



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการแผ่นพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติ

โดย ดร. อโนมา ธิติธรรมวงศ์ และคณะ

กรกฎาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการแผนพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย

ดร. อโนมา ธิติธรรมวงศ์

นายธีรพงศ์ วรระวาท

สังกัด

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ	3
Abstract	3
เนื้อหา	
ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	4
วัตถุประสงค์	5
ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	5
วิธีการทดลอง	
การสังเคราะห์อย่างธรรมชาติอพอกไซค์อะคริเลท	6
การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสง	6
- การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติ และสัดส่วนการเบลนด้อย่างธรรมชาติกับสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน บล็อกโคพอลิเมอร์	6
- การศึกษาชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์	8
- การศึกษาปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์	8
- การศึกษาชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง	9
- การศึกษาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง	9
การใช้งานทำแผ่นพิมพ์ตัวนำ	12
- การทดสอบความคงทนต่อหมึกพิมพ์	12
- การทดสอบความสามารถในการติดหมึกพิมพ์	13
- การทดสอบการสร้างภาพพิมพ์	13
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	
การสังเคราะห์อย่างธรรมชาติอพอกไซค์อะคริเลท	13
การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสง	16
- การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติ และสัดส่วนการเบลนด้อย่างธรรมชาติกับสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน บล็อกโคพอลิเมอร์	16
- การศึกษาชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์	18
- การศึกษาปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์	20

- การศึกษาชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง	21
- การศึกษาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง	24
การใช้งานทำแผ่นพิมพ์ตัวนูน	26
- การทดสอบความคงทนต่อหมึกพิมพ์	26
- การทดสอบความสามารถในการติดหมึกพิมพ์	27
- การทดสอบการสร้างภาพพิมพ์	29
สรุปผลการทดลอง	30
ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ แผ่นพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติ

Relief Printing Plate from Natural Rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ดร. อโนมา ธิติธรรมวงศ์
หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
181 หมู่ 6 ถ. เจริญประดิษฐ์ ต. รุสะมิแล อ. เมือง จ. ปัตตานี 94000
โทรศัพท์ 073-313930-50 ต่อ 1866 โทรสาร 073- 331099
E-mail anoma-t@bunga.pn.psu.ac.th

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นายธีรพงศ์ วรรณาท

งบประมาณทั้งโครงการ 113,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2552 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2553

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

แผ่นพิมพ์ตัวนูนที่มีการใช้งานกันมากในงานตราประทับทั่วไปจนถึงการพิมพ์ในระบบ Flexographic printing บนกล่องกระดาษลูกฟูกและบรรจุภัณฑ์ ทำมาจากพอลิเมอร์ไวแสงที่มีบิลลอกโคพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบ การใช้งานในประเทศไทยยังคงพึ่งพิงการนำเข้าพอลิเมอร์ไวแสงจากต่างประเทศ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการใช้ยางธรรมชาติและยางธรรมชาติดัดแปรโมเลกุลซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่เทียบเคียงได้กับบิลลอกโคพอลิเมอร์มาใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ไวแสงสำหรับทำแผ่นพิมพ์ตัวนูน โดยเบื้องต้นเน้นการใช้งานเป็นตราประทับอย่างง่าย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบและการใช้งานเป็นตราประทับอย่างง่าย

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ไวแสงเพื่อนำไปใช้ทำแผ่นพิมพ์ตัวนูนในการพิมพ์งาน โดยจะทดแทนยางสังเคราะห์บิลลอกโคพอลิเมอร์ด้วยยางธรรมชาติและยางธรรมชาติดัดแปรโมเลกุล สำหรับยางธรรมชาติเลือกใช้อย่างแผ่นรมควัน ยางธรรมชาติดัดแปรโมเลกุลนั้นเลือกใช้อย่างธรรมชาติอพอไซค์ 25 และ 50 โมล% อพอไซค์ (ENR-25, ENR-50) ทางการค้า และยางธรรมชาติอพอไซค์อะคริเลท (AENR) ทดลองเตรียมในห้องปฏิบัติการ ศึกษาผลของเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาอะคริเลชัน และได้ข้อสรุปว่าใช้เวลา 7 ชั่วโมงได้ยาง AENR ที่เหมาะกับการนำไปใช้งานมากที่สุด โดยคาดว่ายางธรรมชาติดัด

แปรโมเลกุลดังกล่าวจะสามารถวัลคาไนซ์โดยไม่ใช้สารอะคริเลทโมโนเมอร์และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง หรือใช้ในปริมาณที่น้อยลง เพื่อลดต้นทุนค่าสารเคมี ในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสง การทดลองจะทำในสถานะสารละลาย โดยทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการเบลนดระหว่างยางกับสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีนบล็อคโคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ศึกษาอิทธิพลของชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์ ได้แก่ 1,6-Hexanediol diacrylate (HDDA) และ Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA) ที่ปริมาณ 5, 10 และ 15 phr และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง Irgacure 184 และ Irgacure 819 ที่ปริมาณ 1.5, 3.0 และ 5.0 phr ต่อสมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงเทียบกับสมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า พบว่าสูตรการเบลนด NR/SIS, ENR-25/SIS, ENR-50/SIS ที่อัตราส่วน 25/75 และสูตร AENR/SIS ที่อัตราส่วน 10/90 ร่วมกับอะคริเลทโมโนเมอร์ TMPTA ปริมาณ 10 phr และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง Irgacure 184 ปริมาณ 5.0 phr ให้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อการหักงอ ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความแข็ง ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า ส่วนการดัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติไม่มีผลต่อความเร็วในการวัลคาไนซ์ และไม่ช่วยลดปริมาณสารเคมีดังสมมติฐานที่วางไว้ นอกจากนี้สูตร AENR/SIS 10/90 เกิดการแตกที่ผิวหน้าอย่างชัดเจนเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในส่วนที่ 1 จึงเลือกเฉพาะสูตรการเบลนด NR/SIS, ENR-25/SIS, ENR-50/SIS ที่อัตราส่วน 25/75 มาทำการทดลองในส่วนที่ 2 คือ การทำแผ่นพิมพ์ตัวนูน เริ่มจากการฉายแสงอัตราไวโอเลตลงบนชั้นพอลิเมอร์ไวแสงที่มีฟิล์มเนกาที่ฟวางอยู่ จากนั้นแยกฟิล์มออกแล้วนำไปล้างในตัวทำละลายเพื่อเอาส่วนที่ไม่วัลคาไนซ์ออก อบพอลิเมอร์ ได้เป็นภาพพิมพ์ตามต้องการ จากนั้นทดสอบสมบัติของแผ่นพิมพ์ตัวนูนในแง่การใช้งาน ได้แก่ ความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ ความสามารถในการพิมพ์ติดหมึก และการสร้างภาพพิมพ์ พบว่าพอลิเมอร์ไวแสงที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบทั้ง 3 สูตรให้สมบัติความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ทั้งชนิดที่มีน้ำและตัวทำละลายเป็นตัวกลาง และความสามารถในการพิมพ์ติดหมึกพิจารณาจากลักษณะการเปียกผิว ลักษณะภาพที่ประทับบนกระดาษชนิดต่างๆ เช่น กระดาษพิมพ์งาน 70 แกรม, การดาษกราฟ 125 และ 230 แกรม และกระดาษวาดรูป 100 ปอนด์ ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า แต่เมื่อนำมาเตรียมเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่เป็นข้อความ สูตร ENR-50 /SIS ไม่สามารถขึ้นภาพได้ ส่วนสูตร ENR-25/SIS ขึ้นภาพได้แต่มีความขรุขระที่ผิวหน้าเกิดขึ้น ขณะที่สูตร NR/SIS สังเกตข้อความด้วยตาจะคมชัดน้อยกว่าแผ่นพิมพ์ตัวนูนทางการค้า อย่างไรก็ตามการทดสอบประทับตราลงบนเอกสารเพื่อใช้งานเหมือนตราประทับพบว่าความคมชัดของข้อความ การเปียกผิวดิน้ำตัวอักษรไม่แตกต่างกันแต่อย่างใด

สรุปผลการวิจัย

พอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ สูตรการเบลนด์ NR/SIS, ENR-25/SIS, ENR-50/SIS ที่อัตราส่วน 25/75 และสูตร AENR/SIS ที่อัตราส่วน 10/90 ร่วมกับอะคริเลทโมโนเมอร์ TMPTA 10 phr และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง Irgacure 184 5.0 phr ให้สมบัติพอลิเมอร์ไวแสง ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อการหักงอ ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความแข็ง ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า แต่การนำมาใช้งานเพื่อทำเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนสำหรับการประทับตราหรือการพิมพ์นั้นสูตรที่เหมาะสมและดีที่สุดในเรื่องความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ ความสามารถในการพิมพ์ติดหมึก และการสร้างภาพพิมพ์ คือ NR/SIS และ ENR-25/SIS แต่ถ้ามองในแง่การผลิตแล้วสูตร NR/SIS จะสามารถเตรียมได้ง่ายกว่า วัตถุดิบยางแผ่นรมควันมีในตลาดมาก และต้นทุนต่ำกว่าการใช้ยาง ENR-25

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ศึกษาเพิ่มเติมผลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติต่อลักษณะภาพพิมพ์ เพื่อให้ได้ภาพพิมพ์ที่คมชัดมากขึ้น

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. ทราบข้อมูลของสภาวะและสูตรการเตรียมแผ่นพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติ
2. ทราบข้อมูลสมบัติของแผ่นพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับแผ่นพิมพ์ตัวนูนจากแผ่นยางไวแสงทางการค้า
3. เพิ่มโอกาสการนำยางธรรมชาติไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ตราประทับอย่างง่ายทดแทนการใช้แผ่นยางไวแสงจากต่างประเทศ

2. บทคัดย่อ

การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสงจากยางธรรมชาติโดยศึกษาชนิดของยาง ได้แก่ ยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 25 และ 50 โมลเปอร์เซนต์อีพอกไซด์ (ENR-25, ENR-50) และยางธรรมชาติอีพอกไซด์อะคริเลท (AENR) เบลนด์ร่วมกับสไตรีน-ไอโซพรีน-ไอโซพรีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (SIS) ที่อัตราส่วนต่างๆ การศึกษาชนิดและปริมาณของอะคริเลทมอนอเมอร์ ชนิดและปริมาณของสารริเริ่มการไวแสง พบว่าการใช้ยาง NR, ENR-25 หรือ ENR-50 เบลนด์กับ SIS ที่สัดส่วน 25/75 ร่วมกับการใช้อะคริเลทมอนอเมอร์ชนิด TMPTA ปริมาณ 10.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 ปริมาณ 5.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ จะให้

พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อการหักงอ ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความแข็งแรงใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า ภายหลังเมื่อนำมาเตรียมเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนให้สมบัติความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ และความสามารถในการพิมพ์ติดหมึกใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าเช่นกัน ขณะที่การสร้างภาพพิมพ์ด้อยกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปลงโครงสร้างทางธรรมชาติให้มีหมู่ฟังก์ชันอะคริเลทไม่ได้ช่วยทำให้พอลิเมอร์ไวแสงสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น

Abstract

Natural rubber based photopolymer was prepared by studying effect of natural rubber type (i.e. natural rubber (NR), epoxidized natural rubber with 25 and 50 mol % epoxides (ENR-25, ENR-50) and acrylated epoxidized natural rubber (AENR)) blended with styrene-isoprene-styrene blockcopolymer (SIS) at various blend ratios. Effects of type and level of acrylate monomers and photoinitiators on properties of photopolymer were also investigated. The photopolymers which were prepared by blending NR/SIS, ENR-25/SIS and ENR-50/SIS at 25/75 part together with 10% of TMPTA monomer and 5% of Irgacure 184 photoinitiator provided properties, i.e., tensile strength, elongation at break, tension set, fatigue resistance, abrasion resistance and hardness that were comparable to those of the commercial one. Relief printing plates were later prepared from natural rubber based photopolymers. Their swelling resistance in ink and printing ability were more or less the same to those of the commercial. Whereas, image making was inferior than that of the commercial. Furthermore, modification of natural rubber to form AENR did not promote cure rate of photopolymer.

3. เนื้อหา

3.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

งานสำนักงานโดยทั่วไปมีการใช้ตราประทับ (STAMPING) เพื่อประทับเอกสารมากมาย เช่น ตราโลโก้บริษัท ตรารับรองสำเนาถูกต้อง ตราลงลายมือชื่อ ตราประทับวันที่ เป็นต้น ซึ่งตราประทับนี้ทำมาจากยางกลุ่มบล็อกโคพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์ขึ้นคอมพาวด์กับสารเคมีต่างๆ เรียกว่า พอลิเมอร์ไวแสง (Photosensitive polymer) ภายในประเทศไทยไม่สามารถผลิตขึ้นเองได้ ต้องนำเข้าแผ่นพอลิเมอร์ไวแสงจากประเทศเยอรมัน ญี่ปุ่น และจีน เป็นหลัก เฉลี่ยต้นทุนเฉพาะค่าแผ่นพอลิเมอร์อยู่ที่ 4.5-9 บาทต่อตารางนิ้ว (ราคาขายในประเทศไทย) ขึ้นอยู่กับ

เกรตลินค้า คุณภาพและผู้ผลิต พอลิเมอร์ไวแสงนี้เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในการทำแผ่นพิมพ์ตัวนูนในระบบ Flexographic printing โดยเฉพาะการพิมพ์ข้อความและลายบนกล่องลูกฟูกซึ่งมีปริมาณการใช้งานเป็นจำนวนมาก เมื่อศึกษาถึงโครงสร้างและองค์ประกอบภายในพบว่า เป็นบล็อกโคพอลิเมอร์และมีสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันอะคริเลต (Acrylate functionality) อยู่ ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติให้มีหมู่อีพอกไซด์และหมู่อะคริเลตเกิดขึ้นคอมปาวด์สารเคมี และใช้เป็นวัตถุดิบร่วมในการเตรียมแผ่นพอลิเมอร์ไวแสงต่อไป โดยมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้และการนำไปใช้งานเป็นตราประทับอย่างง่าย ซึ่งหากผลงานวิจัยได้ผลการทดลองที่ดีเทียบเท่าแผ่นพอลิเมอร์ไวแสงในทางการค้าก็จะขยายระดับการศึกษาต่อไปเพื่อพัฒนาไปสู่การใช้งานในอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องลูกฟูก

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบและการใช้งานเป็นตราประทับอย่างง่าย

3.3 ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

พอลิเมอร์ไวแสง (Photosensitive polymer) ที่ใช้ในการทำตราประทับและแผ่นพิมพ์ตัวนูนเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นคอมปาวด์กับสารเคมีต่างๆ เพื่อให้โครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยแสงอัลตราไวโอเลตได้ เมื่อทำการศึกษาถึงโครงสร้างและองค์ประกอบภายในพบว่า เป็นบล็อกโคพอลิเมอร์จำพวกไดบล็อกหรือไตรบล็อกที่มีสไตรีนเป็นเฟสพลาสติกและมีสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันอะคริเลต (Acrylate functionality) อยู่ (Sadayoshi *et al.*, 1991, Wang and Paul, 1995, Masahiro and Shusaku, 2008) จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้พบว่ายางธรรมชาติสามารถนำมาทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะด้วยแสงอัลตราไวโอเลตได้โดยการดัดแปลงโครงสร้างยางธรรมชาติเป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาอะคริเลชันผ่านการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ได้เป็นยางธรรมชาติอะคริเลต (Acrylated Natural Rubber; ANR or Acrylated Epoxidized Natural Rubber; AENR) (Pinyocheep and Duangthong, 2000, Xuan and Decker, 2003, Thonhpin *et al.*, 2005 and Kwanwimng *et al.*, 2007) หรือการเตรียมในรูปยางธรรมชาติคลอรีนเตผ่าน hydroxyl rubber แล้วทำปฏิกิริยาอะคริเลชันก็ได้ (Thames and He, 1995 and 2002) ซึ่งผลจากการดัดแปลงโครงสร้างดังกล่าวทำให้ลดปริมาณการใช้โมโนเมอร์ที่มีหมู่อะคริเลตในสูตรยางลง สำหรับการใช้นิยมนำยางดังกล่าวไปเตรียมเป็นสารเคลือบผิว สีและสารยึดติด ไม่พบงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ยางดังกล่าวในการเตรียมเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนแต่อย่างใด จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติให้มีหมู่อีพอกไซด์และหมู่อะคริ

เลขเข้ามาเป็นพอลิเมอร์ร่วมกับสไตรีนบล็อกโคพอลิเมอร์ในสูตรพอลิเมอร์ไวแสงสำหรับทำแผ่นพิมพ์
ตัวนูน โดยมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้และการนำไปใช้งานเป็นตราประทับอย่างง่ายซึ่งหากผลงาน
วิจัยได้ผลการทดลองที่ดีเทียบเท่าแผ่นพอลิเมอร์ไวแสงในทางการค้าก็จะขยายระดับการศึกษาต่อไปเพื่อ
ให้พัฒนาไปสู่การใช้งานในอุตสาหกรรมการพิมพ์กล่องลูกฟูก

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์อะคริเลท (Acrylated Epoxidized Natural Rubber; AENR)

การนำสารละลายยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50% mol มาทำปฏิกิริยา Acrylation กับกรด
อะคริลิกปริมาณ 25% ของเนื้อยางแห้ง ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างยาง
AENR ที่เวลาต่างๆ จับตัวน้ำยางตัวอย่างด้วยเมทานอล นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เพื่อ
ระเหย เมทานอลที่คงเหลืออยู่ จากนั้นนำยางไปละลายในโทลูอีนและจับตัวน้ำยางซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้
แน่ใจว่ากำจัดกรดอะคริลิกที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและตกค้างอยู่ในเนื้อยางออกหมด ล้างด้วยน้ำสะอาด อบ
ยาง AENR จนแห้งสนิท นำไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR

3.4.2 การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสง

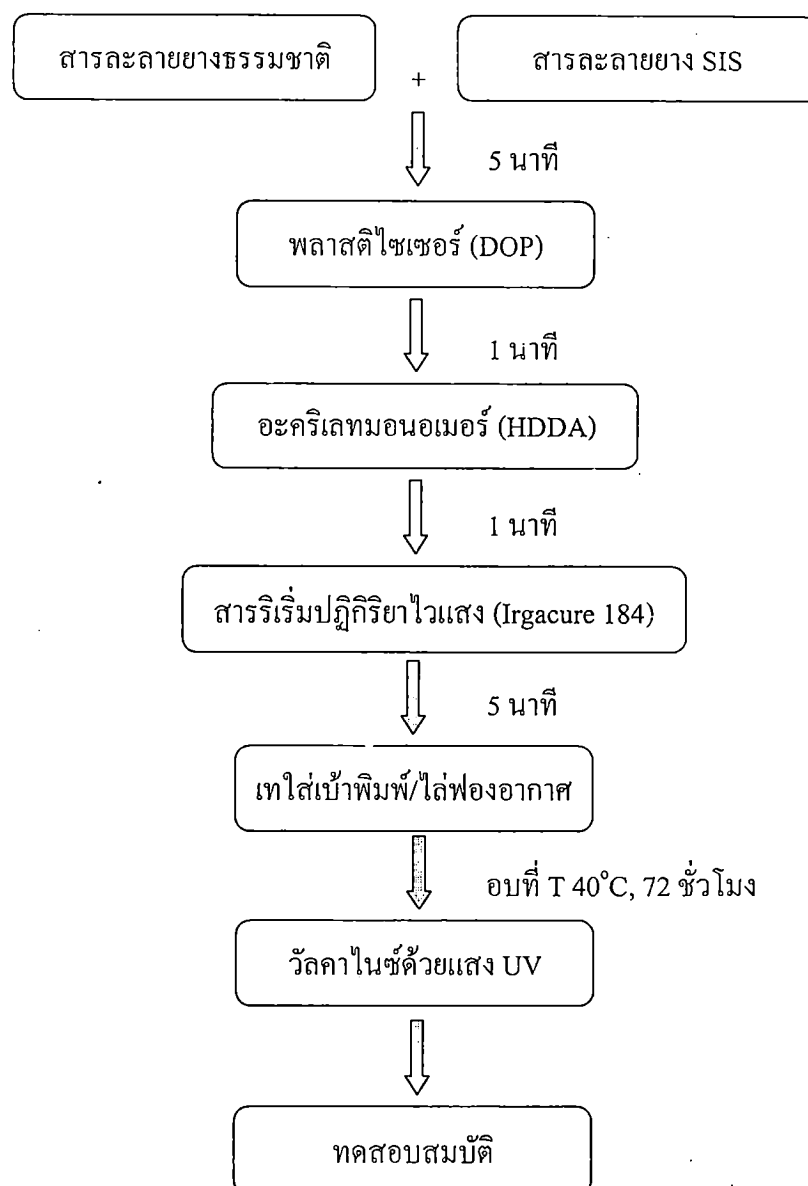
ยางธรรมชาติทุกชนิดที่ทำการศึกษจะถูกเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายยางในตัวทำละลายโทลู
อีน ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20%

3.4.2.1 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติ และสัดส่วนการเบลนด้อยางธรรมชาติ กับสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน บล็อกโคพอลิเมอร์

นำสารละลายยางธรรมชาติ (NR) สารละลายยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR-25, ENR-
50) หรือสารละลายยาง AENR มาผสมกับสารละลายยางสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีนบล็อกโคพอลิ
เมอร์ (SIS) (40% เนื้อยางแห้ง) ที่อุณหภูมิห้อง โดยแปรสัดส่วนการเบลนด้อยาง ดังนี้ 0:100, 10:90,
25:75, 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงผสมสารละลายยางเข้ากับสารเคมีตามสูตรที่ปรากฏใน
ตารางที่ 1 และลำดับการผสมในรูปที่ 1 นำสารละลายยางที่ผสมได้เทใส่เข้าพิมพ์ ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ฟองอากาศในสารละลายยางออกก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 72
ชั่วโมง ทำการวัดคาบในช่วงไวแสงที่ได้ด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (หมายเหตุ* เวลาที่ใช้ในการ
ฉายแสงอัลตราไวโอเลตจะไม่เท่ากันในแต่ละสูตร โดยจะใช้เวลาที่ได้ศึกษามาแล้วว่าเป็นเวลา (นาที) ที่
ทำให้ชั้นตัวอย่างเกิดการวัดคาบในช่วง 100% อธิบายในหัวข้อ 3.4.2.6 (1)) จากนั้นตัดชิ้นทดสอบ
ก่อนนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดยางและสัดส่วนของยางกับ SIS

Ingredients	Quantity (phr)				
Rubber (part)	0	10	25	50	75
SIS (part)	100	90	75	50	25
1,6-Hexanediol diacrylate; HDDA	10	10	10	10	10
1-Hydroxycyclohexyl phenylketone; Irgacure 184	5	5	5	5	5
Diocetyl phthalate; DOP	10	10	10	10	10



รูปที่ 1. ลำดับขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรชนิดยางธรรมชาติและสัดส่วนการเบลนด์

3.4.2.2 การศึกษาชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์

เลือกใช้สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรชนิดของยางธรรมชาติและสัดส่วนการเบลนด์ซึ่งมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าจากหัวข้อ 3.4.2.1 มาศึกษาอิทธิพลของชนิดของอะคริเลทโมโนเมอร์เปรียบเทียบระหว่าง 1,6-Hexanediol diacrylate (HDDA) และ Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA) ต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิเมอร์ไวแสง โดยมีขั้นตอนการผสมดังรูปที่ 1 และสูตรพอลิเมอร์ไวแสงแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์

Ingredients	Quantity (phr)			
Rubber (part)				
NR (or ENR-25, ENR-50)	25	25	-	-
AENR	-	-	10	10
SIS (part)	75	75	90	90
HDDA	10	-	10	-
TMPMA	-	10	-	10
Irgacure 184	5	5	5	5
DOP	10	10	10	10

3.4.2.3 การศึกษาปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์

เลือกใช้ชนิดของอะคริเลทมอนอเมอร์ที่ให้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าจากการทดลองหัวข้อ 3.4.2.2 มาศึกษาอิทธิพลของปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์ 3 ระดับ คือ 10, 15 และ 20 phr โดยมีขั้นตอนการผสมดังรูปที่ 1 และสูตรพอลิเมอร์ไวแสงแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์

Ingredients	Quantity (phr)					
Rubber (part)						
NR (or ENR-25, ENR-50)	25	25	25	-	-	-
AENR	-	-	-	10	10	10

SIS (part)	75	75	75	90	90	90
TMPMA	5	10	15	5	10	15
Irgacure 184	5	5	5	5	5	5
DOP	10	10	10	10	10	10

3.4.2.4 การศึกษาชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

เลือกใช้อะคริเลทโมโนเมอร์ที่ให้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าจากการทดลองหัวข้อ 3.4.2.3 มาศึกษาอิทธิพลของชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง 2 ชนิด คือ 1-Hydroxycyclohexyl phenylketone (Irgacure 184) และ bis-acylphosphine oxide (Irgacure 819) โดยมีขั้นตอนการผสมดังรูปที่ 1 และสูตรเคมีดังตารางที่ 4 พอลิเมอร์ไวแสงที่ได้จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 4 สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

Ingredients	Quantity (phr)			
Rubber (part)				
NR (or ENR-25, ENR-50)	25	25	-	-
AENR	-	-	10	10
SIS (part)	75	75	90	90
TMPMA	10	10	10	10
Irgacure 184	5	-	5	-
Irgacure 819	-	5	-	5
DOP	10	10	10	10

3.4.2.5 การศึกษาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

เลือกใช้ชนิดและปริมาณของอะคริเลทโมโนเมอร์ และชนิดของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงที่ให้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าจากการทดลองก่อนหน้านี้ มาศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง 3 ระดับ คือ 1.5, 3.0 และ 5.0 phr โดยมีขั้นตอนการผสมดังรูปที่ 1 และสูตรเคมีดังตารางที่ 5 พอลิเมอร์ไวแสงที่ได้จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 5 สูตรพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

Ingredients	Quantity (phr)					
Rubber (part)						
NR (or ENR-25, ENR-50)	25	25	25	-	-	-
AENR	-	-	-	10	10	10
SIS (part)	75	75	75	90	90	90
TMPMA	10	10	10	10	10	10
Irgacure 184	1.5	3.0	5.0	1.5	3.0	5.0
DOP	10	10	10	10	10	10

3.4.2.6 การทดสอบสมบัติ

(1) การทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์พอลิเมอร์ไวแสง

นำตัวอย่างพอลิเมอร์ไวแสงที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลาต่างๆ มาชั่งน้ำหนักให้ได้ค่าที่แน่นอน (มิลลิกรัม) ก่อนนำไปแช่ในตัวทำละลายโทลูอีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างออก ซับผิวหน้าให้แห้งด้วยเยื่อกระดาษลิโน อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่อบจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ค่าที่แน่นอนอีกครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การวัลคาไนซ์โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Cure} = [(M_0 - M_1) / M_0] \times 100$$

เมื่อ M_0 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบเริ่มต้น (g)

M_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (g)

เวลาที่ใช้ในการฉายแสงเพื่อวัลคาไนซ์พอลิเมอร์ไวแสง คือ เวลาที่พอลิเมอร์วัลคาไนซ์ได้ 100 % โดยที่น้ำหนักของพอลิเมอร์ไวแสงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไป

(2) การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile test)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412-00 โดยเตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปคัมเบลล์ ดังรูปที่ 2 ขนาดความยาว 115.0 mm. กว้าง 25.0 ± 1.0 mm. ความยาวช่วงคอคอด 33.0 ± 0.1 mm. ความกว้างช่วงคอคอด 6.0 ± 0.1 mm. มีความหนาไม่ต่ำกว่า 1.5 mm. แต่ไม่เกิน 3 mm. ระยะที่ใช้วัด (Gauge length) มีระยะห่าง 25 mm. นำชิ้นทดสอบมาจับด้วยตัวยึดจับ (Grip) เครื่อง Tensometer

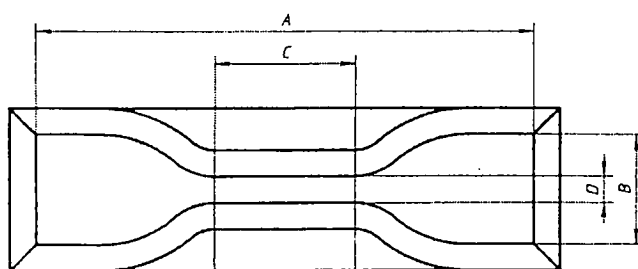
โดยวางตัวอย่างให้ได้แนวกลางของที่จับเพื่อให้แรงกระจายอย่างสมดุล ยึดออกด้วยความเร็ว 500 ± 50 mm/min จนขึ้นทดสอบขาดบันทึกค่าแรงและระยะยืดที่ขึ้นทดสอบขาด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Tensile Strength} = F/A \quad (\text{MPa})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (N), A คือ พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

$$\text{Elongation at break} = (L-L_0)/L_0 \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อ L คือ ระยะยืดขณะขึ้นทดสอบขาด (mm.), L_0 คือ ระยะกำหนดเริ่มต้นก่อนดึง (mm.)



รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นตัวอย่างดัมเบลล์

(3) การทดสอบความสามารถในการคืนรูป (Tension set)

การทดสอบหาความสามารถในการคืนตัวในรูปแบบของ Tension set ตามมาตรฐาน ASTM D412-00 โดยนำขึ้นทดสอบขนาดเดียวกันกับการทดสอบในข้อ (2) มาจับด้วยตัวยึดจับ (Grip) เครื่อง Tensometer โดยวางตัวอย่างให้ได้แนวกลางของที่จับเพื่อให้แรงกระจายอย่างสมดุล ยึดออกด้วยความเร็ว 500 ± 50 mm/min จนยึดออกได้ระยะ 100% ปลดปล่อยทิ้งไว้ยางยืดในระยะนี้เป็นเวลานาน 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา 10 min ปลดปล่อย grip ให้ขึ้นทดสอบคืนตัวกลับเข้าสู่รูปเดิม ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 10 นาที แล้ววัดระยะห่างระหว่างรอยที่ขีดไว้ตั้งแต่ต้น คำนวณหา % Tension set ได้จากสมการดังนี้

$$\text{Tension set (\%)} = 100 \times (L-L_0) / L_0$$

โดยที่ L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนขึ้นทดสอบหลังจากตั้งไว้ 10 min (mm)

L_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ (mm)

(4) การทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness)

ทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็งโดยใช้ Durometer แบบ Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D 2240-00 ชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 8 mm. กดให้เป็นของเครื่องทดสอบสัมผัสกับหน้ายางโดยตลอด ทำการทดสอบ 3 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นวัดความแข็ง 5 จุด ใช้ค่ากลางของข้อมูล (median) เป็นความแข็งของตัวอย่างที่ทดสอบ

(5) การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Taber

การทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ISO 5470 เตรียมชิ้นทดสอบและชั่งน้ำหนักให้ได้ค่าที่แน่นอน (mg) ยึดตัวอย่างไว้บนจานหมุน ใช้ลูกกลิ้งเบอร์ H 18 ปลอຍให้ล้อสัมผัสผิวหน้าชิ้นทดสอบ น้ำหนักที่ใช้กดเท่ากับ 100 g ปรับให้ปลายท่อคูดห่างจากผิวหน้าชิ้นทดสอบ 1.00-1.50 mm. ตั้งให้ชุดได้ร้อยละ 70 ตั้งเครื่องทดสอบให้เดิน 1000 รอบ เมื่อเดินเครื่องครบ 1000 รอบ นำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบอีก 1000 รอบ ชั่งน้ำหนักที่หายไปอีกครั้งหนึ่ง รายงานผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Taber Abrasion loss} = [(M_0 - M_1) / 2000] \times 1000 \quad (\text{mg/cycle})$$

เมื่อ M_0 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบเริ่มต้น (g)

M_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบครบ 2000 รอบ (g)

(6) การทดสอบความต้านทานต่อการหักงอด้วยเครื่อง De Mattia Flexing

Machine

ทำการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 430-00 โดยนำชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 25.0 x 150.0 x 6.35 mm. มีการบากเป็นครึ่งวงกลม (circular groove) ที่กึ่งกลางชิ้นทดสอบ รัศมี 2.39 mm. มาทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ โดยเริ่มต้นจากการปรับระยะห่างที่ใกล้ที่สุดของที่จับทั้งสองด้านให้เท่ากับ 13 mm. ใส่ตัวอย่างชิ้นทดสอบโดยยึดปลายทั้งสองข้างกับที่จับของเครื่องทดสอบ ให้มีระยะยึดไม่เกิน 25% ของการยึดจนขาด กรณีชิ้นทดสอบมีความอ่อนตัวสามารถยึดได้มากเป็นพิเศษให้ยึดได้ไม่เกิน 125% เดินเครื่องทดสอบ บันทึกจำนวนรอบ (Cycles) ที่ทำให้ขาด ในการทดลองทดสอบ 3 ชิ้นตัวอย่าง และรายงานค่าเฉลี่ย

3.4.3 การใช้งานแผ่นพิมพ์ตัวนูน

3.4.3.1 การทดสอบความคงทนต่อหมึกพิมพ์

ทำการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 471-00 นำพอลิเมอร์ไวแสงที่วัลคาไนซ์แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ค่าที่แน่นอน (mg) นำชิ้นทดสอบไปแช่ในหมึกพิมพ์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่

อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลานำพอลิเมอร์ไวแสงมาชั่งหนักที่ผิวหน้าด้วยเยื่อกระดาษลินิน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ค่าที่แน่นอน (mg) หาค่าการบวมพองของพอลิเมอร์ไวแสงโดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองของพอลิเมอร์ไวแสง} = [(M_1 - M_0) / M_0] \times 100$$

เมื่อ M_0 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบเริ่มต้น (g)

M_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่หมึกพิมพ์ (g)

3.4.3.2 การทดสอบความสามารถในการติดหมึกพิมพ์

นำพอลิเมอร์ไวแสงที่วัลคาไนซ์แล้วมาทดสอบโดยจุ่มหมึกแล้วประทับลงไปบนกระดาษเพื่อดูความคมชัดของหมึกพิมพ์ที่ได้ และลักษณะปรากฏของภาพพิมพ์ โดยการทดสอบจะใช้หมึกพิมพ์ 2 ชนิด คือ หมึกที่น้ำเป็นตัวกลาง และหมึกที่มีตัวทำละลายเป็นตัวกลาง (2 ชนิด) และเลือกใช้กระดาษ 4 ชนิด คือ กระดาษถ่ายเอกสารสีขาว กระดาษร้อยปอนด์ กระดาษคราฟท์ 125 และกระดาษคราฟท์ 230

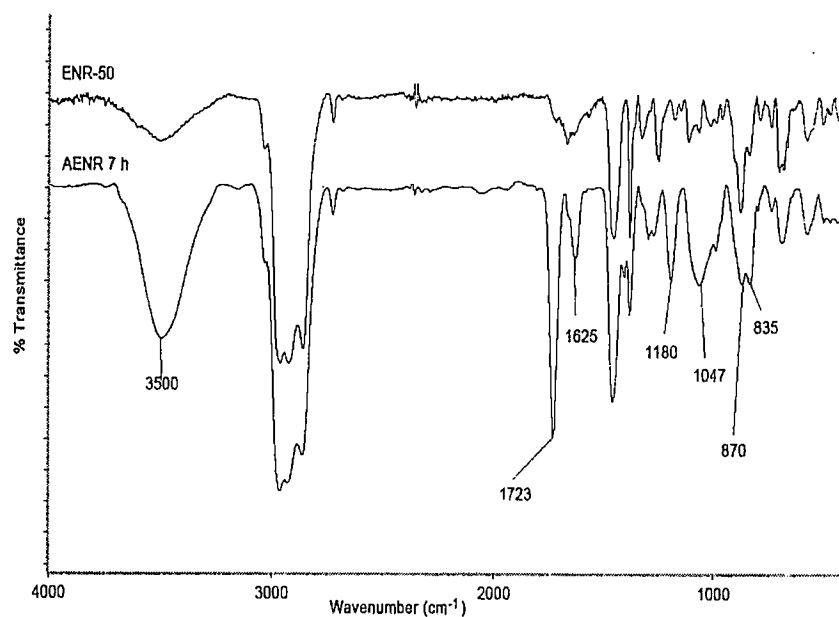
3.4.3.3 การทดสอบการสร้างภาพพิมพ์

ในขั้นตอนการสร้างภาพพิมพ์เพื่อให้พอลิเมอร์ไวแสงเป็นภาพพิมพ์ตัวนูน เริ่มต้นจากการนำฟิล์มภาพหรือข้อความที่ต้องการในรูปแบบของฟิล์มเนกาทีฟ (ภาพกลับด้านตัวอักษร) มาวางลงบนพอลิเมอร์ไวแสง จากนั้นนำไปฉายแสงอัลตราไวโอเลต โดยจะฉายแสงหลังเพื่อสร้างฐาน (base) ของแผ่นพิมพ์ตัวนูนก่อน โดยระยะเวลาในการฉายแสงจะเท่ากับเวลาที่ทำให้ฐานมีความหนา 50% ของความหนาพอลิเมอร์ไวแสงเริ่มต้น เมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนมาเป็นฉายแสงบน (การฉายแสงลงบนด้านที่มีฟิล์มอยู่) เป็นเวลาเท่ากับเวลาการฉายแสงหลัง หลังจากนั้นลอกเอาแผ่นฟิล์มออก นำยางที่ได้ไปขัดล้างส่วนของพอลิเมอร์ไวแสงที่ไม่วัลคาไนซ์ออก (ส่วนที่ไม่ถูกแสงอัลตราไวโอเลต) ในตัวทำละลายโทลูอีน อบพอลิเมอร์ที่ขัดล้างในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้แผ่นพิมพ์ตัวนูนที่มีภาพหรือข้อความที่ต้องการ

3.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.5.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์อะคริเลท (Acrylated Epoxidized Natural Rubber; AENR)

การทำปฏิกิริยาอะคริเลชันยาง ENR-50 ด้วยกรดอะคริลิกในสภาวะสารละลาย ศึกษาอิทธิพลของเวลาการทำปฏิกิริยา ที่เวลา 3, 7, 12, 15, และ 24 ชั่วโมง เมื่อสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลการทดลองดังนี้

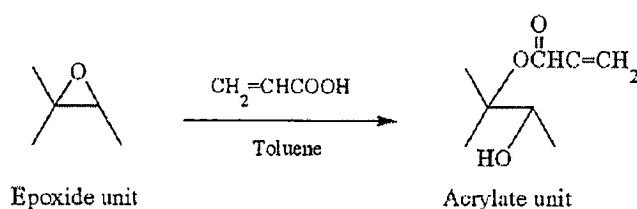


รูปที่ 3 สเปกตรัม
อินฟราเรดของยาง ENR-
50 และยาง AENR ที่ทำ
ปฏิกิริยาอะคริเลชัน 7 h

จากรูปที่ 3 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจากสเปกตรัมได้ดังตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาอะคริเลชันยาง ENR-50 ด้วยกรดอะคริลิกในสภาวะสารละลายจะปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1723, 1180 และ 1047 cm^{-1} เพิ่มขึ้นมา ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสันแบบยัดของพันธะ C=O และ C-O ของหมู่อะคริเลตที่เกาะติดอยู่บนโครงสร้างของยาง AENR-7 โดยมีปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 6 แถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของยาง ENR-50 และยาง AENR-7

Functional Groups	Wave number (cm^{-1})	
	ENR-50	AENR-7
OH stretching	3500	3500
=CH and C-H stretching of CH_2, CH_3	3028-2850	2028-2850
C=O stretching	-	1723
C=C stretching of $\text{RCH}=\text{CH}_2$	1660	1625
C-O stretching	-	1180
C-O stretching of hydroxyl ester	-	1047
Oxirane ring stretching	870	870
C-H wagging of 1,4-isoprene unit	835	835

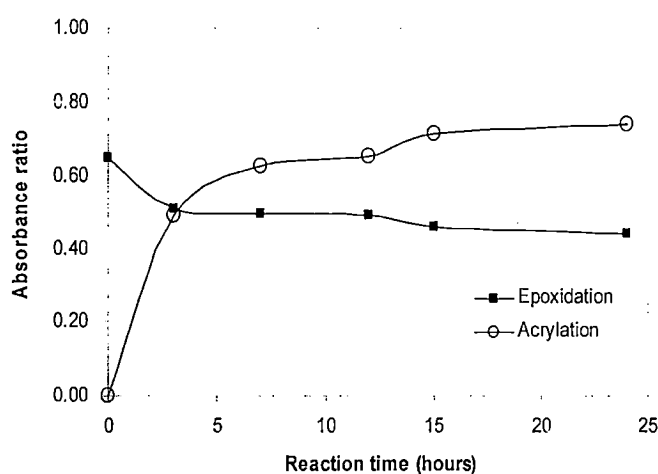


รูปที่ 4 ปฏิกริยาอะคริเลชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Chaisuriyathepkul *et al*, 2008)

การศึกษาผลของเวลาการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณอะคริเลชันที่เกิดขึ้นในยาง AENR โดยการคำนวณหาค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสเปกตรตามสมการที่ 1

$$\text{Absorbance ratio} = \frac{A_{1723}}{A_{1723} + A_{870}} \quad (1)$$

เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันได้ผลดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเวลาการทำปฏิกิริยาอะคริเลชันเพิ่มสูงขึ้น ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของหมู่เอคริเลทในยาง AENR จะเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของหมู่อีพอกไซด์จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยาที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งกรดอะคริลิกจะเข้าทำปฏิกิริยาอะคริเลชันตรงตำแหน่งวงแหวนอีพอกไซด์ที่เปิดออก เป็นผลให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ลดลงซึ่งสังเกตได้จากตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} ของยาง AENR มีความสูงลดลง ขณะเดียวกันมีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณการสั่นแบบยืดของหมู่ OH ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3500 cm^{-1} และสัญญาณการสั่นของหมู่ C=O และ C-O ซึ่งเกี่ยวข้องกับหมู่ฟังก์ชันอะคริเลทดังที่อธิบายข้างต้น



รูปที่ 5 ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของหมู่อีพอกไซด์และหมู่เอคริเลท

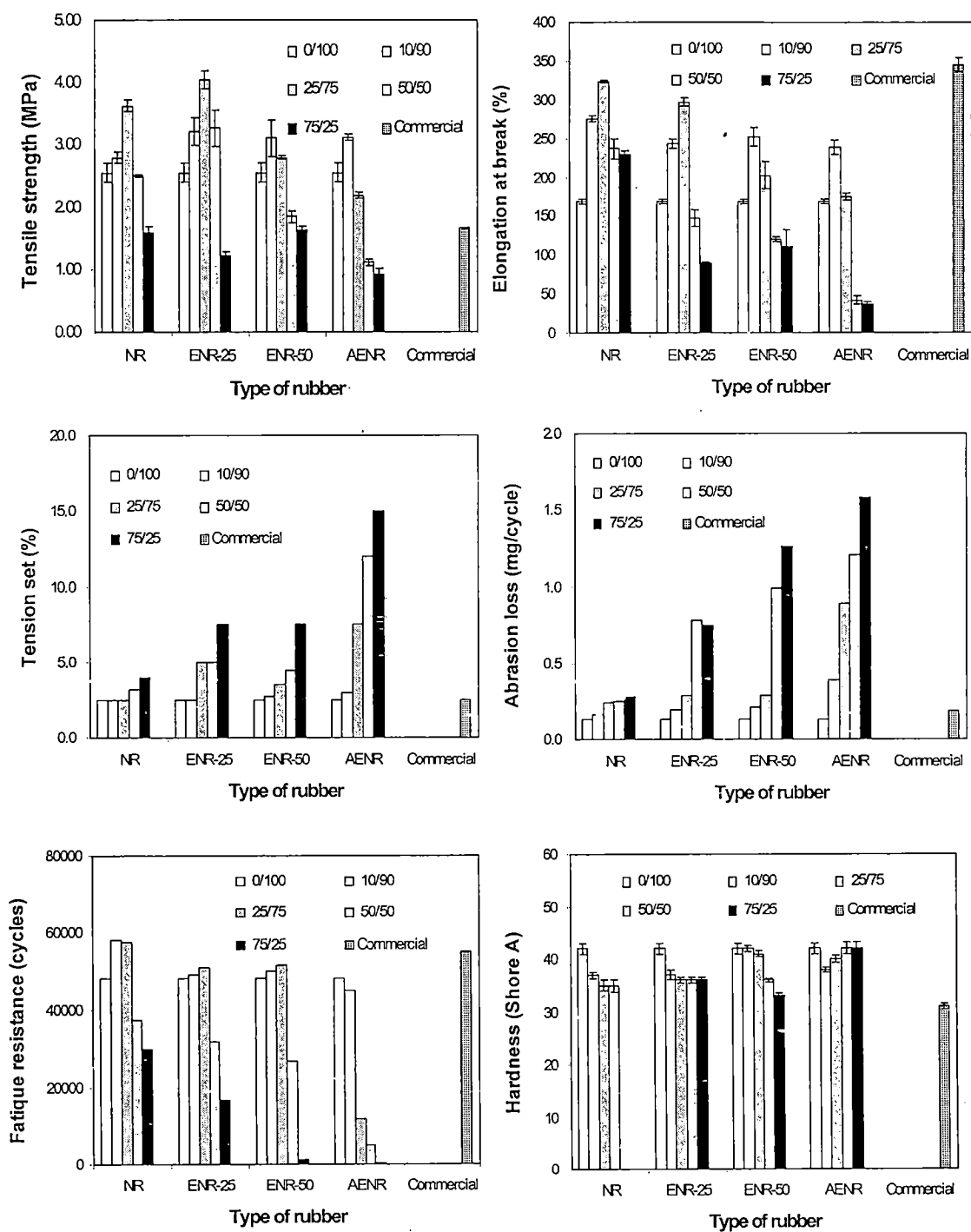
สำหรับความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาอะคริเลชันพบว่าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นปฏิกิริยาอะคริเลชันจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่ที่เวลาทำปฏิกิริยา 15 ชั่วโมง ซึ่ง

ในการทดลองนี้เลือกเวลาทำปฏิกิริยาอะคริเลชันที่ 7 ชั่วโมง ในการเตรียมยาง AENR เพื่อใช้ในการทดลองส่วนถัดไป ทั้งนี้เพราะลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มยาง AENR ที่เวลาทำปฏิกิริยาที่ 12 ชั่วโมง เป็นต้นไปมีลักษณะไม่ยืดหยุ่น แข็งเปราะและขาดได้ง่าย จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้เตรียมพอลิเมอร์ไวแสงที่ต้องการสมบัติยืดหยุ่น ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลา 7 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสม

3.5.2 การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสง

3.5.2.1 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติ และสัดส่วนการเบลนด้ายธรรมชาติ กับสไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน บล็อกโคพอลิเมอร์

การทดสอบสมบัติเชิงกลและความแข็งแรงของพอลิเมอร์ไวแสงที่เตรียมกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าได้ผลดังรูปที่ 6 เมื่อดูภาพรวมของสมบัติพบว่าสัดส่วนยางที่เหมาะสมในการเบลนด์จะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง โดยยาง NR, ENR-25 และ ENR-50 สัดส่วนที่ควรใช้ คือ 10-25 ส่วน ขณะที่ยาง AENR นั้น จะเป็น 10 ส่วน การใช้ยางทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวสูงกว่าสัดส่วนที่ระบุไว้จะทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างยางกับ SIS ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างทางสภาพผิวและความหนืดขององค์ประกอบ เมื่อทำการทดสอบสมบัติจึงค่อยลง โดยเฉพาะความต้านทานต่อการหักงอและความต้านทานต่อการสึกหรอที่เป็นสมบัติเด่นของการใช้งานพอลิเมอร์ไวแสง ขณะที่ยาง AENR ที่มากกว่า 10 ส่วนจะพบการเกิดรอยแตกที่ผิวหน้าพอลิเมอร์ไวแสงอย่างชัดเจน เนื่องจากการมีหมู่ฟังก์ชันอะคริเลทจะทำให้ยาง AENR มีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบชนิดของยางการใช้ยางที่มีขั้วอย่าง ENR-25, ENR-50 และ AENR สมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงจะดีกว่าการใช้ยาง NR ทั้งนี้เพราะหมู่ออกซิเจนและหมู่อะคริเลทจะไปเพิ่มความแข็งแรงของสายโซ่ สมบัติที่แสดงพฤติกรรมแบบออสติกของพอลิเมอร์ไวแสงจึงลดลงอย่างชัดเจน

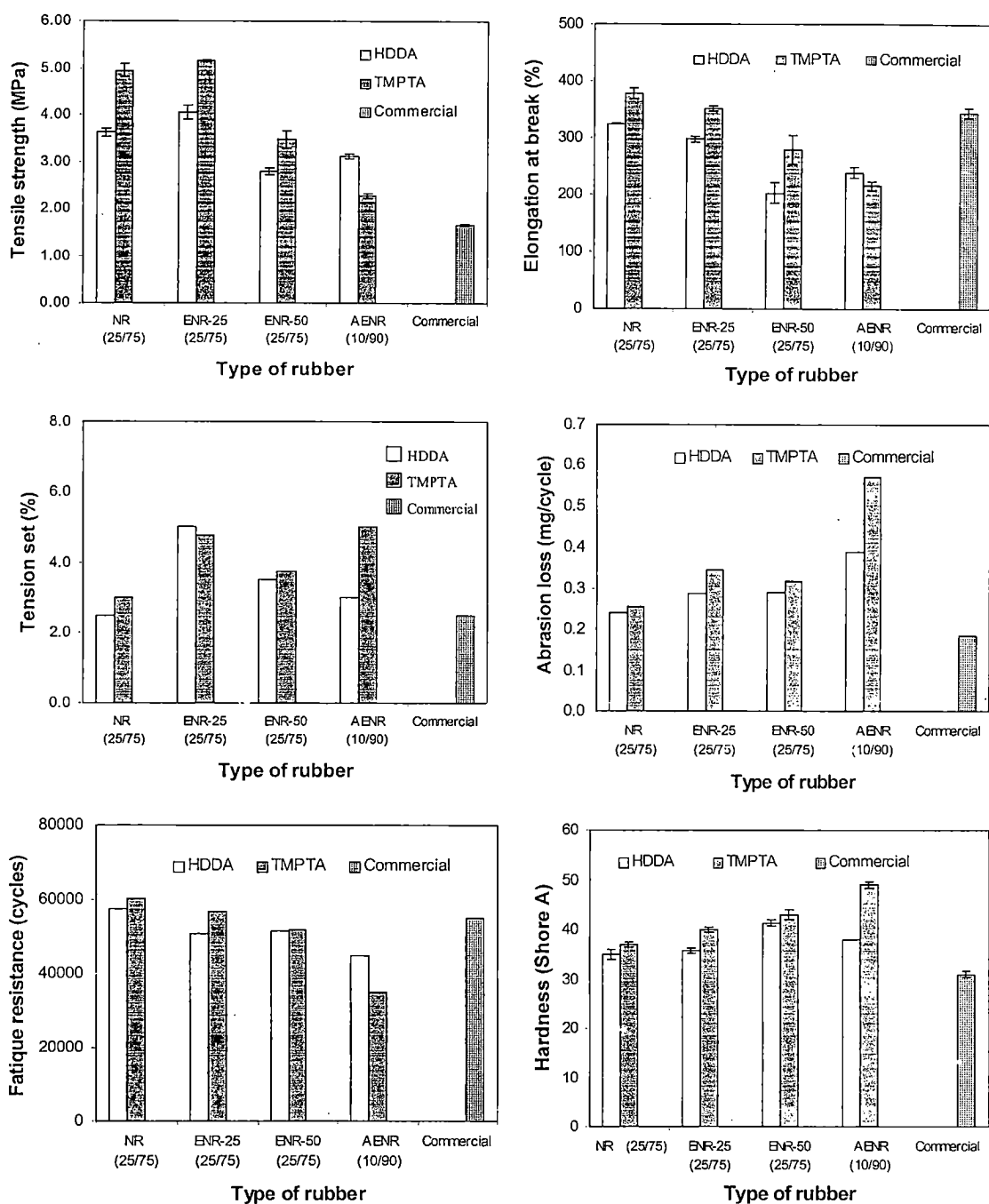


รูปที่ 6 สมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรชนิดของยางและอัตราส่วนการเบลนด์

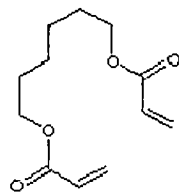
3.5.2.2 การศึกษาชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์

จากการทดลองในหัวข้อ 3.5.2.1 จึงเลือกพอลิเมอร์ไวแสงสูตรที่ใช้อัตราส่วนการเบลนด์ระหว่างยาง NR (หรือ ENR-25, ENR-50) ต่อ SIS เท่ากับ 25/75 ขณะที่สูตรของยาง AENR/SIS จะศึกษาที่อัตราส่วนการเบลนด์เท่ากับ 10/90 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการใช้ยางธรรมชาติมากที่สุดโดยที่สมบัติโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยในการทดลองนี้ศึกษาอิทธิพลของชนิดของอะคริเลทโมโนเมอร์เปรียบเทียบระหว่าง 1,6-Hexanediol diacrylate (HDDA) และ Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA) ต่อสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์ไวแสง ได้ผลดังรูปที่ 7 การศึกษาผลของชนิดโมโนเมอร์พบว่า โมโนเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมีโครงสร้างที่ต่างกัน ดังรูปที่ 8

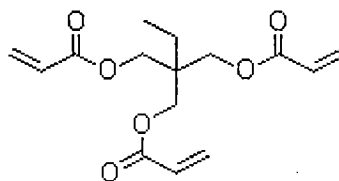
โดย TMPTA มีโครงสร้างที่เป็นแบบ Tri-functional acrylate monomer ซึ่งเมื่อพอลิเมอร์ไวแสงได้รับแสงอัลตราไวโอเลตขณะฉายแสง สารริเริ่มปฏิกิริยา (Irgacure 184) จะเกิดการแตกตัวเป็นเรดิคัลที่ว่องไวไปดึงไฮโดรเจนอะตอมจากสายโซ่หลักของโมเลกุลยาง จากนั้นจะเกิดการทำปฏิกิริยาของอะคริเลทโมโนเมอร์ TMPTA กับสายโซ่หลักของยางตรงตำแหน่งที่ว่องไว กรณีของ TMPTA เนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบ Tri-functional จะส่งผลให้เกิดเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นที่มีปลายของสายโซ่ที่มากกราฟต์เป็นพันธะคู่ที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาเหลืออีก 2 ปลาย ดังนั้นการเชื่อมโยงกับสายโซ่โมเลกุลยางด้วยกันก็จะได้พันธะเชื่อมโยงแบบ star crosslink ที่หนาแน่นมากกว่ากรณีของโมโนเมอร์ HDDA ที่โครงสร้างเป็นแบบ Di-functional acrylate monomer ที่จะเกิดพันธะเชื่อมโยงแบบปกติ พันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจะช่วยลดการแยกชั้นระหว่างองค์ประกอบยางกับ SIS ดังนั้นพอลิเมอร์ไวแสงจึงมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อรวมกับการที่มอโนเมอร์ TMPTA เป็นสารที่มีความแข็ง ความหนืดสูงและค่า Tg สูงกว่า HDDA (ค่า Tg ของ TMPTA เท่ากับ 62°C, ค่า Tg ของ HDDA เท่ากับ 43°C) จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้พอลิเมอร์ไวแสงมีสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยึดจนขาด ความต้านทานต่อการหักงอ และความแข็งเพิ่มขึ้น ขณะที่ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความสามารถในการคืนรูปด้อยลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในกรณีของ AENR/SIS ที่อัตราส่วน 10/90 สมบัติกลับด้อยลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นเพราะว่ายาง AENR มีความแข็ง เพราะอยู่แล้วการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจาก TMPTA จะทำให้ยาง AENR ยิ่งแข็งมากขึ้นเมื่อทดสอบสมบัติจะพบการแตกที่ผิวหน้าซึ่งเป็นเหมือนจุดอ่อนแอที่ทำให้พอลิเมอร์ไวแสงทั้งชิ้นทดสอบมีสมบัติด้อยลง จากสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาทั้งหมดแม้ว่าความต้านทานต่อการสึกหรอ และความสามารถในการคืนรูปของพอลิเมอร์ไวแสงที่ใช้อะคริเลทโมโนเมอร์ชนิด TMPTA จะด้อยลง แต่ก็ยังเป็นปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการปรับปรุงสมบัติความสามารถในการยึดจนขาด และความต้านทานต่อการหักงอที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ TMPTA ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 7 สมบัติเชิงกลและความแข็งแรงของพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรชนิดอะคริเลทโมโนเมอร์



HDDA

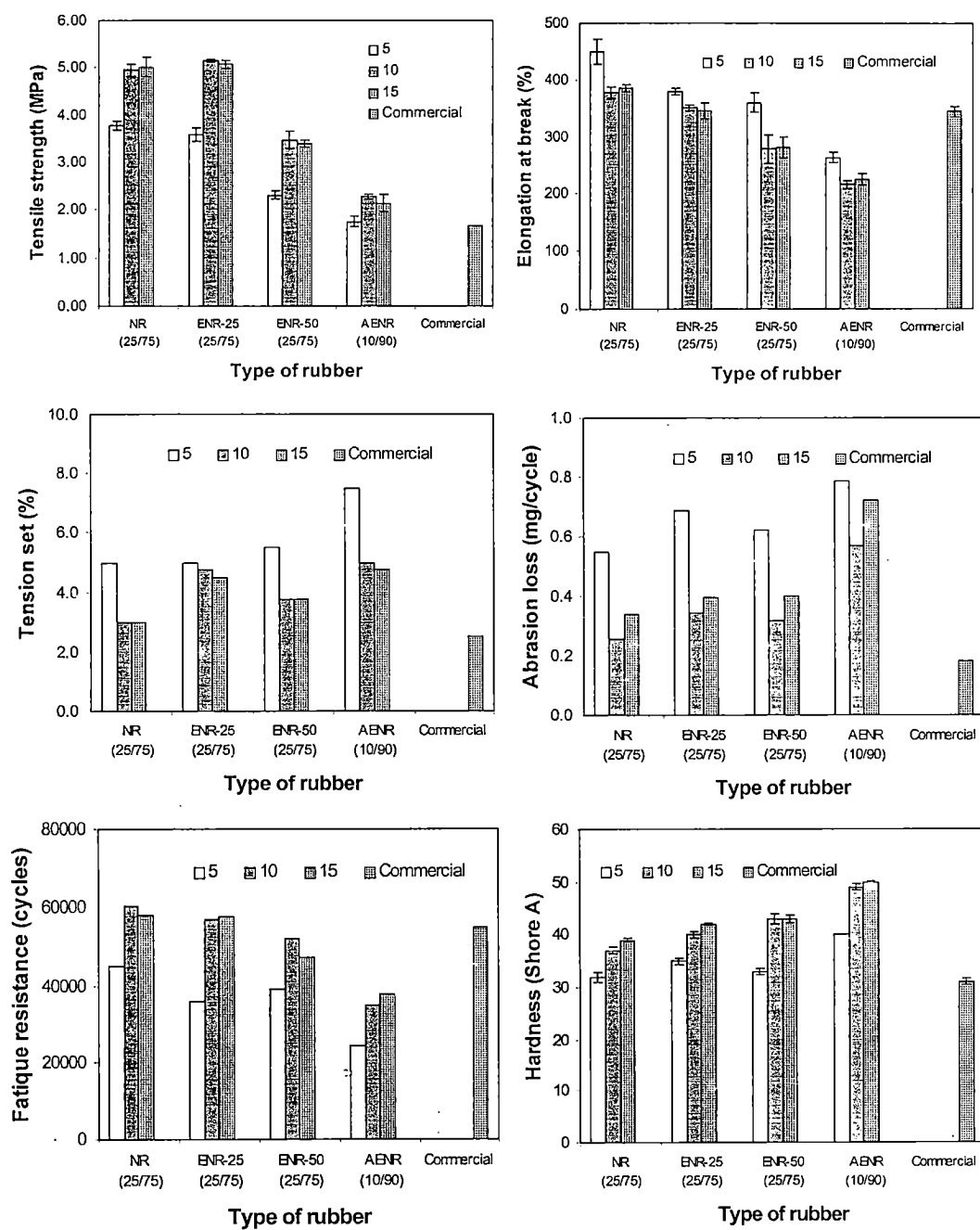


TMPTA

รูปที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของอะคริเลทโมโนเมอร์

3.5.2.3 การศึกษาปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์

ผลการแปรปริมาณอะคริเลท โมโนเมอร์ TMPTA 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15 phr ต่อสมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงได้ผลดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 สมบัติเชิงกลและความแข็งแรงของพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์ TMPTA

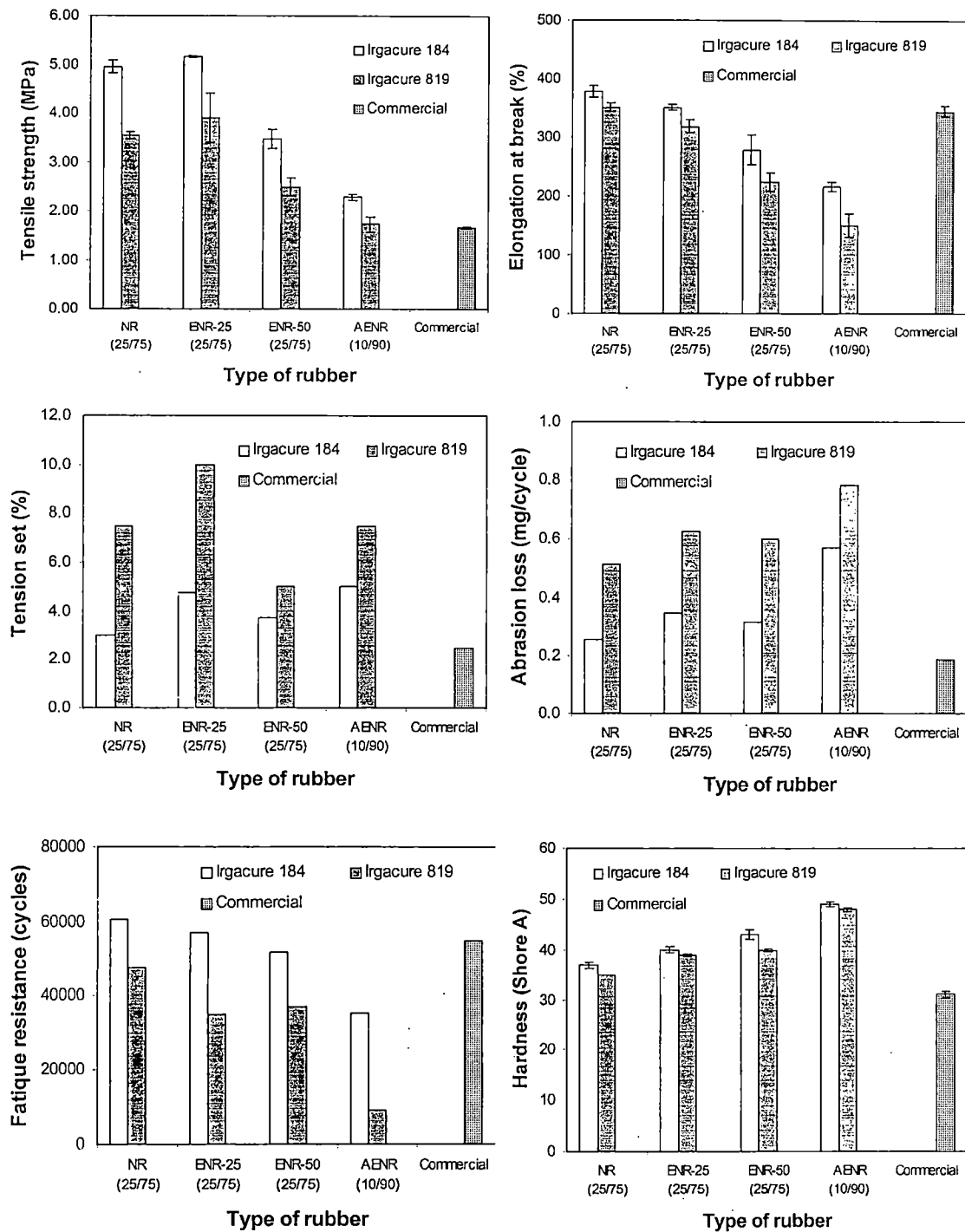
จากรูปที่ 9 พบว่าสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ไวแสงมีการปรับปรุงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารอะคริเลทโมโนเมอร์จาก 5 เป็น 10 phr ทั้งนี้เนื่องจากที่ปริมาณ TMPTA 10% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการวัลคาไนซ์พอลิเมอร์ไวแสงนี้ การเพิ่มปริมาณของอะคริเลทโมโนเมอร์โดยที่สูตรพอลิเมอร์ไวแสงยังคงมีปริมาณของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงคงที่ คือ 5% การเกิดเป็นเรดิคัลที่ว่องไวของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงยังคงเท่าเดิม ดังนั้นการเกิดเป็นปริมาณการเชื่อมโยงของอะคริเลทโมโนเมอร์ในเฟสยางจึงคงที่ ปริมาณอะคริเลทโมโนเมอร์ที่มากเกินไปจะไปฟอร์มตัวด้วยตัวเองเกิดเป็นชั้นของ acrylate polymerization ได้ด้วยพลังงานกระตุ้นจากแสงอัลตราไวโอเลต (Florio and Miller, 2004) ทำให้เกิดการแยกเฟสออกมาจากส่วนของพอลิเมอร์ไวแสงเกิดเป็น acrylate polymer ที่มีโครงสร้างแข็ง ความอ่อนตัวต่ำ จึงส่งผลให้มีความไม่สม่ำเสมอในโครงสร้างของพอลิเมอร์ไวแสง สมบัติเชิงกลจึงด้อยลง ขณะที่ความแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากสมมติฐานที่คาดว่า การดัดแปรโครงสร้างทางธรรมชาติให้มีหมู่ะคริเลทได้เป็นยาง AENR จะช่วยให้พอลิเมอร์ไวแสงสามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยแสงอัลตราไวโอเลตโดยไม่ต้องใช้อะคริเลทโมโนเมอร์หรือใช้ในปริมาณน้อยลงนั้น พบว่ายาง AENR ไม่ได้แสดงสมบัติดังกล่าวแต่อย่างใด แนวโน้มของสมบัติที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการใช้ยางธรรมชาติชนิดอื่นๆ

จากการทดลองในหัวข้อนี้จึงเลือกใช้ TMPTA ที่ปริมาณ 10 phr เป็นระดับที่เหมาะสมในการศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงในหัวข้อถัดไป

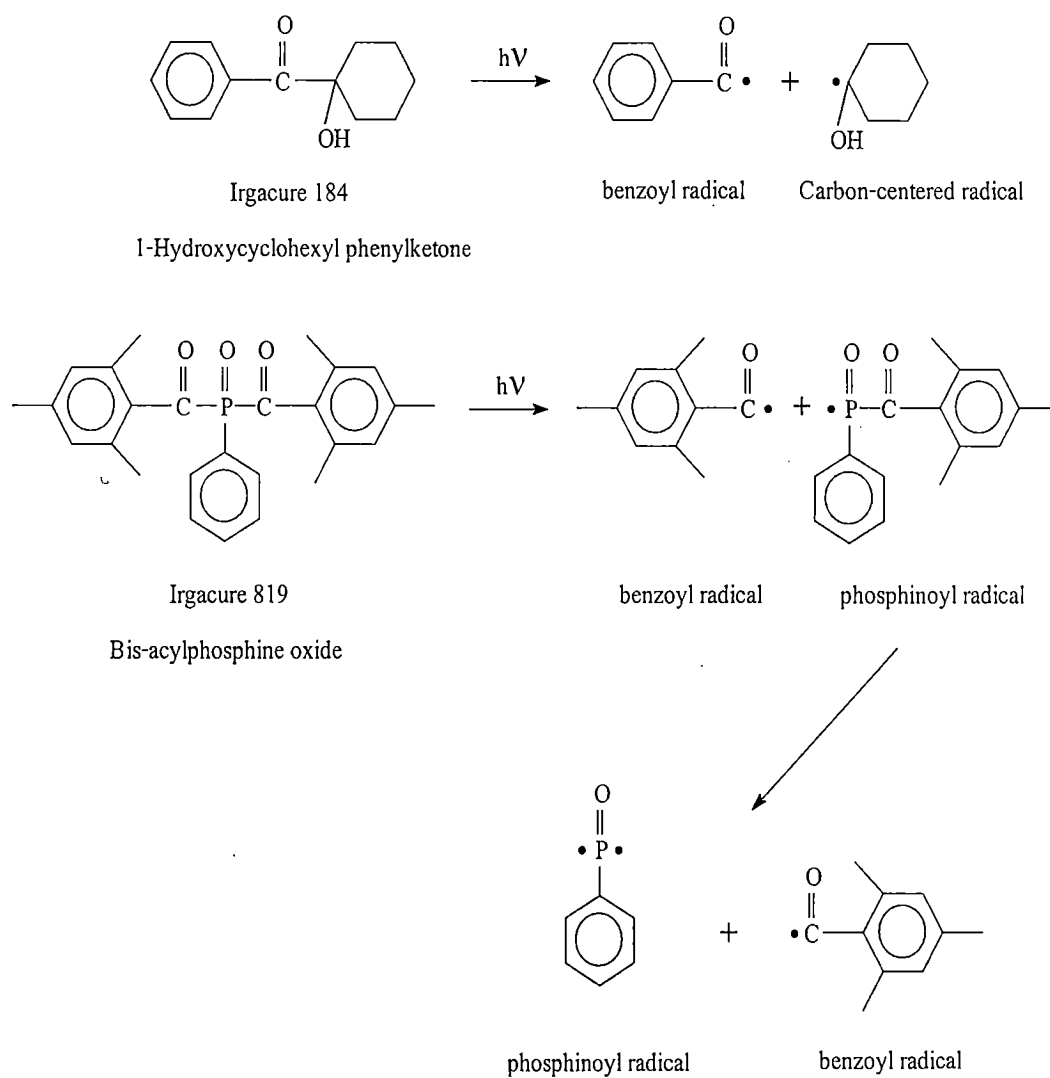
3.4.2.4 การศึกษาชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง 2 ชนิด คือ Irgacure 184 และ Irgacure 819 ที่ปริมาณ 5 phr ต่อสมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงได้ผลดังรูปที่ 10 การใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 819 ซึ่งมีโครงสร้างจัดอยู่ในกลุ่ม Bis acyl phosphine จะให้พอลิเมอร์ไวแสงวัลคาไนซ์ที่ให้สมบัติโดยรวมดีกว่าการใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 ที่มีโครงสร้างในกลุ่ม hydroxyketone ทั้งนี้แม้ว่าหากดูจากโครงสร้างการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงทั้งสองแล้ว Irgacure 819 จะสามารถแตกตัวภายใต้การกระตุ้นของแสงอัลตราไวโอเลตได้ 2 ครั้ง และเกิดเป็นเรดิคัลที่ว่องไวเพื่อดึงไฮโดรเจนได้มากกว่า Irgacure 184 ดังรูปที่ 11 แต่เนื่องจากอนุมูลที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของ Irgacure 819 จะว่องไวต่อหมู่ะคริเลท จึงเป็นเหตุให้กลไกการวัลคาไนซ์ที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์ไวแสงเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ แทนที่เรดิคัลจาก Irgacure 819 จะไปดึงไฮโดรเจนบนสายโซ่โมเลกุลยางเพื่อให้เป็นตำแหน่งที่ว่องไวการที่หมู่ฟังก์ชันของอะคริเลทโมโนเมอร์เข้าทำปฏิกิริยาแล้วเกิดการฟอร์มตัวเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่พร้อมจะก่อให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ไวแสงอีกทีหนึ่ง เรดิคัลจาก Irgacure 819 โดยเฉพาะ phosphinoyl radical จะไปเกิดปฏิกิริยาเคมีกับอะคริเลทโมโนเมอร์และส่งผลให้เกิดเป็นชั้นของการพอลิเมอไรเซชันของอะคริเลทแทน (Florio and Miller, 2004) ดัง

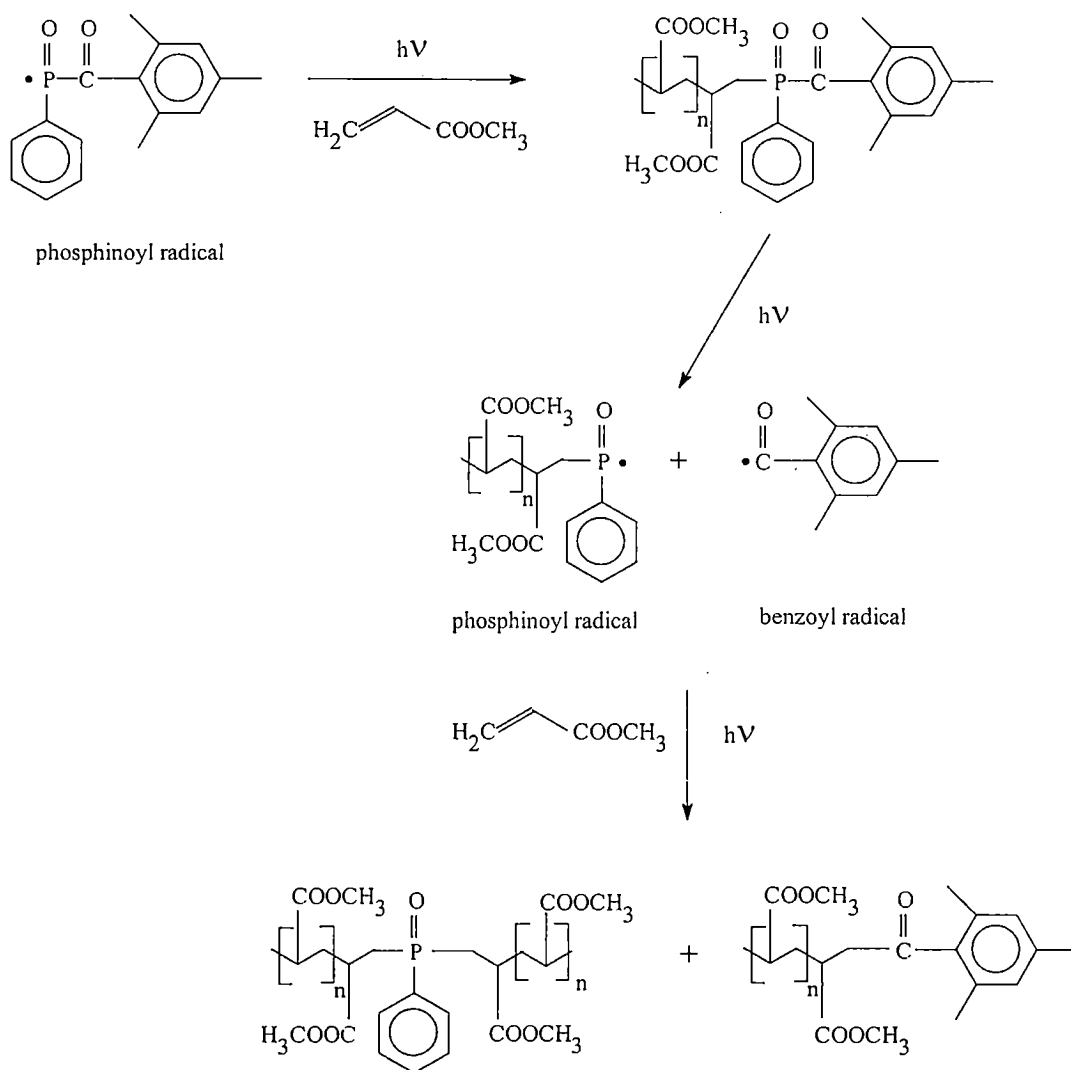
ปรากฏในรูปที่ 12 ดังนั้นปริมาณของอะคริเลทโมโนเมอร์ที่จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงจึงลดลง ส่งผลให้พอลิเมอร์ไวแสงเกิดการวัลคาไนซ์ไม่เต็มที่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานต่อการหักงอ และความแข็งแรงที่ได้จึงต่ำกว่าการใช้ Irgacure 184 เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง



รูปที่ 10 สมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรชนิดสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง



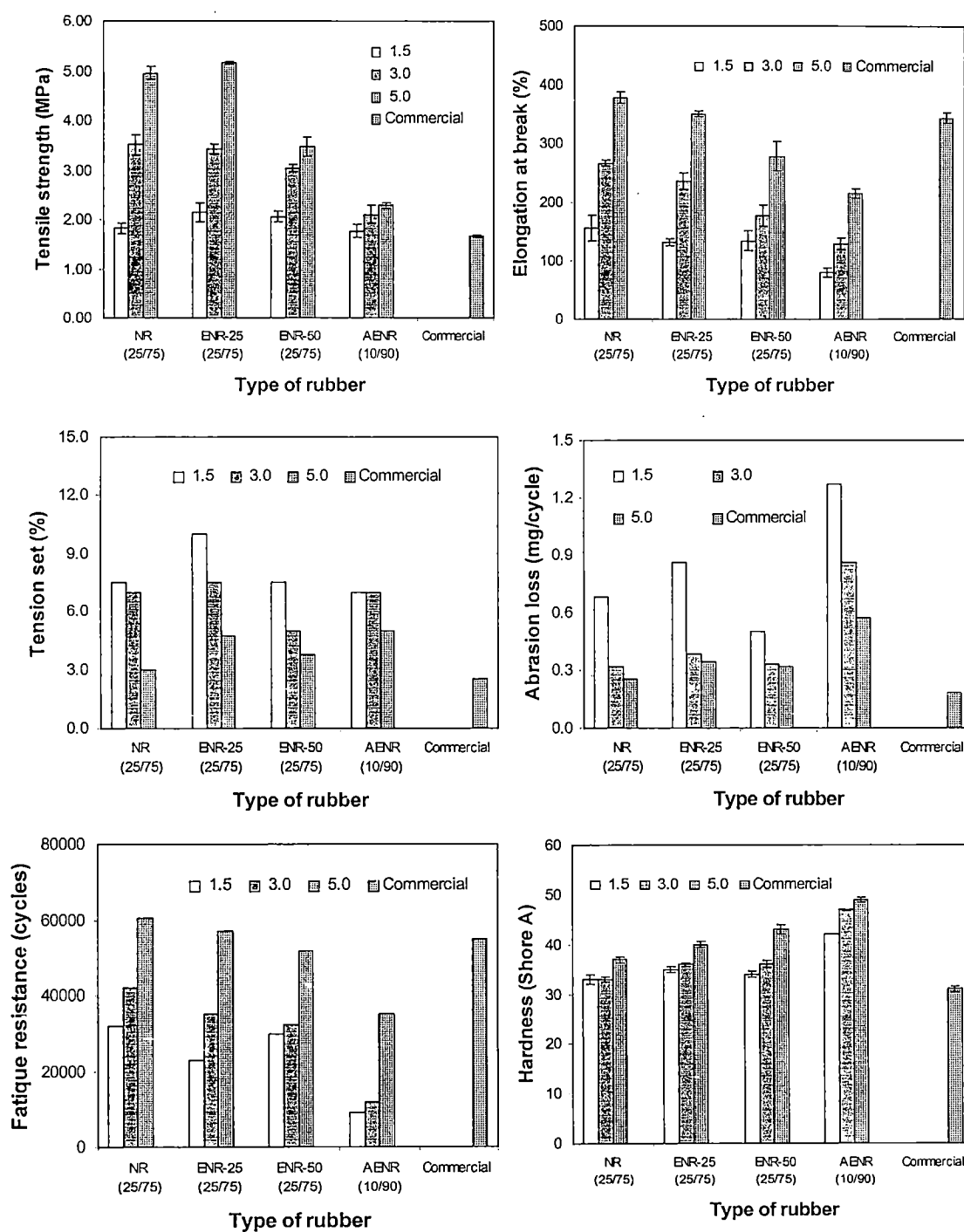
รูปที่ 11 กลไกการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 และ Irgacure 819



รูปที่ 12 กลไกการเกิดขึ้นของการพอลิเมอไรเซชันของอะครีเลทแทน (Florio and Miller, 2004)

3.4.2.5 การศึกษาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง

การศึกษาอิทธิพลของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 ที่ปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1.5, 3.0 และ 5.0 phr พอลิเมอร์ไวแสงที่ได้จะนำไปวัดคาบเวลาและทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 13

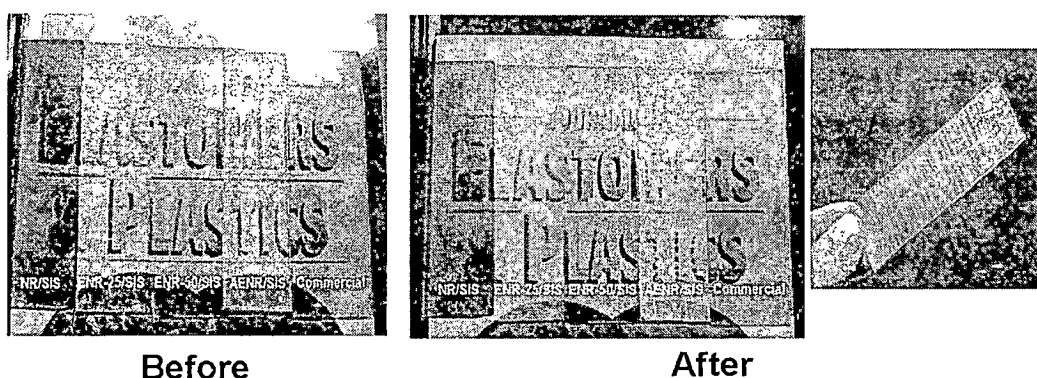


รูปที่ 13 สมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ไวแสงที่แปรปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184

จากรูปที่ 13 พบว่าการเพิ่มปริมาณของสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงส่งผลให้เกิดการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ไวแสงในทิศทางที่ดีขึ้นซึ่งเป็นผลจากกลไกการวัลคาไนซ์ด้วยแสงอัลตราไวโอเลตที่ได้อธิบายก่อนหน้านี้ สารริเริ่มปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นตัวรับพลังงานและทำให้ระบบ

เกิดเรล็คัลเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการวัลคาไนซ์ต่อไป หากมีปริมาณน้อยเกินไปปริมาณพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลของยางและ SIS ในพอลิเมอร์ไวแสงจะมีน้อย สมบัติเชิงกลจึงต่ำ ซึ่งการทดลองนี้พบว่าการใช้ Irgacure 184 ที่ปริมาณ 5 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด

จากการทดลองในหัวข้อ 3.5.2 จึงสรุปได้ว่าสูตรของพอลิเมอร์ไวแสงที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบที่ให้สมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า คือ NR/SIS, ENR-25/SIS และ ENR-50/SIS ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 25/75 ใช้อะคริเลทโมโนเมอร์ชนิด TMPTA ปริมาณ 10 phr และใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 ปริมาณ 5 phr ส่วนสูตร AENR/SIS ที่อัตราส่วน 10/90 นั้น นอกจากสมบัติที่ดีกว่าพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าแล้วยังพบว่าเมื่อขึ้นตัวอย่างจะเกิดการแตกที่ผิวหน้าอย่างชัดเจนเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ลักษณะปรากฏของพอลิเมอร์ไวแสงที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 เดือน

3.5.3 การใช้งานแผ่นพิมพ์ตัวนูน

3.5.3.1 การทดสอบความทนทานต่อหมึกพิมพ์

การทดสอบความทนทานต่อหมึกพิมพ์ของพอลิเมอร์ไวแสงวัลคาไนซ์ ทำการทดสอบโดยการแช่ขึ้นตัวอย่างในหมึกพิมพ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้องและ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองในหมึกพิมพ์ของพอลิเมอร์ไวแสงวัลคาไนซ์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7 จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ไวแสงที่เตรียมขึ้นโดยการเบลนด์ยาง NR, ENR-25, หรือ ENR-50 เข้ากับ SIS ให้ความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์แสงทางการค้า โดยการบวมพองของพอลิเมอร์ไวแสงจะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อใช้หมึกพิมพ์ที่มีตัวทำละลายเป็นตัวกลาง ยี่ห้อ Sakura® ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้งานยังคงดีอยู่เมื่อใช้กับหมึกพิมพ์ที่ใช้ในสำนักงานทั่วไปอย่างหมึกพิมพ์ยี่ห้อ Horse® ซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลาง และหมึกพิมพ์ยี่ห้อ Poly One® ที่มีตัวทำละลายเป็นตัวกลาง ซึ่งใช้ประทับตรางานทั่วไปและงานพิมพ์ที่ใช้แสงอัลตราไวโอเลตในการทำหมึกติดทน

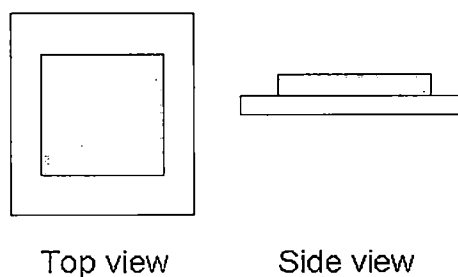
ตารางที่ 7 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองต่อหมึกพิมพ์ของพอลิเมอร์ไวแสงอัลตราไวโอเลต

Photosensitive polymer	Swelling (%) at room temperature		
	Horse®	Poly One®	Sakura®
	(water based)	(solvent based)	(solvent based)
NR/SIS (25/75)	0.59±0.11	2.17±0.17	88.72±5.13
ENR-25/SIS (25/75)	0.51±0.03	1.49±0.11	79.02±7.12
ENR-50/SIS (25/75)	0.47±0.09	1.27±0.24	70.09±4.11
Commercial	0.61±0.10	2.18±0.42	113.54±20.34

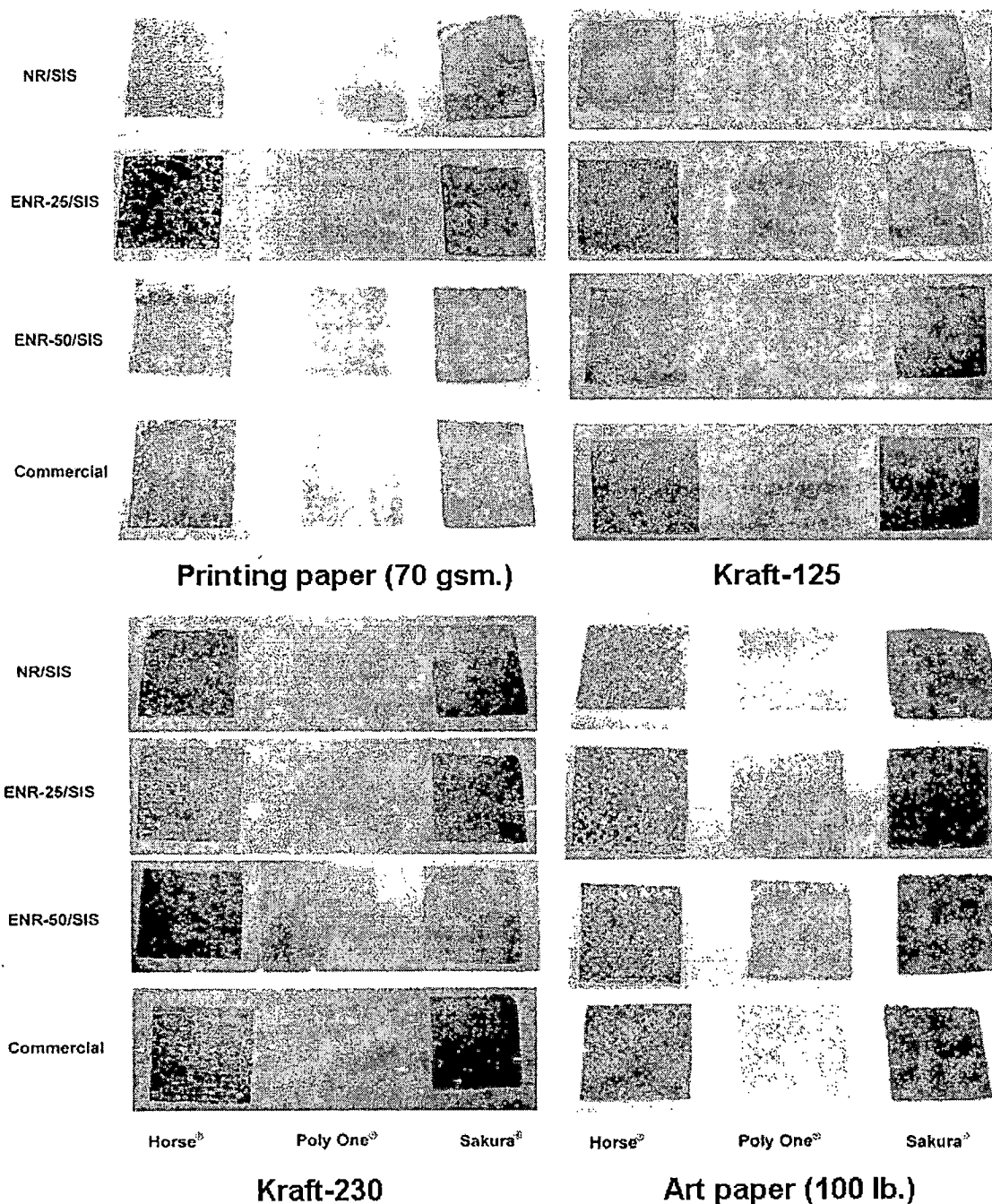
Swelling (%) at 100°C			
NR/SIS (25/75)	1.04±0.36	5.14±0.51	110.55±10.12
ENR-25/SIS (25/75)	1.23±0.16	4.12±0.22	97.05±9.80
ENR-50/SIS (25/75)	0.97±0.11	4.03±0.37	89.98±4.67
Commercial	1.31±0.10	4.09±0.52	126.01±19.01

3.5.3.2 การทดสอบความสามารถในการติดหมึกพิมพ์

การศึกษาประสิทธิภาพการติดหมึกพิมพ์ของพอลิเมอร์ไวแสงอัลตราไวโอเลตที่เตรียมได้โดยเตรียมแผ่นพิมพ์ตัวฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 inch² ความสูงภาพพิมพ์ 1.59 mm. ความสูงฐาน 1.60 mm. ดังรูปที่ 15 จากนั้นทำการประทับตราลงบนกระดาษชนิดต่างๆ และใช้หมึกพิมพ์ที่แตกต่างกันให้ผลดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 ภาพแผ่นพิมพ์ตัวฐานที่เตรียม

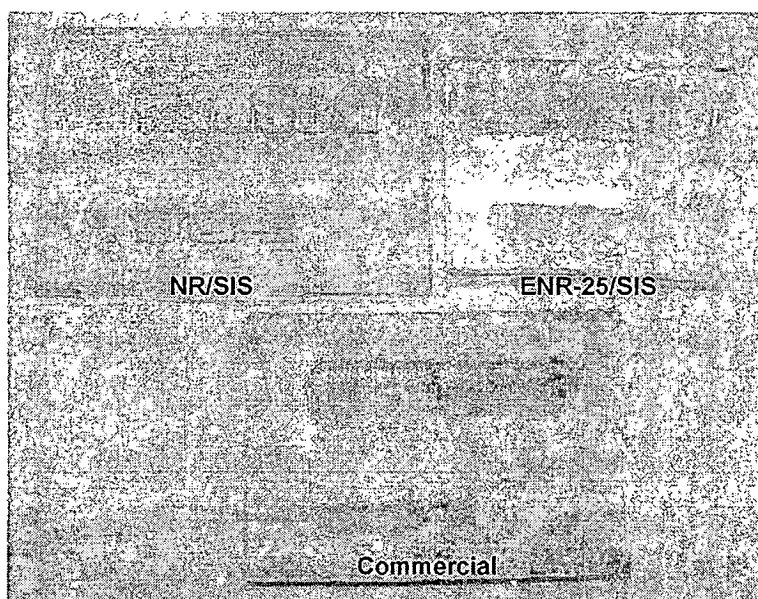


รูปที่ 16 ลักษณะภาพพิมพ์ของแผ่นพิมพ์ตัวนูนบนกระดาษชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าแผ่นพิมพ์ตัวนูนทุกสูตรของพอลิเมอร์ไวแสงสามารถพิมพ์ติดหมึกพิมพ์ได้ทั้ง 3 ชนิดทั้งหมึกที่มีน้ำเป็นตัวกลางและมีตัวทำละลายเป็นตัวกลาง โดยประสิทธิภาพการพิมพ์ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนจากการพิมพ์ภาพโดยใช้แผ่นพิมพ์ตัวนูนทางการค้า การเปรียบเทียบของหมึกบนผิวหน้าขึ้นตัวอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามการใช้หมึกพิมพ์ชนิดที่มีตัวทำละลายเป็นตัวกลางยี่ห้อ Sakura® ภาพพิมพ์ที่ได้จะมีความคมชัดของขอบภาพค่อนข้างต่ำ

3.5.3.3 การทดสอบการสร้างภาพพิมพ์ตัวอักษร

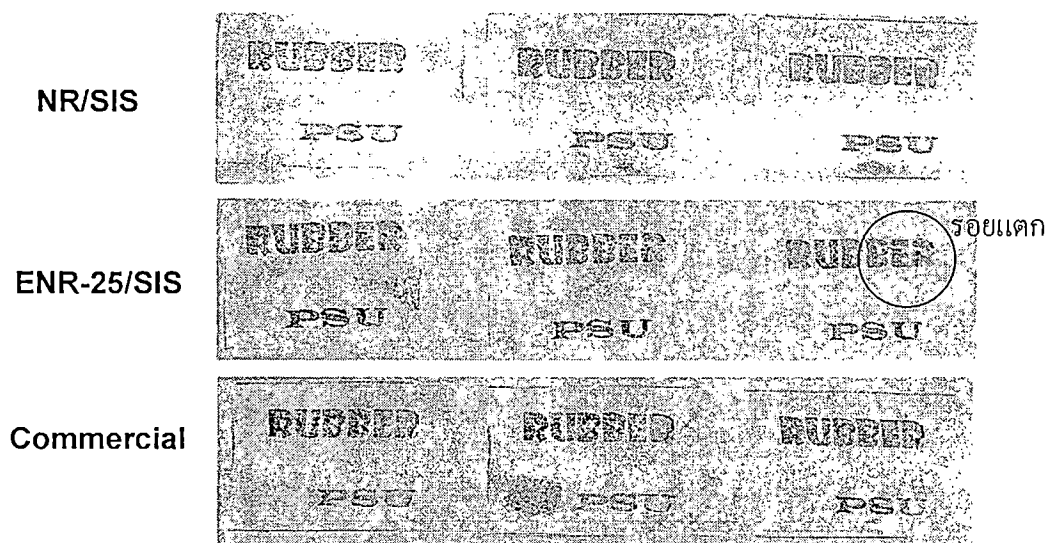
ทำการสร้างภาพพิมพ์บนแผ่นพอลิเมอร์ไวแสงเพื่อทำเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนตามวิธีที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.3.3 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 17 ซึ่งในการทดลองนี้เลือกทำแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่มีข้อความ PSU และ RUBBER มาเปรียบเทียบกับ



รูปที่ 17 แผ่นพิมพ์ตัวนูนที่เตรียมขึ้นโดยจาก NR/SIS และ ENR-25/SIS อัตราส่วน 25:75 เทียบกับยางทางการค้า

จากรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าการสร้างภาพพิมพ์ของแผ่นพิมพ์ตัวนูนสูตร NR/SIS ให้ผลใกล้เคียงกับแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่ใช้พอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า ขณะที่สูตร ENR-25/SIS นั้นสามารถสร้างภาพพิมพ์ได้เช่นเดียวกัน แต่ผิวหน้าของภาพพิมพ์ที่ได้ค่อนข้างขรุขระ แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของภาพ กล่าวคือ ข้อความที่ได้ พบว่าของทางการค้าจะให้ความคมชัดของข้อความมากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้านั้นมีองค์ประกอบของพอลิเมอร์แค่ชนิดเดียว คือ SIS ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การเกี่ยวพันของสายโซ่น้อย ซึ่งแตกต่างจากสูตรที่ทดลองที่มี NR และ ENR-25 เป็นองค์ประกอบร่วม ที่ให้ข้อความที่มีความคมชัดต่ำ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูง สายโซ่เกี่ยวพัน ดังนั้นเมื่อฉายแสงและเกิดการวัลคาไนซ์ของสายโซ่แล้ว ในขั้นตอนการขัดล้างจะไม่สามารถขัดเอาส่วนของยางที่ไม่วัลคาไนซ์ออกได้หมด จึงเป็นเหตุให้ภาพพิมพ์มีลักษณะบวมเล็กน้อยและความคมชัดของตัวอักษรลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อนำแผ่นพิมพ์ตัวนูนทั้ง 3 สูตรข้างต้นไปทำการประทับเหมือนการใช้งานจริงในสำนักงาน ให้ผลดังรูปที่ 18 พบว่าแผ่นพิมพ์ตัวนูนที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพไม่ต่างจากแผ่นพิมพ์ตัวนูนทางการค้า โดยปรากฏข้อความที่มีความคมชัด เต็มตัวอักษร สวยงาม การ

เป็ยกผิวด้วยน้ำหมึกดี ผลจากความขรุขระที่ผิวหน้าของแผ่นพิมพ์ตัวนูนสูตร ENR-25/SIS ส่งผลให้ภาพพิมพ์มีรอยแตกที่คำว่า “...BER” เล็กน้อย



รูปที่ 18 การประทับตราข้อความจากแผ่นพิมพ์ตัวนูนสูตรต่างๆ

3.6 สรุปผล

การเตรียมพอลิเมอร์ไวแสงจากยางธรรมชาติโดยศึกษาชนิดของยาง ได้แก่ ยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ 25 และ 50 โมลเปอร์เซนต์อิพอกไซด์ (ENR-25, ENR-50) และยางธรรมชาติอิพอกไซด์อะคริเลท (AENR) เบลนด์ร่วมกับสไตรีน-ไอโซพรีน-ไอโซพรีนบล็อคโคพอลิเมอร์ (SIS) ที่อัตราส่วนต่างๆ การศึกษาชนิดและปริมาณของอะคริเลทมอนอเมอร์ ชนิดและปริมาณของสารริเริ่มการไวแสง พบว่าการใช้ยาง NR, ENR-25 หรือ ENR-50 เบลนด์กับ SIS ที่สัดส่วน 25/75 ร่วมกับการใช้อะคริเลทมอนอเมอร์ชนิด TMPTA ปริมาณ 10.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ และสารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสงชนิด Irgacure 184 ปริมาณ 5.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ จะให้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อการหักงอ ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความแข็งใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้า ภายหลังเมื่อนำมาเตรียมเป็นแผ่นพิมพ์ตัวนูนให้สมบัติความทนทานต่อการบวมพองในหมึกพิมพ์ และความสามารถในการพิมพ์ติดหมึกใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ไวแสงทางการค้าเช่นกัน ขณะที่การสร้างภาพพิมพ์ด้อยกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการตัดแปรรูปโครงสร้างยางธรรมชาติให้มีหมู่ฟังก์ชันอะคริเลทไม่ได้ช่วยทำให้พอลิเมอร์ไวแสงสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น

3.7 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาเพิ่มเติมผลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติต่อลักษณะภาพพิมพ์ เพื่อให้ได้ภาพพิมพ์ที่คมชัดมากขึ้น

3.8 เอกสารอ้างอิง

- Chaisuriyathepkul, A., Klinpituksa, P., Phinyocheep, P., Nakason, C. and Kittipoom, S. 2008. Synthesis of Acrylated Styrene-Isoprene-Styrene Copolymer, E-Polymers 141, 1-9.
- Florio, J.J. and Miller, D.J. 2004. "Handbook of Coatings Additives Second Edition" Marcel Dekker, Inc. New York.
- Kwanming, K., Klinpituksa, P. and Waehamad, W. 2007. Ultraviolet Curing of Acrylated Liquid Natural Rubber for Surface Coating Application, Presented at the 33rd Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok.
- Masahiro, Y. and Shusaku, T. 2008. Photosensitive Resin Composition, Flexographic Printing Plate, and Method for Producing Flexographic Printing Plate, WO2008156115 (A1).
- Phinyocheep, P. and Doungthong, S. 2000. Ultraviolet-Curable Liquid Natural Rubber, J. Appl. Polym. Sci., 78, 1478-1485.
- Sadayoshi, N., Toshihiro, F., Ban, T. and Kosaku, Y. 1991. Photosensitive Flexographic Printing Plate Composition, US Patent 5185234.
- Thongpin, C., Wongtimnoi, K., Kamolsawat, J. and Rotkasem, P. 2005. Feasibility Study of Binder Synthesis from Natural Rubber for Use in Making Running Tracks in Thailand, Presented at the 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok.
- Thames, S.F. and He, Z.A. 1995. Synthesis and Coating Application of Chlorinated Hydroxy Rubber, US Patent 5473024.
- Thames, S.F. and He, Z.A. 2002. Photocurable Acrylated Chlorinated Rubber Coatings, US Patent 6399673.
- Wang, R and Paul, J. 1995. Release Layer for Thermally Developed Flexographic Printing Plates, EP Patent 0665471 A2.
- Xuan, H.L. and Decker, C. 2003. Photocrosslinking of Acrylated Natural Rubber, J. Polym. Sci. Part A: Polymer Chemistry, 31, 769-780.

ภาคผนวก

เอกสารคำชี้แจงข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

โครงการ แผ่นพิมพ์ตัวนูนจากยางธรรมชาติ
 หัวหน้าโครงการ ดร. อโนมา ชิตธรรมวงศ์

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	การชี้แจง ปรับปรุงและแก้ไข
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial) 1. ตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ควรใช้ชื่อเต็มแทนตัวย่อ และควรเพิ่มหน้าที่ มีฉะนั้นผู้อ่านจะสับสนได้ ถึงแม้ว่าจะมีการกล่าวถึงในหน้าถัดไป เช่น DOP (Diethyl phthalate) เป็นพลาสติกไซเซอ์ 2. ตรวจสอบคำพิมพ์ผิด เช่น หน้า 12, 21, 26 เป็นต้น 3. คำใดสามารถใช้ภาษาไทยได้ ควรเขียนเป็นภาษาไทย เช่น, “เบลนด์” ควรใช้คำว่า “ผสม” เป็นต้น 4. ตรวจสอบการเขียน เช่น หน้า 10 ที่กล่าวว่า “เอาชิ้นตัวอย่างออก...” ควรปรับเป็น “นำชิ้นตัวอย่างออกมา” หน้า 11 ที่กล่าวว่า “โดยใช้มาตรฐาน” ควรปรับเป็น “ทดสอบตามมาตรฐาน” 5. หน้า 10 ข้อ (2) ควรเพิ่มเติมรูปขึ้นทดสอบด้วย จะทำให้เข้าใจได้ชัดเจนขึ้น	แก้ไข โดยเพิ่มข้อมูลดังกล่าวลงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1 หน้าที่ 7 แก้ไขคำพิมพ์ผิดแล้ว แก้ไข โดยแทนที่ “h” ด้วยคำว่า “ชั่วโมง” ส่วนคำว่า “เบลนด์” ยังคงไว้เช่นเดิม เนื่องจากคำว่าเบลนด์จะสื่อความหมายถึงการผสมที่ไม่ได้ใช้แรงเฉือนรุนแรง ซึ่งต่างจาก “Mix” ที่สามารถแปรความได้เป็นคำว่า “ผสม” เช่นกัน แก้ไขคำดังกล่าวแล้ว ในหน้าที่ 10 หัวข้อ 3.4.2.6 (1) และหน้าที่ 11 หัวข้อ 3.4.2.6 (3) แก้ไข โดยเพิ่มรูปที่ 2 ลักษณะชิ้นตัวอย่างคัมเบลล์ ในหน้าที่ 11

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	การชี้แจง ปรับปรุงและแก้ไข
ความเห็นด้านวิชาการ (Technical) 1. หน้า 10 ข้อ 3.4.2.6 หัวข้อการทดสอบสมบัติ - ข้อ (1) อ้างอิงมาตรฐานอะไร และบรรทัดที่ 3 ที่กล่าวว่า “ซับผิวน้ำให้แห้งด้วยกระดาษ” นั้น ควรระบุว่าคือกระดาษอะไร - ข้อ (2) ASTM D412-00 ตรวจสอบการเขียนให้ถูกต้อง และควรอ้างอิงฉบับล่าสุด รวมทั้งขนาดของ Dumbell ตามที่นักวิจัยระบุว่าจะเป็น Die C ซึ่ง Gauge length ที่ถูกควรเป็น 25 mm. ไม่ใช่ 20 mm. - ข้อ (3) การทดสอบ Tension set ไม่ควรอ้างอิง ASTM D412-00 - ข้อ (4) การทดสอบ Hardness ตาม ASTM D2240-86 นั้น ควรจะอ้างอิงฉบับล่าสุด และควรทดสอบ 3 ชั้น แต่ละชั้นวัด 5 จุด - ข้อ (6) การทดสอบ De Mattia Flexing อ้างอิงมาตรฐานอะไรและระบุขนาดชั้นทดสอบด้วย ชั้นทดสอบและวิธีการทดสอบไม่น่าจะถูกต้อง ขอให้ตรวจสอบ - หน้า 12 ข้อ 3.4.3.1 การทดสอบอ้างอิงมาตรฐานอะไร และวิธีการทดสอบไม่น่าจะถูกต้อง โดยทั่วไปการหา swelling ต้องหา volume หรือ dimension ที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ใช่ weight	ไม่มีมาตรฐานอ้างอิง แต่เป็นวิธีที่ทางโรงงานใช้ทดสอบเพื่อหาเวลาการวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ไวแสง และแก้ไขข้อความเป็น “ซับผิวน้ำให้แห้งด้วยเยื่อกระดาษลินิน” แก้ไขการเขียนมาตรฐาน ASTM และขนาดของ Gauge length แล้ว ส่วนการอ้างอิงเนื่องจากในงานวิจัยใช้ ASTM ฉบับปี 2000 จึงยังคงเลขอ้างอิงเดิมไว้ แต่จะปรับแก้การอ้างอิงให้เป็นฉบับล่าสุดในโอกาสต่อไป ไม่แก้ไข โดยตรวจสอบแล้วพบว่างานวิจัยได้ใช้อ้างอิงมาตรฐานที่ถูกต้องแล้ว แก้ไขตามคำแนะนำ ซึ่งในงานวิจัยได้ทดสอบ Hardness จากชั้นทดสอบ 3 ชั้น แก้ไข โดยเพิ่มเติมข้อความว่าการทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 430-00 และระบุขนาดชั้นทดสอบแล้ว และได้ตรวจสอบแล้วพบว่าชั้นทดสอบและวิธีการทดสอบที่ระบุไว้ถูกต้อง แก้ไข โดยเพิ่มเติมข้อความว่าการทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 471-00 และได้ตรวจสอบแล้วพบว่าวิธีการทดสอบถูกต้อง การรายงานผลสามารถคำนวณเป็นค่า %Change in mass ได้

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	การชี้แจง ปรับปรุงและแก้ไข
2. ควรเพิ่มเติมการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบราคากับที่เป็น Commercial และเพิ่มเติมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณ/มูลค่าการใช้พอลิเมอร์ไวแสง	ชี้แจง นักวิจัยไม่สามารถวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ได้เนื่องจาก ● งานวิจัยนี้ยังมีส่วนที่ต้องพัฒนาเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ไวแสงที่มีสมบัติและคุณภาพเทียบเท่ากับทางการค้า ● ต้นทุนแปรผันกับราคาขงธรรมชาติ ซึ่ง SIS มีราคา 220 บาท/กก. การใช้ขงธรรมชาติที่มีราคาแปรผันอยู่ในช่วง 180-190 บาท/กก. ไม่ได้ลดต้นทุนของพอลิเมอร์ไวแสงให้ลดลงมากนัก เพราะการใช้ขงธรรมชาติเข้ามาเบลดกับ SIS ทำให้เทคนิคการเตรียมต้องเปลี่ยนจาก melt mixing มาเป็นแบบ solution จึงมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิตเพิ่ม ● ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณ/มูลค่าการใช้พอลิเมอร์ไวแสงไม่มีการรายงานออกมาเป็นตัวเลขที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ ซึ่งนักวิจัยเองเคยติดต่อกับบริษัทที่ผลิตพอลิเมอร์ไวแสงในต่างประเทศ แต่ไม่ได้ข้อมูล
<u>ข้อเสนอแนะ</u> นักวิจัยควรเสนอแนวทางการทำวิจัยขยายระดับการผลิตเชิงพาณิชย์	ชี้แจง งานวิจัยนี้ยังมีส่วนที่ต้องทำวิจัยเพิ่มเติมในส่วนการปรับความคมชัดของภาพพิมพ์ และการพัฒนาเป็นการเตรียมด้วยเทคนิค melt mixing จึงยังไม่ได้เสนอแนวทางการขยายเชิงพาณิชย์