

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติก เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถสรุปทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกรอบแนวคิดของโครงการได้ ดังนี้

2.1 กระเบื้องยาง

พื้น เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของอาคาร การปูพื้น จึงเป็นทั้งงานที่มีลักษณะเป็นงานตกแต่งและงานก่อสร้าง ในการเลือกวัสดุปูพื้นในด้านความสวยงามแล้ว จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละพื้นที่ด้วย

กระเบื้องยาง เป็นวัสดุปูพื้นชนิดหนึ่ง ผลิตจากส่วนผสมหลักๆ คือ พีวีซีเรซินผ่านกรรมวิธี Calendering Process ได้เป็นแผ่นเรียบมีความหนาตามต้องการแล้วตัดเป็นแผ่นขนาดต่างๆ หรือเป็นชนิดผืนใหญ่เป็นม้วน ซึ่งจะเรียกวาสุดูประเภทนี้รวม ๆ กันว่า Vinyl Floor และ Vinyl Floor Tile กระเบื้องยางเป็นที่นิยม เพราะราคาถูก ติดตั้งง่าย สะดวก รวดเร็ว และเล่นลวดลายและสลับสีได้หลากหลายตามต้องการจึงใช้กันมากในอาคารทั่วไปสำนักงาน ร้านค้า รวมถึงบ้านพักอาศัยด้วย เนื่องจากกระเบื้องยางเป็นวัสดุที่มีรูปแบบสีและลายตลอดจนความหนาที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานหนักเบาต่างกัน การใช้กระเบื้องยางจึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมในหลายๆด้าน (พงศ์พันธ์, 2540)

กระเบื้องยาง ที่มีในท้องตลาดมีลวดลายและสีสันทให้เลือกหลายแบบ เช่น สีพื้น ลายเส้นเลียนแบบ ไม้ปาร์เก้ พื้นไม้ หินอ่อน และหินแกรนิต ฯลฯ ซึ่งวัสดุปูพื้นที่ทำจากพีวีซินั้น ง่ายต่อการติดตั้ง ช่วยป้องกันความร้อน และลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้



รูปที่ 2.1 กระเบื้องยางสีต่างๆ



รูปที่ 2.2 กระเบื้องยางลวดลายไม้



รูปที่ 2.3 กระเบื้องยางลวดลายหิน

2.2 วัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องยาง

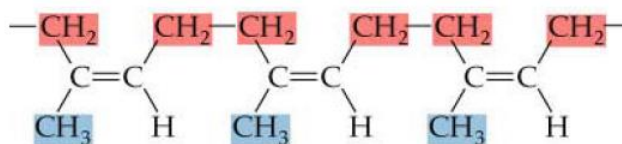
กระเบื้องยาง พี วี ซี มี 2 ประเภท คือ แบบแผ่น (PVC Floor Tile) และแบบผืน(PVC Floor Sheet) มีคุณสมบัติที่ใช้เป็นวัสดุปูพื้นแทนพรมหรือพาร์เก้ เนื่องจากกระเบื้องยางพีวีซี มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ไม่ลื่น การติดตั้งและการรื้อถอนกระทำได้ง่าย มีส่วนประกอบของพลาสติก พีวีซี ฟิล์ม กาวกระดาช แป้งแคลเซียม เรซิน และสารเคมี สำหรับวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องยางได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

2.3 การติดตั้งกระเบื้องยาง

กระเบื้องยาง ใช้ปูพื้นต่างๆ ได้ดี เช่น พื้นคอนกรีต, พื้นหินขัด, พื้นไม้เก่าหรือใหม่ เป็นต้น โดยที่พื้นจะต้องมีผิวหน้าเรียบ แข็ง แห้ง และสะอาด ลักษณะผิวหน้าของพื้นมีส่วนช่วยให้กระเบื้องยางที่ปูนั้น ดูสวย เรียบ และทนทานขึ้น ขอแนะนำให้ใช้กาวขาว ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะกับการปูพื้นกระเบื้องยาง (พงศ์ พัน, 2540)

2.4 ยางพารา

ยางพาราหรือยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Mn) สูงเฉลี่ยประมาณ 200,000 - 500,000 (Subramaniam, 1980) มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีสูตรโมเลกุลเป็น cis 1, 4 Polyisoprene ดังโครงสร้างรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของยางธรรมชาติ cis 1, 4 Polyisoprene (Subramaniam, 1980)

ยางธรรมชาติ สามารถนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้ยางออกมาในลักษณะที่ต่างกัน คือ อยู่ในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่างๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet), ยางแผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet), ยางเครพ (crepe), ยางแท่งเอสทีอาร์ (STR, Standard Thai Rubber, STR), และยางชนิดอื่นๆ จากนั้นจึงนำยางดิบเหล่านี้ไปป้อนให้กับโรงงานแปรรูปเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นั่งนอน ฟองน้ำ รองเท้ายาง ถังยางอนามัย ลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติจำเพาะแตกต่างจากวัสดุอื่นๆ กล่าวคือ มีความยืดหยุ่นดี เมื่อดึงออกและหดกลับรูปเดิมเมื่อปล่อย นอกจากนี้ยังมีเนื้อที่บสามารถกั้นน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเนื้อยางแห้ง (ในน้ำยางมีเนื้อยางแห้ง 20-45% โดยน้ำหนัก) คือ สารไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ที่มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 93.3% อีกประมาณ 6.7% เป็นสารอื่นที่ไม่ใช่ยาง (nonrubber contents) ปนอยู่ ซึ่งสารดังกล่าว ได้แก่ โปรตีน (protein) ไกลโคไซด์ (glycosides) ลิพิด (lipids) เกลือแร่ (mineral salts) และ เอนไซม์ (enzymes) [6] สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้แม้เพียงเล็กน้อยก็อาจมีผลต่อการคงรูปหรือวัลคาไนซ์ รวมทั้งสมบัติของยางได้มาก โดยโครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติมี ดังนี้

1) ยางธรรมชาติ ประกอบด้วย คาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

2) ตัวทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ อะลิฟาติก และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic and aromatic hydrocarbon), chlorinated hydrocarbon, ethers, และ carbon disulfide นอกจากนี้ ความทนน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมากจึงทำให้ยางวัลคาไนซ์ แล้วเกิดการบวมตัวเมื่อจุ่มในน้ำมัน ในขณะที่ยางดิบเกิดการละลาย ส่วนตัวที่ไม่ทำละลายยางธรรมชาติ ได้แก่ คีโตน (ketone) แอลกอฮอล์ (alcohol) และ เอสเทอร์ (ester)

3) จากการที่โมเลกุลของยางธรรมชาติไม่อึดตัว จะทำให้พันธะคู่สามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันในกระบวนการวัลคาไนเซชันได้ แต่มีข้อเสียคือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและโอโซนโดยมีโลหะ (เช่น Mn, Fe, Cu และ Co) ความร้อน แสง และความเครียดที่มีอยู่ในยาง (เช่น การหักงอไปมา) เป็นตัวเร่งให้ยางเสื่อมเร็วขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน ซึ่งจะทำให้ยางธรรมชาติเกิดรอยแตกหรือการแตกหักได้ ปริมาณโอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางได้ภายในสองนาทีก ดังนั้นต้องมีการเติมสารป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ (antioxidant) และสารป้องกันการเกิดโอโซน (antiozonant) ผสมเข้าไปในยาง เพื่อยืดอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษา

4) โซโมเลกุลที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจจะใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ยางธรรมชาติมีค่า T_g เท่ากับ -72°C ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ ยกเว้นเฉพาะยางบิวทาไดอีนและยางซิลิโคนเท่านั้น (Barlow, 1993)

5) ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมากและทำให้มีค่า green strength สูงและ tack ดี

6) น้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งแรงเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง ดังนั้นต้องนำยางไปบดเพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กลงก่อนนำไปแปรรูปในขั้นต่อไป

7) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระดอน (resilience) สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ

8) การใช้ reinforcing filler เช่น เขม่าดำ (carbon black) จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้สูงขึ้น

2.5 การปรับปรุงยางพารา

ยางพารา มีข้อดีในด้านสมบัติเชิงกลและมีข้อบกพร่องที่สำคัญ 2 ประการ คือ การต้านทานต่อน้ำมัน และการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม (ออกซิเจน โอโซน ความร้อน และแสงอัลตราไวโอเลต) ค่าสมบัติเหล่านี้สามารถปรับปรุงได้เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ หรือยางที่มีสมบัติเด่นที่ต้องการ เช่น นำยางธรรมชาติผสมกับยางอะครีโลไนไตรบิวตะไดอีน จะช่วยเพื่อความต้านทานน้ำมัน และเมื่อนำยางธรรมชาติผสมกับยางเอทิลีนโพรพิลีนบิวตะไดอีนเพื่อปรับปรุงการทนทานต่อสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถที่จะแก้ไขข้อบกพร่องของยางธรรมชาติได้ด้วยวิธีทางเคมี (เสาวรจน์, 2537) ซึ่งสรุปได้ ดังนี้

1) การผสมยางกับยาง (Rubber-Rubber Blend)

ยางชนิดต่างๆ จะมีสมบัติที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสมบัติที่ต้องการไม่ครบถ้วน ยางแต่ละชนิดอาจจะขาดสมบัติบางอย่างที่ผลิตภัณฑ์นั้นต้องการ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ด้วยการผสมกันของยางที่ต่างชนิดกันตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่า เพื่อให้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการได้อย่างครบถ้วน การผสมกันของยางนี้อาจจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ การผสมยางสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การผสมในสถานะของยาง
- การผสมในสถานะของสารละลายยาง
- การผสมในสถานะน้ำยางร่วมกับสารละลายยาง
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกล (mechanical)
- การผสมโดยใช้เครื่องมือกลร่วมกับสารเคมี (mechanochemical)
- การผสมในสถานะของยางผง (powder or particulate form)

เทคนิคที่สะดวกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมยาง คือ ใช้เทคนิคผสมโดยเครื่องมือกล ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ได้แก่ เครื่องบดผสมแบบระบบเปิด (open mill or two roll mill) หรือเครื่องบดผสมแบบระบบปิด (internal mixers) โดยการผสมยางนี้อาจใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์หรือใช้ยางสังเคราะห์ผสมกับยางสังเคราะห์

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของยางชนิดต่างๆ

สมบัติ	NR	SBR	BR	IIR	CR	NBR
Resilience	H	M	VH	L	M	FL
Tensile strength	VH	H	M	M	H	H
Tear strength	VH	M	M	M	H	M/L
Abrasion resistance	H	H	VH	M/H	H	M
Wet Skid resistance	L	H	VL	VH	-	-
Oxidation resistance	M	M	M	H	M	M
Permeability	H	M	VH	L	FL	L

หมายเหตุ VH = สูงมาก, H = สูง, M = ปานกลาง
 VL = ต่ำมาก, L = ต่ำ, FL = ค่อนข้างต่ำ

สำหรับการผสมยางกับยางไม่ว่าจะเป็นการผสมยางสังเคราะห์กับยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์นั้น ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการผสมยาง

- Polymer ratio
- Phase morphology
- Interfacial adhesion and crosslink
- การกระจายตัวของสารตัวเติม (filler) ภายในยาง
- การกระจายตัวของสารเติมแต่ง (Plasticizer) ภายในยาง
- การกระจายตัวของการเชื่อมต่อกันภายในยาง
- ปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ค่าความหนืด และความแตกต่างด้านความมีขั้วของยางแต่ละชนิด

1.2) การใช้ยางผสม ยางที่นำมาผสมกันจะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ จะมียางชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในยางอีกชนิดหนึ่ง โดยแยกออกเป็น 2 เฟส ได้แก่

ก) Continuous phase เป็นส่วนของยางที่เป็นพื้น matrix

ข) Disperse phase เป็นส่วนของยางที่เข้าไปกระจายในส่วนของ continuous phase เพื่อที่จะให้เกิดการกระจายตัวของยางเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ยางทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันควรจะมี ความหนืดเท่าๆ กัน เหตุผลการตัดสินใจที่จะผสมยางเข้าด้วยกัน มีเหตุผลหลายประการ เช่น

- เพิ่มความสามารถในการแปรรูปของยางที่ใช้
- เพิ่มความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง
- ช่วยในการลดต้นทุน ด้วยการผสมยางที่มีราคาถูกกับยางที่มีราคาแพง

นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกสิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการผสมยางเข้าด้วยกัน คือ ยางที่ผสมจะต้องมีการวัลคาไนซ์ไปพร้อมๆ กัน

1.3) การผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ตัวอย่างเช่น การใช้ยางธรรมชาติผสมยางไนไตรล์ ยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ และยางบิวทาไดอีนผสมยางธรรมชาติ เป็นต้น (บุญธรรม, 2530)

2) การแก้ไขทางเคมี (Chemical Modification)

การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวแก้ไขโครงสร้างโมเลกุล โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติและเมื่อมีการปรับสภาพโครงสร้างของยางธรรมชาติแล้วอาจทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์เปลี่ยนแปลงไป และส่วนใหญ่มีแนวโน้มเปลี่ยนสภาพจากยางไปเป็นพลาสติก หรือเรซิน การแก้ไขยางธรรมชาติทางเคมีสามารถที่จะทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

- 2.1) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือ geometry ของโมเลกุลยางธรรมชาติไปเป็นวัสดุชนิดใหม่
- 2.2) การรวมโมเลกุลของยางธรรมชาติกับกลุ่มสารเคมีที่มีลักษณะเฉพาะหรือปฏิกิริยาทางเคมี
- 2.3) การนำพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกันมาต่อเข้ากับสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นสายโซ่สั้นหรือสายโซ่ยาว

2.6 การวัลคาไนซ์ยางพารา

วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการการนำยางมาเติมกำมะถันแล้วให้ความร้อน โดยผลผลิตที่ได้มีความสามารถในการไหลลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เหตุผลที่ความสามารถในการไหลของยางลดลง แต่ในขณะเดียวกันมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเพราะได้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinked) ขึ้นระหว่างโมเลกุลของยาง ในปัจจุบันคำว่า วัลคาไนเซชัน หมายถึง กระบวนการใดก็ได้ที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นกระบวนการจึงไม่จำกัดเฉพาะการใช้กำมะถันเท่านั้น แต่อาจใช้สารเคมีอื่นก็ได้ หรือไม่มีการเติมสารเคมีเลยก็ได้ เช่น ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว หรือใช้แสงเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการนี้ก็ไม่จำกัดแต่เฉพาะยางธรรมชาติเท่านั้น แต่จะเป็นวัตถุดิบพอลิเมอร์ใดๆ ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันวิธีวัลคาไนเซชันยางที่นิยมใช้กันมากที่สุดยังคงเป็นวิธีดั้งเดิม คือ การใช้ผงกำมะถันและมีการเติมตัวเร่งด้วย (accelerator) อีกวิธีหนึ่งก็นิยมใช้กันเช่นกันคือการใช้สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (พรพรรณ, 2528; วราภรณ์, 2523)

1) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้กำมะถัน (sulfur vulcanization) ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและผงกำมะถัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างภายในใต้อุณหภูมิปกติสำหรับกระบวนการคือประมาณ 150°C ยิ่งไปกว่านั้น กระบวนการนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่ละจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางใช้กำมะถันมากถึง 40-55 อะตอม และมีเพียง 6-10 อะตอม ของกำมะถันเท่านั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงอย่างแท้จริง กำมะถันที่เหลือกระจายไปทั่วโซ่หลักของยางในรูปของหน่วยซัลไฟด์วงแหวน การมีซัลไฟด์ปะปนในยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ในลักษณะเช่นนี้ ทำให้สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติด้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อให้เกิดการตกผลึกออกมาและทำให้สมบัติการกลับเข้ารูปเดิม (resilience) ลดต่ำลงด้วยอัตราการวัลคาไนเซชันอาจทำให้เร็วขึ้นได้โดยการเติมตัวเร่ง (accelerator) หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัว นอกจากการเติมตัวเร่งแล้ว ยังนิยมเติมตัวกระตุ้น (activator) ด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่ง

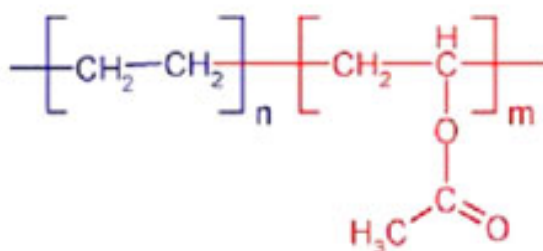
2) กระบวนการวัลคาไนเซชันโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ (vulcanization) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของผลผลิตยางให้ดีขึ้น ชนิดของสารเชื่อมโยงโมเลกุลยางนี้จะแตกต่างกันออกไปในการใช้กับยางแต่ละชนิด ในระหว่างการวัลคาไนซ์ยางนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ การที่สายโมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยกัน โดยเกิดปฏิกิริยากับสาร vulcanizing form โครงสร้างแบบสามมิติ จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ยางเปลี่ยนจากการมีลักษณะอ่อนแบบพลาสติกเป็นลักษณะแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ แต่ยางจะสูญเสียคุณสมบัติความเหนียวติดกันเองและจะมีความต้านทานต่อการละลายในตัวทำละลาย ตลอดจนความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากความร้อน แสง และขบวนการทำให้ยางเสื่อมสภาพแบบอื่นๆ

2.7 การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน

การขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความร้อน เป็นกระบวนการพื้นฐานในการผลิตชิ้นงานยางและพลาสติกแบบดั้งเดิม โดยส่วนมากนิยมใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต นอกจากนี้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยการอัดยังสามารถใช้กับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก หลักการกระบวนการขึ้นรูปด้วยการอัด คือ นำวัตถุดิบที่ต้องการขึ้นรูป วางลงแม่พิมพ์ร้อนที่เปิดอยู่ หลังจากนั้นปิดแม่พิมพ์ด้วยแรงดันอัด พลาสติกจะเริ่มอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน และไหลไปตามช่องว่างของแม่พิมพ์ จนกระทั่งแข็งตัวได้รูปร่างตามต้องการ (บุญธรรม, 2530)

2.8 พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท

พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรือพลาสติกอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งได้จากการทำโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของสารเอทิลีนโมโนเมอร์ (Ethylene Monomer) กับสาร ไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ (VAM, Vinyl Acetate Monomer) โพลิเมอร์อีวีเอเป็นผลงานการวิจัยของบริษัทดูปองท์ (DuPont) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับการจดสิทธิบัตรไว้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2499 (ค.ศ.1956) อีวีเอถูกผลิตออกสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ.1960) ในชื่อทางการค้าว่า เอลแวกซ์ (Elvax) ปัจจุบันอีวีเอถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมหีบห่อบรรจุภัณฑ์ กาวเส้นลวด พื้นรองเท้า และอื่นๆ (Jesse, 1992)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพลาสติกอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) (Jesse, 1992)

เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคโพลิเมอร์ มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายยาวของเอทิลีน โดยมีไวนิลอะซิเตทเกาะกระจายเป็นหย่อมบนสายโซ่โมเลกุล ในลักษณะโครงสร้างโคโพลิเมอร์แบบไม่เป็นระเบียบ (Random Copolymer) และเนื่องจากสารชนิดนี้เกิดจากการรวมโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนโมโนเมอร์กับไวนิลอะซิเตทโมโนเมอร์ ดังนั้นสมบัติของอีวีเอจึงเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซิเตทในโมเลกุล โดยปริมาณของสารไวนิลอะซิเตทในโมเลกุลมีผลกระทบต่ออีวีเอ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพลาสติกอีวีเอที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตดในโมเลกุล

สมบัติ	ปริมาณไวนิลอะซีเตดมาก	ปริมาณไวนิลอะซีเตดน้อย
ความเป็นผลึก (Crystallinity)	ลดลง	มากขึ้น
จุดหลอมเหลว	ลดลง	สูงขึ้น
ค่าโมดูลัส	ลดลง	สูงขึ้น
ความแข็ง (Hardness)	ลดลง	มากขึ้น
สภาพขั้ว (Polarity)	สูงขึ้น	ลดลง
ความสามารถในการกันแก๊สซึมผ่าน	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงกระแทก	มากขึ้น	ลดลง
ความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์	ลดลง	มากขึ้น
ความใส	มากขึ้น	น้อยลง

ความสามารถเข้าได้กับสารอื่น เมื่ออีวีเอมีปริมาณไวนิลอะซีเตดเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการเข้าได้กับสารอื่นจะสูงขึ้น ทำให้สามารถนำสารอีวีเอไปผสมรวมกับโพลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีสภาพขั้ว เช่น พลาสติกไซซ์พีวีซี (Plasticized PVC) ได้ ซึ่งโดยปกติโพลิเอทิลีนทั่วไปไม่สามารถผสมเข้ากับพลาสติกไซซ์พีวีซี และยังอีวีเอมีปริมาณไวนิลอะซีเตดมากขึ้นก็ยิ่งช่วยให้เข้าได้กับพลาสติกไซซ์พีวีซีได้ง่ายยิ่งขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้อีวีเอที่มีไวนิลอะซีเตดมากยังมีความสามารถรับสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) หรือผงสี (Pigments) ต่าง ๆ ได้ในปริมาณมากโดยไม่เกิดผลเสียต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น ในผลิตภัณฑ์อีวีเอที่ใช้สำหรับงานกันไฟฟ้าสถิตย์นั้น ผู้ผลิตสามารถผสมผงถ่าน (Carbon Black) ลงไปในอีวีเอได้มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยสมบัติที่สามารถเข้ากับสารอื่นได้ดี จึงสามารถนำอีวีเอไปปรับแต่งสมบัติก่อนใช้งานหรือใช้เป็นตัวปรับแต่งสมบัติให้กับโพลิเมอร์อื่นได้

2.9 การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกอีวีเอ

พลาสติกอีวีเอ สามารถปรับปรุงสมบัติได้หลายวิธี เช่น การใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ทำให้อีวีเอเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเป็นเครือข่ายหรือร่างแห การเติมสารเพิ่มเนื้ออย่างดิน (Clay) ลงไปในอีวีเอเพื่อช่วยเรื่องการเสริมแรง (Reinforcement) แต่สิ่งสำคัญนอกเหนือจากนี้คือการปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อแรงฉีกขาด โดยใช้ซิลิกา (Silica) การนำอีวีเอมาเติมซิลิกา สารประกอบเปอร์ออกไซด์ และสารให้ฟอง (Blowing Agents) ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นผลิตภัณฑ์โฟมที่มีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) แต่เหนียว ซึ่งเหมาะจะใช้เป็นแผ่นรองพื้นชั้นใน (Innersole) และพื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole) ของรองเท้าวิ่ง

2.10 การขึ้นรูปพลาสติกอีวีเอ

พลาสติกอีวีเอส่วนใหญ่นำมาใช้งานเป็นอีวีเอชนิดเทอร์โมพลาสติก วิธีขึ้นรูปจึงเหมือนการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไปคือ สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดเข้าแบบ (Injection Molding) วิธีอัดรีด (Extrusion) วิธีเป่าเข้าแบบ (Blow Molding) และวิธีรีดเป็นแผ่น (Calendering) แต่มีบางสิ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับการขึ้นรูปอีวีเอ เนื่องจากอีวีเอเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถทนความร้อนสูงจากกระบวนการขึ้นรูป อย่างเช่น วิธีการฉีดเข้าแบบได้ด้นัก สภาพแวดล้อมที่ร้อนเกินพิกัดจะทำให้โพลิเมอร์สูญเสียสมบัติทางกายภาพ นอกจากนี้ยังทำให้หมู่ไวนิลอะซีเตดของโพลิเมอร์สลายตัวให้กรดอะซิติก (Acetic Acid) ออกมาซึ่งสังเกตได้จากมีกลิ่นน้ำส้มสายชูเกิดขึ้น ดังนั้นการทำแม่พิมพ์และตาย (Die) สำหรับอีวีเอจึงควรเลือกใช้โลหะที่มี

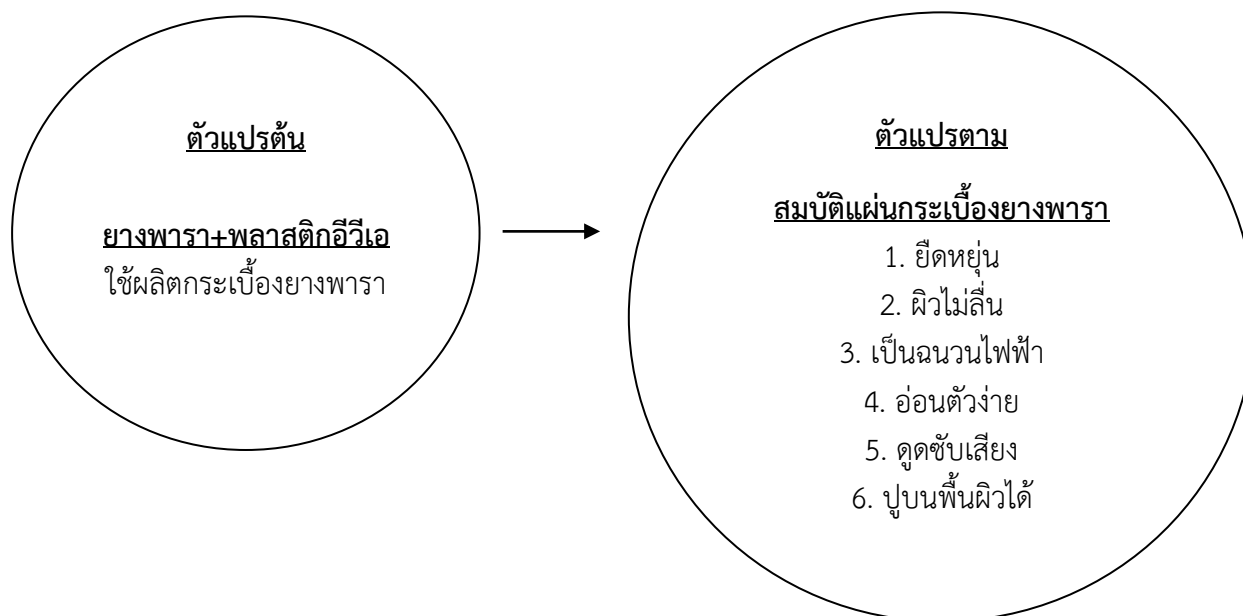
ความทนทานต่อการกัดกร่อน การขึ้นรูปอีวีเอด้วยการฉีดขึ้นรูปจึงไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินความจำเป็น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะสมบูรณ์แบบ สิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่งคือ ควรให้ผลิตภัณฑ์มีช่วงเวลาการเย็นที่นานเพียงพอ เนื่องจากหากชิ้นงานยังไม่แข็งแรงเพียงพอแรงกระแทกจากเข็มกระทุ้ง (Pin) ที่ทำให้ชิ้นงานหลุดออกจากแม่พิมพ์จะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ การขึ้นรูปด้วยการอัดรีดอีวีเอ เนื่องจากอีวีเอมีสมบัติความอ่อนนุ่มในตัว การควบคุมรูปทรงของชิ้นงานให้มีความสมบูรณ์จึงเป็นปัญหาหลัก ดังนั้นระบบทำความเย็นและอุปกรณ์ควบคุมรูปทรงจึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นต้องมี

2.11 เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า

เศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอจากอุตสาหกรรมรองเท้า เป็นหนึ่งในขยะพลาสติกที่เป็นปัญหาอย่างมากของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกรายใหญ่ อันดับที่ 5 ของโลก รองจากจีน เวียดนาม อินโดนีเซีย และบราซิล ในปี 2549 มีจำนวนโรงงานผลิตรองเท้ากว่า 1,000 โรงงาน มีมูลค่าการส่งออกรวมกว่า 3.3 หมื่นล้านบาท และมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณเศษผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ประกอบกับการที่ขยะจำพวกพลาสติกสามารถย่อยสลายได้ช้า วิธีการจัดการโดยการฝังกลบจึงไม่สามารถรองรับขยะปริมาณมากมายเหล่านี้ได้ และการฝังกลบขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำใต้ดินอีกด้วย แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำพลาสติกมาหลอมและนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติด้อยลงกว่าเดิม จึงจำเป็นต้องเดิมสารเติมแต่งต่างๆ ลงไป เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนอย่างมากให้กับภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตรองเท้าจะมีการผสมผสานวัตถุดิบระหว่างเม็ดพลาสติกกับสารเคมีชนิดต่างๆ แล้วผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป รีด และผสมสี เพื่อให้ได้รองเท้าที่มีสีสัน และความนุ่มตามที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ผสมนั้น ได้แก่ พลาสติกอีวีเอ (EVA, Ethylene Vinyl Acetate), พลาสติกแอลดีพีอี (LDPE, Low Density Polyethylene), ไข (Wax), ยาสุก (DCP, Dicumyl Peroxide), ซิงค์ (ZnO), ยาพอง (Blowing Agent), แป้ง 9 QQ, แป้ง OM 8, แป้ง 4 QC, ยางพาราแผ่น (Para-Rubber Plates), เขม่าดำ (Carbon Black) และผงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นต้น ส่วนเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เหลือทิ้งอย่างมากที่สุดคือ ขอบพลาสติกอีวีเอที่เหลือจากการขึ้นรูป เดิมทีทางโรงงานจะมีการนำเศษผลิตภัณฑ์ดังกล่าว กลับไปเข้ากระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง เพื่อลดปริมาณขยะจากเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอ และเป็นการประหยัดพลาสติกอีวีเอใหม่ แต่การนำเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอดังกล่าวไปผสมใหม่นั้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้ามีคุณภาพด้อยลง และสามารถทำการผสมซ้ำได้เพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทั้งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกอีวีเอต่างๆ เหลือทิ้งเป็นขยะพลาสติกที่ยากต่อการกำจัดจำนวนมาก

2.12 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีสมมติฐานและกรอบแนวความคิดว่า ขยะพลาสติกจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาผลิตกระเบื้องยางที่มีสมบัติยืดหยุ่น พื้นผิวไม่ลื่น เป็นฉนวนไฟฟ้า อ่อนตัวง่าย ดูดซับเสียงดี ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกายในกรณีเครื่องใช้ไฟฟ้ามีปัญหา และใช้ปูพื้นบนผิวต่างๆ ได้ดี



รูปที่ 2.6 กรอบแนวความคิดของกระเบื้องยางพาราผสมอีวีเอ

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

1) ศุภชัย แก้วจิ้ง (2552) ได้พัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) เหลือทิ้ง โดยทำเป็น 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นแรก คือ ส่วนฐานรองรับ ทำจากยางธรรมชาติชนิดยางสกีม ซึ่งเป็นยางต้นทุนต่ำผสมสารตัวเติมผงฝุ่นซีลี้อยู่ยางพารา ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 12, 15, และ 20 นาที ที่ความหนา 5, 10, และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชั้นที่สอง ทำจากยางสกีมผสมยางอีพีดีเอ็มซึ่งเป็นวัสดุจากฉนวนหุ้มท่อแอร์เหลือทิ้ง โดยมีสมบัติต้านทานต่ออุณหภูมิได้ดี ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม โดยมีการแปรผันปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มในช่วง 0-300 phr ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด สมบัติการกระด้างกระดอน และทดสอบสมบัติการกระด้างตัวในแนวตั้งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางอีพีดีเอ็ม ในทางตรงข้ามเวลาในการคงรูปยาง สมบัติความแข็ง และการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุดที่ปริมาณยางอีพีดีเอ็ม 300 phr ต้นทุนด้านวัสดุลดลงเมื่อชั้นฐานรองรับและปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนด้านพลังงานกลับเพิ่มขึ้นเมื่อชั้นฐานรองรับเพิ่มขึ้นและปริมาณสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มเพิ่มขึ้น

2) วิสุทธิ์ แก้วสกุล (2551) ได้เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์โคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท (EVA) กับยางธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ ยางแผ่นผึงแห้ง (ADS) ยางธรรมชาติมาลีเอต (MNR) ที่เตรียมโดยใช้มาลีเอตไฮโดรด์ 10 phr และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 35 % โดยโมล จากการเตรียมโดยทำปฏิกิริยาอีพอกไซด์กับกรดเปอร์ฟอริกด้วยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติและการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์โดยใช้ระบบ วัลคาไนซ์ด้วยฟีนอลิกเรซิน ใช้เครื่องผสมแบบปิดในการเบลนด์ ที่อุณหภูมิ 140°C ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบ/นาที การเบลนด์ ADS/EVA ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เตรียมจาก EVA ดัดแปลงโมเลกุลด้วยฟีนอลิกเรซิน (PhHRJ-EVA) ส่วนการเบลนด์ MNR/EVA และ ENR/EVA เป็นการเบลนด์แบบบริแอกทีฟโดยไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้ง 3 ชนิด มีมอดูลัสยืดหยุ่น ความ

ต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความต้านทานต่อตัวทำละลาย มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ แต่มอดูลัสสะสม ความหนืดเชิงซ้อน และความสามารถในการคืนรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่า tension set และ $\tan \delta$ มีแนวโน้มลดลง) และพบว่าสัณฐานวิทยาเป็นแบบเฟสรวมที่อัตราส่วนการเบลนด์ 40/60, 50/50 และ 60/40 เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนเดียวกัน การเบลนด์ ENR/EVA ให้วัสดุที่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อตัวทำละลาย และ ความต้านทานต่อความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือวัสดุที่ได้จากการเบลนด์ MNR/EVA และ ADS/EVA ตามลำดับ ส่วนการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ด้วยเทคนิควัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ สมบัติต่างๆ มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันกับการเบลนด์แบบปกติ แต่วัสดุจากการทำไดนามิกส์วัลคาไนเซชันมีสมบัติต่างๆ สูงกว่า นอกจากนี้พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นอนุภาคยางวัลคาไนซ์ขนาดเล็กลงตามการเพิ่มปริมาณยาง ซึ่งวัสดุจากการเบลนด์ ENR/EVA มีขนาดอนุภาคยางเล็กที่สุดมีผลให้ได้วัสดุที่มีสมบัติต่างๆ ดีที่สุด ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการคืนรูป ความต้านทานต่อความร้อน และ ความต้านทานต่อตัวทำละลาย ดังนั้นวัสดุจากการเบลนด์ ENR/EVA ทั้งสองเทคนิคมีสมบัติดีที่สุดเนื่องจากมีความเข้ากันได้ดีที่สุด

3) ปญญานิช อินทรพัฒน์ (2551) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของมอนอเมอร์ต่อตัวริเริ่ม และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อสัดส่วนการกราฟต์ของยางธรรมชาติกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์ พบว่า สัดส่วนการกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับไดเมทิลอะครีโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนตที่อัตราส่วนโดยโมลของมอนอเมอร์ต่อตัวริเริ่ม เท่ากับ 7 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 180 นาที จะให้สัดส่วนการกราฟต์และการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์สูงที่สุด ความยาวสายโซ่เฉลี่ยของสายโซ่กราฟต์อยู่ในช่วง 9-73 สัณฐานวิทยาของอนุภาคน้ำยางกราฟต์ทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่องทราบสมิซชันอิเล็กตรอนไมโครสโคปีพบว่า การกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันเป็นแบบคอร์เชลล์ ศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติกราฟต์ พบว่า การสลายตัวของยางธรรมชาติกราฟต์ปรากฏ 2 ช่วง กล่าวคือ การสลายตัวช่วงแรกที่อุณหภูมิต่ำเป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติและช่วงที่สองเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนการกราฟต์เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไดเมทิลเมทาครีโลอิลออกซีเมทิลฟอสฟอเนต ถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติจากยางธรรมชาติกับเอทิลีนไวนิล-อะซิเตท โดยใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติและการเบลนด์โดยผ่านกระบวนการไดนามิกวัลคาไนซ์ โดยศึกษาอิทธิพลต่างๆ ได้แก่ ระดับการกราฟต์ ได้แก่ 71, 80, 89 และ 95% และปริมาณของยางธรรมชาติกราฟต์ ได้แก่ 1, 3, 5, 7, 9, 12 และ 15% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ ที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติการไหล สมบัติพลวัต สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงความร้อน พบว่า การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ที่มีสัดส่วนการกราฟต์ เท่ากับ 80% ในปริมาณ 7% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติในการเบลนด์แบบปกติ และ 9% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ ในการ เบลนด์แบบไดนามิกวัลคาไนเซชัน ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้ากันได้ดีที่สุด โดยพบว่า การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่สภาวะดังกล่าวส่งผลให้ ความหนืดเชิงซ้อน สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาดสูงที่สุด ในขณะเดียวกัน การยืดอยู่ตัว และแทนเดลต่ำต่ำที่สุด การศึกษาสัณฐานวิทยาของการเบลนด์ที่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้พบว่า ขนาดของเฟสยางลดลง อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิกลาสรานชิชันของพอลิเมอร์เบลนด์ มีการเลื่อนเข้าหากันส่วนปริมาณผลึกของเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเฟสลดลง