29.85 ±1.36	102.80 ±46.98	770.82 ±99.70
PN Stab/Ca	32.03 ±2.13	157.22 ±57.03	922.25 ±110.75	33.48 ±2.83	32.76 ±19.70	958.90 ±108.67
PN Stab/Pb	33.17 ±1.59	165.32 ±18.75	984.83 ±90.35	31.06 ±2.01	65.26 ±29.99	923.73 ±85.32
PN Stab/BZ	28.79 ±3.15	163.70 ±33.97	875.12 ±109.40	27.42 ±3.74	150.52 ±16.38	849.15 ±119.84
PN Stab/DBL	22.98 ±2.48	149.75 ±15.79	969.71 ±13.17	23.17 ±2.50	141.75 ±15.79	804.73 ±82.40

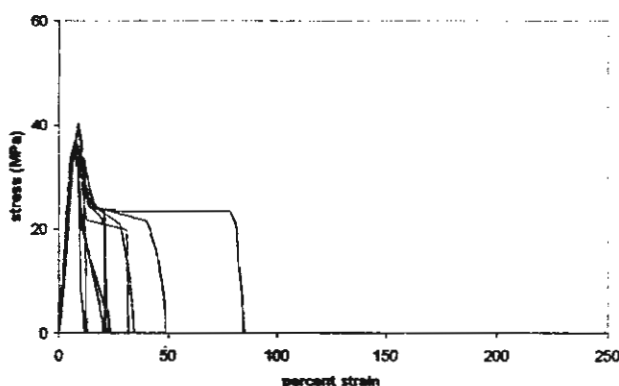
จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay ในทิศทางแนวการหมุนของลูกกลิ้ง พบว่า กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay ทุกสูตรผสม มีลักษณะการแตกหักแบบ ductile เมื่อพิจารณากราฟ Stress-Strain ของ PA Stab/Zn ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน ที่บริษัท เอพีเค พลาสติก จำกัด ใช้ในการผลิต กับ PN Stab/Zn ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีการเติมน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่า PA Stab/Zn มีค่า Yield stress ที่สูงกว่า PN Stab/Zn แต่ PN Stab/Zn มีค่า % Strain at break ที่สูงกว่า PA Stab/Zn อาจเนื่องมาจาก PN Stab/Zn มีการเติมน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งมีความเป็น Elastomer และมีค่า modulus ที่ต่ำกว่าของ ABS ทำให้ PN Stab/Zn สามารถดึงยืดได้มากขึ้น แต่มี Yield stress ลดลง

เมื่อพิจารณาการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay ในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง พบว่า มีการแตกหักแบบ ductile เช่นเดียวกับการแตกหักของชั้นตัวอย่างในทิศตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟ Stress-Strain จากรูปที่ 4.5 – 4.10 พบว่า กราฟแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของ % Strain at break คือ มีทั้ง % Strain at break สูงและต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การกระจายตัวของอนุภาคน้ำยางธรรมชาติที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถดูได้ผลจากการศึกษาชั้นตัวอย่างด้วยเทคนิค TEM ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (หัวข้อที่ 4.5.1) พบว่าอนุภาคน้ำยางธรรมชาติบางจุดจะเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ PVC matrix จึงทำให้ในบางจุดของชั้นตัวอย่างอาจมีความสามารถในการดึงยึดที่ต่างออกไป

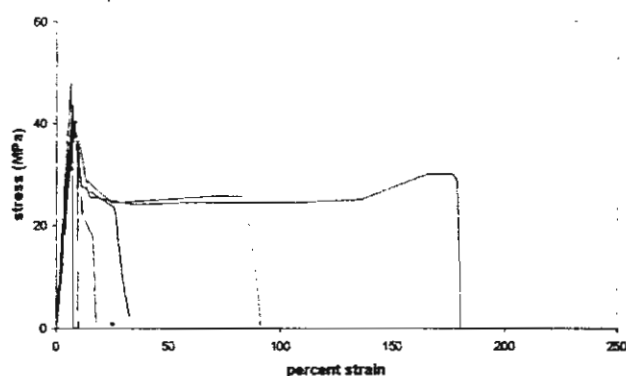
จากตารางที่ 4.4 เป็นตารางแสดงค่าสมบัติการทดสอบด้วยความทนทานต่อแรงดึงของ PVC Overlay ที่อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min เมื่อพิจารณา Yield stress ของ PA Stab/Zn กับ PN Stab/Zn พบว่า PA Stab/Zn มีค่า Yield stress ที่สูงกว่า PN Stab/Zn แต่ PA Stab/Zn มีค่า % Strain at break ต่ำกว่า PN Stab/Zn เนื่องจาก PA Stab/Zn มีการเติม ABS ซึ่งมีค่า Modulus ที่สูงกว่า จึงทำให้ PA Stab/Zn มีความต้านทานในการดึงสูงกว่า PVC ที่เติมน้ำยางธรรมชาติลงไป แต่พบว่าชั้นตัวอย่างที่มีการเติมน้ำยางธรรมชาติจะมี % Strain at break ที่สูงกว่า ที่เนื่องจาก ความสามารถในการดึงยึดของน้ำยางธรรมชาติที่สูงกว่า ABS

4.4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay โดยใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min

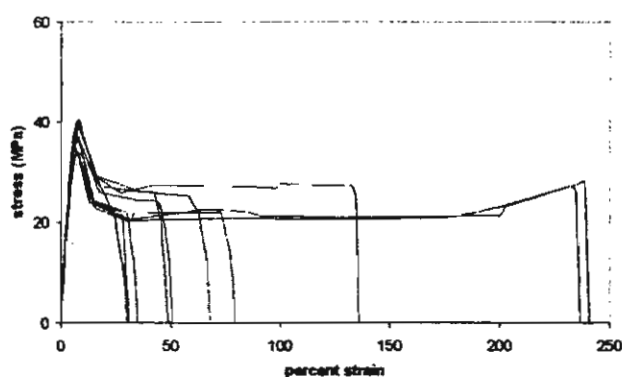
ผลจากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.11- 4.16



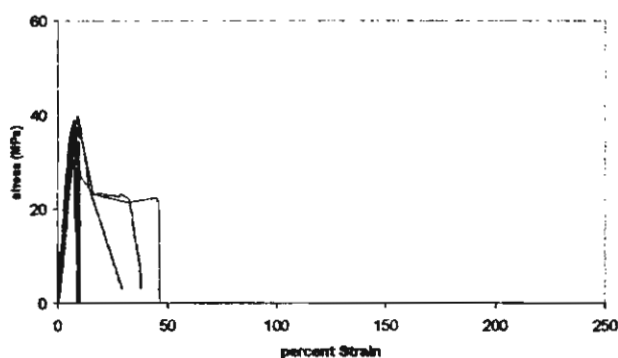
รูปที่ 4.11 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



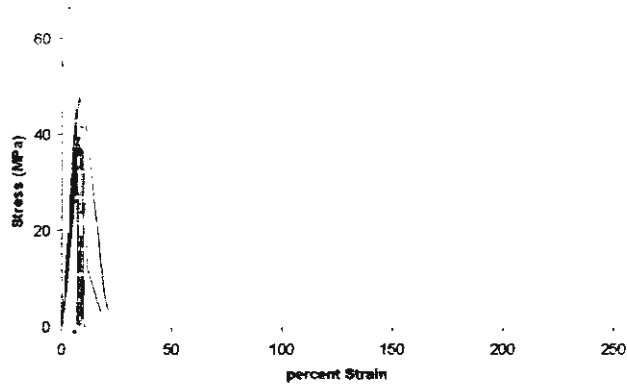
รูปที่ 4.12 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



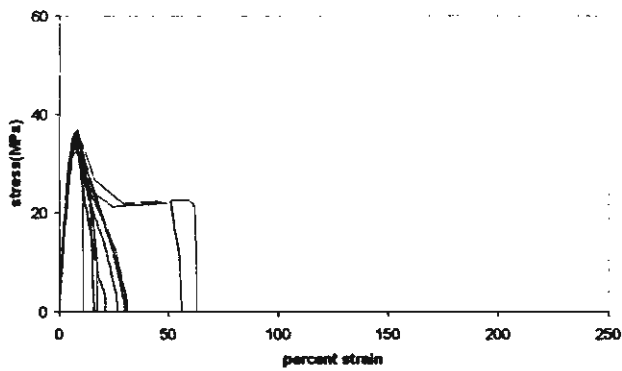
รูปที่ 4.13 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.14 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.15 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.16 กราฟ Stress-Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL
ใช้ อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง

จากกราฟ Stress - Strain ของแผ่น PVC Overlay ทุกสูตรผสม สามารถคำนวณสมบัติ
ต่างๆของ Tensile properties แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การสรุปค่าต่างๆของชิ้นงานหลังการทดสอบ Tensile properties ที่ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min

ชนิด PVC Overlay	Machine Direction			Transverse Direction		
	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
PA Stab/Zn	37.32 ±2.21	21.70 ±8.81	686.61 ±60.02	38.21 ±1.25	15.69 ±12.21	664.26 ±66.07
PN Stab/Zn	41.73 ±4.13	56.19 ±7.54	737.87 ±94.73	39.45 ±4.49	11.07 ±4.31	696.36 ±96.51
PN Stab	39.94 ±2.61	44.40 ±5.43	694.35 ±78.81	37.82 ±3.11	16.81 ±12.64	732.91 ±78.70
PN BZ	39.01 ±3.29	19.60 ±8.45	779.28 ±47.91	43.66 ±2.71	10.04 ±3.07	768.38 ±57.98
PN DBL	46.20 ±9.97	10.09 ±2.15	874.89 ±87.48	34.43 ±1.82	20.69 ±2.20	970.61 ±11.2
PN Cd	44.71 ±6.48	7.59 ±1.18	900.00 ±130.73	36.06 ±6.02	6.38 ±1.20	830.00 ±43.32
PN Ba	52.86 ±2.82	9.18 ±1.48	869.39 ±58.192	44.13 ±4.64	6.99 ±1.17	917.55 ±93.31
PN Ca	46.45 ±2.28	8.65 ±0.43	942.38 ±69.20	44.58 ±1.41	8.34 ±0.83	817.03 ±45.08
PN Pb	48.67 ±2.43	9.67 ±1.24	842.10 ±60.87	45.55 ±1.22	9.20 ±1.65	716.04 ±49.18
PN Stab/Cd	36.08 ±6.89	60.04 ±5.14	772.8 ±56.9	38.88 ±3.75	17.09 ±9.27	829.02 ±86.58

ชนิด PVC Overlay	Machine Direction			Transverse Direction		
	Yield Stress (MPa)	Strian at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Stress (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
PN Stab/Ba	36.99 ±4.70	30.65 ±6.66	963.63 ±43.09	39.31 ±3.45	9.54 ±4.86	879.89 ±95.69
PN Stab/Pb	40.45 ±2.49	8.20 ±1.14	928.69 ±86.58	40.10 ±3.13	9.29 ±3.88	842.20 ±87.68
PN Stab/Ca	39.12 ±3.28	18.68 ±9.01	948.25 ±37.06	40.45 ±2.49	8.20 ±1.14	928.69 ±61.58
PN Stab/BZ	40.42 ±4.23	30.22 ±8.53	964.89 ±63.20	38.63 ±2.70	10.75 ±4.29	905.17 ±50.71
PN Stab/DBL	37.58 ±2.63	95.10 ±24.75	1015.26 ±89.99	35.44 ±1.59	29.97 ±9.85	978.05 ±70.82

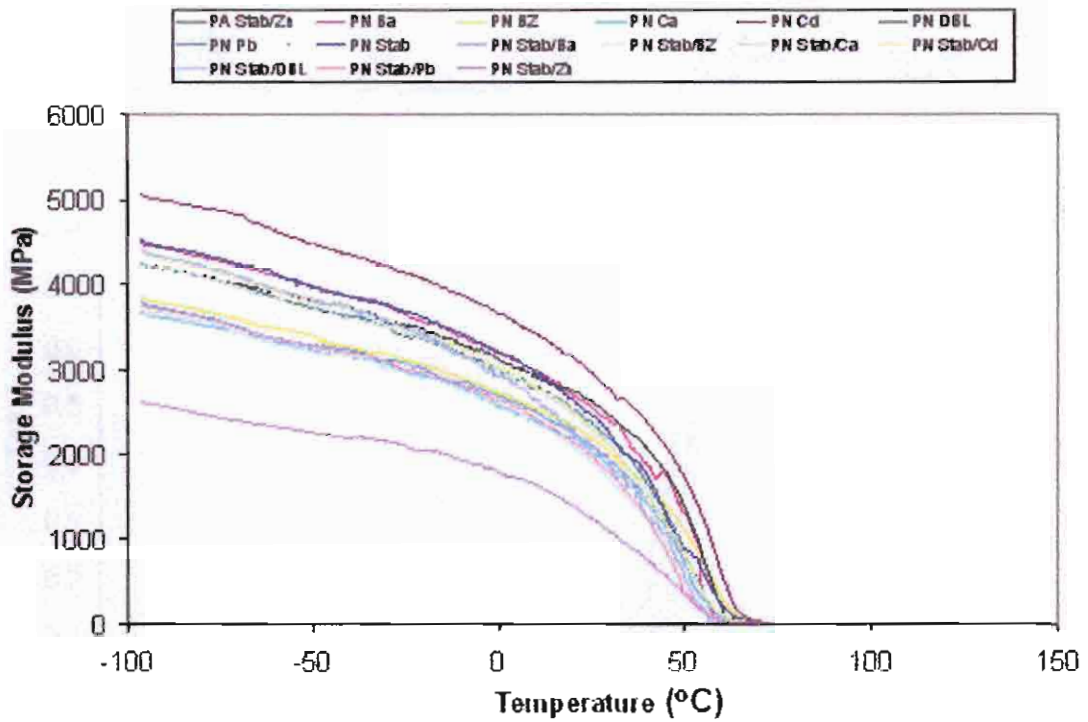
จากการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay ในทิศทางแนวการหมุนของถูกกลิ้ง เมื่อพิจารณากราฟ Stress-Strain ที่ได้ พบว่า PVC Overlay ทุกสูตรผสม ส่วนมากจะมีลักษณะการแตกตัวแบบ brittle กว่ากรณีที่ทดสอบที่ความเร็ว 50 mm/min ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้อัตราเร็วในการดึงที่เร็ว ทำให้ในระหว่างการทดสอบ สายโซ่พอลิเมอร์ไม่มีเวลาในการจัดเรียงตัว เป็นผลทำให้พอลิเมอร์เกิด Yield ไม่ชัดเจนและเกิดได้น้อยมาก ส่งผลให้ชิ้นตัวอย่างเกิดการแตกหักแบบเปราะ อย่างไรก็ตามจะพบว่า มีบางสูตรผสมมีการแตกหักแบบ ductile เช่น PN Stab/DBL ดังรูปที่ 4.13 และเมื่อพิจารณากราฟ Stress-Strain ของ PA Stab/Zn ดังรูปที่ 4.11 กับ PN Stab/Zn ดังรูปที่ 4.12 พบว่า PN Stab/Zn มี Yield stress และ % Strain at break ที่สูงกว่า PA Stab/Zn กล่าวคือ เมื่อเติมน้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier ลงไปจะทำให้ PVC Overlay มีสมบัติต้านทานต่อแรงดึงยืดและสามารถยืดได้มากขึ้น เนื่องจากสมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่เติมลงไปนั่นเอง

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่น PVC Overlay ในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง เมื่อพิจารณากราฟ Stress - Strain ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ดังรูปที่ 4.14 กับ PN Stab/Zn ดังรูปที่ 4.15 พบว่าทั้ง 2 สูตรมีการแตกหักแบบ brittle เหมือนกัน ซึ่งแสดงด้วย % Strain at break ของทิศตามแนวการหมุนของลูกกลิ้งและแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง พบว่าในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งจะมีค่า % Strain at break ที่ต่ำกว่า กรณีตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง เนื่องจากอนุภาคของ PVC ที่เกิด Fusion [5] จะเกิดการยืดตัวของอนุภาค (Elongation of grain) ตามแนวที่ได้รับแรง Shear ที่มากกว่า นั่นก็คือจะมีการยืดตัวตามแนวการหมุนของลูกกลิ้งที่มากกว่าแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง ทำให้ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้งมีการดึงยืดได้มากกว่าแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง

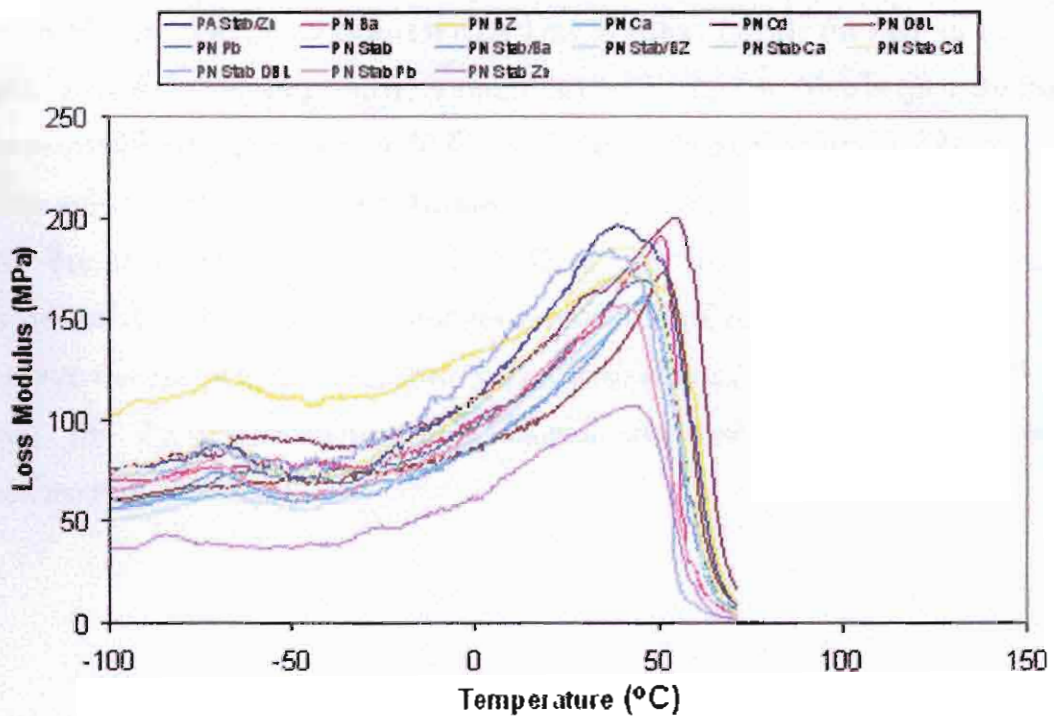
จากตารางที่ 4.5 เป็นตารางแสดงค่าสมบัติการทดสอบด้วยแรงดึงของ PVC Overlay ที่อัตราเร็วในการทดสอบ 500 mm/min พบว่าการใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด เช่น PN Stab/DBL มีค่า Modulus และ % Strain at break ที่สูงกว่า PN DBL อาจจะเป็นเนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด จะมีการทำงานดีกว่าคือทำให้ PVC เกิดการเสื่อมสภาพลดลง การที่ PVC เสื่อมสภาพน้อยลง ย่อมทำให้สมบัติยังคงตัวอยู่เหมือนเดิม

4.4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแบบไดนามิกส์ (DMA)

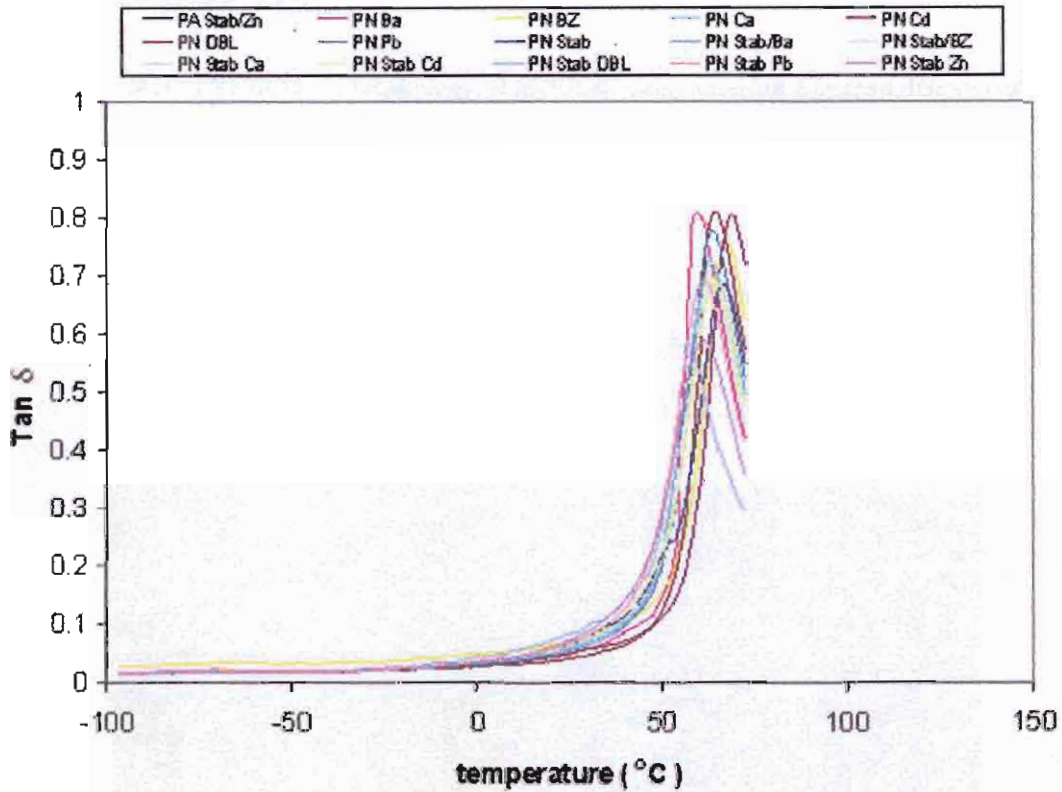
DMA เป็นการศึกษาค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ภายใต้สภาวะการให้แรงกระทำต่อชิ้นตัวอย่างด้วยค่าแอมพลิจูดและความถี่ค่าหนึ่งพร้อม ๆ กับการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ สภาวะในการทดสอบ คือ ทำการทดสอบภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย (ไนโตรเจน) โดยมีช่วงอุณหภูมิ - 100 ถึง 150 °C แอมพลิจูด 15 μm และความถี่ 1 Hz ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (°C) กับ Storage Modulus, Loss Modulus และ Tan δ โดยที่ผลการทดสอบของแผ่น PVC Overlay สูตรต่างๆ ดังรูปที่ 4.17 – 4.19



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Storage Modulus กับ อุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Loss Modulus กับ อุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Tan δ กับ อุณหภูมิ ของ PVC Overlay สูตรต่างๆ

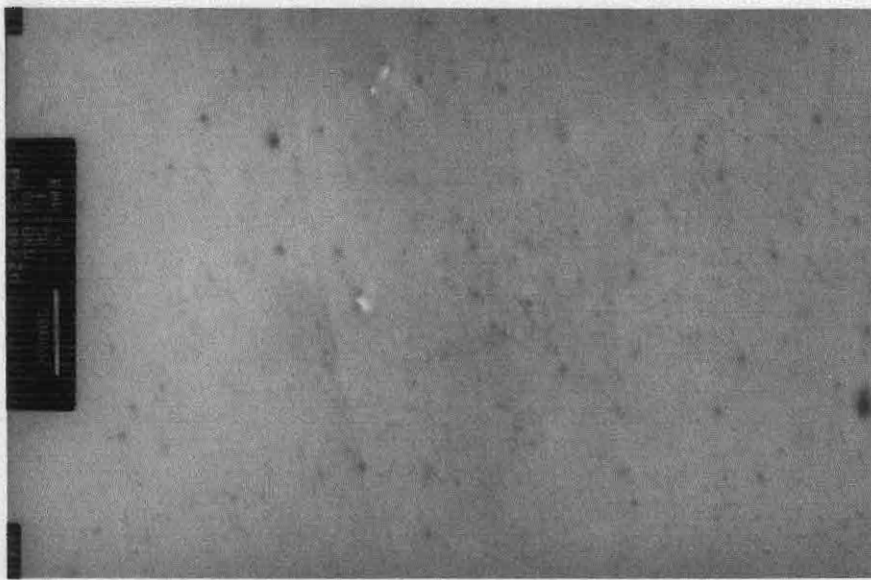
จากรูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Loss Modulus (MPa) กับ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) สามารถอธิบายถึง ความเข้ากันได้ของอนุภาคสาร จากกราฟของ PVC Overlay ส่วนใหญ่สามารถเห็นได้จากลักษณะของกราฟที่อุณหภูมิประมาณ -60°C ถึง -69°C จะเห็นพีกของน้ำยางธรรมชาติที่สูงขึ้นไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากการเติมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณที่น้อย (2.0 g) แต่มี PVC Overlay บางสูตร ตัวอย่างเช่น PN DBL ซึ่งจะไม่เห็น พีกของน้ำยางธรรมชาติ อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคน้ำยางธรรมชาติที่มีการกระจายตัวไม่ทั่วในเนื้อ PVC ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบด้วยเทคนิค TEM ดังรูปที่ 4.20 แต่พิจารณา PVC Overlay สูตรผสม PN Stab/DBL พบว่า มีพีกของน้ำยางธรรมชาติเกิดขึ้นเพียงพีกเดียว แสดงว่า PVC กับ น้ำยางธรรมชาติสามารถเข้ากันได้ดีและมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ดังจะเห็นได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค TEM ดังรูปที่ 4.23

4.5 การตรวจสอบ Morphology

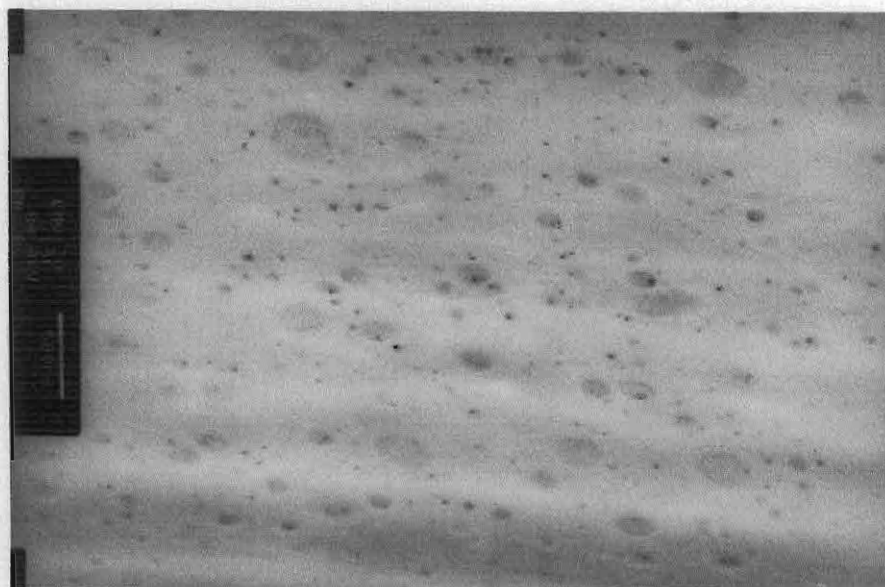
4.5.1 ผลการตรวจสอบ Morphology ด้วยเทคนิค Transmission Electron Microscope , TEM

จากเทคนิคนี้สามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพลายเส้น (Lattice image) ได้ 0.2 nm และ ภาพลายจุด 0.36 nm สามารถปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า Acceleration Voltage ของแหล่งกำเนิด Electron ได้ต่ำสุด 40 KV และสูงสุด 120 KV และมีกำลังขยายภาพได้ต่ำสุด 50 เท่า ถึง 600,000 เท่า ซึ่งเหมาะสำหรับที่จะตรวจสอบในระดับ อนุภาคที่เล็ก ๆ

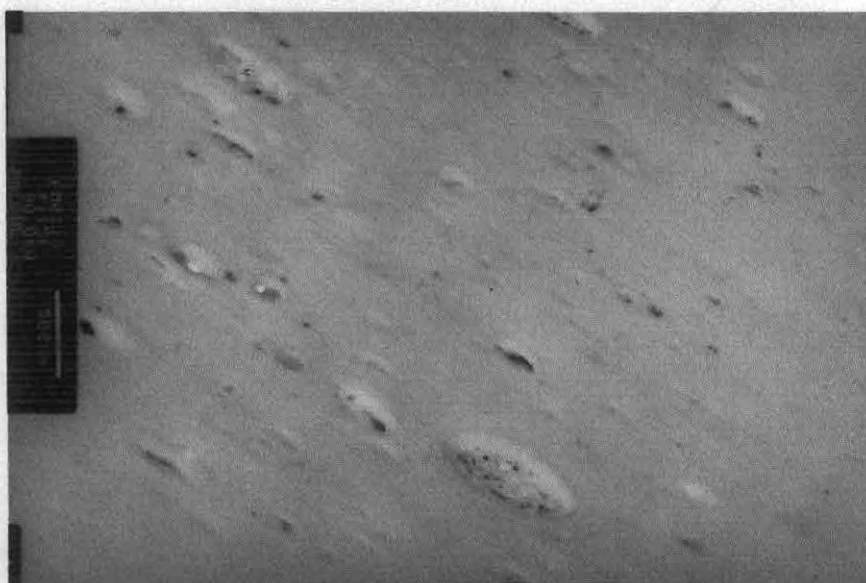
ผลจากการตรวจสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.20 – 4.23



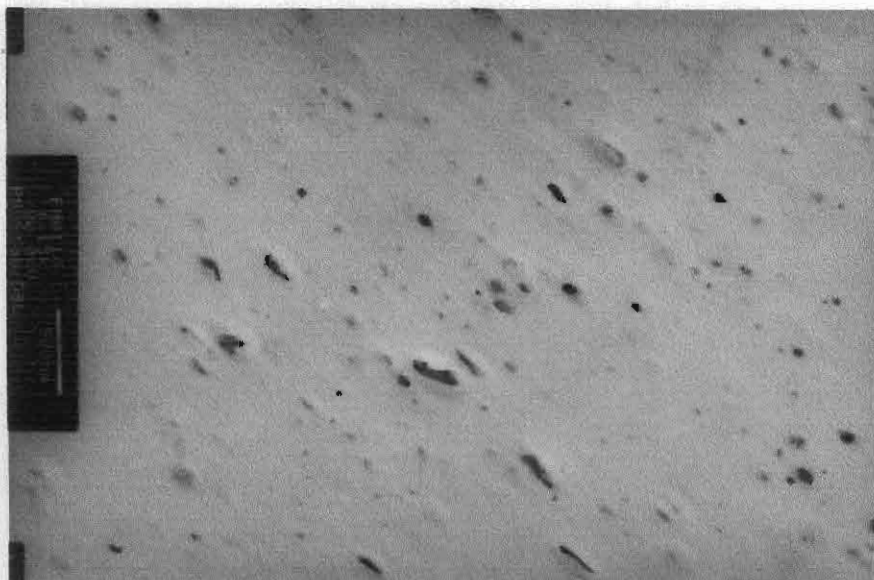
รูปที่ 4.20 TEM Micrograph ของแผ่น PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn
ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า



รูปที่ 4.21 TEM Micrograph ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/Zn
ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า



รูปที่ 4.22 TEM Micrograph ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN DBL
ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า



รูปที่ 4.23 TEM Micrograph ของแผ่น PVC Overlay สูตร PN Stab/DBL
ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

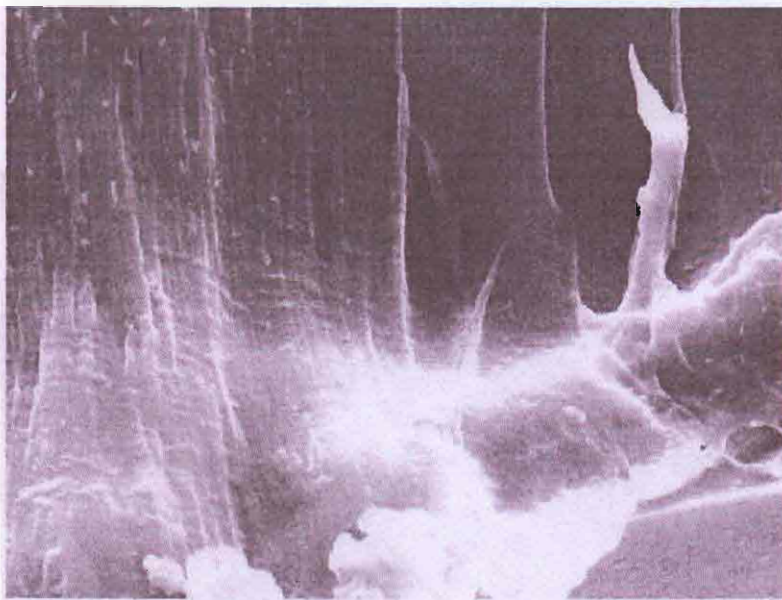
จากรูปที่ 4.20 – 4.23 จะเห็นว่า Morphology ของ PVC Overlay สูตร PA Stab/Zn ดังรูปที่ 4.20 ที่มีการใช้ ABS เป็น Impact modifier พบว่า ในเนื้อ PVC มีอนุภาคเล็กๆเป็นจุดสีดำกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ จากสูตร PN Stab/Zn ในรูปที่ 4.21 ซึ่งมีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคน้ำยางธรรมชาติกระจายตัวอยู่ในเนื้อ PVC ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มใหญ่

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง PN DBL ดังรูปที่ 4.22 กับ PN Stab/DBL ดังรูปที่ 4.23 พบว่า PN Stab/DBL มีการกระจายตัวของอนุภาคน้ำยางธรรมชาติที่ดีกว่า PN DBL และจากการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง พบว่า สูตร PN Stab/DBL มีค่า % Strain at break ที่สูงที่สุดจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง และสูตร PN DBL มีค่า %Strain at break ที่ต่ำที่สุดจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง และจากการทดสอบด้วยเทคนิค DMA เมื่อพิจารณากราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง loss modulus กับ อุณหภูมิ จะเห็นว่าในช่วง - 60 ถึง - 69 °C จากสูตร PN Stab/DBL มีพีคของน้ำยางธรรมชาติกระจายเป็นหลายพีคอยู่ในช่วง - 60 ถึง - 69 °C แต่ PN DBL ไม่ปรากฏพีคของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งจาก TEM จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็น PN Stab/DBL มีการกระจายตัวที่ดีกว่า

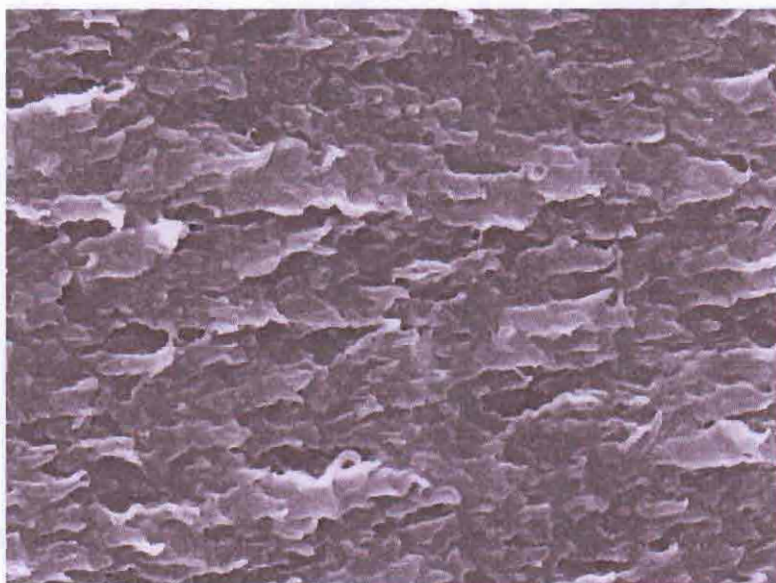
4.5.2 ผลการทดสอบ Morphology ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope, SEM

Scanning Electron Microscope, SEM เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษา Morphology ที่ผิวหน้าโดยในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างที่ถูกดึงให้ขาดจากการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง ซึ่งจะนำชิ้นตัวอย่างทั้งแนวตามการหมุนของลูกกลิ้ง และ แนวขวางของลูกกลิ้ง ไปตรวจสอบที่ผิวหน้า โดยในการตรวจสอบจะมีการนำชิ้นงานไปเคลือบด้วยทอง เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้า เนื่องจากในการทำงานจะมีการจับสัญญาณของภาพ ซึ่งอาศัยการวิ่งผ่านของอิเล็กตรอนไปยังชิ้นงานแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสัญญาณภาพด้วยกำลังขยายสูง

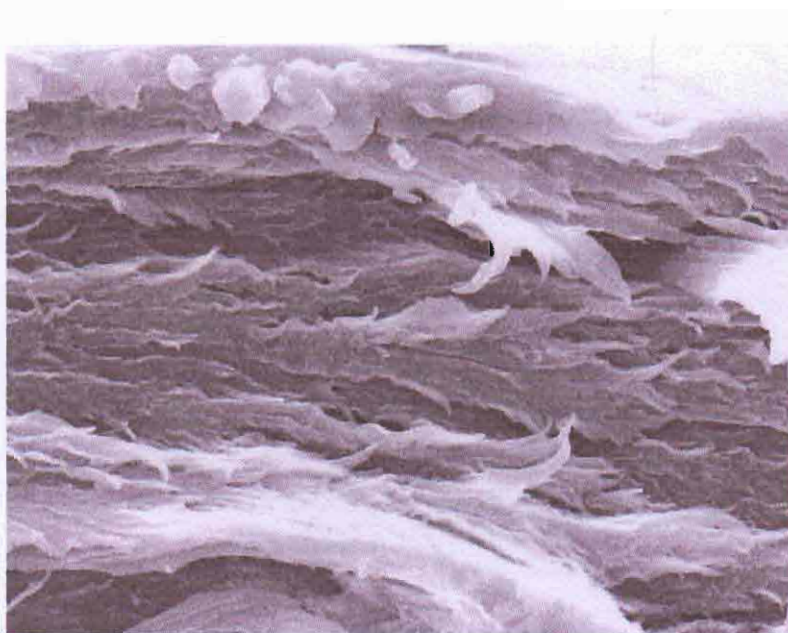
ผลการตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 4.24 – 4.28



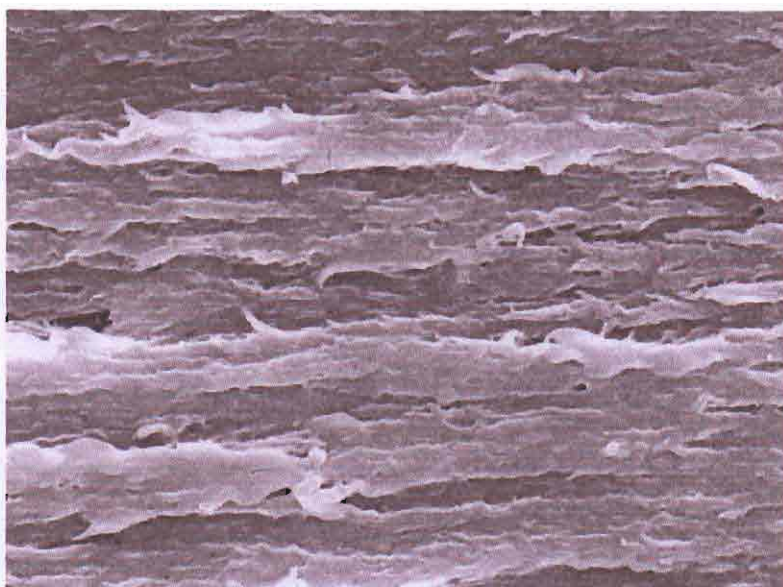
รูปที่ 4.24 SEM Micrograph ของสูตร PA Stab/Znตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง
ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



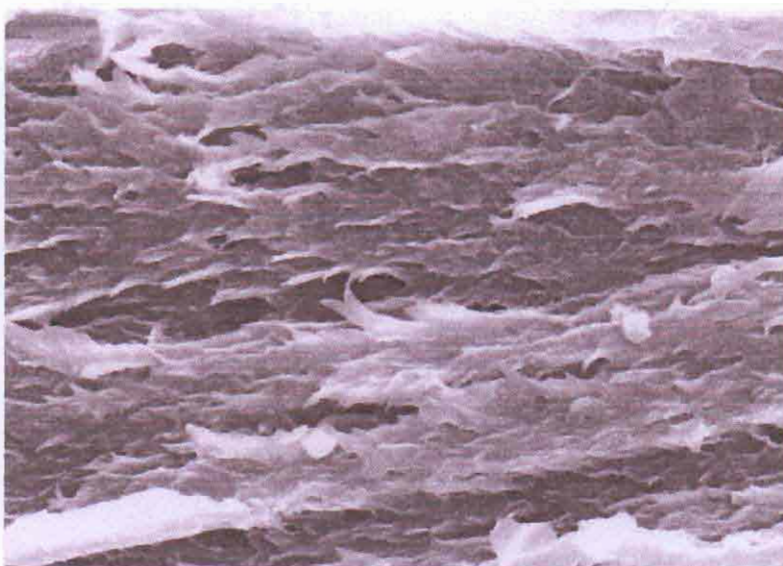
รูปที่ 4.25 SEM Micrograph ของสูตร PNStab/DBLตามแนวการหมุนของตุ๊กกิ้ง
ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.26 SEM Micrograph ของสูตร PN Caแนวขวางการหมุนของตุ๊กกิ้ง
ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

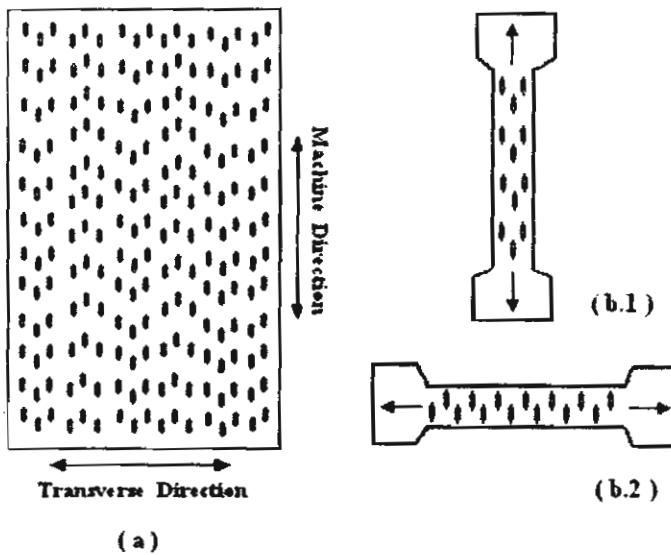


รูปที่ 4.27 SEM Micrograph ของสูตร PN Cd แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง
ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.28 SEM Micrograph ของสูตร PN Stab/DBL แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง
ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

จากการตรวจสอบ Morphology ของ PVC Overlay ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง สูตร PN Stab/DBL รูปที่ 4.25 ชิ้นงานที่ใช้ตรวจสอบ Morphology มีลักษณะของการเกิด Yield ในระหว่างทำการทดสอบ Tensile test เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ PA Stab/Zn ดังรูปที่ 4.24 พบว่า PN Stab/DBL มีการเกิด Yield ที่ชัดเจนกว่า PA Stab/Zn ซึ่งจะเห็นได้ว่า PN Stab/DBL สามารถดึงยืดได้มากกว่า เมื่อพิจารณาแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง จากรูปที่ 4.26 - 4.28 พบว่าสามารถเห็นการเกิด Yield ได้อย่างชัดเจน และสามารถเห็นการเกิด Yield ได้ชัดเจนกว่าตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง ทั้งนี้เพราะการ Fusion ของ PVC ในตามแนวการหมุนของลูกกลิ้งจะเกิดได้มากกว่าแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง ดังนั้นเมื่อถูกดึงและเกิด Yield และเห็นการเกิด Shear band ในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งชัดเจนมากกว่าตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.31 ภาพจำลองลักษณะการเกิด Fusion ของ PVC

- (a) แผ่น PVC Overlay ที่ทั้ง 2 ทิศทางมีการเกิด Fusion ที่แตกต่างกัน
- (b.1) ลักษณะชิ้นตัวอย่างที่ตัดตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง
- (b.2) ลักษณะชิ้นตัวอย่างที่ตัดแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้ง

จากรูปที่ 4.31 เป็นการแสดงภาพจำลองทิศทางการเกิด Fusion ของ PVC ที่เกิดขึ้นในการขึ้นรูปด้วย Two-roll mill ซึ่งจะเห็นได้ว่าการ Fusion ของ PVC จะเกิดมากในแนวการหมุนของลูกกลิ้งเนื่องจากได้รับ Shear ที่มากกว่า แนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งและทิศทางของอนุภาค PVC ที่ fuse จะเป็นไปตามทิศทางการหมุน เมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ จะเป็นดังรูปที่ (b.1) และ (b.2) ซึ่งพบว่าในแนวขวางการหมุนของลูกกลิ้งจะเกิด Shear band ที่มากกว่าตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการงานวิจัยได้มีการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay โดยมีการศึกษาปัจจัยที่เกิดจากประสิทธิภาพการทำงานของ Heat stabilizer ชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการขึ้นรูปแผ่น PVC Overlay โดยใช้น้ำยางธรรมชาติ 2.0 g เป็น Impact modifier กับ CNR 0.1 g เป็นตัวเชื่อมประสาน และมีการเปลี่ยนปริมาณและชนิดของ Heat stabilizer พบว่า แผ่น PVC Overlay ที่ได้ มีสีเหลืองที่แตกต่างกัน แสดงว่า Heat stabilizer แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกันซึ่งมีผลทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่แตกต่างกัน และเมื่อนำ PVC Overlay ไปวัดค่าความเหลือง พบว่ามี PVC Overlay ที่ใช้ Heat stabilizer เป็น Ba/Cd/Zn complex, Stab 2.0 g กับ Dibasic lead stearate, DBL 0.2 g มีค่าความเหลืองที่ใกล้เคียงกับค่าของมาตรฐานมากที่สุด
2. จากการทดสอบ Tensile properties พบว่า PVC Overlay ที่ใช้ Ba/Cd/Zn metal complex, Stab 2.0 g กับ Dibasic lead stearate, DBL 0.2 g เป็น Heat stabilizer มีค่า Yield Stress, % Strain at break และ Young Modulus ที่สูงกว่า PVC Overlay สูตรมาตรฐานที่ผลิตในบริษัท เอเพ็ค พลาสติกส์ จำกัด
3. จากการตรวจสอบ Morphology โดยใช้เทคนิค TEM และ SEM ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ Tensile properties โดยจาก TEM Micrograph จะเห็นว่าอนุภาคน้ำยางที่มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอจะทำให้ PVC Overlay มีความสามารถดึงยึดที่ต่ำกว่าออกไป เห็นได้จาก % Strain at break ที่มีค่าสูงและต่ำ และจาก SEM Micrograph พบว่าในแนวขวางของลูกกลิ้งจะมีการแตกหักที่เห็น Shear band ชัดเจนกว่า ตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง เนื่องมาจากการเกิด Fusion ของ PVC ที่สามารถเกิดตามแนวการหมุนของลูกกลิ้งได้ดีกว่า
4. ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า PVC resin มี % ของน้ำหนักที่หายไปมากกว่า PVC Overlay ที่มีการเติม Heat stabilizer แสดงว่า Heat stabilizer มีผลไปยับยั้งการปลดปล่อย HCl ให้ลดลงได้และยังพบว่าการใช้ Heat stabilizer ผสมกัน 2 ชนิด จะช่วยยับยั้งการปลดปล่อย HCl ได้มากกว่าการใช้ Heat stabilizer เพียงชนิดเดียว

5. จากการทดสอบ วัดค่าความเหลือง สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และการตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคจะได้ว่า การขึ้นรูป PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็นตัวเชื่อมประสาน ที่มีการใช้ Ba/Cd/Zn metal complex, Stab 2.0 g กับ Dibasic lead stearate, DBL 0.2 g เป็น Heat stabilizer จะมีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความเหลืองเกิดขึ้นน้อยที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัย

- ในการผลิต PVC Overlay ที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier และ CNR เป็น ตัวเชื่อมประสาน โดยใช้ Heat stabilizer เป็น Ba/Cd/Zn metal complex, Stab กับ Dibasic lead stearate, DBL สามารถกำจัดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ได้

การนำสูตร PVC Overlay นี้ ใช้สำหรับผลิต PVC Overlay ในโรงงานอุตสาหกรรมจะทำให้สามารถผลิตชนิดของPVC Overlay ได้กว้างขวางขึ้น เช่น ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดที่ใสไม่มีสี หรือ ในการผลิต PVC Overlay ที่มีการเติมสีแบบสีย่อนซึ่งจะทำให้ PVC Overlay มีสีไม่ผิดเพี้ยนไปจากสีที่เติม จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ PVC ที่ต้องการความต้านทานการดึงยึดที่มากและการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier แทน ABS ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิต และ ช่วยเพิ่มมูลค่าน้ำยางธรรมชาติที่เป็นพืชเศรษฐกิจให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย

- จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่เกิดจากประสิทธิภาพของ Heat stabilizer โดยทำการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer แต่กำหนดให้ปริมาณน้ำยางธรรมชาติ และ CNR ที่ใช้นั้นให้มีปริมาณที่คงที่ ซึ่งผลที่ได้คือ เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของ Heat stabilizer เป็น Ba/Cd/Zn Complex, Stab และ Dibasic lead stearate, DBL พบว่า สามารถกำจัดปัญหาของความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ได้ แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของน้ำยางธรรมชาติให้มากขึ้นจากปริมาณเดิมที่ใช้ในงานวิจัยเป็น 3 g และปริมาณ CNR เป็น 0.3 g และใช้ Heat stabilizer เป็น Ba/Cd/Zn Complex, Stab และ Dibasic lead stearate, DBL พบว่า PVC Overlay ที่ได้มีความเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะมีผลมาจากน้ำยางธรรมชาติ ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มในส่วนของความเหลืองในแผ่น PVC Overlay ที่เกิดจากน้ำยางธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปานฤทัย สวัสดิ์, พุกษา เสงี่ยม, ไพลิน เค็อัน, คร.จันทรฉาย ทองปิ่น, “การผลิต PVC Overlay โดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็น Impact modifier”, ปรียญานิพนธ์สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545
- [2] C.T. Ratnam, K. Zaman, “Stabilization of Poly (vinyl chloride) /epoxidized natural rubber (PVC/ENR) blends”, Polymer Degradation and Stability, Vol. 65, 1999, p. 99-105.
- [3] ปานฤทัย สวัสดิ์, พุกษา เสงี่ยม, “เอกสารประกอบการฝึกงานโรงงาน เอเพ็ค พลาสติกส์”, บริษัท เอเพ็ค พลาสติกส์ จำกัด, สมุทรสาคร, 2545
- [4] ปรีชา พหลเทพ, โพลีเมอร์, พิมพ์ครั้งที่ 4, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ, 2536, หน้า 330-332.
- [5] R.H. Burgess, “Manufacture and Processing of PVC”, Macmillan Publishingco, New york, 1982, p. 183-213.
- [6] กุลวดี ตั้งขันนิต, “การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติของขดพิวซีที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่และพิวซีในของผสมระหว่างพิวซีกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในสภาวะหลอม” วิทยานิพนธ์สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546
- [7] R. Gachter, H. Muller, “Plastic Additive Handbook”, 4th Edition, Hanser Publishers, New york, 1993, p. 270-314.
- [8] เสาวรณย์ ช่วยจุลจิตร, “เทคโนโลยีของยาง”, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 1-30.
- [9] L.Mascia, “The role of additives in plastics”, Edward Ainold., London, 1974, p. 23-133
- [10] H.P. Yu, S.D. Li, J.P. Zhong, K. Xu, “Studies of thermooxidation process of chlorinated natural rubber from latex”, Thermochimica Acta, 2004, p.119-124.