

บทที่ 1

บทนำและการตรวจเอกสาร (Introduction and Literature Review)

บทนำ

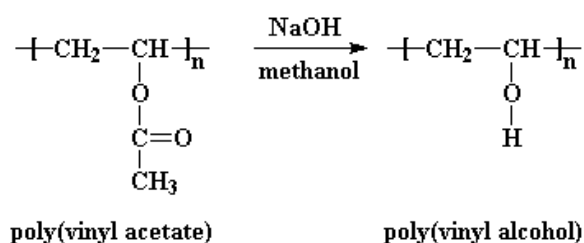
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol: PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถละลายน้ำได้ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี มีสมบัติการเกิดฟิล์มและการยึดติด (adhesion) ได้ดี มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึงได้ดี และมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดี (Schellekens and Bastiaansen, 1991) จึงนิยมนำ PVA มาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มอาหารและกาวหรือสารยึดติดกระดาษและไม้ PVA สามารถเกิดผลึกได้และมีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้ฟิล์มหรือกาวจาก PVA เมื่อแห้งมีลักษณะค่อนข้างแข็งเปราะ นอกจากนี้ PVA มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและความชื้นต่ำเนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้เมื่อนำไปใช้งานในรูปของฟิล์มหรือกาวในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงๆอาจทำให้เกิดปัญหาการบวมพองและหลุดล่อนได้

ดังนั้นการเติมพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าเข้าไปผสมกับ PVA อาจทำให้ PVA มีสมบัติการใช้งานได้ดีขึ้น ซึ่งยางธรรมชาติ (Natural rubber: NR) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก PVA เป็นโมเลกุลที่มีสภาพขั้วสูง ในขณะที่ยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่มีสภาพขั้วต่ำ ดังนั้นการผสมพอลิเมอร์ดังกล่าวเข้าด้วยกันอาจทำให้ไม่สามารถเข้ากันได้และทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติก่อนนำมาใช้ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber: ENR) เป็นยางธรรมชาติที่ผ่านการดัดแปรทำให้มีหมู่เอพอกไซด์ (Epoxy group) อยู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติ สภาพขั้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่เอพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ดังนั้นการใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์แตกต่างกันผสมใน PVA ในสัดส่วนต่างๆอาจมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วย ซึ่งการนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์มาผสมกับ PVA น่าจะทำให้ PVA มีสมบัติความยืดหยุ่นรวมทั้งการป้องกันการซึมผ่านหรือ ความต้านทานต่อการดูดซับน้ำความชื้นดีขึ้นด้วย

การทรวอเอกสาร (Review of Literature)

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol: PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีความ สามารถละลายน้ำได้ที่มีการผลิตมาก (Ramaraj, 2007 อ้างโดย Chen et al., 2008) เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ด้วยวิธีชีวภาพ โดยแบคทีเรียในดิน เช่น *Pseudomonads* (Lenz, 1993 อ้างโดย Chen et al., 2008) จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติการเกิดฟิล์มได้ดี ติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำ มีสมบัติการยึดติดและทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีมาก และยังสามารถทนทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนได้ดี สามารถใช้ในงานด้านสิ่งทอ กระดาษ กาวและสารยึดติด และเป็นสารเพิ่มความคงตัวของระบบแขวนลอย เป็นต้น (skeist, 1990) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงครีม นิยมเตรียม PVA จากปฏิกิริยาการตัดแปรงโมเลกุลของพอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate : PVAc) ในภาวะกรดหรือเบส แต่ตัวเร่งโดยเบสแก่เกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่า (รูปที่ 1.1) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะละลายพอลิไวนิลอะซิเตตในแอลกอฮอล์แล้วเติมตัวเร่ง และให้ความร้อน PVA ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย (Fromageau et al., 2003)



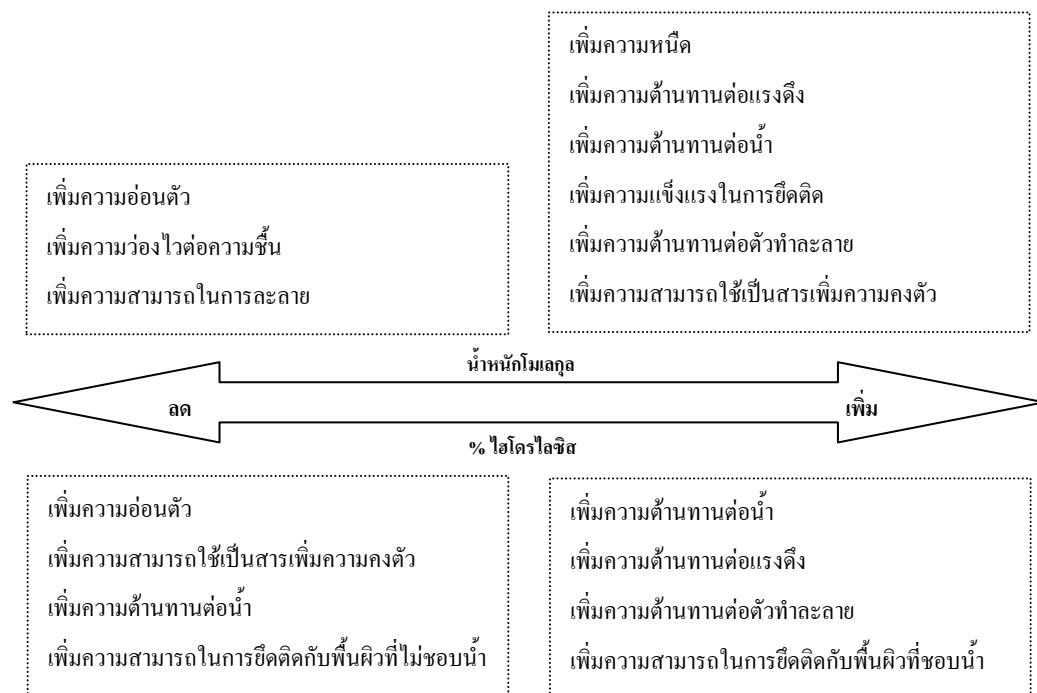
รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตต

ที่มา : Fromageau และคณะ (2003)

1.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สมบัติของ PVA ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับการไฮโดรไลซิส (degree of hydrolysis) (รูปที่ 1.2) PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูง จะมีความสามารถทนต่อแรงกระทำได้ดีกว่า PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสต่ำ เพราะ PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูงมีความเป็นผลึกสูงกว่า และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้มากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของ PVA ยังขึ้นกับความชื้นของ

สิ่งแวดล้อมด้วย เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 50 ความสามารถในการทนต่อแรงดึงของ PVA จะลดลง แต่ความสามารถในการยึดตัวออกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ PVA ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ สำหรับความสามารถในการละลายน้ำ PVA สามารถละลายในน้ำได้ โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็น แต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และทั่วไปสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส และความสามารถในการละลายขึ้นกับระดับการไฮโดรไลซิสของโมเลกุลเช่นกัน โดย PVA สามารถละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีระดับการไฮโดรไลซิสประมาณ ร้อยละ 80 สำหรับผลของน้ำหนักโมเลกุล PVA จะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรง ความต้านทานต่อการดึงยึด ความทนต่อการฉีกขาด และความสามารถในการอ่อน ตัวดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ส่วนความต้านทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ PVA สามารถต้านทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปได้เป็นอย่างดี และความสามารถนี้จะเพิ่มขึ้นตามระดับการไฮโดรไลซิสที่สูงขึ้น PVA ที่มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลสูง (มีระดับการไฮโดรไลซิสสูง) จะไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ และ คีโตน เป็นต้น เนื่องจากสภาพขั้วที่แตกต่างกัน แต่จะละลายใน เอทีลิน ไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นต้น (Skeist, 1990)



รูปที่ 1.2 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและระดับการไฮโดรไลซิส
ที่มา : Skeist (1990)

1.2 การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

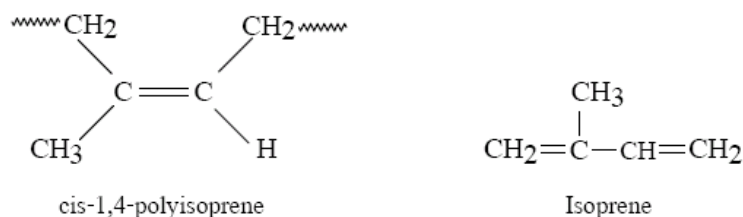
การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) การใช้งานที่อาศัยสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และระบบแขวนลอยต่างๆ มีความคงตัว ใช้เป็นสารยึดติด (adhesive) สำหรับกระดาษและไม้ ใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน (DeMerlis and Schoneker, 2003; Moritani and Kajitani, 1997)

(2) การใช้งานเมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีแล้วทำให้ไม่สามารถละลายน้ำ จึงนำมาใช้งาน ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ฝ้ายที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี มักใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 50,000 – 100,000 และระดับการไฮโดรไลซิส 98-99% (Skeist, 1990; Srinivasa, 2003)

2. ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติหรือยางพาราเมื่อต้นโตเต็มที่แล้วจะถูกเก็บน้ำยาง โดยการกรีดเปลือกของลำต้นให้น้ำยางซึมออกมาเป็นของเหลวมีสีขาวขุ่นข้นคล้ายน้ำมัน หรือมีสีครีม มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ส่วนประกอบของยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นยาง 35% และส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65% ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนที่เป็นน้ำ 55% และส่วนที่เป็นสารอื่น 10% ความหนาแน่นของน้ำยางธรรมชาติ ประมาณ 0.98 g/cm³ มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 ถึง 7.0 (เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2543) น้ำยางธรรมชาติที่ได้จะมีองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล สภาพดินฟ้าอากาศ ชนิดของดิน สภาพแวดล้อมของแปลงปลูกยาง พันธุ์ของยาง อายุของต้นยาง การกรีด ความยาวของรอยกรีด ความถี่ของการกรีด ช่วงเวลาของการกรีดยาง เป็นต้น องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยซ้ำๆ กันที่มีชื่อทางเคมีว่า cis-2-methylbutene หรือ Isoprene เมื่ออยู่ในรูปของพอลิเมอร์มีชื่อทางเคมีว่า cis-1,4-polyisoprene (ดังรูปที่ 1.3)



รูปที่ 1.3 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ
ที่มา : เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ (2543)

น้ำยางธรรมชาติสดจะมีโปรตีนและไขมันเป็นตัวรักษาความเสถียรตามธรรมชาติ โดยถ้าไม่มีการเติมแอมโมเนียลงไป โปรตีนนี้จะถูกทำลายโดยแบคทีเรียภายใน 2-3 ชั่วโมง สารเหล่านี้จะ

กระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของน้ำยาง หรือบางส่วนอาจเกาะยึดกับโมเลกุลของยางด้วยพันธะทางเคมีได้ด้วยเช่นกัน ส่วนประกอบของสารต่างๆ ในน้ำยางแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 น้ำยางธรรมชาติที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารเคมีเพียงชนิดเดียวในการรักษาเสถียรภาพจะเรียกว่า น้ำยางธรรมชาติชนิดปริมาณแอมโมเนียสูง (High ammonia latex) ซึ่งมักจะมีการกำจัดแอมโมเนียออกก่อนการนำไปใช้งาน นอกจากนั้นยังมีสารเคมีที่ใช้ในการรักษาเสถียรภาพตัวอื่น ๆ เช่น โซเดียมเพนตะคลอโรเฟนิเนต (Sodium pentachloro phenate) เกลือโซเดียมของกรดเอธิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก (Sodium salt of ethylenediamine tetraacetic acid) กรดบอริก (Boric acid) หรือซิงค์อัลคิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc alkyl dithiocarbamates) โดยใช้ร่วมกับแอมโมเนียในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำยางธรรมชาติชนิดปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งจะเรียกน้ำยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเหล่านี้ร่วมกับแอมโมเนียว่า น้ำยางธรรมชาติชนิดปริมาณแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia latex) ซึ่งน้ำยางชนิดนี้จะมีข้อดีทางด้านราคาถูกกว่า และไม่จำเป็นต้องกำจัดแอมโมเนียก่อนการนำไปใช้งาน

ยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่อัลฟามะทิลีนที่วงเว้าต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซนทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนติออกซิแดนท์และแอนติโอโซนเนตส์ร่วมด้วย (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2540) ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำใหยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ

-72 °C สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อเย็น การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2547) และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการบดยาง ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการบดยางโดยทั่วไปจะใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง

การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางขึ้นตอนหนึ่งก่อนด้วยวิธีการต่างๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ในขณะที่การเตรียมยางแห้งนั้นมักจะใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด การใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในน้ำยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง วิธีการหลักๆ ที่จะทำให้ยางแห้งสนิทมี 2 วิธีคือ การรมควันยาง และการทำยางเครพ แต่เนื่องจากยางผลิตได้มาจากเกษตรกรจากแหล่งที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการแบ่งชั้นของยางตามความบริสุทธิ์ของยางนั้นๆ

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

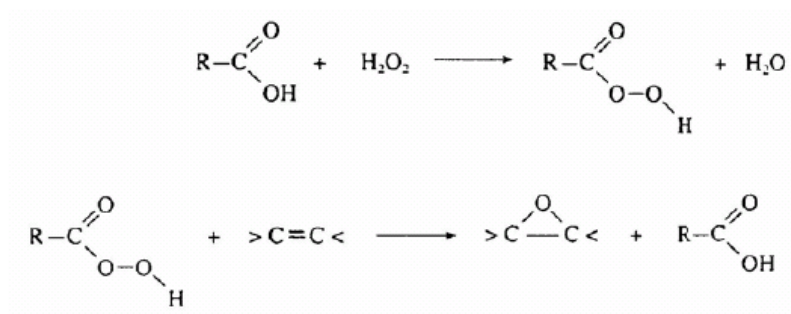
ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-2.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	25

ที่มา : เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร (2543)

3. ยางธรรมชาติอีพอกไซด์

3.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติหมายถึง การทำให้เกิดหมู่อีพอกซี (Epoxy) หรือออกซิเรน (Oxirane) ที่ตำแหน่งพันธะคู่ โดยวิธีการทำปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การเติมกรดเปอร์ แอซิดลงไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในยางธรรมชาติ โดยกรดเปอร์แอซิดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดเปอร์อะซิติก (Gelling, 1983; Gelling, 1985) และกรดเปอร์ฟอร์มิก (Bradbury and Perera, 1985; Roy *et al.*, 1988; Fong, 1985; Gelling, 1983; Perera *et al.*, 1987; Roy *et al.*, 1993) ซึ่งกรดเหล่านี้จะได้ออกจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 1.4) (Cheremisinoff, 1993)



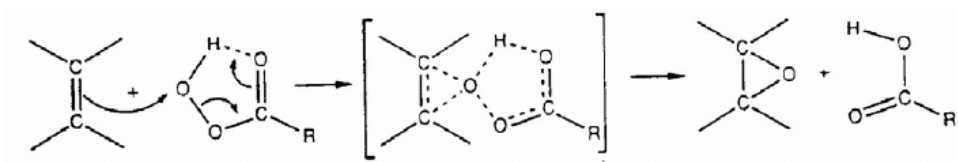
รูปที่ 1.4 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ที่มา : Cheremisinoff (1993)

กลไกปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันด้วยกรดเปอร์แอซิด อาจเป็นไปได้ 2 แบบ คือ (ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์, 2534)

(1.) Molecular mechanism หรือ 1,1-addition mechanism

กลไกนี้เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเข้าทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในพันธะคู่ของโอเลฟินกับอะตอมออกซิเจนของกรดเปอร์อะซิติก ดังรูปที่ 1.5

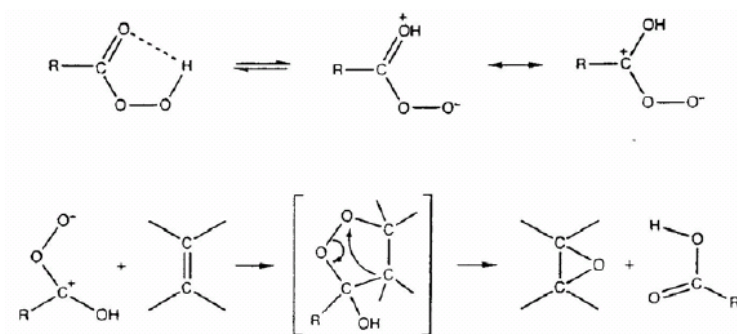


รูปที่ 1.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันแบบ 1,1-addition mechanism

ที่มา : ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ (2534)

(2.) 1,3-dipolar mechanism หรือ 1,3-addition mechanism

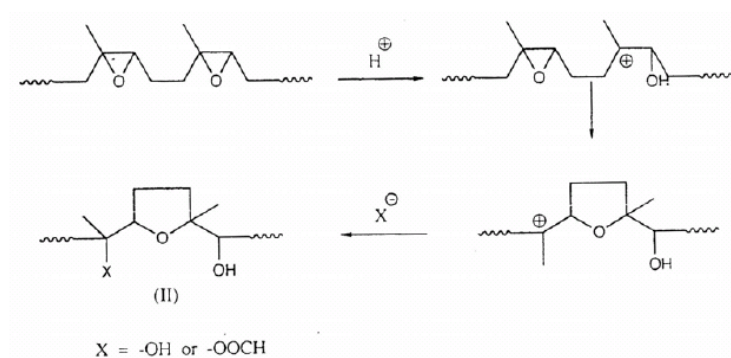
กลไกนี้เกี่ยวข้องโดยเริ่มจากการที่กรดเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นไฮดรอกซีคาร์บอนิลออกไซด์ แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับพันธะคู่ในโอเลฟิน ในลักษณะของการเพิ่มเข้าที่ตำแหน่ง 1,3-dipolar ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกไซด์แบบ 1,3-addition mechanism

ที่มา : ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ (2534)

เมื่อปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีโอกาสที่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่เติมลงไปมากขึ้น บางส่วนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่อีพอกไซด์ทำให้วงแหวนอีพอกไซด์เปิดออก (Epoxide Ring opening) กลายเป็นสารประกอบ ไฮดรอกซีเอสเตอร์และประจุบวกเกิดขึ้นที่ตำแหน่งคาร์บอนถัดไป ซึ่งประจุบวกนี้จะดึงอิเล็กตรอนจากออกซิเจนของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งวงแหวนอีพอกไซด์ถัดไปทำให้วงแหวนอีพอกไซด์เปิดออกได้ เกิดปฏิกิริยาต่อกันกลายเป็น Tetrahydrofuran (ดังรูปที่ 1.7) ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วไม่ควรปล่อยให้ปฏิกิริยาข้างเคียงนี้เกิดขึ้นเพราะจะทำให้ระดับของหมู่แทนที่อีพอกไซด์ลดต่ำกว่าที่ควรจะเป็น



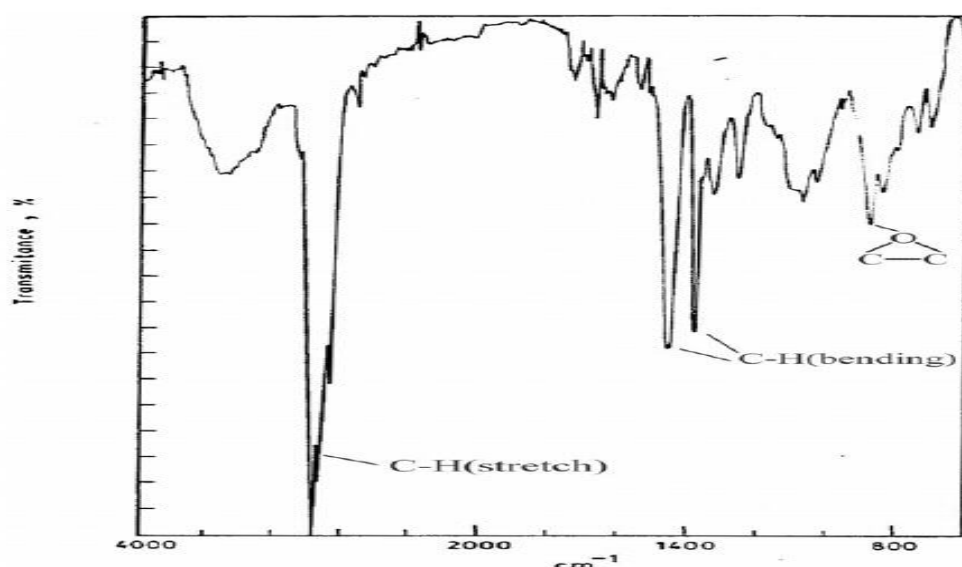
รูปที่ 1.7 ปฏิกิริยาข้างเคียงที่ทำให้เกิดสารอนุพันธ์เตตระไฮโดรฟูราน

ที่มา : ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ (2534)

3.2. การวิเคราะห์ยางธรรมชาติฟ็อกไซด์

3.2.1 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR)

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติฟ็อกไซด์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ โดยจะต้องทำกราฟเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ส่วนในเชิงคุณภาพจะสังเกตพบสัญญาณการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 870 cm^{-1} ที่เป็นสัญญาณของวงแหวนฟ็อกไซด์ (ดังรูปที่ 1.8) และในบางกรณีอาจจะพบสัญญาณการดูดกลืนแสงของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง 3500 ถึง 3250 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ที่เกิดจากการแตกออกของวงแหวนฟ็อกไซด์ (Kuriacose and Rajaram, 1989; Davey and Loadman, 1984)



รูปที่ 1.8 สเปกตรัม FTIR ของยางธรรมชาติฟ็อกไซด์

ที่มา : Davey และ Loadman (1984)

การวิเคราะห์ปริมาณหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติฟ็อกไซด์จากเทคนิค FTIR สามารถทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง absorbance ratio (Ar) กับปริมาณร้อยละโดยโมลของหมู่ฟังก์ชัน (ดังรูปที่ 1.9) โดยค่า absorbance ratio สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (Kuriacose and Rajaram, 1989; Davey and Loadman, 1984)

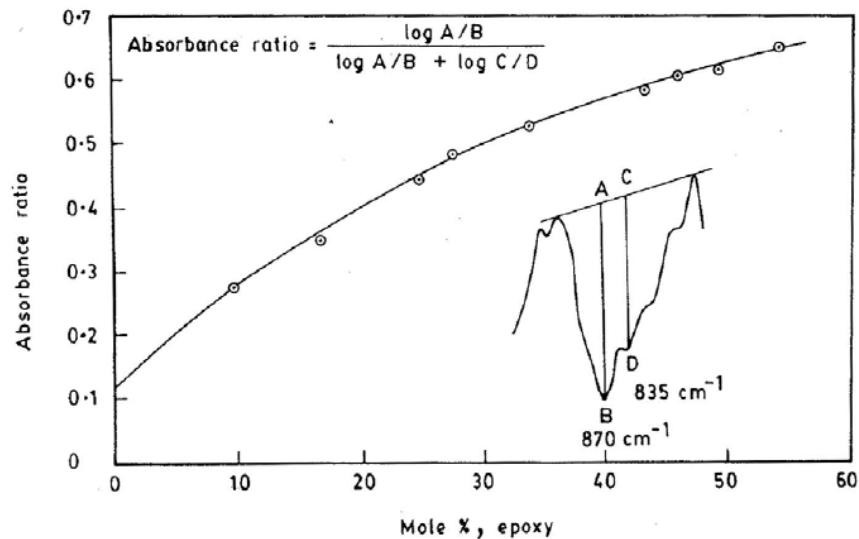
$$Ar = \frac{a_{870}}{a_{836} + a_{870}} \quad (1)$$

เมื่อ Ar = Relative absorbance ratio

a_{870} = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ตำแหน่ง 870 cm^{-1} ซึ่งเป็นของวงแหวนอีพ็อกไซด์ (หมู่อีพ็อกซี)

a_{836} = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ตำแหน่ง 836 cm^{-1} ซึ่งเป็นของพันธะคู่ของยางธรรมชาติ

ซึ่งจากกราฟที่ได้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาพร้อมกับสเปกตรัม FTIR ของสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพ็อกซีได้ต่อไป



รูปที่ 1.9 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพ็อกซีจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

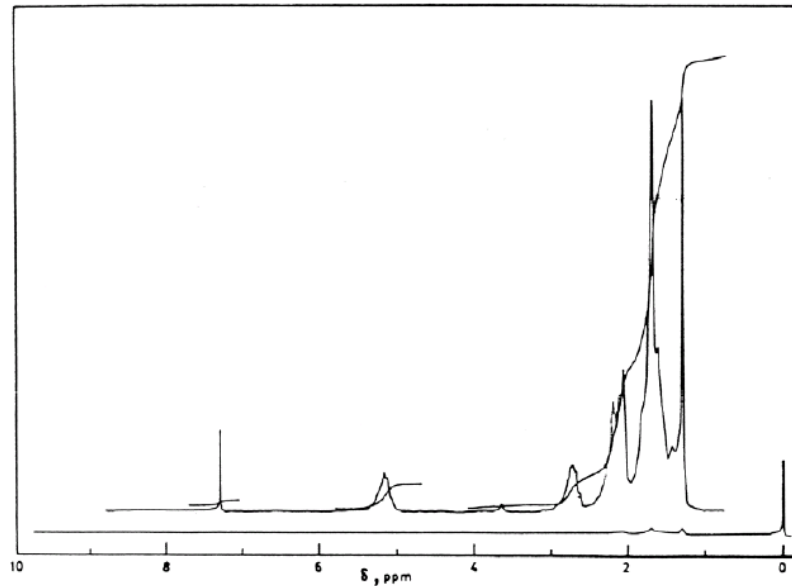
ที่มา : Davey และ Loadman (1984)

3.2.2 เทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี ($^1\text{H-NMR}$)

เทคนิค $^1\text{H-NMR}$ นี้เป็นวิธีที่สำคัญในการหาโครงสร้างของพอลิเมอร์ โดยสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบอีพ็อกไซด์ ได้ โดยพิจารณาจากสัญญาณโปรตอนของโอเลฟินจะพบที่ตำแหน่ง 5.14 ppm และสัญญาณโปรตอนที่อยู่ติดกับวงแหวนอีพ็อกไซด์จะปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง 2.70 ppm (ดังรูปที่ 1.10) โดยปริมาณของหมู่อีพ็อกซีจะหาได้จากการหาพื้นที่ใต้พีคที่เกี่ยวข้องทั้งสองตำแหน่งข้างต้น แล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ (2) (Cheremisinoff, 1993)

$$Mol\%epoxy = \frac{A_{2.70}}{A_{5.14} + A_{2.70}} \times 100 \quad (2)$$

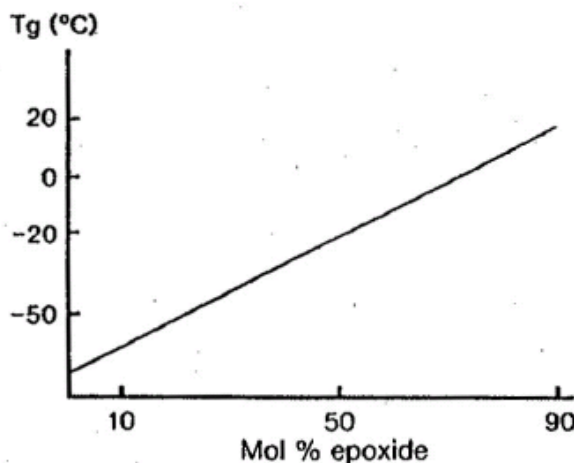
เมื่อ $A_{2.70}$ = พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่งสัญญาณ 2.70 ppm
 $A_{5.14}$ = พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่งสัญญาณ 5.14 ppm



รูปที่ 1.10 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์
 ที่มา : Cheremisinoff (1993)

3.2.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

เทคนิค DSC สามารถนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกซีในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้โดยอาศัยหลักการที่ว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อระดับการอีพอกซีเดชั่นของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นเราจึงสามารถวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกซีของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้จากกราฟมาตรฐาน ระหว่างปริมาณหมู่อีพอกซีของยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน ณ ระดับของการอีพอกซีเดชั่น นั้น ๆ (Roberts, 1990) (ดังรูปที่ 1.11)



รูปที่ 1.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการอีพอกซิเดชันและอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน
ที่มา : Roberts (1990)

3.2.4 ข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของยาง ENR ด้วยวิธีต่าง ๆ

การหาปริมาณของหมู่อีพอกซิทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีมีความถูกต้องแม่นยำต่างกัน โดยความถูกต้องในการหาปริมาณของหมู่อีพอกซิด้วยวิธี $^1\text{H-NMR}$ จะขึ้นอยู่กับระดับของปริมาณอีพอกไซด์ กล่าวคือ ถ้าระดับของการอีพอกซิเดชันมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการหาพื้นที่ใต้พีค เช่น ระดับของการอีพอกซิเดชันมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 20 ถึง 70 โดยโมล พบว่าจะมีค่าผิดพลาดของการวัดเพียงประมาณร้อยละ 1 โดยโมล แต่ถ้าปริมาณหมู่แทนที่สูงหรือต่ำกว่าช่วงนั้นจะเกิดความผิดพลาดในการวัดและคำนวณได้มากขึ้น เนื่องจากผลของปฏิกิริยาข้างเคียง ในขณะที่เทคนิค DSC และอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีมีความแม่นยำสูงก็จริงแต่ผลที่ได้จากเทคนิคเหล่านี้ยังต้องเพิ่มขั้นตอนของการนำมาทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน อย่างไรก็ตามที่ระดับของการอีพอกซิเดชันสูงจะทำให้ผลจากการเกิดปฏิกิริยา hydrofuranization มีผลกระทบต่อผลที่ได้จากเทคนิค DSC เนื่องจากจำนวนของหมู่ hydrofuran เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า T_g เพิ่มขึ้น ส่วนเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีจะได้ผลที่ถูกต้องเมื่อระดับของการอีพอกซิเดชันมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 10 ถึง 75 โดยโมล นอกจากนี้การซ้อนทับกันของพีคจนทำให้เห็น baseline ไม่ชัดเจนก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาของการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกซิด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคอินฟราเรดก็ยังเป็นเทคนิคที่นิยมใช้สำหรับการหาปริมาณหมู่อีพอกซิในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Cheremisinoff, 1993)

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันของยางธรรมชาติ

Hayashi และคณะ (1985) ได้ค้นพบการดัดแปรโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่มีพันธะคู่ให้กลายเป็น hydrophilic polymer ด้วยการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชัน ซึ่งในที่นี้ได้รวมถึงยางธรรมชาติด้วย ในการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันยางธรรมชาติจะใช้สารคาร์บอกซิลิกเปอร์แอซิดที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับสารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยตัวอย่างของกรดคาร์บอกซิลิกได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น ในการค้นพบครั้งนี้สามารถทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันยางธรรมชาติจนได้ปริมาณหมู่ฟ็อกซิอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 60

Roy และคณะ (1990) ได้ทำการศึกษาการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติชั้นโดยการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ฟอร์มิก แบบ *in-situ* ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) พบว่าการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันที่มีปริมาณหมู่ฟอกซิมากกว่า ร้อยละ 65 จะเริ่มเกิดการลดลงอย่างรวดเร็วของปริมาณหมู่ฟอกซิ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา furanisation จึงทำให้หมู่ฟอกซิเกิดการแตกออกกลายเป็นสารอนุพันธ์เคระไฮโดรฟูราน

บุศรินทร์ เมฆะปะบุตร และคณะ (2539) ได้ทำการศึกษาการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติชั้นโดยการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันด้วยกรดเปอร์อะซิติก พบว่าร้อยละของหมู่ฟอกซิที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของยางธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิและปริมาณกรดเปอร์อะซิติกที่ใช้ นอกจากนี้ยางธรรมชาติฟอก ไซค์ที่ได้ยังมีสมบัติการทนต่อแรงดึง และการต้านทานต่อตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้วดีขึ้นตามปริมาณของหมู่ฟอกซิที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงระดับหนึ่งความต้านทานต่อตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้วยังคงเพิ่มขึ้น แต่การทนต่อแรงดึงจะมีค่าลดลง

ประวีณา ตีระ (2540) ได้ทำการศึกษาการดัดแปรยางธรรมชาติให้เป็นยางเรซินด้วยการทำปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยางที่มีหมู่ฟอกซิตามต้องการ จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ ปริมาณและชนิดของกรดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชัน ความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ และค่าความเป็นกรดมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชันเพิ่มขึ้นส่วนชนิดของน้ำยางธรรมชาติ และชนิดของสารเคมีที่ทำให้น้ำยางเสถียรไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาฟ็อกซิเดชัน

4. พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) หมายถึง ระบบพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่มีสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มากกว่าหนึ่งชนิดมาอยู่รวมกันและระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์สองชนิดมักจะเชื่อมต่อกันโดยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าที่จะเป็นพันธะเคมี เว้นเสียแต่ว่าจะมีการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล

ตรงรอยต่อระหว่างเฟส ดังเช่นในกรณีของ reactive blending สำหรับวัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสมนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการทำให้ปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น ด้านความเหนียว ด้านความเสถียรในกระบวนการผลิตขึ้นรูปหรือเพื่อลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์ที่มีราคาแพง (Abdellah, 2002) การเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้สมบัติที่ดี พอลิเมอร์ที่นำมาผสมควรมีความเข้ากันได้ในระดับโมเลกุล (miscibility) ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาเกี่ยวกับหลักการของเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม

4.1 เทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม (Thermodynamics of mixing) (Folkes, 1993)

ความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscibility) พิจารณาได้ตามหลักของอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) ที่ประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างเอนโทรปีและเอนทัลปีของการผสม ซึ่งนำไปสู่ค่าพลังงานอิสระของการผสม ดังสมการที่ (3)

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (3)$$

โดยที่ ΔG_m = การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสม

ΔH_m = การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการผสม

ΔS_m = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

โดยเงื่อนไขเบื้องต้นในการที่พอลิเมอร์ผสมจะเป็นเนื้อเดียวกันได้นั้น ค่า ΔG_m จะต้องเป็นลบ ซึ่งค่า ΔG_m จะสัมพันธ์กับสัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ผสม (Volume fraction, ϕ) ดังสมการที่ (4)

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta G_m}{\partial \phi^2} \right)_{P,T} > 0 \quad (4)$$

แม้ว่าบางกรณี ΔG_m ของการผสมจะมีค่าเป็นลบ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการที่ (4) พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะยังคงไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 1.12 จะเห็นว่าเส้นกราฟ I เป็นช่วงของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างชัดเจน (Total immiscibility) เนื่องจาก $\Delta G_m > 0$ เส้นกราฟ II แสดงถึงพอลิเมอร์ผสมที่มีลักษณะผสมเป็นเนื้อเดียวกันบางส่วน (Partial miscibility) กล่าวคือ $\Delta G_m < 0$ แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔG_m กับสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมไม่เป็นไปตามสมการที่ (4) ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีการแยกเฟสกัน โดยที่ตำแหน่ง O แสดงส่วนผสมของ ϕ_2^A หมายถึงมีส่วนผสม A เป็นส่วนผสมหลัก และ ϕ_2^B หมายถึงมีส่วนผสม B เป็นส่วนผสมหลัก และ $\times$ เป็นตำแหน่งของ spinodal point

และเส้นกราฟ III แสดงถึงพอลิเมอร์ผสมที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Total miscibility) ซึ่ง $\Delta G_m < 0$ และความสัมพันธ์ระหว่าง ΔG_m กับสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมเป็นไปตามสมการที่ (4)

จากเงื่อนไขทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสมจะต้องมีค่า ΔG_m เป็นลบ ดังนั้นสมการที่ (3) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (5)

$$\Delta H_m - T\Delta S_m < 0 \quad (5)$$

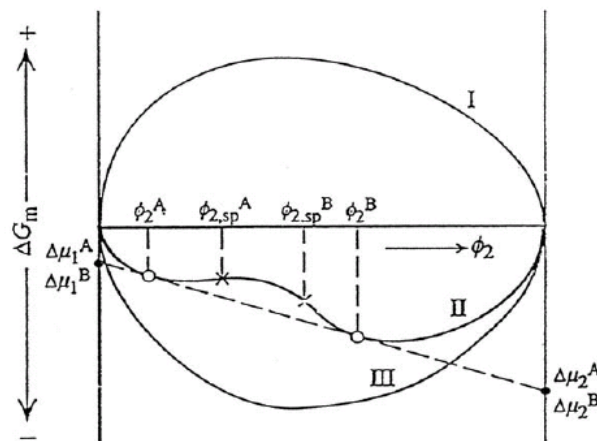
โดยทั่วไปสำหรับการผสมพอลิเมอร์ซึ่งโมเลกุลยาวมาก ความไม่เป็นระเบียบที่เกิดจากการผสมจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอนโทรปีจะมากกว่าศูนย์เล็กน้อย ดังนั้นความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสมจึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบ หรือ ΔH_m ซึ่งค่า ΔH_m นี้จะสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ในการละลายของพอลิเมอร์ (Solubility parameter, δ) ดังสมการที่ (6)

$$\Delta H_m = V(\delta_1 - \delta_2)^2 \phi_1 \phi_2 \quad (6)$$

โดยที่ V คือ molar volume ของของผสม

δ_1 และ δ_2 คือ ค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์ชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ϕ_1 และ ϕ_2 คือสัดส่วนของพอลิเมอร์ชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG_m) กับ

สัดส่วนของพอลิเมอร์ชนิดที่ 2 (Volume fraction, ϕ_2^B) ที่อุณหภูมิและความดันคงที่

I: Total immiscibility II: Partial miscibility และ III: Total miscibility

ที่มา : Folkes และคณะ(1993)

การที่พอลิเมอร์ผสมจะเป็นเนื้อเดียวกันตามสมการที่ 3 นั้นค่า ΔH_m จะต้องมีค่าน้อยหรือเป็นลบ ดังนั้นพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ในการละลาย (Solubility parameter) ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้มีแนวโน้มที่จะผสมเข้ากันได้ ค่า ΔS_m ระหว่างพอลิเมอร์ผสมสามารถจัดอยู่ในรูปของสัดส่วนโมล (n) และสัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ (ϕ) ดังสมการที่ (7)

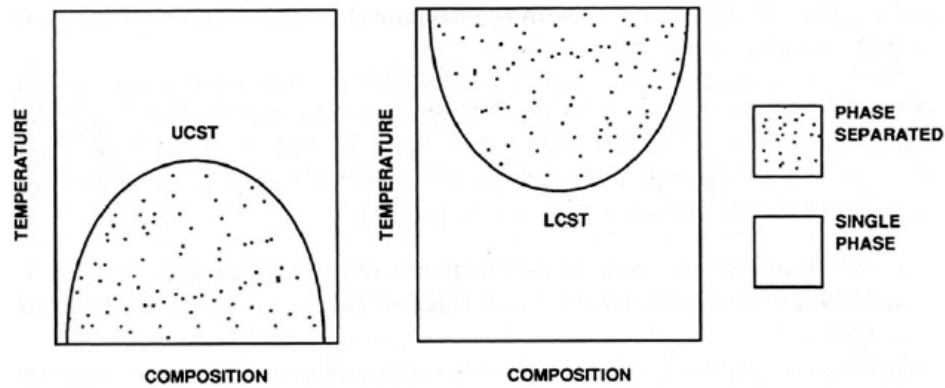
$$\Delta S_m^* = -R(n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2) \quad (7)$$

เมื่อนำสมการที่ (6) และ (7) แทนค่าในสมการที่ (3) จะได้สมการ การเปลี่ยนแปลง พลังงานอิสระของการผสมดังนี้

$$\Delta G_m = V(\delta_1 - \delta_2)^2 \phi_1 \phi_2 + RT(n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2) \quad (8)$$

สมการนี้เป็นพื้นฐานของการหาค่าพารามิเตอร์ในการละลาย อีกทั้งยังแสดงถึงความแข็งแรงและความอ่อนแอของพอลิเมอร์ผสม โดยสมการที่ (8) นี้สามารถทำนายการเพิ่มขึ้นของพลังงานอิสระของพอลิเมอร์ผสม เมื่อนำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น (แฝงอยู่ในรูปของ molar volume, V) ดังนั้นความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มที่จะไม่เข้ากัน โครงสร้าง สันฐาน ของพอลิเมอร์ผสม โดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมและอุณหภูมิของการผสม พอลิเมอร์ผสมส่วนมากนิยม เตรียมโดยใช้วิธีการบดการ ผสมในสถานะหลอม (Melt blending) ซึ่งสามารถพิจารณาโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมได้จากเฟสไดอะแกรม ดังรูปที่ 1.13

ในรูปที่ 1.13 เมื่อทำการผสมพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น Low critical solution temperature (LCST) และสูงกว่าเส้น Upper critical solution temperature (UCST) พอลิเมอร์ผสมจะมีเฟสเดียวที่ทุกสัดส่วนของการผสม และเนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็นของแข็ง ดังนั้นเฟสไดอะแกรมที่พบโดยทั่วไปของพอลิเมอร์ผสมจึงเป็นแบบ LCST ซึ่งถ้าทำการผสมพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น LCST จะได้พอลิเมอร์ผสมที่มีเฟสเดียว แต่เมื่อผสมพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า LCST จะเกิดการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 1.13 เฟสไดอะแกรมของพอลิเมอร์ผสม
ที่มา : Folkes และคณะ (1993)

4.2 แนวทางการปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่

4.2.1 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of block or graft copolymers)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม (compatibilizer) (Folkes et al., 1993) เช่น

- บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟโคพอลิเมอร์
- ไคบล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
- ไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมามีประสิทธิภาพสูงกว่า
- ไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

4.2.2 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

(Addition of Functional/Reactive Polymers)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมส่วนใหญ่เป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจน กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอฟีนส์โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ (Folkes et al., 1993)

4.2.3 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไครเซชันในระหว่างการผสม

(In-Situ Grafting Polymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไครเซชันในระหว่างการผสม หรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตกับพอลิเอสเตอร์ แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ reactive blending ได้ แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง เช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin-screw extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดี

5. พอลิเมอร์ผสมที่มียางธรรมชาติฟ็อกไซด์เป็นส่วนประกอบ

Mousa และคณะ (2000) ได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของ PVC/ENR thermoplastic elastomers (TPEs) ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แบบ dynamic โดยเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC กับยาง ENR ด้วยเครื่อง twin screw extruder พบว่า ค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ของพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่ออัตราเฉือน (apparent shear rate) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic behavior) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปรากฏการณ์ทางความยืดหยุ่น (Elastic phenomena) โดยพิจารณาค่า die swell ที่อุณหภูมิ 150 °C พบว่าเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า die swell ของพอลิเมอร์

ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อค่าอัตราเลื่อนเพิ่มมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ผิวของ extrudate มีการเสียรูปสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ที่ใช้ด้วย

วันทนา สุขแก้ว (2543) ศึกษาการปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยผสมกับยางธรรมชาติ (NR) และยางธรรมชาติอีพอกไซค์ (ENR-50) โดยผสมด้วยเครื่อง twin screw extruder พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC กับ NR ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ (Incompatible) และไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC กับ ENR-50 สามารถผสมเข้ากันได้จนเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible blend) และเมื่อทำการผสม PVC กับ NR โดยใช้ ENR-50 เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยมีโครงสร้างเป็นแบบ immiscible blend และพบว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยาง ENR เท่ากับยาง NR ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยาง ENR น้อยลง (ที่ปริมาณยาง NR คงที่) และพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติด้านความเหนียวสูงที่สุดเมื่อมีปริมาณยางโดยรวมเท่ากับร้อยละ 20

Ishiaku และคณะ (1994) ศึกษาการผสม PVC/ENR ด้วยเทคนิค FTIR พบการดูดกลืนของความยาวคลื่นที่ 3400 cm^{-1} เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจน นั้นหมายถึงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/ENR เป็นแบบ miscible blend โดยพบว่า PVC/ENR ที่ส่วนผสม 50/50 ทำให้การกระจายตัวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในแง่ของสมบัติทางกลของ PVC/ENR พบว่าเมื่อปริมาณของ PVC เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความแข็ง และความหนาแน่นสูงขึ้น ในขณะที่สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง ส่วนสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก พบว่าที่ปริมาณยาง ENR ร้อยละ 7-9

ให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงสุด เนื่องจากยาง ENR บางส่วนที่ไม่ผสมเข้ากับ PVC อย่างสมบูรณ์ และได้กระจายตัวอยู่ในเนื้อ PVC ในลักษณะ microgel ซึ่งการยึดเกาะระหว่างยาง ENR และ PVC ค่อนข้างน้อยจึงทำให้ความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/ENR เพิ่มขึ้น

Lee และคณะ (1997) ได้ศึกษาการผสมยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับยางธรรมชาติ ด้วยเครื่อง two roll mill ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่ายางผสมที่ได้มีลักษณะเป็นแบบ immiscible blend โดยสังเกตได้จากการที่ยางผสมค่ามีอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) สองค่า และพบว่าค่า mooney viscosity ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์จะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าเท่ากับยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบดเป็นเวลา 3.5 นาที ส่วนความสามารถในการทนตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้ง และสมบัติเชิงกลหลังการอบ บ่ม (Aging) ของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ผสมลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความจริงที่ว่ายางธรรมชาติไม่ทนความร้อนและน้ำมันดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกับของยางธรรมชาติมากขึ้นก็ย่อมจะมีสมบัติดังกล่าวเช่นกัน

Poh และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล เช่น ความล้า การเสียรูป และความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง natural rubber/epoxidized natural rubber (ENR-25) และ natural rubber/styrene-butadiene rubber พบว่าสมบัติทางด้านความล้าดีขึ้น โดย ใน ENR-25/NR มากกว่า natural rubber/styrene-butadiene rubber แต่การเสียรูปมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มยาง ENR

Imam และคณะ (2001) ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมกาวสำหรับติดไม้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยทำการเชื่อมโยงโมเลกุล PVA กับแป้งข้าวโพด (Corn starch) ด้วยสารเชื่อมโยง hexamethoxymethylmelamine ปริมาณ 58.8 กรัม และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรดซิดริก พบว่าการเชื่อมโยงโมเลกุลระหว่าง PVA กับแป้งข้าวโพด มีผลให้ค่าทนต่อแรงเฉือน (Shear force) สูงถึง 2750 kg ซึ่งมีค่ามากกว่ากาวจาก PVA เพียงอย่างเดียว (1000 kg) นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลของการเติมน้ำยางธรรมชาติลงในกาวที่ผ่านการเชื่อมโยงปริมาณร้อยละ 7 โดยการเติมน้ำยางธรรมชาติลงไปจะทำให้ค่าความต้านทานต่อความชื้นของกาวสูงขึ้น รวมทั้งยังทำให้ค่าความหนืดของกาวต่ำลง ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติการไหลของกาวที่ผ่านการเชื่อมโยงนี้

Poh และ Khok (2000) ได้ศึกษาสมบัติด้านความต้านทานต่อการดึง (Tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของยางธรรมชาติพอกไซค์ผสมกับยางธรรมชาติ (ENR-25/SMR-L และ ENR-50/SMR-L) พบว่ายางผสมระหว่าง ENR-25/SMR-L ให้ค่าความต้านทานต่อการดึง และระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่า ENR-50/SMR-L ที่ทุกสัดส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากยาง ENR-25 มีปริมาณพันธะคู่มากกว่ายาง ENR-50 ซึ่งส่งผลให้เกิด strain-induced crystallization ได้มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ายางผสมทั้ง ENR-25/SMR-L และ ENR-50/SMR-L มีค่าความต้านทานต่อการดึงและระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุด การใช้ยาง ENR ในปริมาณร้อยละ 50

Johnson และ Thomas (2000) ศึกษาอิทธิพลของโครงสร้าง สัณฐาน (Morphology) ต่อสมบัติการแพร่และการซึมผ่านของแผ่นเยื่อ (Membranes) ที่ทำจากยางธรรมชาติผสมกับยางธรรมชาติพอกไซค์ (NR/ENR) พบว่าเมื่อสัดส่วนผสมเปลี่ยนไปจะทำให้โครงสร้างจุลภาคของยางผสมแตกต่างกันออกไป และส่งผลให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านเปลี่ยนไปด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeation coefficient) ของยางผสมจะต่ำสุดที่ อัตราส่วนผสม (NR/ENR) เท่ากับ 70/30 เนื่องจากเกิดโครงสร้างที่เป็นแบบ heterogeneous ส่วนโครงสร้างของยางผสม ที่อัตราส่วน NR/ENR เท่ากัน 50/50 เป็นแบบ co-continuous ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงที่สุด

Nakason และคณะ (2003) ทำการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์และความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติพอกไซค์ (33% โดยโมล) เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ โดยใช้การวัลคาไนซ์

แบบปกติ กับสารตัวเร่ง 3 ชนิด คือ MBT (Mercaptobenzothiazole), MBTS (Dibenzothiazoledisulfide) และ TBBS (N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfonamide) ทดสอบการวัลคาไนส์ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานหมุนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และทดสอบความต้านทานการฉีกขาดก่อนและหลังบ่มแรงด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงที่ความเร็ว 500 มม./นาที พบว่ายางธรรมชาติมีระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปและระยะเวลาการวัลคาไนส์นานกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ แต่มีค่าแรงบิดสูงสุดและผลต่างระหว่างแรงบิดต่ำสุดน้อยกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ แต่หลังบ่มแรงยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อการฉีกขาดมากกว่ายางธรรมชาติ

Nakason และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาการเบลนด์ยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับพอลิโพรพิลีน โดยทำการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์ด้วยวิธีการใช้กรดเปอร์โครมิก โดยให้มีปริมาณหมู่อีพอกไซ์บนโมเลกุลยางธรรมชาติประมาณ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยโมล โดยทำการทดลองเบลนด์ยางธรรมชาติอีพอกไซค์ชนิดต่างๆกับพอลิโพรพิลีนโดยใช้กราฟโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนกับมาลิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่าการเบลนด์พอลิโพรพิลีน กับ ENR-30 ในอัตราส่วน 60/40 โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณการใช้ PP-g-MA ปริมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนักพอลิโพรพิลีน ให้พอลิเมอร์ผสมที่มีการเข้ากันมากที่สุด ส่งผลให้สมบัติการต้านแรงดึงดีขึ้น

Tanrattanakul และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เตรียมจากยางธรรมชาติอีพอกไซค์และไนลอน -6 ที่อัตราส่วน 50/50 และ 60/40 โดยน้ำหนัก (ยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีหมู่อีพอกไซ์เท่ากับร้อยละ 50 โดยโมล โดยมีการใช้สารเชื่อมโยงได้แก่ ไดคิควิวเปอร์ออกไซด์และฟีนอลิกเรซิน ผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดและเครื่องอัดรีดสกรูคู่ พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางอีพอกไซค์และไนลอน -6 ในอัตราส่วน 50/50 และใช้สารเชื่อมโยงฟีนอลิกเรซิน (6-8 phr) มีความสามารถในการทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 99.53 N/m^2 เป็น 117.77 N/m^2

6. กาวและการยึดติด (adhesive and adhesion)

6.1 ศัพท์เทคนิคด้านกาว

กาว (adhesive) เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัตถุตั้งแต่สองชิ้นเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ ในอดีตเราใช้กาวที่ได้จากธรรมชาติ เช่น เกล็นในน้ำมัน น้ำยางจากต้นไม้ แป้ง หรือสารที่สกัดจากเกล็ดปลา ไข่ขาว หรือเขาสัตว์ แต่กาวที่ใช้กันมากในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์

สังเคราะห์ทั้งที่เป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งมีการยึดติดที่ดีที่อุณหภูมิห้อง อ่อนตัวได้เมื่อโดนความร้อน และชนิดเทอร์โมเซตติง (thermosetting) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งที่มีความคงทนต่อความร้อน และไม่ละลายในตัวทำละลาย

การยึดติดหรือ การติดประสาน (adhesion) เป็นกรรมวิธีที่ทำให้วัสดุที่เป็นของแข็งติดกันด้วยวัสดุเชื่อมติด (หรือกาว) ซึ่งมักจะเป็นแผ่นบางต่อเนื่อง ในการติดกาวส่วนใหญ่ต้องเตรียมผิวให้สะอาดและขรุขระหรือเรียบเสมอกัน ความแข็งแรงของกาวนั้นอาจต้องใช้เวลา ความร้อน แรงกด หรือการเนบของวัสดุทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของงานและชนิดของกาว การเชื่อมติดด้วยกาวมีทั้งแบบถาวรซึ่งกาวจะใช้ได้ครั้งเดียวและจะเสียไปเมื่อถูกลอกหรือหักออก และแบบไม่ถาวรซึ่งใช้ซ้ำได้ วัสดุติดกาวหลุดออกจากกันได้ทั้งสองลักษณะ คือ กาวหลุดจากวัสดุที่เชื่อมติด (adhesive failure) และเนื้อกาวแยกหลุดออกจากกัน (cohesive failure)

Cure กาวเกิดปฏิกิริยา โดยจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งโดยการคงรูปของกาว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเนื่องจาก ความเย็น ตัวทำละลายระเหย หรือสารเคมีในส่วนประกอบเกิดปฏิกิริยาโดยส่งผลให้กาวเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมี

Green Strength เป็นความแข็งแรงของกาวในการยึดติดวัสดุเข้าด้วยกันในช่วงแรกที่กาวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง (ในช่วง green time) Green Time (open time) เป็นระยะเวลาที่กาวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งโดยนับจากการทา กาวลงบนผิววัสดุที่ต้องการจะยึดติด

Kick Over เป็นการเพิ่มขึ้นของความหนืดอย่างทันทีทันใดในขณะที่กาวกำลัง cure โดยกาวจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งอย่างทันทีทันใด จึงจำเป็นต้องทา กาวอย่างรวดเร็ว

Pot Life เป็นระยะเวลาที่กาวสามารถคงอยู่ในสถานะของเหลวในระหว่างการผสม ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญ

Shelf Life เป็นระยะของกาวที่สามารถเก็บไว้ก่อนการใช้งาน โดยไม่เสียสภาพ ซึ่งกาวโดยส่วนใหญ่มีอายุ 6-12 เดือน ซึ่งอายุมากขึ้นเมื่อเก็บไว้ในที่เย็น และอายุน้อยลงเมื่อวางไว้ในที่แสงที่มีความร้อน

Viscosity เป็นค่าความหนืดที่ด้านการไหลของกาวและทำให้กาวมีความเข้มข้นขึ้นกาวบางชนิดไหลได้ดี ในขณะที่กาวบางชนิดจะไหลยากเนื่องจากความเข้มข้นสูง

Wetting การเปียกผิวของหยดของเหลวบนวัสดุที่เป็นของแข็ง การเปียกผิวดีส่งผลให้การดึงดูดระหว่างผิววัสดุ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการยึดติด

6.2 ประเภทของกาว

แบ่งกาวได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ตามหลักการทำงานของกาวดังนี้

6.2.1 เป็นพวกที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวอยู่แล้ว แต่จะละลายหรือแขวนลอยอยู่ในตัวทำละลาย อย่างเช่น กาวน้ำ (ใสๆ) กาวลาเท็กซ์ (สีขาวขุ่นๆ) หรือกาวยาง (สีเหลืองขุ่นๆ) กาวพวกนี้ต้องรอให้ตัวทำละลายแห้งออกไปหมดเสียก่อนจึงจะแข็งและยึดติดสิ่งของบางอย่างได้ กาวประเภทนี้มีจุดเด่น คือ ราคาถูก ใช้งานง่าย แต่มีจุดอ่อนคือ ไม่แข็งแรงมากนัก ไม่ทนความร้อน หากไปโดนสารละลายที่เข้ากันได้ จะเอื้อมกลับมาไหลใหม่ได้

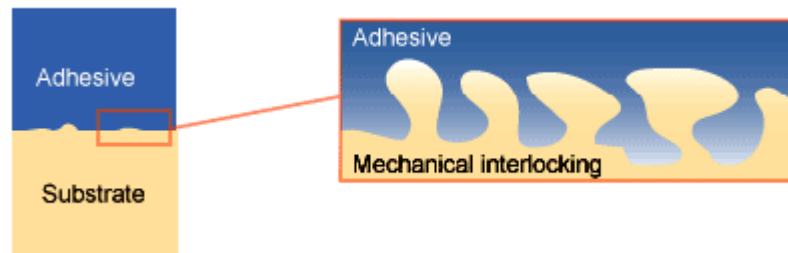
6.2.2 เป็นพวกที่เริ่มจากโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งอาจจะเป็นมอนอเมอร์ตัวเดียว หรือไม่ก็ตัวมาต่อกัน เรียกว่าพรีพอลิเมอร์ (prepolymer) กาวประเภทนี้จะใช้ปฏิกิริยาเคมีเพื่อทำให้ได้สายโซ่ยาว ตัวอย่างที่รู้จักกันดี คือ ซุปเปอร์กลู (แบบหลอดเดียว) (ชื่อเคมีคือ ไซยาโนอะคริเลต , cyanoacrylate) ตอนที่กาวอยู่ในหลอดจะเป็นของเหลวใสไหลง่าย(เพราะเป็นโมเลกุลเล็กๆ) แต่พอบีบออกมากาวจะแข็งตัวเนื่องจากโดนความชื้น โดยความชื้นนี้เองที่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้โมเลกุลเล็กๆ มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวๆ กาวชนิดนี้มีข้อดีคือ แข็งตัวเร็ว และยึดติดได้แน่นมาก แต่ก็มีจุดอ่อนคือ กาวแบบนี้ไม่ทนความร้อน และละลายได้ในสารละลายบางชนิดอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีกาวอีกแบบหนึ่ง คือ กาวอีพอกซี (epoxy) จะมี 2 หลอด หลอดหนึ่งมีชื่อเรียกว่าเรซิน (resin) ส่วนอีกหลอดหนึ่งเรียกว่าตัวทำให้แข็ง (hardener) กาวอีพอกซีนี้ถ้าใช้แค่หลอดเดียวจะไม่เหนียว ต้องใช้ 2 หลอดผสมกันอย่างเหมาะสม เนื่องจากสารเคมีในหลอดแรกที่เราเรียกว่าเรซินนั้นมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่สั้นๆ (หรือพรีพอลิเมอร์) ซึ่งยังไม่เป็นกาวแข็งแต่ถ้าเติมตัวทำให้แข็งเข้าไป ตัวทำให้แข็งจะไปยึดสายโซ่สั้นๆ เข้าด้วยกันทำให้ได้โมเลกุลใหญ่คล้ายร่างแห ส่งผลให้กาวอีพอกซีแข็งแรงมาก

6.2.3 เป็นพวกที่มาในรูปของแข็งเป็นแท่งพลาสติกยาวๆ และต้องใช้ปืนที่ให้ความร้อนทำให้หลอม กาวพวกนี้เริ่มต้นเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวๆ แต่เนื่องจากไม่มีตัวทำละลายจึงมีสภาพเป็นของแข็ง เวลาใช้ต้องให้ความร้อนทำให้กาวหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นตัวแข็งใหม่อีกครั้ง ตัวอย่างในเชิงพาณิชย์ เช่น กาวแท่งพอลิเอไมด์ (polyamide) และกาวแท่งพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (polyethylene vinyl acetate) กาวพวกนี้มีจุดเด่น คือ ไม่ค่อยหดตัว แต่มีจุดอ่อน คือ ไม่ทนความร้อน

6.3 กลไกการยึดติดของกาว

กลไกการยึดติดของกาวกับวัสดุมีด้วยกันหลายกลไก/ทฤษฎีที่สำคัญ คือ (SpecialChem, 2005)

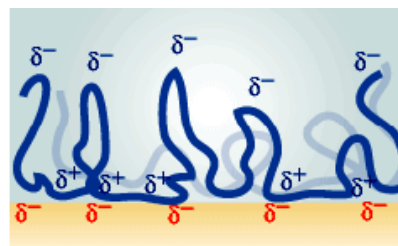
6.3.1 Mechanical Interlocking เป็นแรงยึดติดทางกลซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการยึดติดระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ เนื่องจากการไหลของกาวเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุ หรือมีการแพร่ผ่านลงไปในผิวของวัสดุ ซึ่งการยึดติดทางกลนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อผิวหน้าของวัสดุมีความขรุขระ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของกาวและวัสดุแสดงได้ดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 แรงยึดติดทางกล

ที่มา : SpecialChem (2005)

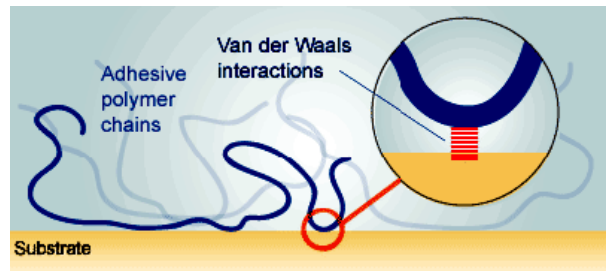
6.3.2 Electrostatic Theory เป็นการยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงดึงดูดจากการแยกชั้นของประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ เช่น การยึดติดของพอลิเมอร์กับโลหะ อิเล็กตรอนจากโลหะจะเคลื่อนย้ายไปยังพอลิเมอร์เกิดเป็นประจุไฟฟ้าที่ต่างกันขึ้นที่ผิววัสดุทั้งสองชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 แรงยึดติดด้วยแรงทางไฟฟ้า

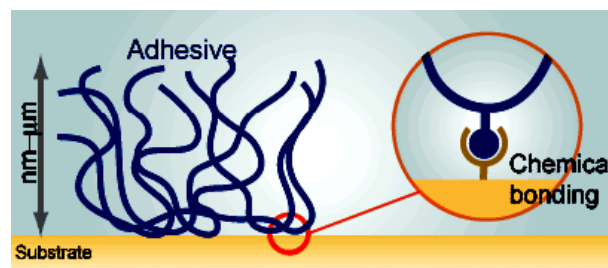
ที่มา : SpecialChem (2005)

6.3.3 Adsorption Mechanism เป็นการยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ เช่น เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal) แรงกระทำที่เกิดจากความเป็นกรด-ด่างหรือ ความสามารถในการเปียกผิวของกาวบนผิวสัมผัสของผิววัสดุ แสดงได้ดังรูปที่ 1.16



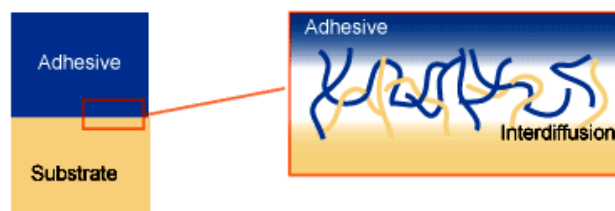
รูปที่ 1.16 การยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ
ที่มา : SpecialChem (2005)

6.3.4 Chemisorption Theory การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ ซึ่งพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกาวและผิวสัมผัสมีด้วยกันหลายแบบ และพลังงานพันธะไม่เท่ากัน ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด โดยหากพลังงานพันธะสูงแสดงว่าพันธะมีความแข็งแรงมาก ลักษณะการยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีแสดงได้ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมี
ที่มา : SpecialChem (2005)

6.3.5 Diffusion Theory เป็นการยึดติดที่เกิดจากการเคลื่อนไหวยของโมเลกุลแทรกผ่านรวมเข้าอยู่ด้วยกันของโมเลกุลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของกาวและวัสดุ แสดงได้ดังรูปที่ 1.18 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแทรกผ่านของโมเลกุล คือ เวลาที่ใช้ในการเชื่อมติด, อุณหภูมิ, น้ำหนักโมเลกุลและความมีขั้วของโมเลกุล



รูปที่ 1.18 การยึดติดที่เกิดจากการแทรกผ่านรวมเข้ากันของโมเลกุล
ที่มา : SpecialChem (2005)

6.4 การทดสอบความแข็งแรงในการยึดติด

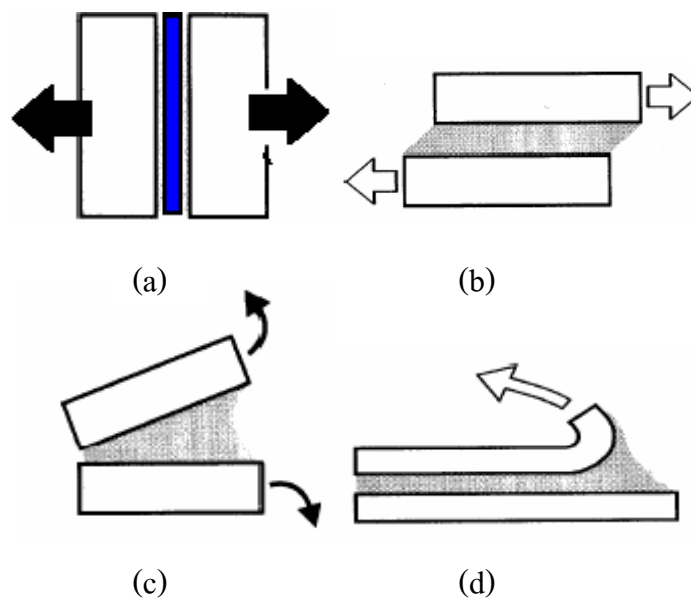
กาวที่ดีจะต้องมีความต้านทานการแยกกันเนื่องมาจากแรงกระทำในลักษณะต่างๆตามสภาพการใช้งาน การทดสอบความแข็งแรงของการยึดติด สามารถทดสอบภายใต้แรงดึงแบบต่างๆ ได้แก่ (ชนาวดี ลีจากภัย, 2546)

6.4.1 การดึงในแนวตั้งฉากกับการยึดติด (tensile) โดยใช้แรงดึงกระจายไปทั่วพื้นที่ที่เกิดการยึดติดทั้งหมด ดังรูปที่ 1.19(a)

6.4.2 การดึงในแนวระนาบที่ขนานกับการยึดติด (shear) โดยให้แรงดึงกระจายทั่วพื้นที่ที่เกิดการยึดติดทั้งหมด ดังรูปที่ 1.19(b)

6.4.3 แรงแยก (cleavage) โดยให้แรงในการแยกเฉพาะบริเวณขอบของการยึดติดเท่านั้น ดังรูปที่ 1.19(c)

6.4.4 การดึงลอก (peel) มักใช้เมื่อมีวัสดุอย่างน้อยหนึ่งชนิดมีผิวที่มีความยืดหยุ่นสูง ดังรูปที่ 1.19(d)

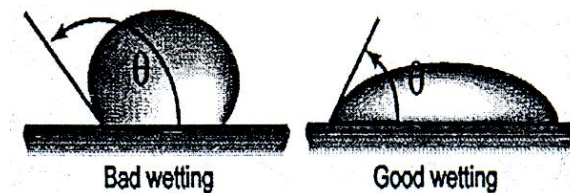


รูปที่ 1.19 การทดสอบการยึดติดภายใต้แรงดึงแบบต่างๆ (a) การดึงในแนวตั้งฉากกับการยึดติด (b) การดึงในแนวระนาบที่ขนานกับการยึดติด (c) แรงแยก และ (d) แรงดึงลอก

6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ

6.5.1 การเตรียมผิวพื้นวัสดุ ลักษณะพื้นผิววัสดุมีผลต่อความสามารถในการยึดติดระหว่างกาวและวัสดุ เนื่องจากถ้าผิววัสดุมีความสกปรก เช่น ฝุ่นละออง คราบน้ำมันหรือความชื้น จะทำให้พันธะในการยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุลดน้อยลง ทำให้การยึดติดไม่ดี

6.5.2 มุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งความสามารถในการยึดติดระหว่างกาวกับพื้นผิววัสดุจะดีถ้ามุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุไม่เกิน 90° แสดงได้ดังรูปที่ 1.20 โดยมุมสัมผัสจะขึ้นกับแรงตึงผิวและความหนืดของกาว ซึ่งกาวที่มีความหนืดต่ำจะสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวได้ง่าย ดังนั้นสมบัติการไหลของกาวจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสถานะการใช้งาน



รูปที่ 1.20 มุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุ

ที่มา: SpecialChem (2005)

5.5.3 พลังงานพื้นผิว (surface energy) ถ้าของเหลว (เช่นกาว) สามารถเปียกบนพื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวสูงกว่าเท่านั้น (พลังงานพื้นผิวของของแข็งมีความหมายเทียบเท่ากับความตึงผิว (หรือ surface tension ของของเหลว) โดยความสามารถในการเปียกผิวของกาวบนผิวสัมผัสของผิววัสดุ อธิบายได้ตามสมการของยังค์ (Young's equation)

$$\gamma_{GS} = \gamma_{LS} + \gamma_{GL} \cdot \cos \theta \quad (9)$$

เมื่อ γ_{GS} คือ ความตึงผิว vapor/solid

γ_{LS} คือ ความตึงผิว liquid/solid

γ_{GL} คือ ความตึงผิว vapor/ liquid

5.5.4 โครงสร้างของวัสดุเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดของกาว ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้กาวให้เหมาะสมกับโครงสร้างของวัสดุ วัสดุที่โครงสร้างมีรู เช่น ไม้และกระดาษจะเหมาะกับกาวที่มีความหนืดต่ำ เนื่องจากทำให้กาวสามารถไหลแทรกซึมเข้าไปได้ดี ทำให้การยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุดี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์
2. เพื่อศึกษาผลของชนิด PVA ชนิดของ ENR และ อัตราส่วนผสมระหว่าง PVA และ ENR ต่อสมบัติของฟิล์มและสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR
3. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยบางประการ (อุณหภูมิและเวลา) ต่อสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR
4. เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของฟิล์มและการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

(Materials and Methods)

2.1 วัสดุและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

2.1.1 น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex, HA)

ใช้สำหรับเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสม รวมทั้งใช้สำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและอีพอกไซค์ มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber content, DRC) ประมาณ 60 % ผลิตโดยบริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำกัด (Chalong Latex Industry Co., Ltd.) อ. ฉะนะ จ.สงขลา

2.1.2 เทอริก เอ็น 30 (Teric N30)

เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก (non-ionic surfactant) มีสูตรทางเคมีคือ $C_{30}H_{15}O_{24}$ จัดอยู่ในกลุ่ม Nonyl phenol ethylene oxide ผลิตโดยบริษัท Lucky four เขต คลองสามวา กรุงเทพฯ มีสมบัติทั่วไปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเทอริก N30

Properties	Value
Viscosity (cP)	150 @50°C
Melting Point/Range (°C)	38-42
Specific Gravity:	1.07 @50°C
pH	6-8 (1% aqueous solution)

2.1.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์ มีสูตรทางเคมีคือ H_2O_2 ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

2.1.4 กรดฟอร์มิก (Formic acid) เข้มข้น 94 %

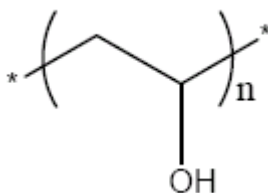
ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอ็อกไซค์ มีสูตรทางเคมีคือ HCOOH มีน้ำหนักโมเลกุล 46.03 กรัม/โมล ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

2.1.5 เมทานอล (Methanol)

ใช้สำหรับจับตัวน้ำยางหลังจากทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีสูตรทางเคมี CH_3OH มีน้ำหนักโมเลกุล 32.04 กรัม/โมล ช่วงจุดเดือด $64-65^\circ\text{C}$ ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA)

ใช้สำหรับเตรียมพอลิเมอร์ผสม ผลิตโดยบริษัท ดุสิตเคมีภัณฑ์ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 PVA ที่ใช้ในการทดลองมีชนิด Fully hydrolyzed PVA (BF type) และ Partially hydrolyzed PVA (BP type) ที่มีระดับการไฮโดรไลซิส (degree of hydrolysis, DH) และน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

PVA type	Degree of hydrolysis (mol%)	Degree of polymerization	Molecular Weight
BF-17*	98.5-99.2%	1700	75,000 – 80,000
BP-17*	86-89%	1700	84,000 – 89,000
BF-26*	98.5-99.2%	2600	112,000-120,000

*BF (Fully hydrolyzed PVA); BP (Partially hydrolyzed PVA); The number denotes degree of polymerization.

ที่มา : Skeist (1990)

2.1.7 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

ใช้ในการปรับพีเอชของยางธรรมชาติฟ็อกไซด์ให้เป็นกลาง มีน้ำหนักโมเลกุล 56.1056 g/mol มีค่า pH 13.5 มีสูตรทางเคมี KOH ความหนาแน่น 2.044 g/cm³ ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

2.1.8 เฮกเซน (Hexane)

ใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย มีน้ำหนักโมเลกุล 86.18 g/mol มีสูตรทางเคมี C₆H₁₄ มีความหนาแน่น 0.6548 g/cm³ ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

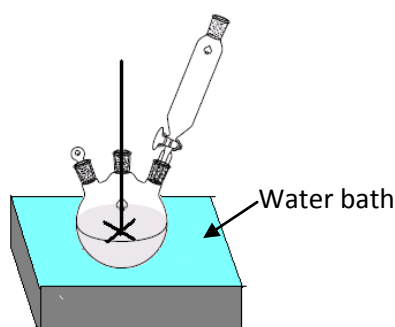
2.1.9 โทลูอิน (Toluene)

ใช้สำหรับทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย โทลูอินเกรดที่ใช้มีความบริสุทธิ์ 99.90% มีค่า Acidity/Alkalinity 0.000033 meq/g มีสูตรทางเคมี C₆H₅CH₃ มีน้ำหนักโมเลกุล 92.14 g/mol มีความหนาแน่น 0.867 g/cm³ ผลิตโดยบริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติฟ็อกไซด์

ประกอบด้วย อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ขนาดทำปฏิกิริยาชนิด 3 ลอ ขนาด 2,000 mL ชุดกวนพร้อมแกนใบพัด (Overhead stirrer) และอุปกรณ์รีฟลักซ์ (reflux condenser) (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติฟ็อกไซด์

2.2.2 เครื่องกวน

2.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) ขนาด 100°C

2.2.4 เครื่องชั่ง ความละเอียด 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ผลิตโดย Mettler Co., Ltd. (รุ่น TE1502s และ TE214s ตามลำดับ)

2.2.5 เป้าพิมพ์กระจกขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$ สำหรับขึ้นรูปฟิล์มทดสอบ

2.2.6 ชุดอุปกรณ์วัดการซึมผ่านไอน้ำ

2.2.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ผลิตโดยบริษัท LLOYD instrument รุ่น LR 30 K

2.2.8 เครื่องตัดชิ้นทดสอบรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D412 die C

2.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ผลิตโดย บริษัท JEOL รุ่น SEM-5200 และ SEM-5800

2.2.10 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) ผลิตโดยบริษัท Shimadzu รุ่น 1601

2.2.11 ตู้อบความร้อน ผลิตโดย Binder รุ่น FED

2.2.12 เครื่องวัดความหนืด ผลิตโดย Effem รุ่น DV II+

2.2.13 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ผลิตโดย บริษัท Binder รุ่น KBF115

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติฟ็อกไซค์

เตรียมน้ำยางธรรมชาติฟ็อกไซค์ที่มีปริมาณหมู่ฟอกซีแตกต่างกันคือประมาณ 10% mol (ENR-10), 25% mol (ENR – 25) และ 50 % mol (ENR – 50) โดยดัดแปลงวิธีการของ จารุณี จิรพันธ์ (2546) โดยมีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2.3 เติมน้ำยางธรรมชาติ (20% DRC) 1000 ml ในชุด reactor กวนน้ำยางที่ความเร็วรอบประมาณ 150 รอบ/นาที เพื่อไล่แอมโมเนีย ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมสารละลาย 10% Terric – N30 ปริมาณ 60 ml กวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30% และกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 98% ในปริมาณต่างๆ (ดังตารางที่ 2.3) ภายใต้อากาศในโตรเจนและ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นกวนผสมต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหยุดปฏิกิริยาโดยปรับค่า พีเอชของน้ำยางให้เป็นกลางด้วยสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 10 %

ตารางที่ 2.3 สูตรส่วนผสมสำหรับการเตรียมน้ำยางธรรมชาติพ็อกไซค์ที่มีหมู่พ็อกซี่ต่างๆ

Ingredients	ENR -10	ENR - 25	ENR – 50
NR latex (20%DRC) (ml)	1,000	1,000	1,000
10% Terric-N 30 (ml)	60	60	60
98% Formic acid (ml)	12	21	37
30% H ₂ O ₂ (ml)	100	175	300

2.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและปริมาณหมู่พ็อกซี่ของยางธรรมชาติพ็อกไซค์

2.3.2.1 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR)

นำยางธรรมชาติพ็อกไซค์แห้งที่ได้จากการตัดแปรงธรรมชาติในข้อ 2.3.1 มาละลายด้วยคลอโรฟอร์ม จากนั้นแผ่สารละลายลงบนแผ่นซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe) แล้วระเหยตัวทำละลายออกจากนั้นจึงนำไปใส่ในเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาสเปกตรัมของยางธรรมชาติพ็อกไซค์ในช่วงเลขคลื่น 650 - 4000 cm⁻¹ การวิเคราะห์ปริมาณหมู่พ็อกซี่ของยางธรรมชาติพ็อกไซค์จากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี สามารถทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง relative absorbance ratio (Ar) กับปริมาณร้อยละโดยโมลของหมู่พ็อกซี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยค่า Ar คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 (Kuriacose and Rajaram, 1989; Davey and Loadman, 1984) ดังนี้

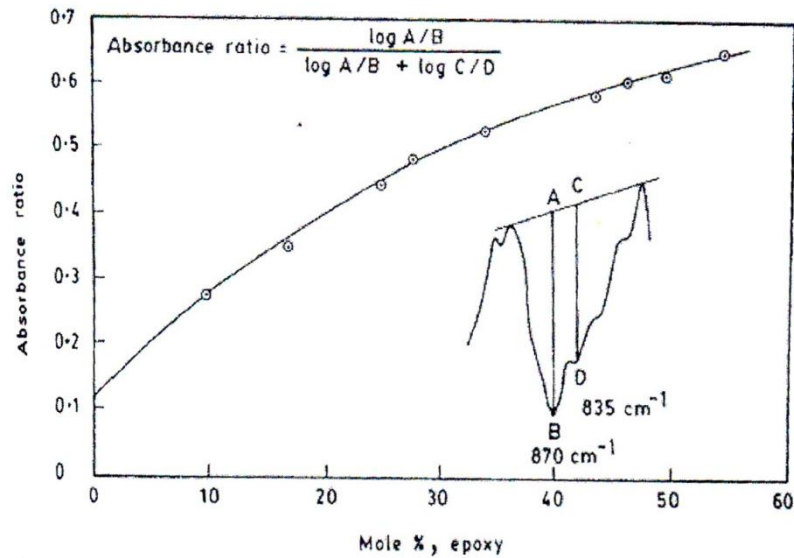
$$Ar = \frac{a_{870}}{a_{835} + a_{870}} \quad (2.1)$$

เมื่อ Ar = Relative absorbance ratio

a_{870} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 870 cm⁻¹ ซึ่งเป็นของวงแหวนพ็อกไซค์ (หมู่พ็อกซี่)

a_{835} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 835 cm⁻¹ ซึ่งเป็นของพันธะคู่ของยางธรรมชาติ

ซึ่งจากกราฟที่ได้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาพร้อมกับสเปกตรัม FT-IR ของสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณหมู่พ็อกซี่ได้ต่อไป



รูปที่ 2.3 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่เอพอกซีจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

ที่มา : Davey และ Loadman (1984)

2.3.2.2 เทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ($^1\text{H-NMR}$)

นำยางธรรมชาติเอพอกไซด์ที่ได้จากการดัดแปรยางธรรมชาติในข้อ 2.3.1 ปริมาณ 15 มิลลิกรัม มาละลายด้วยคลอโรฟอร์ม (CDCl₃) ประมาณ 1 มิลลิตร ทิ้งไว้จนยางละลาย จากนั้นถ่ายสารละลายใส่หลอดเพื่อนำไปทดสอบ $^1\text{H-NMR}$ ซึ่งปริมาณหมู่เอพอกซีของยางธรรมชาติเอพอกไซด์สามารถวิเคราะห์ได้จากการหาพื้นที่ใต้พีค (Integrated area) ของสัญญาณโปรตอนที่อยู่ติดกับวงแหวนเอพอกไซด์ ที่ตำแหน่ง 2.70 ppm (cis-double bond) และพื้นที่ใต้พีคของโปรตอนโอเลฟิน (Olefinic proton) ที่ตำแหน่ง 5.14 ppm (cis-epoxy) ดังสมการที่ 2.2

$$\% \text{Mol epoxy} = \frac{A_{2.70}}{A_{5.14} + A_{2.70}} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ $A_{2.70}$ คือ พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่งสัญญาณ 2.70 ppm

$A_{5.14}$ คือ พื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่งสัญญาณ 5.14 ppm

2.3.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และ ENR ในสถานะอิมัลชัน

2.3.3.1 การเตรียมสารละลาย PVA

ผสม PVA ในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 1 0% (w/v) แล้วทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C พร้อมกวนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง PVA ละลายหมด ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.3.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิการผสม

นำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ (ENR) ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซค์ 25%mol (ENR-25) ที่เตรียมไว้ (ปรับให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 10% DRC) มาผสมกับสารละลาย PVA ชนิด BF-17 ความเข้มข้น 10% ที่อัตราส่วน PVA:ENR เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิการผสมแตกต่างกันได้แก่ 25, 40, 55 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาทดสอบเวลาในการแยกชั้นของพอลิเมอร์ผสม คัดเลือกอุณหภูมิการผสมที่ไม่สังเกตเห็นการแยกชั้นของของผสมเพื่อไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2.3.3.3 ศึกษาผลของระยะเวลาในการผสม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3.3.2 โดยใช้อุณหภูมิในการผสมที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.3.2 ทำการผสมที่ระยะเวลาการผสมต่างๆได้แก่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาทดสอบเวลาในการแยกชั้นของพอลิเมอร์ผสม เลือกเวลาน้อยที่สุดในการผสม ที่ไม่สังเกตเห็นการแยกชั้นของของผสม เพื่อไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2.3.4 ศึกษาผลของการใช้ ENR ชนิดต่างๆต่อสมบัติของ PVA

2.3.4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และ ENR ในสถานะอิมัลชัน

นำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ (ENR) ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซค์ต่างๆ (ENR-10, ENR-25 และ ENR-50) ที่เตรียมไว้ (ปรับให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 1 0% DRC) มาผสมกับสารละลาย PVA ชนิดต่างๆคือ BF-17, BP-17 และ BF-26 ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง PVA/ENR ต่างๆ โดยให้อัตราส่วนระหว่าง PVA/ENR เท่ากับ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 และ 0/100 โดยน้ำหนักแห้ง และความเข้มข้นของสารผสมเป็น 1 0% (w/v) กวนผสมให้เข้ากันที่สถานะการผสมที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.3 นำของผสมส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์สมบัติในข้อ 2.3.4.2.1 และ 2.3.4.2.2 และของผสมส่วนที่เหลือนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มหนาประมาณ 35 μm แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มตามข้อ 2.3.4.2.3

2.3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสม

วิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปรียบเทียบกับชุดควบคุมคือ PVA และ ENR ดังนี้

2.3.4.2.1 ความหนืด (Viscosity)

ใช้เครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield เพื่อทดสอบสมบัติการไหลของ สารผสมระหว่าง PVA/ENR ที่อุณหภูมิ 30°C

2.3.4.2.2 สมบัติการยึดติด (Adhesive test)

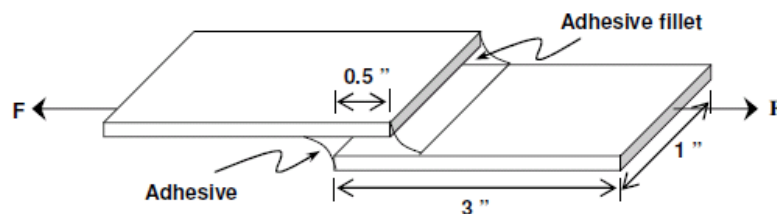
ทดสอบสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม โดยวิธี Lap shear test (ดัดแปลงจาก ASTM-D1002) โดยวัสดุที่ใช้คือไม้อัดหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยมีการเตรียมตัวอย่างดังรูปที่ 2.4 ใช้ปริมาณสารยึดติดประมาณ 2 มิลลิลิตร ปาดกระจายทั่วผิวหน้าวัสดุโดยให้มีพื้นที่ของการยึดติดเท่ากับ 1×0.5 นิ้ว² (รูปที่ 2.4) กดทับด้วยน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ทิ้งไว้ให้กาวแห้ง 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ผลการทดสอบแสดงอยู่ในรูปของความเค้นเฉือนที่ให้กับชิ้นงานและระยะที่พอลิเมอร์ยึดออกจากกัน ซึ่งสามารถคำนวณความเค้นเฉือนได้โดยใช้สมการที่ 2.3

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัด

F คือ แรงดึง ที่ให้ต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่มีการติดประสานมีหน่วยเป็นตารางเมตร



รูปที่ 2.4 ลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบ shear strength

ที่มา : ดัดแปลงจาก ASTM-D1002 (2007)

2.3.4.2.3 สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึง (Tensile properties) ของฟิล์ม

สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึงเป็น สมบัติความต้านทาน ต่อแรงดึง เป็นการทดสอบที่บอกถึงความแข็งแรงและความสามารถในการรับแรงดึง โดยชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบล มาตรฐาน ASTM D638 ดังรูปที่ 2.5 แบบ IV และช่วงความยาวเกจ (Gage length) ของชิ้นงานกำหนดไว้ 50 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบมาทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine และใช้ load cell ขนาด 500 นิวตัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วที่ใช้ในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที มีการปรับสภาพของฟิล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงอยู่ในรูปของแรงดึงที่ให้กับชิ้นงานและระยะที่พอลิเมอร์ยืดออกจากกัน ซึ่งสามารถคำนวณเป็นความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ได้โดยใช้สมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.5)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงดึงที่ให้ (F) ต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรง (A_0)

ε คือ ความเครียด ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นงาน

L_i คือ ความยาวของชิ้นงานที่ระยะยืดตัวใด ๆ

L_0 คือ ความยาวของชิ้นงานเริ่มต้นในช่วงความยาวเกจ

คำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile strength: TS) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงดึงที่ชิ้นงานรับได้สูงสุดต่อพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น ได้จากสมการที่ (2.6) และความสามารถในการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break: EAB) เป็นระยะการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาดโดยคำนวณเป็นร้อยละ ดังสมการที่ (2.7)

$$TS = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (2.6)$$

$$EAB = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (2.7)$$

โดยที่ F_{max} คือ แรงดึงสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้

ΔL คือ ระยะยืด ณ จุดขาด

ค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus: E) เป็นค่าความแกร่งของวัสดุ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียดในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกเชิงเส้นตรง (Linear elastic deformation) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$E = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} \quad (2.8)$$

คัดเลือกชนิดและอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ENR/PVA ที่ให้สมบัติทางกลของฟิล์มและสมบัติการยึดที่ดีที่สุด เพื่อใช้ศึกษาต่อไป

2.3.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการติดประคบต่อสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ชุดการทดลองที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.4 มาศึกษาปัจจัยบางประการที่อาจมีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดไม้อัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

- ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการติดประคบ : 12, 24 และ 48 ชั่วโมง
- อุณหภูมิที่ใช้ในการติดประคบ : อุณหภูมิห้อง และ 50 °C

นำตัวอย่างไม้อัดมาติดประคบด้วยพอลิเมอร์ผสม (ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.4) ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆข้างต้น แล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงในการยึดติด เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2.3.4.2.2

2.3.6 ศึกษาสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR

2.3.6.1 การวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR spectroscopy

นำตัวอย่างแผ่นฟิล์มที่ผ่านการทำให้แห้งในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ มาวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิค ATR-FTIR spectroscopy ในช่วงเลขคลื่นระหว่าง 650 – 4000 cm^{-1}

2.3.6.2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure or morphology)

นำตัวอย่างแผ่นฟิล์มที่แห้งไปทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM)

2.3.6.3 สมบัติการยึดติด

ทำการทดสอบสมบัติการยึดติดเช่นเดียวกับข้อ 2.3.4.2.2 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR (จากข้อ 2.3.4) เปรียบเทียบกับกาวทางการค้า ได้แก่ กาวยางน้ำ (Rubber cement) กาวลาเท็กซ์ (Polyvinylacetate emulsion) และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde glue)

2.3.6.4 สมบัติของฟิล์ม

ทำการทดสอบสมบัติบางประการของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.4 เปรียบเทียบกับฟิล์มชนิดต่างๆทางการค้า ได้แก่ ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ฟิล์มพอลิโพรพิลีน (PP) ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และฟิล์มไนลอน (Nylon) ดังต่อไปนี้

1) สมบัติเชิงกล ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3.4.2.3

2) ความใสของฟิล์ม

ทดสอบความใสของฟิล์มต่างๆโดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer วัดการส่องผ่านแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm คำนวณค่า transparency value ดังสมการที่ (2.9)

$$\text{Transparency value} = \frac{\log \% T_{600}}{X} \quad (2.9)$$

เมื่อ $\%T_{600}$ คือ ร้อยละการส่องผ่านแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm

X คือ ความหนาของฟิล์มตัวอย่าง (mm)

3) สมบัติการดูดซับและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

- สมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability: WVP) ของฟิล์มต่างๆ โดยใช้วิธี ASTM-D895 (1999) ที่อุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 กำหนดค่าการซึมผ่านไอน้ำได้ดังสมการที่ (2.10)

$$WVP = \frac{wvtr \times thickness}{P_{A1} - P_{A2}} \quad (2.10)$$

เมื่อ $wvtr$ คือ อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapor transmission rate)

P_{A1} และ P_{A2} คือ ความดันไอน้ำภายในและภายนอกถ้วยทดสอบ

- สมบัติการดูดซับไอน้ำของฟิล์ม

ทดสอบการดูดซับไอน้ำของฟิล์ม ต่างๆ โดยตัดแผ่น ฟิล์มตัวอย่างให้มีขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นทดสอบละเอียด 0.0001 กรัม จากนั้นนำไปวางในภาชนะปิดที่มีน้ำบรรจุอยู่ที่อุณหภูมิการทดสอบ 30°C นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 ชั่วโมง แล้วหาร้อยละการดูดซับไอน้ำจากสมการที่ (2.11)

$$\text{Sorption (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2.11)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (g)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังการดูดซับไอน้ำที่เวลาต่างๆ (g)

4) สมบัติการต้านทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistance)

ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อตัวทำละลาย ชนิดต่างๆของ ฟิล์ม ต่างๆ โดยตัดแปลงวิธี ASTM-D471 (1981) โดยนำแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ขนาดกว้าง $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบละเอียด 0.0001 กรัม (W_1) จากนั้นนำไปแช่ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำกลั่น เมทานอล เฮกเซน และโทลูอิน ปริมาณ 25 ml เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบออกจากตัวทำละลายแล้วซับตัวทำละลายส่วนเกินที่ผิวของตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วรีบชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (W_2) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง (W_3) คำนวณหาค่าการบวมตัว (swelling) และค่าการละลาย (solubility) ของตัวอย่าง ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2.12)$$

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2.13)$$

2.3.7 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ที่เก็บไว้ที่เวลาและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

เตรียมแผ่นฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.4 นำแผ่นฟิล์มมาเก็บไว้ในภาชนะที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวต่างๆ คือ $\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (23%RH), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (54%RH) และ KCl (90%RH) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 °C) ทำการสุ่มตัวอย่างฟิล์มที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ คือ

2.3.7.1 ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

2.3.7.2 สมบัติเชิงกล ตามวิธีการในข้อ 2.3.4.2.3

2.3.7.3 การส่องผ่านแสงของฟิล์ม ตามวิธีการในข้อ 2.3.6.4(2)

2.3.7.4 สมบัติการต้านทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistance) ตามวิธีการในข้อ 2.3.6.4(4)

2.3.8.5 โครงสร้างสัณฐาน โดยเทคนิค SEM ตามวิธีการในข้อ 2.3.6.2

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

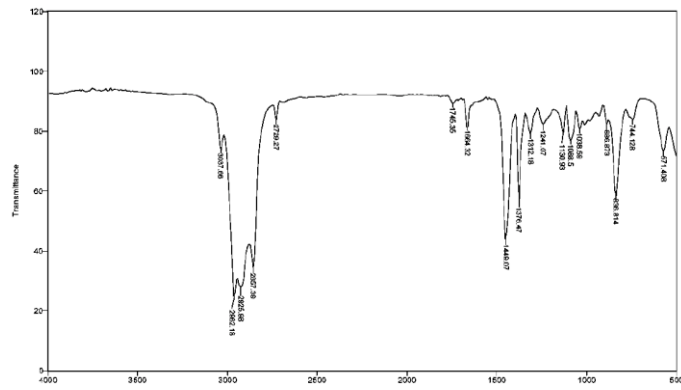
(Results and Discussion)

1. การวิเคราะห์ทางโครงสร้างและปริมาณหมู่ฟังก์ชันของน้ำยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์

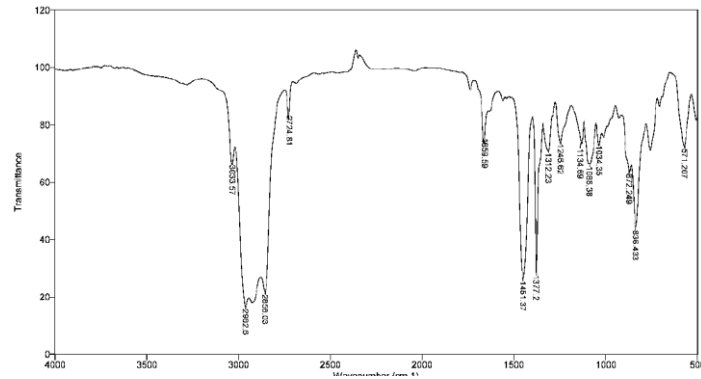
ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (ENR) จากน้ำยางธรรมชาติโดยการทำปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันกับกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างสเปกตรัม FTIR ของยางธรรมชาติ (NR) เปรียบเทียบกับยาง ENR ที่เตรียมได้ ซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของยาง ENR โดยพบพีคการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 870 และ 1240 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของวงแหวนออกซิเรน (อีพ็อกไซด์) รูปที่ 3.2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางโครงสร้างโดยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ซึ่งพบสัญญาณโปรตอนของโอเลฟินที่ตำแหน่ง ประมาณ 5.14 ppm และสัญญาณโปรตอนที่อยู่ติดกับวงแหวนอีพ็อกไซด์ปรากฏที่ตำแหน่งประมาณ 2.70 ppm จากผลการวิเคราะห์ทางโครงสร้างทั้งสองจึงเป็นการยืนยันว่ายางที่ได้จากการดัดแปรเป็นยาง ENR นอกจากนี้เมื่อทำการวัดหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างยาง ENR ที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิค FTIR (รูปที่ 3.1) และเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ (รูปที่ 3.2) พบว่า ยาง ENR ที่ได้มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 15 27 และ 42 โดยโมล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณหมู่ฟังก์ชันของยาง ENR ที่เตรียมได้

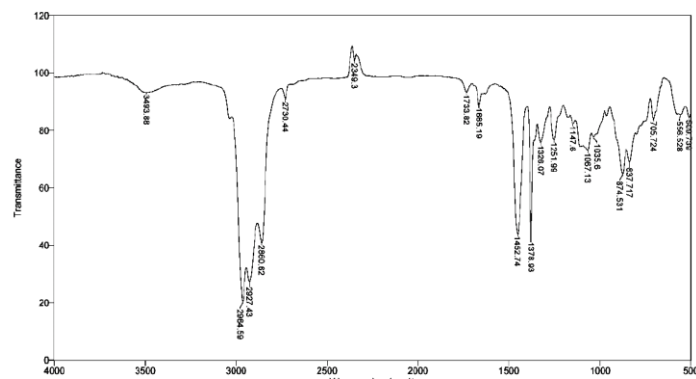
ตัวอย่าง	ปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่ ประมาณไว้ (%mol)	ปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่วิเคราะห์ได้ (%mol)	
		เทคนิค FTIR	เทคนิค $^1\text{H-NMR}$
ENR-12	10	12	15
ENR-27	25	27	25
ENR-42	50	42	42



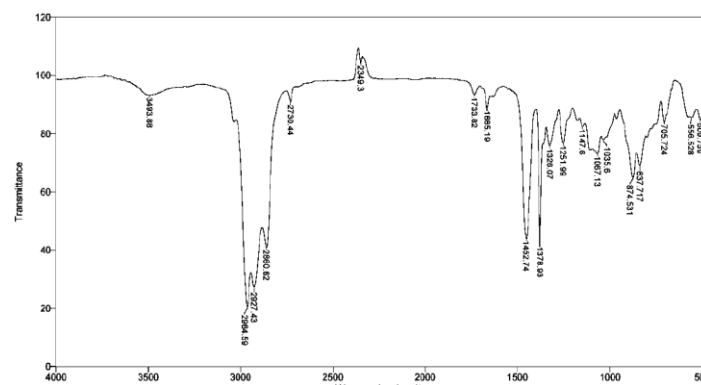
(a)



(b)

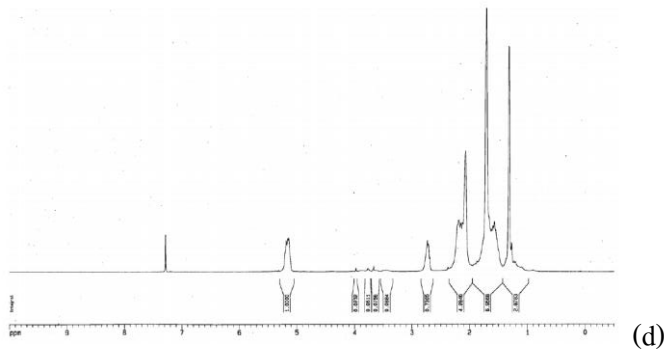
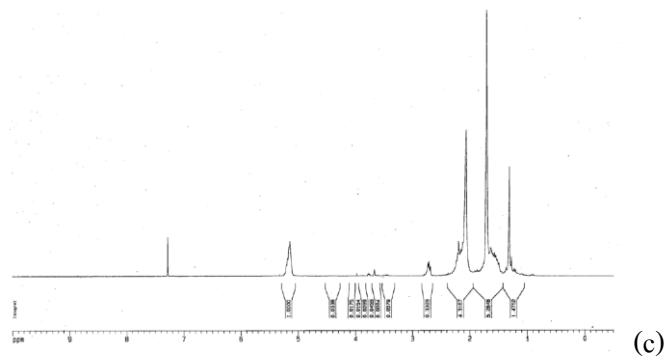
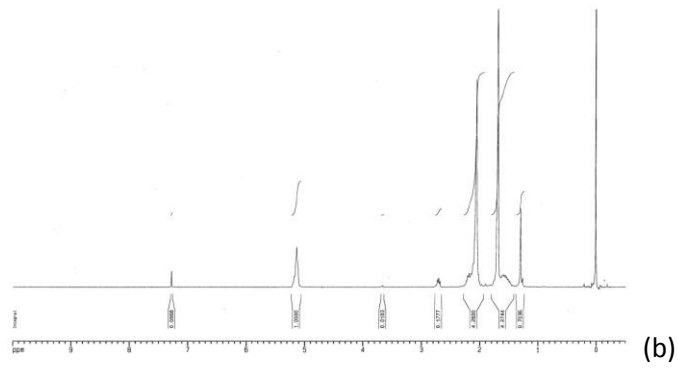
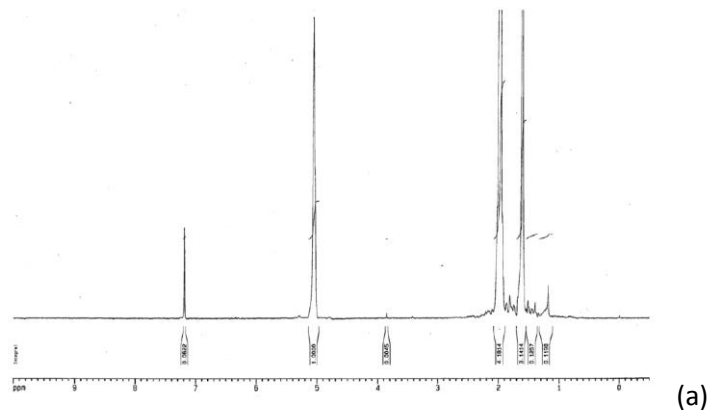


(c)



(d)

รูปที่ 3.1 สเปกตรัม FTIR ของยางธรรมชาติ (a) และยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (ENR) ที่มีหมู่
อีพ็อกไซด์ร้อยละ โดยโมลเท่ากับ 12 (ENR-12) (b), 27 (ENR-27) และ (ENR-42) (d)



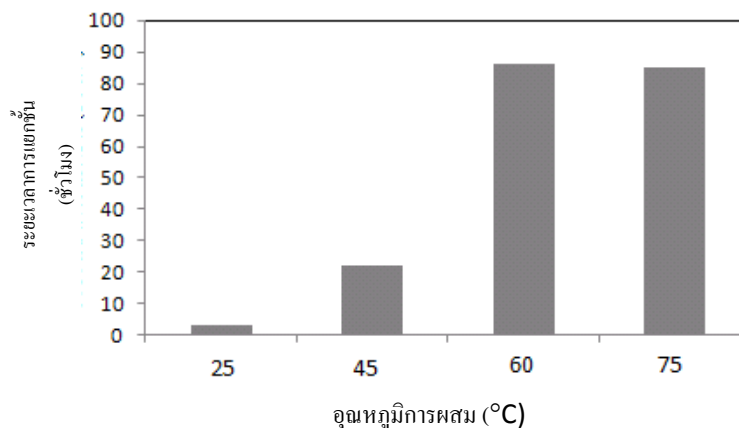
รูปที่ 3.2 สเปกตรัม ^1H -NMR ของยางธรรมชาติ (a) และยางธรรมชาติ(ENR) ที่มีหมู่อีพ็อกซี ร้อยละโดยโมลเท่ากับ 15 (b), 25 (ENR-27) (c) และ 42 (ENR-42) (d)

2. การหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ในสถานะอิมัลชัน

ในการผสม PVA และ ENR เข้าด้วยกันในสถานะอิมัลชัน อาจเกิดการแยกชั้นของสารทั้งสองเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นสารที่มีธรรมชาติ (สมบัติ) ต่างกัน ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ในสถานะแขวนลอยนี้ ต้องการของผสมที่ไม่เกิดการแยกชั้นในระดับมหภาค เพื่อนำไปใช้สำหรับการทดสอบความสามารถในการยึดติดและสมบัติของฟิล์มต่อไป จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลาของการผสมระหว่าง PVA และ ENR ในสถานะแขวนลอยต่อลักษณะดังกล่าว ดังนี้

2.1 ผลของอุณหภูมิในการผสม

จากการศึกษาการผสม PVA-BF17 และ ENR-12 ที่อุณหภูมิต่างๆคือ อุณหภูมิห้อง (28-30 °C), 45, 60 และ 75 °C (ที่ระยะเวลาการผสม 1 ชั่วโมง) อุณหภูมิการผสมดังกล่าวมีผลต่อระยะเวลาการแยกชั้นของสารผสม ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เมื่ออุณหภูมิของการผสมเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็น 60 °C ระยะเวลาการแยกชั้นของสารผสมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3 ชั่วโมง เป็น 83 ชั่วโมง สารผสมระหว่าง PVA-BF17/ENR-12 ที่ผสมที่อุณหภูมิ 60 °C มีระยะเวลาการแยกชั้นไม่แตกต่างกับการผสมที่อุณหภูมิ 75 °C ดังนั้นการผสมพอลิเมอร์ทั้งสองในสถานะอิมัลชันที่อุณหภูมิ 60 °C ให้สารผสมที่มีความคงตัวที่ดีไม่เกิดการแยกชั้นให้เห็นภายในเวลามากกว่า 3 วัน

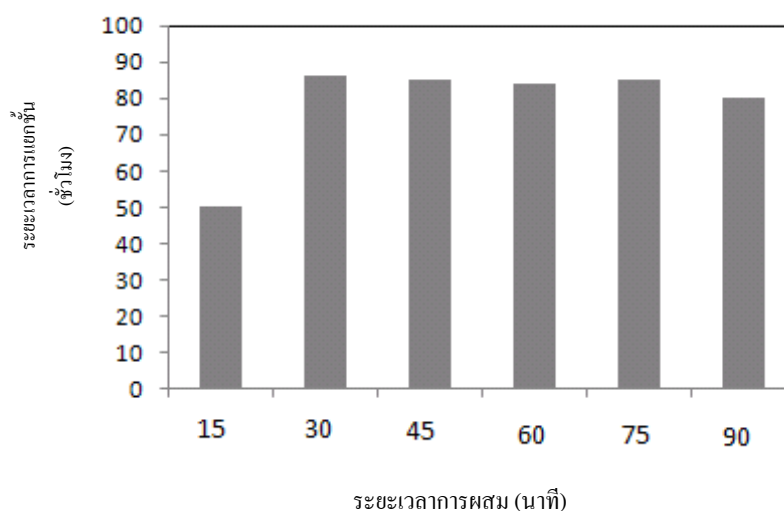


รูปที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิการผสมต่อระยะเวลาการแยกชั้นของสารผสมระหว่าง PVA-BF17/ENR-12 (ใช้เวลาการผสมคงที่เท่ากับ 1 ชั่วโมง)

2.2 ผลของระยะเวลาการผสม

จากการศึกษาการผสมสารละลาย PVA-BF17 และน้ำยาง ENR-12 ที่อุณหภูมิการผสม 60 °C เป็นเวลาต่างๆ คือ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที พบว่า ระยะเวลาการผสมมีผลต่อระยะเวลาการแยกชั้นของสารผสม ดังรูปที่ 3.4 พบว่าการผสมเป็นเวลา 30 – 90 นาที ให้ของผสมระหว่าง PVA/ENR ที่มีความคงตัวมากกว่าการผสมที่ระยะเวลา 15 นาที จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมที่อุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลา 30 นาที มีความเหมาะสม ทำให้ได้ของผสมที่มีความคงตัวโดยไม่เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา มากกว่า 3 วัน

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการผสมที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และ ENR ในสภาวะแขวนลอยต่อไป



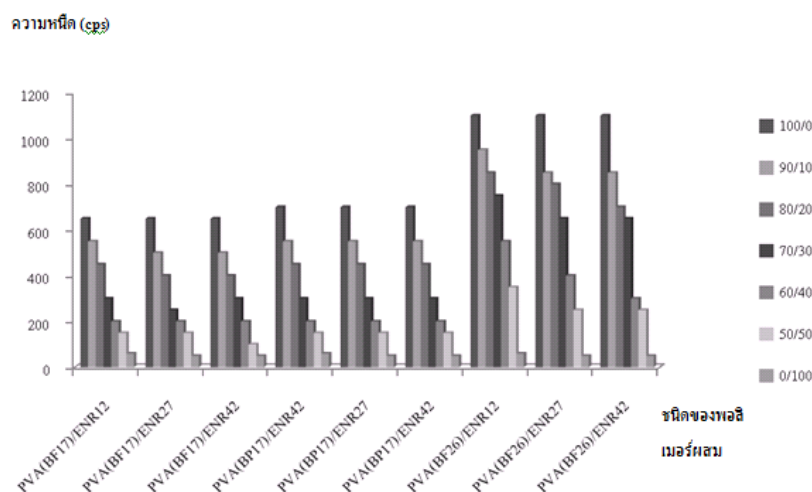
รูปที่ 3.4 ผลของระยะการผสมที่อุณหภูมิ 60 °C ต่อระยะเวลาการแยกชั้นของสารผสมระหว่าง PVA-BF17/ENR-12

3. ผลของการเติม ENR ต่อสมบัติของ PVA

3.1 ความหนืดของพอลิเมอร์ผสม

จากการวัดค่าความหนืด (ที่อุณหภูมิ 25 °C) ของสารผสม PVA/ENR ในสภาวะอิมัลชันที่ชนิดและอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 พบว่า ความหนืดของสารละลาย PVA มีค่าสูงกว่าความหนืดของน้ำยาง ENR ทั้งนี้เนื่องจากยาง ENR อยู่ในสภาพลาเทกซ์ (สารแขวนลอย) จึงมีความหนืดต่ำเมื่อ

เปรียบเทียบกับ PVA ซึ่งอยู่ในสภาพสารละลาย ดังนั้นเมื่อนำน้ำยาง ENR มาเติมในสารละลาย PVA จึงมีผลให้สารผสม PVA/ENR มีความหนืดลดลงตามปริมาณ ENR ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.5 ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และ ENR ที่ชนิดและอัตราส่วนผสมต่างๆ

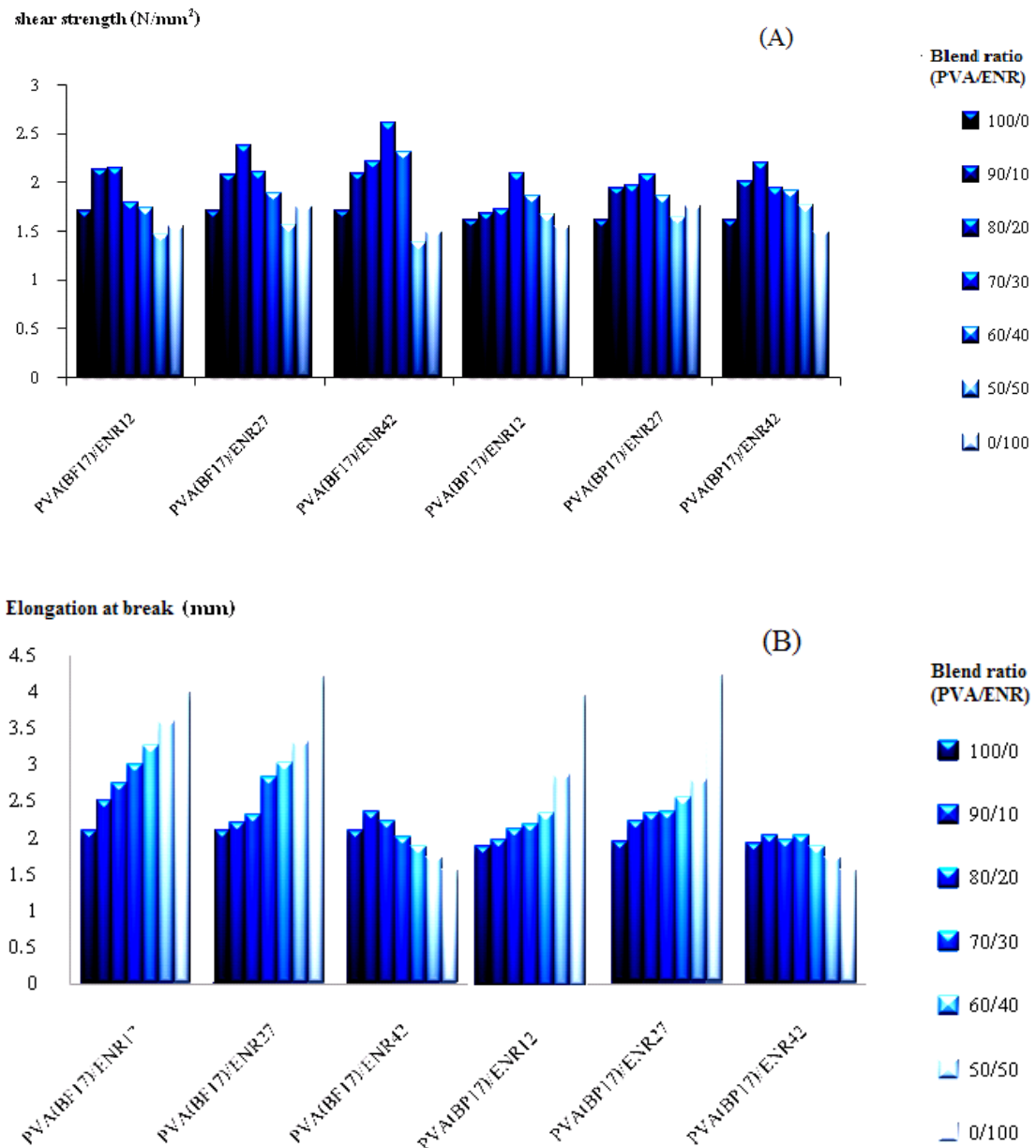
3.2 ผลของชนิดและปริมาณ ENR ต่อสมบัติของ PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสแตกต่างกัน

จากการศึกษาผลของการใช้ ENR ชนิด (ENR-15, ENR-25 และ ENR-42) และอัตราส่วนต่างๆ (PVA/ENR = 100:0, 90:10, 80:20, 60:40, 50:50 และ 0:100) ต่อสมบัติของ PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูง (Fully-hydrolyzed PVA BF-17, DH ~ 98.5-99.2%mol) และ PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสปานกลาง (partially-hydrolyzed PVA BP-17, DH ~ 86-89%mol) ให้ผลดังต่อไปนี้

3.2.1 สมบัติการยึดติด (Adhesive property)

ผลของการใช้ ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆต่อสมบัติการยึดติดไม้ของ PVA ชนิดที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูง (Fully-hydrolyzed PVA: BF-17) และที่มีระดับการไฮโดรไลซิสปานกลาง (partially-hydrolyzed PVA: BP-17) แสดงดังรูปที่ 3.6 พบว่า การเติมยาง ENR ชนิดต่างๆ (ENR12, ENR27, ENR42) ใน PVA ชนิด BF17 และ BP17 ในปริมาณที่สูงขึ้นในช่วงอัตราส่วน PVA/ENR เท่ากับ 90/10, 80/20 และ 70/30 มีผลให้ความแข็งแรงของการยึดติด (ค่าความต้านทานแรงเฉือน) สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ต่างชนิดกัน และ PVA ชนิดเดียวกันที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน พบว่า การใช้ยาง ENR-42 ให้พอลิเมอร์ผสมที่มีค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมยาง ENR-12 และ

ENR-27 ตามลำดับ หากเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้ยาง ENR ชนิดเดียวกัน พบว่า พอลิเมอร์ผสม PVA-BF17/ENR จะมีค่าความต้านทานแรงเฉือนที่มากกว่าพอลิเมอร์ผสม PVA-BP17/ENR

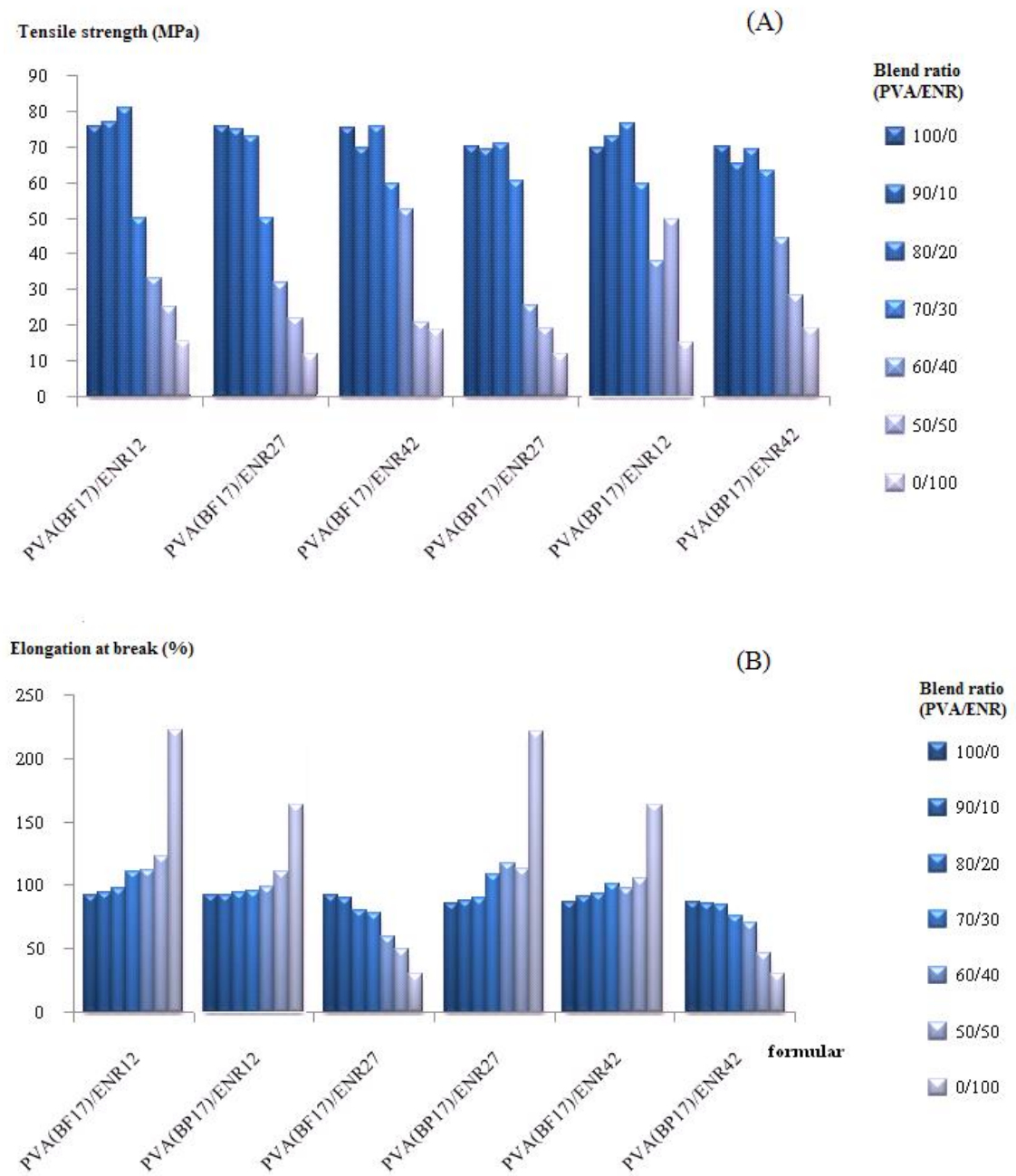


รูปที่ 3.6 ค่าความต้านทานแรงเฉือน (A) และระยะยืดเมื่อขาด (B) ของการยืดติดไม้อัดของ PVA ชนิด BF17 และ BP17 ที่ไม่เติมและที่เติม ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆ

สำหรับค่าระยะยืดเมื่อขาดของการยืดติด (รูปที่ 3.6B) พบว่า การเติมยาง ENR ใน PVA (ทั้งชนิด BF17 และ BP17) จะให้การยืดติดมีค่าระยะยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมยาง ENR มากขึ้น แต่การใช้ยางชนิด ENR-42 เมื่อการเติมยาง ENR มากขึ้น เป็นอัตราส่วน 60/40 และ 50/50 ทำให้ระยะยืดของการยืดติดลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการเติมยาง ENR ชนิดเดียวกันแต่ PVA ต่างชนิดกัน (BF17, BP17) พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก PVA ชนิด BF17 มีระยะยืดเมื่อขาดของการยืดติดสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ใน PVA-BF17 มีปริมาณมากกว่าใน PVA-BP17 ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ออกซิเจน (อีพ็อกซี) ของยาง ENR ได้มากกว่า (Imam et al., 2001; Nakason et al., 2003) รวมทั้งสามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของเนื้อไม้ได้มากกว่า การยืดติดจึงมีความแข็งแรงมากกว่า

3.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ผลของการใช้ยาง ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม PVA ชนิดที่มีการไฮโดรไลซิสสูง (PVA-BF17) และที่มีการไฮโดรไลซิสปานกลาง (PVA-BP17) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 พบว่า การเติมยาง ENR ชนิดต่างๆ (ENR12, ENR27, ENR42) ใน PVA ชนิด BF17 และ BP17 ในปริมาณสูงขึ้นในอัตราส่วน PVA/ENR เท่ากับ 90/10, 80/20 และ 70/30 มีผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง (TS) ของฟิล์มสูงขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนผสม PVA/ENR สูงกว่า 70/30 ทำให้ค่า TS มีค่าต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ต่างชนิดกันแต่ชนิด PVA และอัตราส่วนผสมเดียวกัน พบว่า จะให้สมบัติการทนต่อแรงดึงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ใช้ยาง ENR ชนิดเดียวกันแต่ PVA ต่างชนิดกัน (BF17 และ BP17) พบว่า ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก PVA- BF17 มีค่า TS สูงกว่าฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก PVA-BP17 สำหรับค่าระยะยืดเมื่อขาด (EAB) ของฟิล์ม (รูปที่ 3.7B) พบว่า การเติมยาง ENR ชนิด ENR-12 และ ENR-27 ใน PVA ทั้งสองชนิดจะให้ระยะยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมยาง ENR ในปริมาณมากขึ้น แต่สำหรับการใช้ยางชนิด ENR-42 เมื่อมีการเติมยาง ENR-42 ในปริมาณมากขึ้น ค่า EAB มีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะที่อัตราส่วน 60/40 และ 50/50 เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่มีการเติมยาง ENR ชนิดและปริมาณเดียวกันแต่ PVA ต่างชนิดกัน (BF17 และ BP17) พบว่า ฟิล์ม PVA และฟิล์มผสม PVA/ENR ที่ใช้ PVA ชนิด BF17 จะให้ค่า EAB ที่สูงกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA ชนิด BF17 เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ใน PVA-BF17 มีปริมาณมากกว่า ใน PVA-BP17 ทำให้เกิดปฏิกิริยากับหมู่ออกซิเจนในยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ได้มากกว่า (Imam et al., 2001; Nakason et al., 2003) ฟิล์มจึงมีความแข็งแรงและความเหนียวมากกว่า



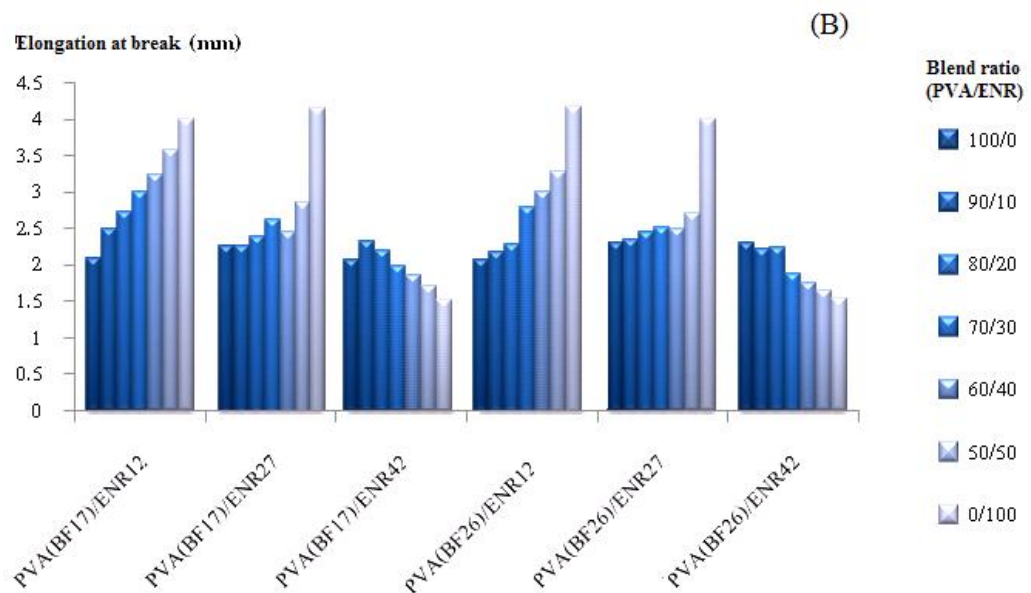
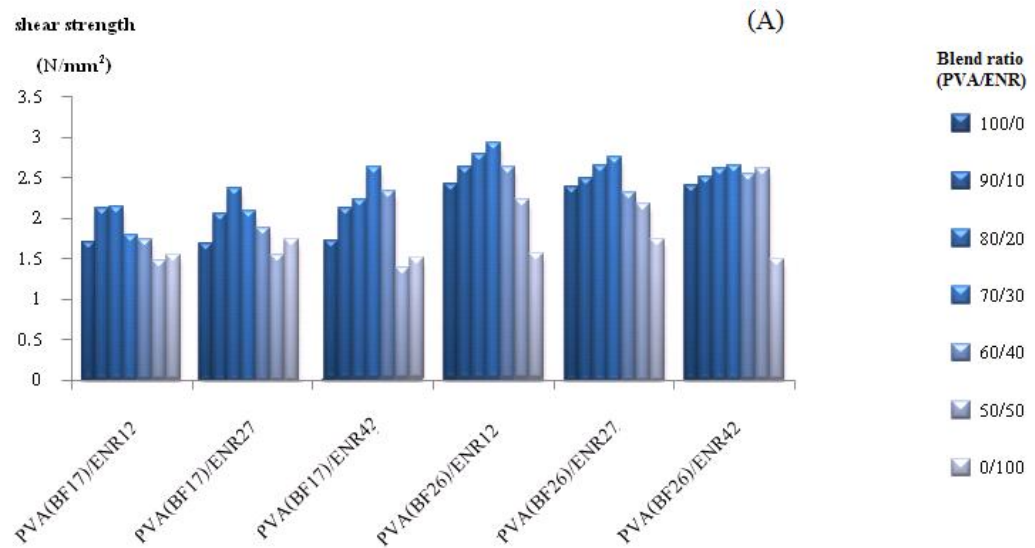
รูปที่ 3.7 ค่าความต้านทานแรงดึง (A) และระยะยืดเมื่อขาด (B) ของฟิล์มจาก PVA-BF17 และ PVA-BP17 ที่ไม่เติมและที่เติม ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆ

3.3 ผลของ ENR ต่อสมบัติของ PVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

จากการศึกษาผลของการใช้ยาง ENR ชนิด (ENR-12, ENR-25 และ ENR-42) และอัตราส่วนต่างๆ (PVA/ENR = 100:0, 90:10 80:20, 60:40, 50:50 และ 0:100) ต่อสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม PVA ชนิด BF ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันคือ 80,000 (BF17) และ 120,000 (BF26) ให้ผลดังต่อไปนี้

3.3.1 สมบัติการยึดติด

จากการศึกษาผลของการใช้ยาง ENR ชนิดและปริมาณต่างๆต่อสมบัติการยึดติดตัวอย่างไม้อัดของ PVA (BF17 และ BF26) ให้ผลดังรูปที่ 3.8 พบว่า การเติมยาง ENR ชนิดต่างๆ (ENR-12, ENR-27, ENR-42) ใน PVA ชนิด BF17 และ BF26 ในปริมาณสูงขึ้นในช่วงอัตราส่วน PVA/ENR เท่ากับ 90/10, 80/20 และ 70/30 มีผลให้ความแข็งแรงของการยึดติด (ค่าความต้านทานแรงเฉือนมากขึ้น) สูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณของ ENR ที่ใช้เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงของการยึดติดลดลง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ต่างชนิดกัน แต่ชนิด PVA และอัตราส่วนการผสมเดียวกัน พบว่า การใช้ยาง ENR-12 ให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนมากที่สุด หากเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ชนิดเดียวกันแต่ PVA ต่างชนิดกัน (BF17 และ BF26) พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก PVA-BF26 (น้ำหนักโมเลกุลสูง) มีค่าความต้านทานแรงเฉือนมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก PVA-BF17 (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) สำหรับค่าระยะยึดของการยึดติด (รูปที่ 3.8B) พบว่า การเติมยาง ENR ชนิด ENR-12 และ ENR-27 ใน PVA ทั้งสองชนิดให้ระยะยึดเมื่อขาดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมยาง ENR ในปริมาณมากขึ้น แต่สำหรับการใช้ยางชนิด ENR-42 เมื่อมีการเติมยาง ENR มากขึ้นเป็นอัตราส่วน 6/4 และ 5/5 มีผลให้ระยะยึดของการยึดติดลดลง เมื่อเปรียบเทียบการเติมยาง ENR ชนิดเดียวกันแต่ PVA ต่างชนิดกัน (BF17, BF26) พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BF26 ให้ระยะยึดของการยึดติดที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BF17 เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ใน PVA-BF26 มีมากกว่า ใน PVA-BF17 ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ออกซิเจนในยางธรรมชาติฟ็อกไซด์ได้มากกว่า (สุวิทย์ ไชยพลบาล, 2552) นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลก็ยังสามารถที่จะเกิดพันธะกับหมู่คาร์บอนิล (C=O) ของเซลลูโลสได้ดี (ฉัตรปกรณ์ นันทวงศ์, 2549)

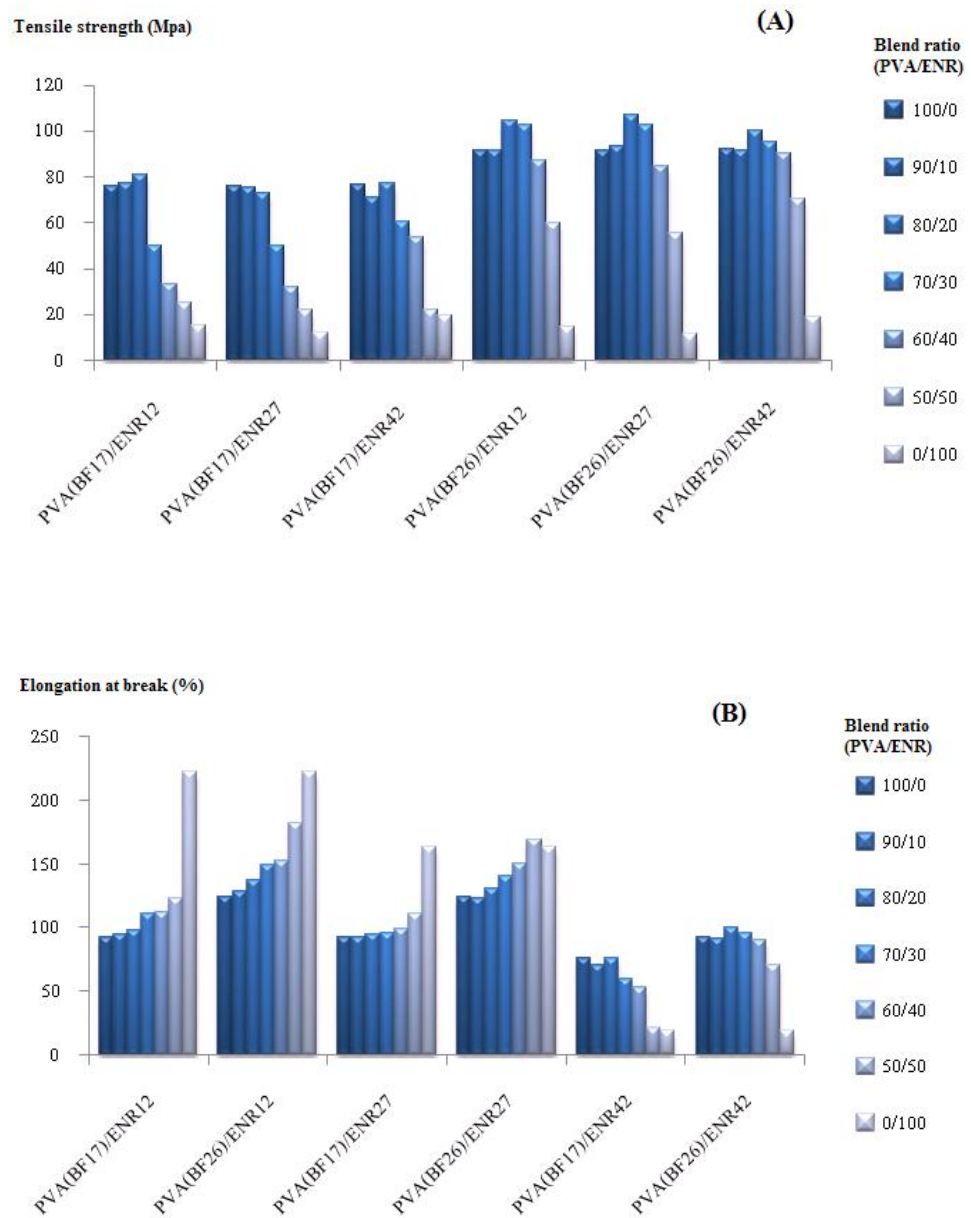


รูปที่ 3.8 ค่าความต้านทานแรงเฉือน (A) และระยะยืดเมื่อขาด (B) ของการยึดติดไม้ของ PVA ชนิด BF17 และ BF26 ที่ไม่เติมและที่เติม ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆ

3.3.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ผลของการใช้ ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม PVA ชนิด BF ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (BF17 และ BF26) แสดงดังรูปที่ 3.9 พบว่า เมื่อมีการเติมยาง ENR ชนิดต่างๆ (ENR12, ENR27, ENR42) ใน PVA ชนิด BF17 และ BF26 ในปริมาณสูงขึ้นในช่วงอัตราส่วน PVA/ENR = 90/10, 80/20 และ 70/30 มีผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง (TS) ของฟิล์มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ต่างชนิดกันแต่ PVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนการผสมเดียวกัน พบว่า การใช้ยาง ENR ต่างชนิดกันจะมีผลให้ค่า TS ของฟิล์มที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยาง ENR ชนิดและปริมาณเดียวกันแต่ PVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (BF17 และ BP17) พบว่า ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BF26 (น้ำหนักโมเลกุลสูง) มีค่า TS มากกว่าฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BP17 (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) สำหรับค่าระยะยืดเมื่อขาด (EAB) ของฟิล์ม (ดังรูปที่ 3.9B) พบว่า การเติมยาง ENR ชนิด ENR-12 และ ENR-27 ใน PVA (BF17 และ BF26) ในปริมาณมากขึ้นค่า EAB ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นขึ้น แต่ในการใช้ยาง ENR-42 พบว่า เมื่อมีการเติมยาง ENR-42 ในปริมาณมากขึ้นในอัตราส่วน 60/40 และ 50/50 ทำให้ค่า EAB ของฟิล์มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่มีการเติมยาง ENR ชนิดและปริมาณเดียวกันใน PVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (BF17, BF26) ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BF26 (น้ำหนักโมเลกุลสูง) มีค่า EAB ที่สูงกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ PVA-BF17 เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ใน PVA-BF26 มีมากกว่า ใน PVA-BF17 ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ออกซิเจนในยางธรรมชาติที่ออกไซด์ได้มากกว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงมีความแข็งแรงทนต่อแรงดึงได้มากกว่า

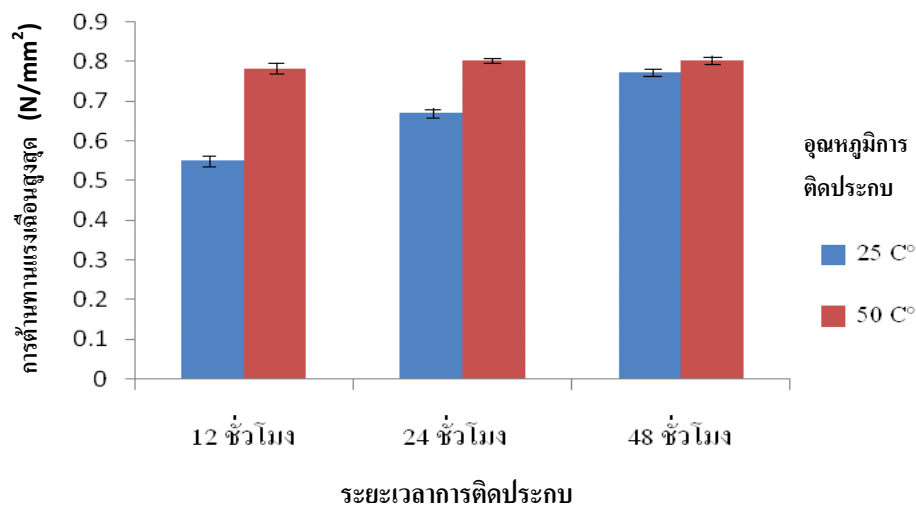
จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA-BF26/ENR-12 ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 80/20 มีสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกชนิดและอัตราส่วนผสมดังกล่าวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR เพื่อศึกษาต่อไป



รูปที่ 3.9 ค่าความต้านทานแรงดึง (A) และระยะยืดเมื่อขาด (B) ของฟิล์ม PVA ชนิด BF17 และ BF26 ที่ไม่เติมและที่เติม ENR ชนิดและอัตราส่วนต่างๆ

4. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการติดประกบต่อความแข็งแรงการยึดติดพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR

จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงเฉือนของการยึดติดไม้ของพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ที่ติดประกบด้วยอุณหภูมิ (25 และ 50 °C) และเวลา (12, 24 และ 48 ชั่วโมง) การติดประกบต่างๆ ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.10 พบว่า การติดประกบที่อุณหภูมิ 25 °C ค่าความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมประสานระหว่างโมเลกุลและที่บริเวณผิวรอยต่อที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาการติดประกบดังกล่าว ในขณะที่การติดประกบที่อุณหภูมิ 50 °C ให้ความแข็งแรงของการยึดติดในช่วงเวลา 12-48 ชั่วโมง ที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือการพัฒนาความแข็งแรงของการยึดติดที่อุณหภูมิ 50 °C มีอัตราการเกิดที่รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C โดยที่ความแข็งแรงของการยึดติดเกิดขึ้นมากที่สุดภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการติดประกบที่เท่ากันภายในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การติดประกบที่อุณหภูมิ 50 °C ให้ความแข็งแรงของการยึดติดที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C แต่มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเวลาการติดประกบนานขึ้นเป็น 48 ชั่วโมง

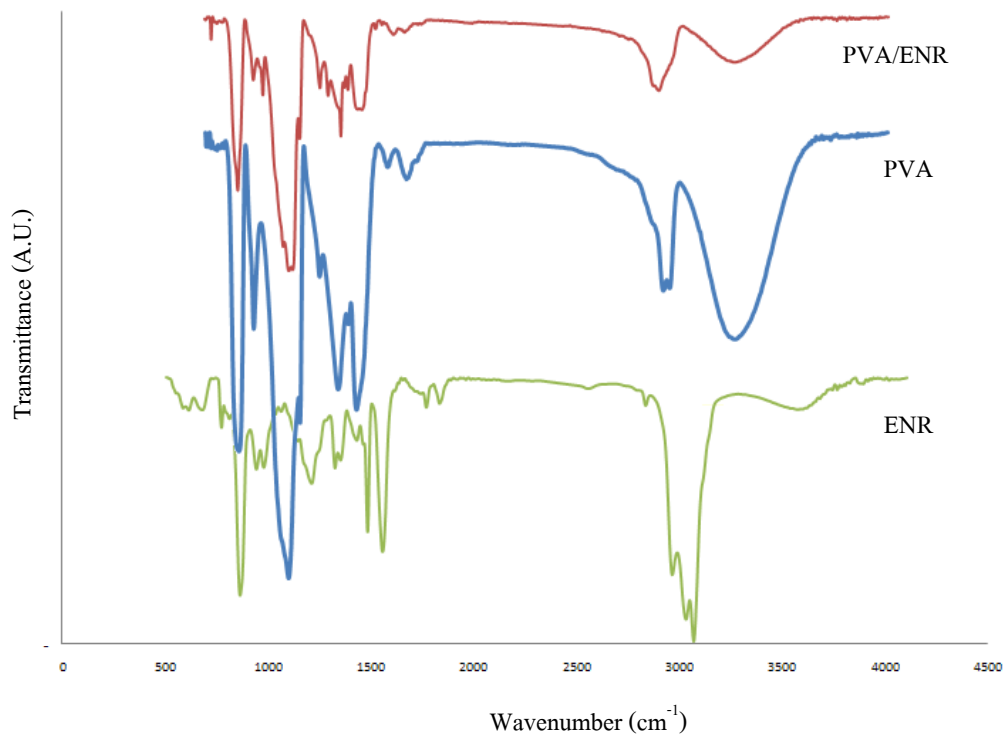


รูปที่ 3.10 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการติดประกบตัวอย่างไม้ยึดต่อค่าการต้านทานแรงเฉือนของการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20)

5. การวิเคราะห์ทางโครงสร้างและสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR

5.1 การวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR

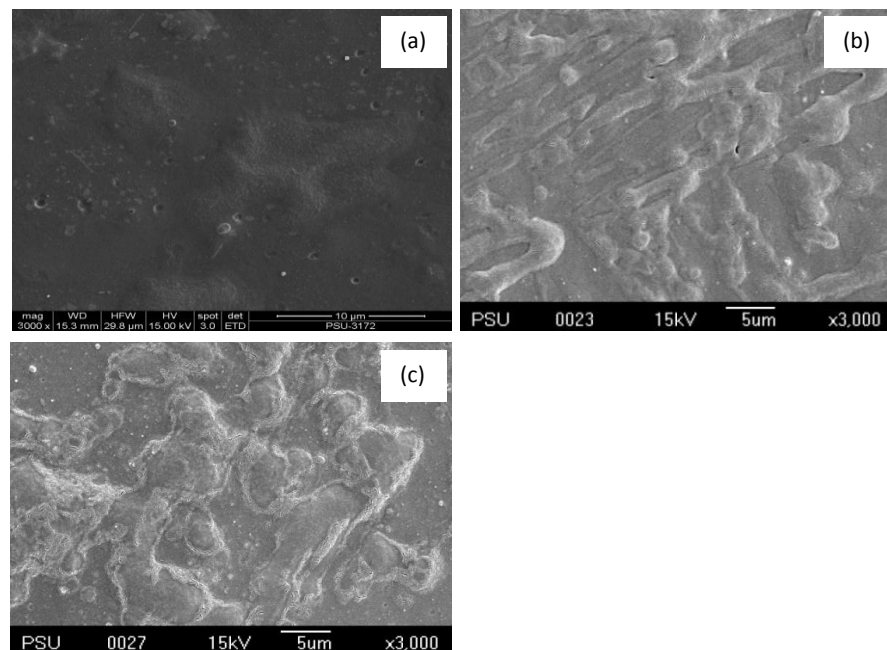
รูปที่ 3.11 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) เปรียบเทียบกับ ENR-12 และ PVA-BF26 พบว่าพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 นำไปตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยสเปกตรัม FTIR พบว่ามีสัญญาณที่ตำแหน่งประมาณ 870 และ 1250 cm^{-1} เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสัญญาณของวงแหวนอีพ็อกไซด์ ซึ่งเกิดได้น้อยในฟิล์มชนิด PVA-BF26 นอกจากนั้นยังสังเกตพบช่วงคลื่น พบสัญญาณการดูดกลืนแสงของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง 3500 cm^{-1} มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องจาก -OH ได้เกิดพันธะกับหมู่ออกซิเจนในยาง ENR แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVA และ ENR เป็นผลให้ ENR และ PVA มีความเข้ากันได้



รูปที่ 3.11 FTIR spectra ของพอลิเมอร์ PVA-BF26, PVA-BF26/ENR-12(80/20) และ ENR-12

5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure or morphology)

เมื่อนำตัวอย่าง PVA-BF26, ENR-12 และ PVA-BF26/ENR-12 ไปทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.12 ในตัวอย่าง PVA จะมีพื้นผิวที่เรียบ ในขณะที่ตัวอย่าง ENR และ PVA/ENR จะมีพื้นผิวที่ไม่เรียบอาจเนื่องจากลักษณะที่ยืดหยุ่นสูงของตัวอย่างที่อาจมีการบิดตัวในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง อย่างไรก็ตามไม่เห็นการแยกตัวที่ชัดเจนระหว่างรอยต่อของเฟสในพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR แสดงถึงความเข้ากันได้ดีระหว่าง PVA และ ENR อันเป็นผลมาจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสอง

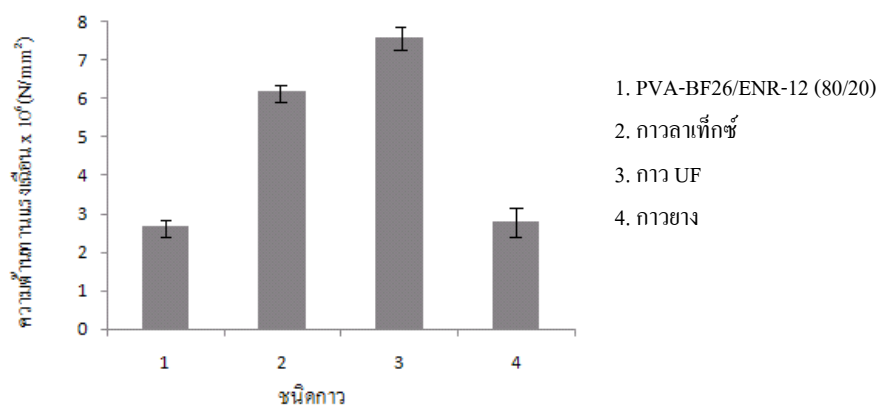


รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายจากเทคนิค SEM แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาภาคตัดขวางฟิล์ม (a) PVA-BF26, (b) PVA-BF26/ENR-12(80/20) และ (c) ENR-12

5.3 สมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR เปรียบเทียบกับกาวทางการค้าชนิดต่างๆ

เมื่อนำตัวอย่างพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 อัตราส่วนผสม 80/20 มาทดสอบสมบัติการยึดติดไม้เปรียบเทียบกับกาวชนิดต่างๆทางการค้า ได้แก่ กาว UF (urea-formaldehyde) กาวยาง (rubber glue) และกาวลาเท็กซ์ ภายใต้แรงเฉือนโดยวิธี Single-Lap shear test ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.13 พบว่า พอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 มีความแข็งแรงการยึดติดไม้ต่ำกว่ากาวลาเท็กซ์และกาว UF แต่มีค่าใกล้เคียงกับกาวยางทางการค้า โดยขึ้นทดสอบที่ติดกาวลาเท็กซ์ และกาว UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาวลาเท็กซ์และกาว UF มี

ความสามารถในการซึมผ่านไปตามรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดี ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างกาวและเนื้อไม้สูง ส่งผลให้ความต้านทานแรงเฉือนของการยึดติดมากกว่าพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) และกาวยางซึ่งขึ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวที่แห้งอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของพอลิเมอร์ผสม PVA BF-26/ENR-12 (80/20) และกาวยางมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนในเนื้อไม้ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับเนื้อไม้ต่ำ นอกจากนี้พอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ไม่ได้มีการผสมสารช่วยในการยึดติดและสารเชื่อมขวางโมเลกุลทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดต่ำกว่ากาวลาเท็กซ์และกาว UF ทางการค้า



รูปที่ 3.13 ความต้านทานแรงเฉือนของการยึดติดไม้ของพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) และกาวทางการค้าชนิดต่างๆ

5.4 สมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR เปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 อัตราส่วนผสม 80/20 เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE), พอลิโพรพิลีน (PP), ไนลอนลามิเนตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Nylon/LDPE) และพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตลามิเนตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (PET/LDPE) โดยทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ความใส การดูดซับ และการซึมผ่านไอน้ำ และการต้านทานต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ ให้ผลดังนี้

5.4.1 สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึง (Tensile properties)

- ค่าความต้านทานแรงดึง

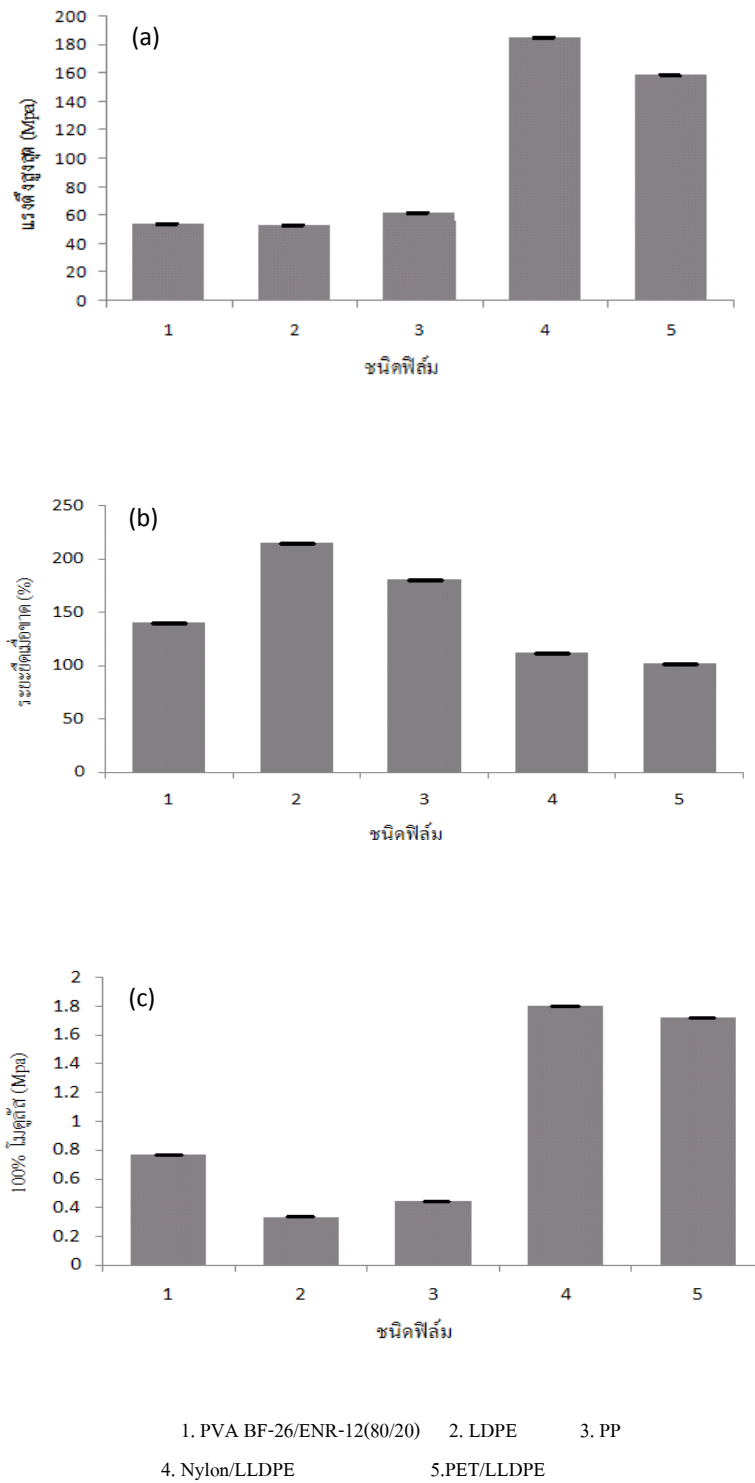
รูปที่ 3.14 (a) แสดงค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR และฟิล์มพลาสติกต่างๆ พบว่า ฟิล์ม PVA/ENR มีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงฟิล์ม LDPE และฟิล์ม PP แต่มีค่าต่ำกว่าฟิล์ม Nylon/LLDPE และฟิล์ม PET/LLDPE อันเป็นผลมาจากความแตกต่างทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ หมู่เอไมด์ของโมเลกุลไนลอนมีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่า จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่า และพอลิเอทิลีนเทฟทาเรตเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรงที่มีการจัดตัวเป็นระเบียบ มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูง

- การยืดตัวเมื่อขาด

รูปที่ 3.14 (b) แสดงค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR และฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ พบว่า ฟิล์ม PVA/ENR มีค่าการยืดตัวเมื่อน้อยกว่าฟิล์ม LDPE และฟิล์ม PP ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลเคลื่อนตัวออกจากกันได้ง่ายในระหว่างได้รับแรงดึง ส่งผลให้ฟิล์มขาดได้ง่ายกว่าระยะยืดจึงน้อยกว่าและความแข็งแรงต่ำกว่า แต่ฟิล์ม PVA/ENR มีค่าการยืดตัวเมื่อขาดสูงกว่าฟิล์ม Nylon/LLDPE และ PET/LLDPE เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากฟิล์มลามิเนตทั้งสองมีความแข็งแรงและมีความต้านทานต่อแรงดึงมากกว่าฟิล์ม PVA/ENR รวมทั้งฟิล์ม LDPE และ PP จึงต้านทานต่อการเสียรูปได้ดีกว่า

- มอดูลัสที่ระยะยืด 100%

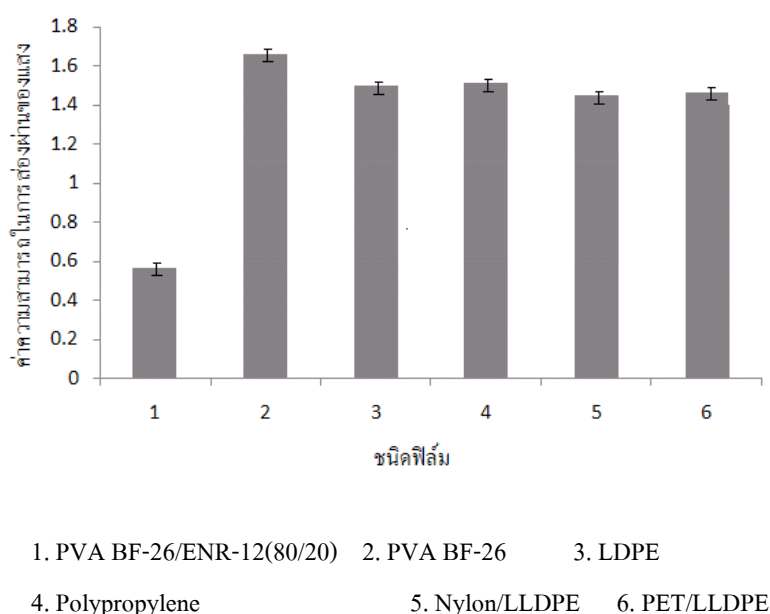
รูปที่ 3.14(c) แสดงค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR และฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ PVA/ENR มีค่ามอดูลัสสูงกว่าฟิล์ม PP และ LDPE แสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งตึง (Stiffness) สูงกว่าฟิล์ม PP และ LDPE แต่มีค่าต่ำกว่าฟิล์มลามิเนตทั้งสองชนิด



รูปที่ 3.14 สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA BF-26/ENR-12(80/20) และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ

5.4.2 ความความใสของฟิล์ม

รูปที่ 3.15 แสดงค่าความใสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR และฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ พบว่าฟิล์ม PVA BF-26/ENR-12(80/20) มีค่าความใสต่ำที่สุด ในขณะที่ฟิล์ม PVA มีความใสมากที่สุด ส่วนฟิล์มชนิดอื่น (LDPE, PP, Nylon/LDPE, PET/LDPE) มีความใสไม่แตกต่างกันและใสน้อยกว่าฟิล์ม PVA เล็กน้อย จะเห็นว่าการเติมยาง ENR ใน PVA ในปริมาณร้อยละ 20 มีผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความใสลดลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการแยกเฟสระหว่างยาง ENR และ PVA ทำให้เกิดการหักเหของแสงที่บริเวณรอยต่อของเฟส นอกจากนี้อาจเกิดจากรงควัตถุต่างๆที่อยู่ในยางธรรมชาติที่อาจมีผลขัดขวางการส่องผ่านของแสง

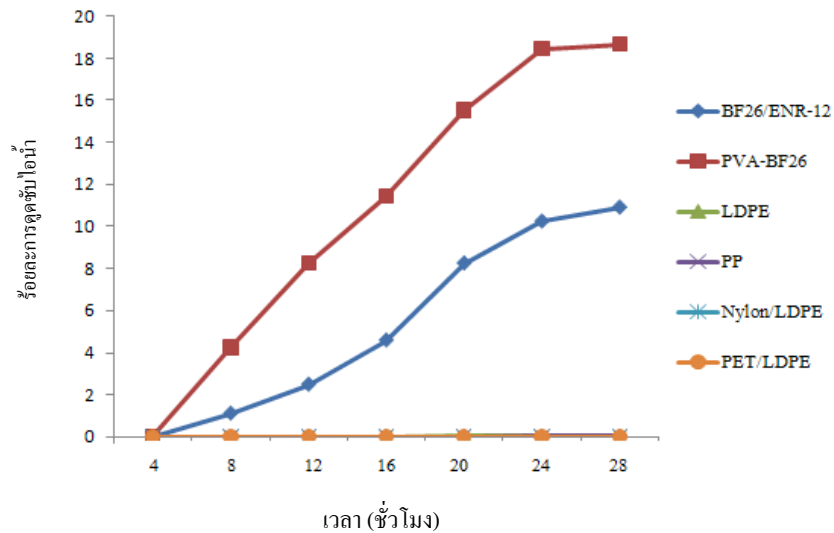


รูปที่ 3.15 ความสามารถในการส่องผ่านแสงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA BF-26/ENR-12 (80/20) และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ

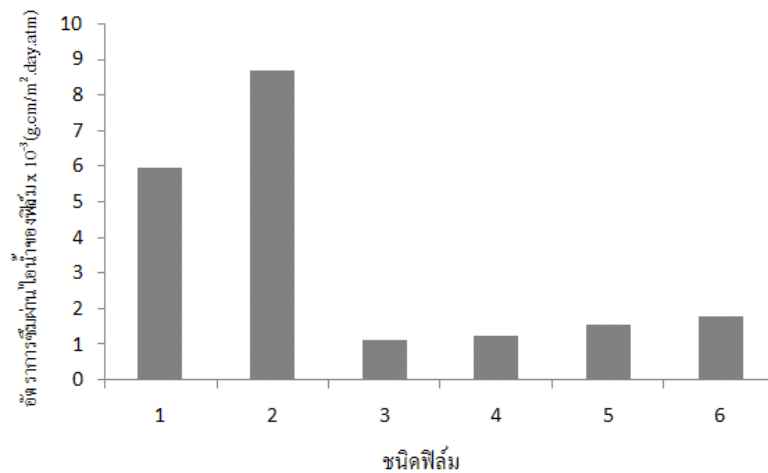
5.4.3 สมบัติการดูดซับและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

การดูดซับและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PVA/ENR เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม PVA ที่ไม่มีการผสมยาง ENR และฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีความสามารถในการต้านทานต่อการดูดซับและการซึมผ่านไอน้ำได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม PVA เป็นผลมาจากฟิล์มมีสภาพขรุขระลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลใน PVA เกิดอันตรกิริยากับหมู่ออกซิเจนในยาง ENR ส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลใน PVA ลดลง สภาพขรุขระและ

ความชอบน้ำจึงลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ LDPE และ PP นั้นมีสภาพ
 ขั้วต่ำซึ่งมีความสามารถในการทนต่อการดูดซับและซึมผ่านไอน้ำได้ดีมาก ฟิล์ม PET/LLDPE และ
 Nylon/LLDPE นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงมีการจัดเรียงตัวได้ดี และยังมีการลามิเนตด้วย
 LLDPE ทำให้มีความสามารถในการต้านทานต่อการดูดซับและการซึมผ่านของไอน้ำได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.16 ร้อยละการดูดซับไอน้ำ (90%RH, 30 °C) ที่เวลาต่างๆของฟิล์มพอลิเมอร์ PVA/ENR (80/20)
 และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ



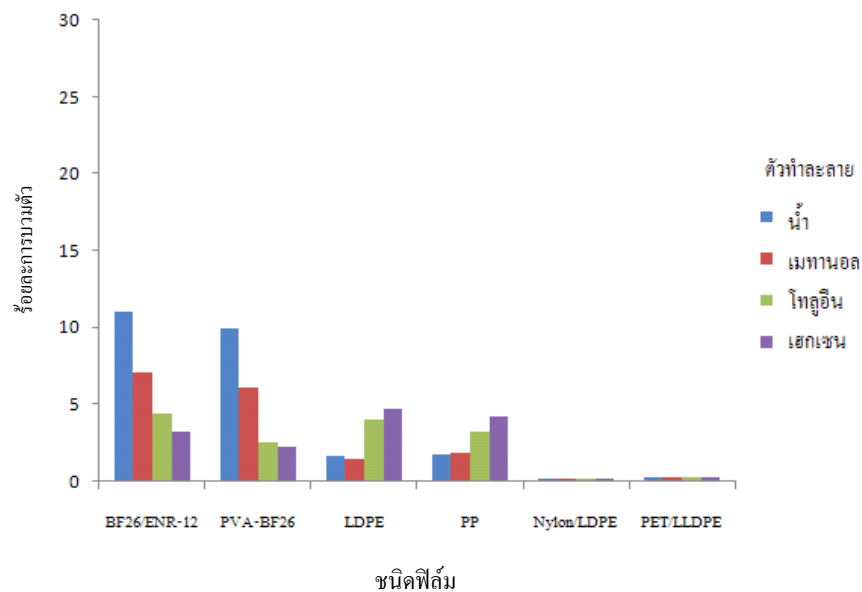
1. PVA BF-26/ENR-12(80/20) 2. PVA BF-26 3. LDPE
 4. Polypropylene 5. Nylon/LLDPE 6. PET/LLDPE

รูปที่ 3.17 การซึมผ่านไอน้ำ (90%RH, 30 °C) ที่เวลาต่างๆของฟิล์มพอลิเมอร์ PVA/ENR (80/20)
 และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ

5.4.4 สมบัติการต้านทานตัวทำละลาย (solvent resistance) ของฟิล์ม

- การบวมตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ในตัวทำละลายต่างๆ

รูปที่ 3.18 แสดงการบวมตัวของฟิล์มต่างๆเมื่อแช่ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ (น้ำ เมทานอล โทลูอิน และ เฮกเซน) พบว่า พอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีร้อยละการบวมตัวในน้ำมากที่สุด และมีร้อยละการบวมตัวลดลงเมื่อแช่ในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วต่ำลง ในสารละลายเมทานอล โทลูอิน และ เฮกเซน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีสภาพขั้วสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบการบวมตัวของฟิล์ม PVA ในตัวทำละลาย พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีการบวมตัวมากกว่าเล็กน้อย โดยเฉพาะในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง เช่น น้ำ และ เมทานอล ทั้งนี้อาจเกิดจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และ ENR อาจเกิดอันตรกิริยาและเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหกันอย่างหลวมๆเมื่อแช่ในตัวทำละลายเป็นเวลานาน โมเลกุลของตัวทำละลายสามารถแพร่และดูดซับในโครงสร้างร่างแหนั้นได้

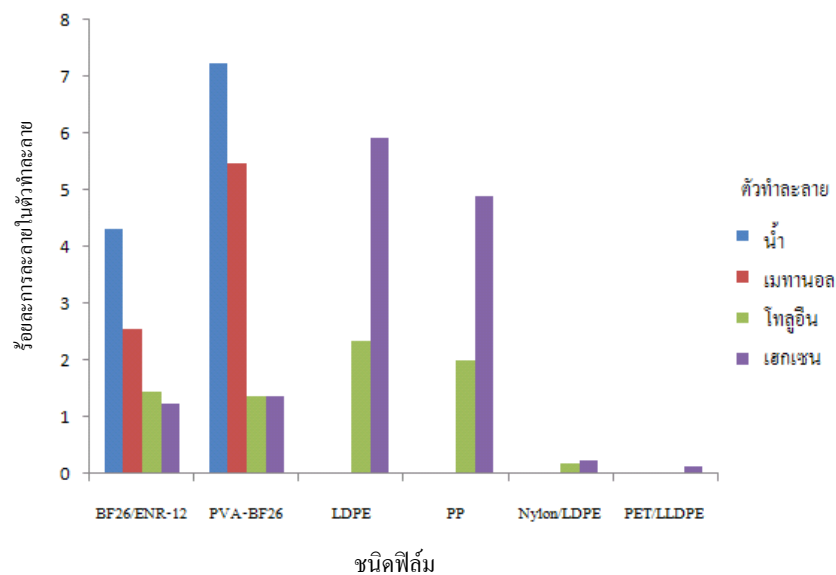


รูปที่ 3.18 ร้อยละการบวมตัวในตัวทำละลายต่างๆของฟิล์มพอลิเมอร์ PVA/ENR (80/20)

และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ

- การละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ในตัวทำละลายต่างๆ

รูปที่ 3.19 แสดงการละลายของฟิล์มต่างๆเมื่อแช่ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ (น้ำ เมทานอล โทลูอิน และเฮกเซน) พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีร้อยละการละลายในตัวทำละลายมีขั้ว (น้ำ และเมทานอล) สูงกว่าในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (โทลูอิน และเฮกเซน) เนื่องจากทั้ง PVA และ ENR เป็น โมเลกุลที่มีขั้ว อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม PVA พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีการละลายของฟิล์มในน้ำและเมทานอลต่ำกว่าฟิล์ม PVA แสดงให้เห็นว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR มีสภาพขั้วที่ลดลง เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลใน PVA เกิดอันตรกิริยากับหมู่เอทิลเร็นในยาง ENR ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลลดลง ส่งผลทำให้สภาพขั้วลดลง ดังนั้นการเติม ENR สามารถช่วยเพิ่มการต้านทานต่อตัวทำละลายของ PVA ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดอื่นมีร้อยละการละลายในน้ำและเมทานอลน้อยมากเนื่องจากฟิล์ม LDPE และ PP มีสภาพขั้วต่ำ ส่วนฟิล์ม PET/LLDPE และ Nylon/LLDPE มีการลามีเนตด้วย LLDPE ทำให้ความสามารถในการละลายของฟิล์มในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำแต่ฟิล์มดังกล่าวมีการละลายในตัวทำละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่า



รูปที่ 3.19 ร้อยละการละลายในตัวทำละลายต่างๆ ของฟิล์มพอลิเมอร์ PVA/ENR (80/20) และฟิล์มพลาสติกทางการค้าชนิดต่างๆ

6. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ระหว่างการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

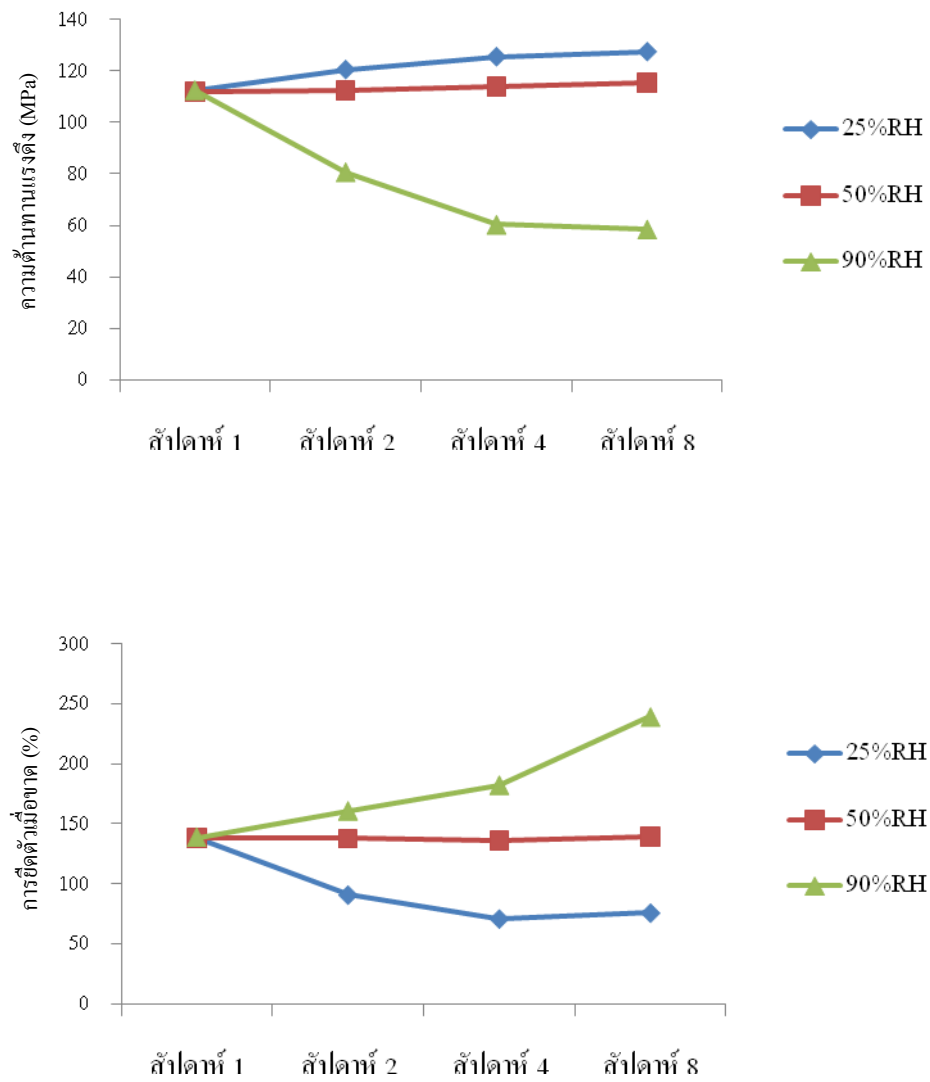
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

PVA-BF26/ENR-12 (80/20)

ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 20 50 และ 90 เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ให้ผลดังนี้

6.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

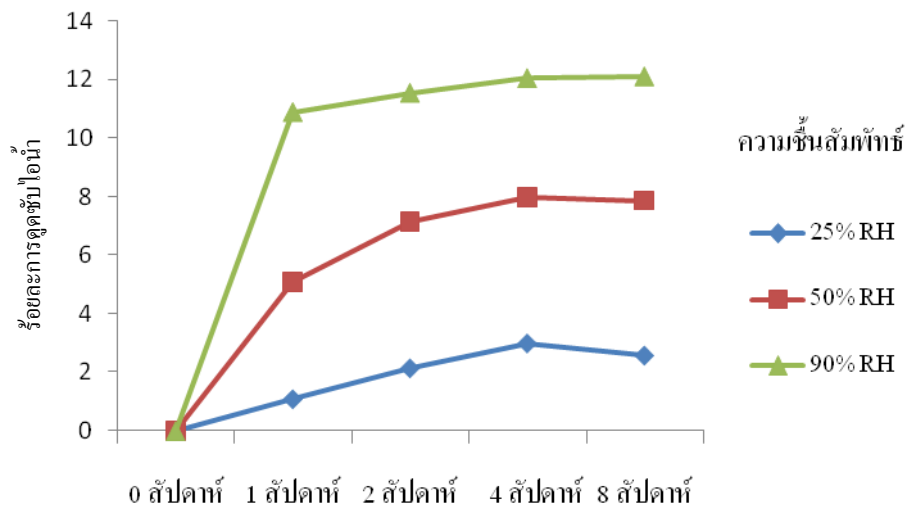
รูปที่ 3.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิง (ค่าการต้านทานแรงดึง และระยะยืดเมื่อขาด) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดเมื่อขาดไม่เปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 50 ในขณะที่เมื่อเก็บฟิล์มที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 25 ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นแต่ระยะยืดเมื่อขาดมีค่าลดลง นั่นคือฟิล์มมีลักษณะแข็งมากขึ้น อาจเป็นเพราะการเก็บฟิล์มในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ฟิล์มมีความชื้นต่ำลงจากการสูญเสียน้ำออกจากฟิล์มในระหว่างการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ รวมทั้งโมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเกิดอันตรกิริยาและจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงขึ้นและความยืดหยุ่นลดลง แต่อย่างไรก็ตามในการเก็บรักษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 พบว่า ฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึงลดลงและค่าระยะยืดเมื่อขาดสูงขึ้น นั่นคือฟิล์มมีความอ่อนตัวมากขึ้น โดยสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนตั้งแต่สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา การที่ฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงนี้ อาจเนื่องมาจากฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะชอบน้ำ ดังนั้นการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ฟิล์มสามารถดูดซับความชื้นเข้าในฟิล์มได้มาก ทำให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีสำหรับพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงและนิ่มยืดหยุ่นมากขึ้น



รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

6.2 การดูดซับไอน้ำ

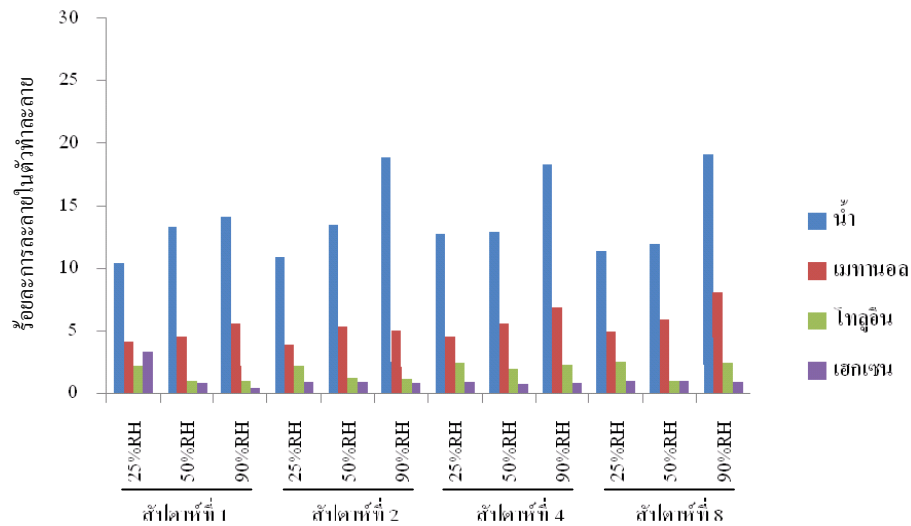
รูปที่ 3.21 แสดงการดูดซับไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่า การดูดซับไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ โดยที่การเก็บรักษาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ฟิล์มมีการดูดซับไอน้ำมากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ในขณะที่ฟิล์มที่เก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 และ 25 ฟิล์มมีค่าการดูดซับไอน้ำต่ำกว่าตามลำดับ และเริ่มมีค่าคงที่ในระยะเวลาการเก็บเป็นเวลา 4 ถึง 8 สัปดาห์



รูปที่ 3.21 ค่าร้อยละการดูดซับไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

6.3 การละลายของฟิล์ม

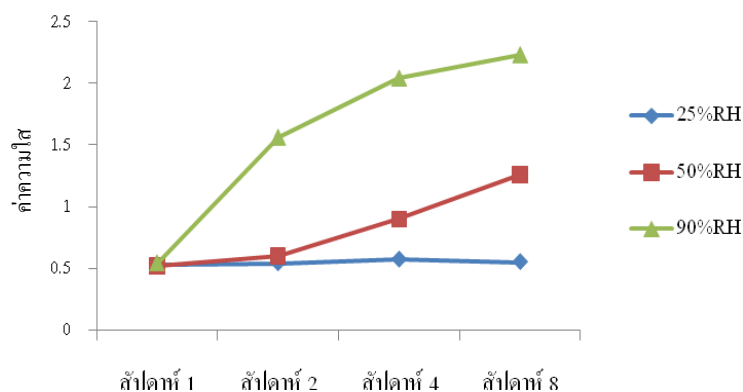
รูปที่ 3.22 แสดงการละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่า การละลายน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการดูดซับความชื้น (ไอน้ำ) โดยฟิล์มที่เก็บรักษาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 มีการละลายมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลที่ลดลงทำให้โครงสร้างร่างแหหลวมมากขึ้น น้ำจึงแทรกระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้น ฟิล์มจึงละลายได้มากขึ้น



รูปที่ 3.22 การละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

6.4 ความใสของฟิล์ม

รูปที่ 3.23 แสดงค่าความใสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่า เมื่อเก็บรักษาฟิล์มภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 และ 90 ฟิล์มมีความใสเพิ่มขึ้น (แสงส่องผ่านได้มากขึ้น) ระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ในโครงสร้างฟิล์ม ส่งผลให้สายโมเลกุลอยู่ห่างกันมากขึ้น แสงจึงสามารถผ่านฟิล์มได้มากขึ้น แต่ในการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 25 เป็นเวลานานขึ้น ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงของการส่องผ่านแสงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 3.23 ค่าความใสของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR-12 (80/20) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

(Conclusion)

จากการศึกษาผลของยาง ENR ต่อการยึดติดและสมบัติฟิล์มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) สามารถสรุปได้ดังนี้

- การผสมยาง ENR ชนิดและปริมาณที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงสมบัติการยึดติดและสมบัติฟิล์มของ PVA ได้ โดยขึ้นอยู่กับระดับการไฮโดรไลซิส (DH) และน้ำหนักโมเลกุลของ PVA รวมทั้งปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของยาง ENR ที่ใช้ โดยที่ PVA ที่มี DH และน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่ามีสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ดีกว่า PVA ที่มี DH และน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า ในขณะที่การใช้ยาง ENR ที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลต่ำ ในปริมาณร้อยละ 20 ให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/ENR ที่มีสมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ดีกว่าการใช้ยาง ENR ชนิดและปริมาณอื่นๆ ที่ทำการศึกษา
- พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA-BF26/ENR12 ที่อัตราส่วนผสม 80/20 ให้สมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ดีที่สุด เนื่องจากความเข้ากันได้ดีของโมเลกุล PVA และ ENR ซึ่งเกิดจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ทั้งสอง
- ความแข็งแรงสูงสุดของการยึดติดไม้ของ PVA-BF26/ENR12 (80/20) ขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาการติดประคบ การติดประคบที่อุณหภูมิสูง (50 °C) ให้ความแข็งแรงการยึดติดสูงสุดได้เร็วกว่า (ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง) การติดประคบที่อุณหภูมิห้อง (28-30 °C) ซึ่งให้ความแข็งแรงการยึดติดสูงสุดที่ระยะเวลาการติดประคบไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
- พอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR12 (80/20) มีความแข็งแรงการยึดติดใกล้เคียงกับกาวยางมาตรฐาน แต่ต่ำกว่ากาวลาเท็กและกาวยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ทางการค้า
- พอลิเมอร์ผสม PVA-BF26/ENR12 (80/20) ให้ฟิล์มที่มีความต้านทานการดูดซับและการซึมผ่านไอน้ำ และความต้านทานต่อตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งได้ดีกว่า แต่มีความใสน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม

PVA ที่ไม่เติมยาง ENR ทำให้สามารถเพิ่มความคงตัวในการใช้งานฟิล์ม PVA ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงได้

ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาการใช้สารเชื่อมขวางโมเลกุลร่วมด้วย เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดของพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ในการไปใช้งานเป็นกาว ตลอดจนเพิ่มความแข็งแรงและความคงตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม PVA/ENR ในระหว่างการใช้งานที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จารุณี จิรพันธุ์. 2546. การศึกษาผลกระทบของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฉัตรปกรณ นันทวงศ์. 2550. การเตรียมและศึกษาสมบัติของกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วันทนา สุขแก้ว. 2543. การปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยผสมกับยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Arroyo, M., Lopez-Manchado, M.A., Valentin, J.L. and Carretero, V. 2007. Morphology/behaviour relationship of nanocomposites based on natural rubber/epoxidized natural rubber blends. *Composites Science and Technology*. 67: 1330 – 1339.
- ASTM-D3165. 2000. Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading of single-lap-joint laminated assemblies. American Society for Testing and Materials.
- ASTM-D471. 1981. Standard test method for rubber properties-Effect of liquids. American Society for Testing and Materials.
- ASTM-D638. 1997. Tensile properties of plastics. American Society for Testing and Materials.
- Burfield, D.R., Lim, K.L. and Law, K.S. 1984. Epoxidation of natural rubber latices: methods of preparation and properties of modified rubbers. *J. Applied Polymer Science*. 29: 1661-1673.
- Campbell, D.S. and Farley, P.S. 1995. Acid-catalysed hydrolysis of epoxidised natural rubber: gel formation during latex epoxidation, *J. Nat. Rubb. Res.* 10: 242-254.
- Cheremisinoff, N.P. 1993. Epoxidized rubbers. *In* *Elastomer Technology Handbook*. P:636-657. USA.CRC Press.
- Davey, J.E. and Loadman, M.J.R. 1984. Chemical demonstration of the randomness of epoxidation of natural rubber. *Br. Polym. J.* 16: 134 – 138.
- DeMerlis, C.C. and Schoneker, D.R. 2003. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food Chem. Tox.* 41: 319-326.

- Johnson, T. and Thomas, S. 2000. Sorption diffusion and Permeation of chlorinated hydrocarbon vapors through natural rubber, epoxidized natural rubber and their blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 39 :363-380.
- Klinklai, W., Kawahara, S., Mizumo, T., Yoshizawa, M., Sakdapipanich, J.T., Isono, Y. and Ohno, H. 2003. Depolymerization and ionic conductivity of enzymatically deproteinized natural rubber having epoxy group. *European Polymer Journal*. 39: 1707 – 1712.
- Lee, S.Y., Kim, J.H. and Kim, B.K. 1997. Natural rubber blends with epoxidized natural rubber. *J. Macromolecular Science Part B Physics*. B36: 579-594.
- Mishra, J.K., Chang, Y-W. and Kim, D-K. 2007. Green thermoplastic elastomer based on polycaprolactone/epoxidized natural rubber blend as a heat shrinkable material. *Materials Letters*. 61: 3551 – 3554.
- Moritani, T. and Kajitani, K. 1997. Functional modification of poly(vinyl alcohol) bycopolymerization modification with carboxylic monomers. *Polymer*. 38: 2933-2945.
- Nakason, C., Kaesaman, A., Wongkul, T. and Kiatkamjornwong, S. 2001. Rheological and curing properties of reactive blending products of epoxidised natural rubber and cassava starch. *Plastic, Rubber and Composites*. 30:154-161.
- Nakason, C., Wannavilai, P. and Kaesaman, A. 2006. Effect of vulcanization system on properties of thermoplastic vulcanizates based on epoxidized natural rubber/polypropylene blends. *Polymer Testing*. 25: 34 – 41.
- Ratnam, C.T., Kamaruddin, S., Sivachalam, Y., Talib, M. and Yahya, N. 2006. Radiation crosslinking of rubber phase in poly(vinyl chloride)/epoxidized natural rubber blend: effect on mechanical properties. *Polymer Testing*. 25: 475 – 480.
- Schellekens, R. and Bastiaansen, C. 1991. The drawing behavior of polyvinyl alcohol fibers. *J. Appl. Polym. Sci*. 43: 2311-2315.
- Skeist, I. 1990. *Handbook of Adhesives*. Chapman & Hall. New York. 779p.
- Teh, P.L., Mohd Ishak, Z.A., Hashim, A.S., Karger-Kocsis, J. and Ishiaku, U.S. 2004. Effects of epoxidaized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber-organoclay nanocomposites. *European Polymer Journal*. 40: 2513 – 2521.
- Thitithammawong, A., Nakason, C., Sahakaro, K. and Noordermeer, J.W.M. 2007. Thermoplastic vulcanizates based on epoxidized natural rubber/polypropylene blends: selection of optimal peroxide type and concentration in relation to mixing conditions. *European Polymer Journal*. 43: 4008 – 4018.

ผลผลิต (Output) จากงานวิจัย:

- วรเวทย์ กาญจนนันท์, ธรรมบุญ โปรดปราน และ สุรสิทธิ์ ประสารปราน. 2553. ผลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อสมบัติของฟิล์มและการยึดติดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์. การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย. จัดโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี และมหาวิทยาลัยมหิดล. หาดใหญ่ สงขลา. 3 กรกฎาคม 2553.
- Kanjanarnun, V., Prodpran, T. and Prasarnpran, S. 2012. Effect of epoxidized natural rubber (Enr) on film and adhesive properties of polyvinyl alcohol (Pva). International Journal of Scientific Research. 3(1): 134-137.