



การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร
Using PMA Asphalt to Produce Roof Plates
for Reducing Building Structure Weight

วิหาร ติปัญญา
กิตติพงษ์ สุวิโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของหลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ ในปริมาณ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยน้ำหนัก ผสมส่วนผสมภายในหม้อให้ความร้อน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปด้วยแบบหล่อ ขนาด 20 x 20 x 0.5 เซนติเมตร เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใย และใช้หินเกล็ดตกแต่งผิวหน้า ทดสอบสมบัติของหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM พบว่า แผ่นยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติทั้งหมดสามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยปริมาณน้ำยางธรรมชาติไม่เกินอัตราส่วน 1.5 ส่งผลให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นถึงอัตราส่วน 2.0 ความต้านทานแรงดึงกลับเพิ่มขึ้น จากการนำแผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ อัตราส่วน 2.0 ไปใช้งานจริงเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป หลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ สามารถใช้งานได้ดีและมีข้อได้เปรียบหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป คือ หลังคามีความแน่นหนายึดเกาะกันตัวเอง ทั้งนี้ ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลังคาชิงเกิ้ลรูฟทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศได้

คำสำคัญ: หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ; ยางมะตอยชนิด PMA; น้ำยางธรรมชาติ; เส้นใย; ความต้านทานแรงดึง

Abstract

This research aims to study the properties of PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex by various contents of natural latex to PMA asphalt (e.g. 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 by weight). The heat pot was used to mix the mixture with lower than 160 degree of Celsius. The PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex samples were cast in 20 x 20 x 0.5 centimeter of dimension and added the fiber plate and stone flake to reinforce and decorate the roof plate. The properties of the roof plates were tested under ASTM standard. From the results, it is found that all samples can resist the temperature higher than 200 degree of Celsius and the increasing of natural latex (lower than 1.5 of ratio) can improve the hardness property while the tensile strength and elongation properties are decreased. However, when the amount of natural latex increased to 2.0 of ratio, the tensile strength are increased. After compare the PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex (2.0 of ratio) and the general shingle roof found that the researched shingle roof can use as well as the general shingle roof and more tightly. The research results can develop to the PMA shingle roof products and replace the import shingle roofs.

Keywords: shingle roof; PMA asphalt; natural latex; fiber; tensile strength

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	๗
สารบัญรูป	๙
สารบัญตาราง	๑๑
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 ยางมะตอย	3
2.2 สารต้านทานยางเสื่อมสภาพ	6
2.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Analysis)	10
2.4 สมบัติทางพลวัต	14
2.5 สมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	22
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	22
3.2 การออกแบบแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	28
3.3 การขึ้นรูปแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	29
3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย	37
4.1 ผลการส่องภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง	37
4.2 ผลการส่องภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	41
4.3 ผลการทดสอบการสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง	45
4.4 ผลการทดสอบความแข็ง	46
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง และความเครียด	47
4.6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	49
4.7 ผลการทดสอบใช้งานจริง	49
4.8 การยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตร	50
4.9 การเขียนบทความวิจัยส่งลงในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ	51
4.10 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์	52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผล	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	56
บทความสำหรับเผยแพร่	
เอกสารประกอบคำขอรับอนุสิทธิบัตร	
หนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์	



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของยางมะตอย	3
2.2	การกลั่นยางมะตอยจากน้ำมันดิบ	4
2.3	กระบวนการผลิตแอสฟัลต์อิมัลชัน	5
2.4	กระบวนการผลิตโมดิไฟด์แอสฟัลต์อิมัลชัน	6
2.5	กลไกปฏิกิริยาการ oxidation ของพอลิเมอร์	9
2.6	ปฏิกิริยาระหว่างยางกับโอโซน	10
2.7	การตอบสนองของความเค้นต่อความเครียดด้วยมุมเฟสต่างกัน ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั้น	15
2.8	ปริมาณเวกเตอร์ของ G' , G'' , G^* และ δ	16
2.9	กรอบแนวความคิดของแผ่นหลังคายางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	17
2.10	หลังคายางผสมซีลี้อยไม้ยางพารา	18
2.11	หลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลี้อยไม้ที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	19
3.1	ยางมะตอยชนิด PMA	22
3.2	น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	23
3.3	แผ่นเส้นใยไฟเบอร์ แบบเส้นใย 2 ทาง ตาถี่#100 ชนิด E-glass cloth	24
3.4	หินเกล็ดขนาดเบอร์ 5	24
3.5	แบบหล่อโลหะ	25
3.6	ถังแก๊สและเตาแก๊ส	25
3.7	เครื่องทดสอบแรงกดแรงดึง UTM และเครื่องประมวลผล	25
3.8	เครื่องตัดชิ้นงาน	26
3.9	เครื่องเผาที่อุณหภูมิความร้อนสูง TGA และเครื่องประมวลผล	26
3.10	เครื่องมือทดสอบความแข็ง	27
3.11	กล้องส่องจุลทรรศน์แบบแสง	27
3.12	กล้องส่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM	27
3.13	การชั่งน้ำหนักยางมะตอย PMA เพื่อนำไปผสม	30
3.14	การชั่งน้ำหนักน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อนำไปผสม	30
3.15	การต้มยางมะตอยให้ละลายก่อนผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	31
3.16	การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงในยางมะตอย	31
3.17	การปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้เรียบเท่ากัน	32
3.18	แผ่นยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	32
3.19	การส่องภาพขยายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง	33
3.20	การเตรียมแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	33
3.21	การส่องภาพขยายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.22	การทดสอบการสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องเผาที่อุณหภูมิความร้อนสูง TGA	34
3.23	การทดสอบความแข็งของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	34
3.24	การตัดแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อเตรียมทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด	34
3.25	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด	35
3.26	การทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียดของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	35
3.27	การจับยึดแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด	35
3.28	การวัดของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เมื่อทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด	36
4.1	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
4.2	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
4.3	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
4.4	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	37
4.5	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
4.6	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
4.7	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	38
4.8	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	38
4.9	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	38
4.10	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.11	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.12	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.13	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.14	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	39
4.15	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.16	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.17	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.18	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.19	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.20	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.21	แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า	41
4.22	แผ่นหลังซิงเกิ้ลรูปในท้องตลาดเมื่อมองด้วยตาเปล่า	41
4.23	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคาซิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 50 เท่า	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคาซิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า	42
4.25	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคาซิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	43
4.26	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า	43
4.27	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 500 เท่า	44
4.28	ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	44
4.29	การสลายตัวที่อุณหภูมิสูงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนร้อยละ 3.0	45
4.30	ความแข็งของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	46
4.31	แรงดึงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	47
4.32	ความต้านทานแรงดึงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	47
4.33	การยืดตัวของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	48
4.34	โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	48
4.35	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ	49
4.36	ตัวอย่างการติดตั้งแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2 (ช่วงบน) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หลังคาซิงเกิ้ลรูปทั่วไปที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ช่วงล่าง)	50
4.37	สถานที่จัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14 ณ โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่	51
4.38	ห้องประชุมใหญ่ที่จัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14	51
4.39	ผู้วิจัยนำเสนอผลงานเรื่อง “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร” ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14	52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของ PMA เปรียบเทียบกับ AC 60/70	6
2.2	การแบ่งประเภทการวิเคราะห์ทางความร้อน	11
2.3	ประเภทของเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนและการใช้งาน	11
3.1	สมบัติของยางมะตอยชนิด PMA	22
3.2	ส่วนผสมของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สูตรถุงมือแพทย์ จากกรมวิชาการเกษตร	23
3.3	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ขนาดโครงสร้างอาคารมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักจากวัสดุก่อสร้าง (น้ำหนักบรรทุกคงที่) และน้ำหนักใช้งาน (น้ำหนักบรรทุกจร) ปัจจุบันนิยมลดน้ำหนักวัสดุก่อสร้างจำพวก วัสดุอ่อนกึ่งกันมาก โดยเปลี่ยนจากคอนกรีตบล็อก อิฐก่อสร้างสามัญ (อิฐมอญ) มาเป็นอิฐมวลเบา ซึ่งช่วยให้ขนาดโครงสร้างเล็กลงได้ แต่สำหรับน้ำหนักของหลังคากลับไม่ค่อยให้ความสำคัญมากนัก ทั้งนี้หลังคาที่มีน้ำหนักเบาและเป็นที่นิยมกันในต่างประเทศ คือ “หลังคายางมะตอย” หรือที่รู้จักกันในชื่อ “หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ” เป็นหลังคาที่มีน้ำหนักเบาเพียง 18 กิโลกรัม ในขณะที่หลังคาทั่วไปหนักมากกว่า 100 กิโลกรัม สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว พื้นผิวสวยงามเป็นธรรมชาติ

ในประเทศไทยมีการนำเข้าหลังคาชนิดนี้จากประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากไม่มีผู้ผลิตภายในประเทศ ซึ่งแตกต่างจากหลังคาชนิดอื่นที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาหลังคายางมะตอยขึ้นจากวัตถุดิบภายในประเทศ โดยใช้ยางมะตอยชนิด PMA เป็นวัสดุหลัก พร้อมทั้งปรับปรุงวัสดุเสริมแรง แผ่นกันซึม และพัฒนาผิวหน้าด้วยหินเกล็ดธรรมชาติที่เหมาะสมกับภูมิอากาศและมีอยู่ในประเทศไทย ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydro Carbon) ได้มาจากขบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550) โดยยางมะตอยจะเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่หนักที่สุด ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ Asphaltenes เป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเกือบดำ ลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นตัวทำให้เกิดความข้นหนืดในแอสฟัลต์, Asphaltic เป็นของแข็งที่มีสีน้ำตาลแก่ เป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อนทำหน้าที่ช่วยให้ Asphaltenes กระจายตัวในแอสฟัลต์, และ Oily Constituents เป็นส่วนของน้ำมันเหลวไร้สี

ทั้งนี้ การที่ยางมะตอยได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางนั้น เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญ คือ เป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี (Good Binder) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวัสดุต่างๆ ให้ติดกัน เช่น การผสมยางมะตอยกับหินย่อย เพื่อใช้ทำผิวจราจรต่างๆ เป็นต้น, ป้องกันน้ำซึมผ่าน (Good Waterproofing) เมื่อวัสดุเคลือบด้วยยางมะตอยแล้ว โอกาสที่น้ำจะซึมผ่านจะเป็นไปได้ยาก, ใช้ความร้อนแล้วกลายเป็นของเหลว (Liquid) อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลงคุณสมบัตินี้จะทำให้นำนายางมะตอยมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น เช่น การทำถนน เมื่อทำให้นายางมะตอยเหลวก็สามารถผสมยางมะตอยกับวัสดุต่างๆ ได้ดี และเมื่อลาดยางแล้วจะเย็นลงจนเกิดการแข็งตัว และทนทานคงสภาพดินฟ้าอากาศ (Aging Resistance) จึงเหมาะกับการใช้งานกลางแจ้ง

ดังนั้น โครงการ การใช้อยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร จึงเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุผนังหลังคาที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง รวมทั้งลดการนำเข้าหลังคายางมะตอยจากต่างประเทศได้ดี นอกจากนี้ หลังคายางมะตอยที่พัฒนา ยังมีการนำน้ำยางธรรมชาติที่กำลังประสบปัญหาด้านราคาตกต่ำ มาใช้ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของหลังคายางมะตอยให้ดีขึ้น ซึ่งจะเป็นแนวทางการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ และช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับราคายางและเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อทราบส่วนผสมและวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมสำหรับผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 2) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 3) เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 4) เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 5) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีหลังคayangมะตอยชนิด PMA ให้แก่ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ออกแบบหลังคayangมะตอยชนิด PMA โดยใช้ยางมะตอยชนิด PMA เป็นวัสดุหลัก
- 2) ใช้เส้นใยไฟเบอร์กลาส และน้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ เป็นวัสดุเสริมแรง
- 3) ใช้หินเกล็ดธรรมชาติ เป็นวัสดุตกแต่งผิวหน้าและเพิ่มความคงทนให้วัสดุหลัก
- 4) ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ตามมาตรฐาน ASTM ที่เกี่ยวข้อง
- 5) ทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 โดยส่งตัวอย่างทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- 6) ทำการทดสอบการใช้งานจริง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 7) ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีหลังคayangมะตอยชนิด PMA ให้แก่ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไปที่สนใจ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบส่วนผสมและลักษณะการปรับปรุงที่เหมาะสมสำหรับผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 2) ทราบกระบวนการผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 3) ทราบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 4) ทราบผลการทดสอบการใช้งานจริงของหลังคayangมะตอยชนิด PMA
- 5) ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไป สามารถนำหลังคayangมะตอยชนิด PMAไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ได้
- 6) ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/ อนุสิทธิบัตรได้

บทที่ 2

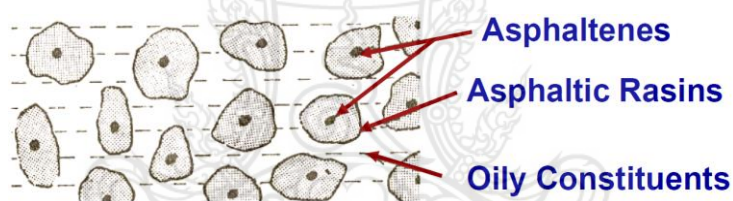
ทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร สามารถสรุปทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สมมติฐาน และกรอบแนวคิดการวิจัยได้ ดังนี้

2.1 ยางมะตอย

ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ (Asphalt หรือ Bitumen) คือ วัสดุวิทยาศาสตร์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydro Carbon) ได้มาจากขบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550) โดยยางมะตอยจะเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่หนักที่สุด และจะถูกนำไปผ่านขบวนการผลิตยางมะตอยต่อไป เพื่อให้ได้ยางมะตอยที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ

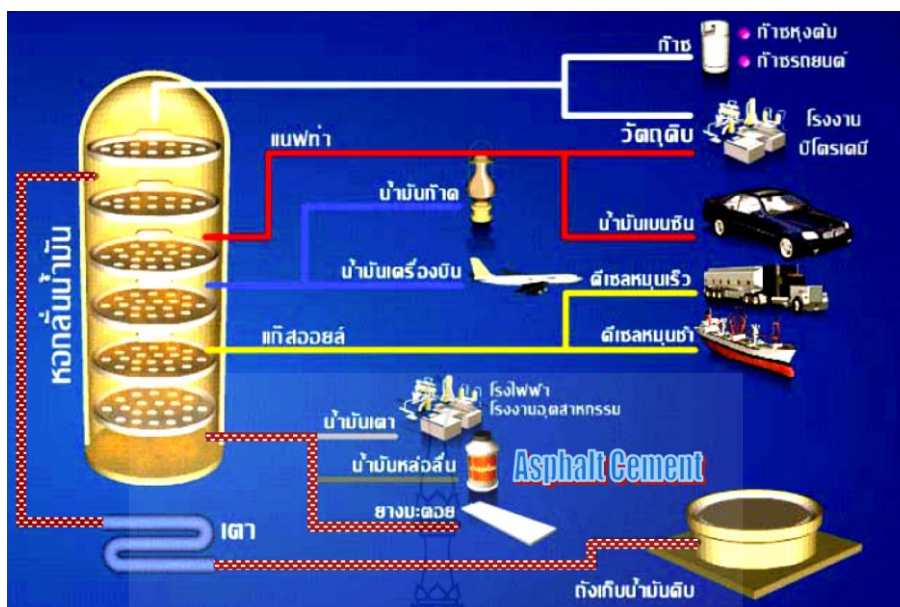
- 1) Asphaltenes เป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเกือบดำ ลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นตัวทำให้เกิดความข้นหนืดในแอสฟัลต์
- 2) Asphaltic เป็นของแข็งที่มีสีน้ำตาลแก่ เป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อนทำหน้าที่ช่วยให้ Asphaltenes กระจายตัวในแอสฟัลต์
- 3) Oily Constituents เป็นส่วนของน้ำมันเหลวไร้สี



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของยางมะตอย (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

การที่ยางมะตอยได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางนั้น เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการ คือ

- 1) เป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี (Good Binder) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวัสดุต่างๆ ให้ติดกัน เช่น การผสมยางมะตอยกับหินย่อย เพื่อใช้ทำผิวจราจรต่างๆ เป็นต้น
- 2) ป้องกันน้ำซึมผ่าน (Good Waterproofing) เมื่อวัสดุเคลือบด้วยยางมะตอยแล้ว โอกาสที่น้ำจะซึมผ่านจะเป็นไปได้ยาก
- 3) ใช้ความร้อนแล้วกลายเป็นของเหลว (Liquid) อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง คุณสมบัตินี้จะทำให้สามารถนำยางมะตอยมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น เช่น การทำถนน เมื่อทำให้ยางมะตอยเหลวก็สามารถผสมยางมะตอยกับวัสดุต่างๆ ได้ดี และเมื่อลาดยางแล้วจะเย็นลงจนเกิดการแข็งตัว
- 4) ทนทานคงสภาพดินฟ้าอากาศ (Aging Resistance) จึงเหมาะกับการใช้งานกลางแจ้ง



รูปที่ 2.2 การกลั่นแยกจากน้ำมันดิบ (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

ชนิดของยางมะตอย สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มหลัก ตามลักษณะของยางมะตอย คือ

1) ยางมะตอยแข็งหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement) เรียกว่า AC ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบ จะเป็นส่วนที่ข้นและหนักที่สุด ซึ่งก็จะมีหลายเกรดตามความอ่อน แข็ง ราคาถูก ยางแอสฟัลต์ AC นั้นเป็นยางแข็งต้องให้ความร้อนถึงจะละลายเป็นของเหลว ใช้ทำงานถนนเท่านั้น ซึ่งแบ่งเป็นเกรดต่างๆ (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550) ได้แก่

1.1) Penetration grade แบ่งตามความแข็งของยาง มีหน่วยเป็น "0.1 mm." เช่น AC 50/60, AC 60/70, และ AC 80/100 เป็นต้น

1.2) Viscosity grade แบ่งตามความข้นเหลวของยาง (60 °C) มีหน่วยเป็น "100 poises" เช่น AC-10, AC-20, และ AC-40 เป็นต้น

1.3) AR Viscosity grade แบ่งตามความข้นเหลวของยางหลัง RTFOT หน่วยเป็น "poises" เช่น AR 4000, AR 8000 , และ AR 12000 เป็นต้น

1.4) Performance grade แบ่งตามสมรรถนะของการใช้งาน (Superpave) โดยใช้อุณหภูมิของยาง (สูงสุด/ต่ำสุด) ที่ยังคงคุณสมบัติตามข้อกำหนด SHRP (The Strategic Highway Research Program) มีหน่วยเป็น °C เช่น PG 58-16, PG 70-10, และ PG 76-22 เป็นต้น

2) ยางมะตอยเหลวหรือลิกวิดแอสฟัลต์ (Liquid asphalt) สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่

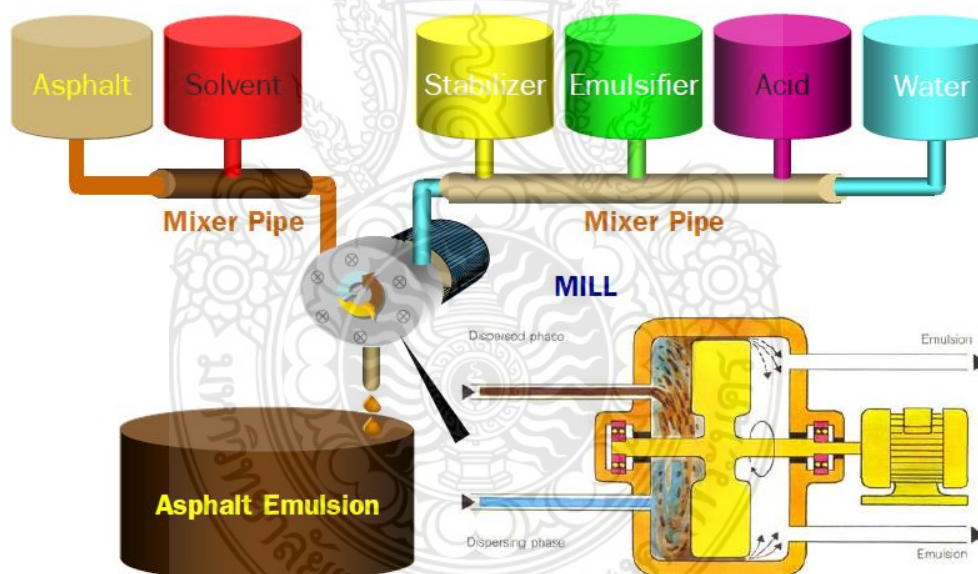
2.1) คัดแบกแอสฟัลต์หรือยางมะตอยน้ำมัน (Cut-back Asphalt) คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมน้ำมันที่อัตราส่วนประมาณ 65:35 มี 3 เกรด คือ เกรดระเหยไว (Rapid curing) เช่น RC-70, RC-250, และ RC-800 เป็นต้น, เกรดระเหยปานกลาง (Medium curing) เช่น MC-30, MC-70, และ MC-3000 เป็นต้น, และเกรดระเหยช้า (Slow curing) เช่น SC-70, และ SC-800 เป็นต้น แอสฟัลต์ชนิดนี้มีข้อดี คือนำไปใช้งานง่าย และแทรกซึมลงไปในมวลรวมต่างๆ ได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหากนำไปใช้กับดิน ต้นทุนสูง และอันตราย ซึ่งปกติแล้วคัดแบกแอสฟัลต์จะใช้ในงานรองพื้น (Prime Coat) ก่อนที่จะลาดยาง เพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำลงไปที่ดินที่อัดไว้ก่อนหน้านี้ การแบ่งชนิดของคัดแบกแอสฟัลต์โดยการเทียบเคียงอัตราเร็วของการระเหยสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

(1) Rapid curing (ชนิดแข็งตัวเร็ว) เรียกย่อๆ ว่า RC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว (จุดเดือดต่ำ) ได้แก่ น้ำมันเบนซิน หรือ naphtha

(2) Medium curing (ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง) เรียกย่อๆ ว่า MC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง เช่น kerosene (น้ำมันก๊าด)

(3) Slow curing (ชนิดแข็งตัวช้า) เรียกย่อๆ ว่า SC ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำมันที่ระเหยช้าหรืออาจได้จากการกลั่นโดยตรง คัทแบ็คแอสฟัลต์ชนิด SC นี้ บางครั้งเรียกว่า Road oils

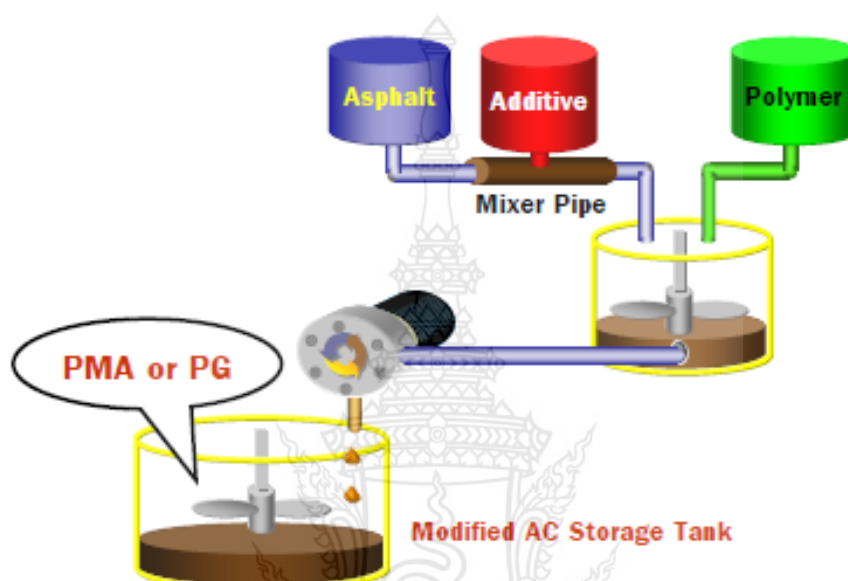
2.2) แอสฟัลต์อิมัลชัน (Asphalt emulsion) คือ ยางมะตอยหรือยางแอสฟัลต์ที่เป็นโมเลกุลเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ และคงสภาพอยู่ได้ในน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากที่โมเลกุลของสารเคมี (Emulsifier) ซึ่งมีประจุไฟฟ้ามาเกาะอยู่รอบๆ ผิวของยางมะตอยชนิดนี้ จึงทำให้เม็ดยางมะตอยมีแรงผลักกันตามทฤษฎีประจุไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แอสฟัลต์อิมัลชันประจุบวก (Cationic Asphalt Emulsion) เหมาะสำหรับใช้งานกับหินแกรนิต (Granite) หินปูน (Limestone) และหินบะซอลต์ (Basalt) มี 3 แบบ คือ แตกตัวเร็ว (CRS-1, CRS-2), แตกตัวปานกลาง (CMS-2, CMS-2h), และแตกตัวช้า (CSS-1, CSS-1h) ส่วนแอสฟัลต์อิมัลชันประจุลบ (Anionic Asphalt Emulsion) เหมาะสำหรับการใช้งานกับหินทราย (Sandstone) ในการใช้งาน น้ำในแอสฟัลต์อิมัลชัน จะระเหยไป คงเหลือไว้แต่แอสฟัลท์ ให้เกาะตัวกันเป็นฟิล์มต่อเนื่อง เคลือบหุ้มวัสดุมวลรวมหรือพื้นผิวทาง ใช้ในการซ่อมถนน เช่น CSS-1 (20 – 70 °C) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตแอสฟัลต์อิมัลชัน (บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

3) โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ (Polymer Modified Asphalt, PMA) คือ ยางแอสฟัลท์เกรดพิเศษที่ได้จากการผสมระหว่างโพลีเมอร์ (Polymer) กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ภายใต้กระบวนการผสมที่ดำเนินการในโรงงานผลิต โดยใช้เครื่องผสมที่ออกแบบโดยเฉพาะ ทั้งนี้สารโพลีเมอร์ที่นิยมใช้ผสม ได้แก่ SBS (Styrene Butadiene Styrene), EVA (Ethylene Vinyl Acetate) หรือสารโพลีเมอร์อื่นๆ ซึ่งจะช่วยให้ยางมะตอยมีสมบัติที่ดีขึ้น คือ

- (1) มีความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) ที่ดี
- (2) มีความต้านทานสูงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Pavement Deformation)
- (3) มีความยืดหยุ่นสูง
- (4) มีความต้านทานต่อการบิตตัว ระหว่างวัสดุผสมรวม กับวัสดุเชื่อมประสาน
- (5) มีความต้านทานต่อการหลุดลอก (Stripping resistance) ที่ดี
- (6) ไม่มีการไหลเยิ้ม (Bleeding resistance) ของวัสดุเชื่อมประสาน



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตโมดิฟายด์แอสฟัลต์อิมัลชัน (บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ PMA เปรียบเทียบกับ AC 60/70

สมบัติ	หน่วย	AC 60/70	PMA
ความหนืด(Viscosity) - Visco. 165 °C	cP	~ 100	~ 500
จุดอ่อนตัว (Softening Point)	°C	45 - 48	> 80
ความยืดหยุ่น(Elasticity) - Torsional Recovery 25 °C	%	0 - 2	> 80
แรงยึดเหนี่ยว(Cohesion) - Toughness	kg.cm	~ 50	> 200
การรักษาคุณสมบัติ (Aging Resistance) - Thin Film Oven Test (TFOT) Pen. °C	%org	> 54	> 70

2.2 สารต้านทานยางเสื่อมสภาพ

วิศวกรและนักสถาปนิกในปัจจุบันได้ใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างเครื่องจักรและอาคารเพิ่มขึ้นตลอด เวลา ถึงแม้ว่าโดยปกติเขาเหล่านั้นมักจะยึดมั่นอยู่กับการใช้วัสดุประเภทโลหะ อิฐ หิน ปูน ทราย ไม้ และยางมะตอย เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้งานของยางก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ โดยเฉพาะ

อย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์ ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นคือ “อายุของยาง” ปัญหานี้ตอบได้ไม่ง่าย เพราะอายุของยางนั้นไม่เพียงแต่ขึ้นกับชนิดของยางและสารเคมีที่ใช้ แต่ยังขึ้นกับสภาวะของการใช้งาน (เสาวรจน์ช่วยจุลจิตร, 2537)

ภายใต้สภาวะบางอย่างยางสังเคราะห์บางตัวอาจมีอายุการใช้งานยาวนานกว่ายางธรรมชาติ เช่น ในกรณีมีน้ำมันหรือที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น แต่ในบางลักษณะก็เป็นไปในทำนองกลับกัน สมบัติของยางที่กำหนดการใช้งานนั้นกว้างพอสมควรในงานบางประเภทจำเป็นต้องทำสมบัติต่างๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความแข็ง ความยืดหยุ่น และความสึกหรอ เป็นต้น นำมาเฉลี่ยกัน แต่สมบัติของยางเหล่านี้ก็จะเปลี่ยนไปตามกาลเวลาด้วย

สภาวะการใช้งานของยางที่จะต้องกำหนดไว้ให้ชัดเจนนั้นเป็นอย่างไร ตัวอย่างการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

- 1) งานแต่ละครั้งในช่วงระยะเวลาสั้น เช่น ยางรัดและลูกโป่ง เป็นต้น พวกนี้ไม่ต้องการอายุการใช้งานนัก แต่ต้องให้สามารถเก็บไว้ได้ก่อนที่จะนำไปใช้
- 2) งานที่ไม่มีการเคลื่อนไหวและสึกหรอน้อยมากเช่น สายเคเบิล ปะเก็น และยางบุถัง
- 3) ใช้งานในสภาวะที่ไม่มีการเคลื่อนไหวแต่สึกหรอมาก เช่น ยางท่อ พื้นยาง และผ้ายางกันน้ำ
- 4) ใช้งานในสภาวะเคลื่อนที่และสึกหรอมาก เช่น ยางรถยนต์ พื้นรองเท้า สายพาน และท่อดูดแร่
- 5) ใช้งานในสภาวะเคลื่อนที่สึกหรอน้อย แต่ต้องการให้มีอายุยาวสุด โดยยางจะต้องใช้งานให้นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ในกรณีของยางหมอนคอนกรีตรางรถไฟ ตามมาตรฐานของฝรั่งเศส ยางดังกล่าวต้องมีอายุใช้งานได้นานถึง 20 ปี เป็นต้น

อายุของยางขึ้นกับลักษณะการใช้งานของยางด้วยคือ ถ้าการใช้งานของยางไม่เกินขีดความสามารถของยางแล้ว ยางก็จะสามารถใช้งานได้นานตามต้องการได้ สมบัติของยางที่เปลี่ยนไปเมื่ออายุของยางเพิ่มขึ้น เมื่อตั้งยางทิ้งไว้ในอากาศ อากาศจะออกซิไดซ์ยางโดยเริ่มต้นจากที่ผิวของยางก่อนแล้ว ค่อยๆ ซึมเข้าไปภายใน (ถ้ายางหนาการออกซิไดซ์ก็จะเกิดไม่สม่ำเสมอโดยที่ยางภายนอกจะถูกออกซิไดซ์มากกว่าภายใน) สมบัติของยางที่เปลี่ยนไป ได้แก่ Tensile Strength (TS) และ Elongation at break (EB) ซึ่งทั้งสองตัวนี้จะลดลงจากเดิม ส่วนความแข็งและ modulus ของยางจะเพิ่มหรือลด แล้วแต่ชนิดของยาง

โดยทั่วไป การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราเร็วในการออกซิไดซ์ของยางเร็วขึ้น เร่งให้ยางเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ดังนั้นในบางครั้งได้มีผู้พยายามใช้วิธีนำยางไปอบที่อุณหภูมิสูง แล้วนำมาทำนายสมบัติของยางเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้น วิธีการนี้เรียกว่าใช้แบบ heat (thermal) ageing และเนื่องจากการที่ยางเสื่อมเกิดเพราะออกซิเจนทำปฏิกิริยากับยาง ดังนั้นถ้าเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนหรืออากาศ โดยอัดออกซิเจนหรืออากาศให้มีความดันสูง ยางก็จะเสื่อมได้เร็วขึ้น เป็นต้น ได้เคยมีผู้เสนอว่าการเสื่อมของยางใน 1 ปี เนื่องจากตั้งทิ้งไว้เฉยๆ จะเทียบเท่ากับสมบัติของยางที่ผ่านการอบในเตาอบ 70°C เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ หรือเทียบเท่ากับการนำยางไปอัดด้วยออกซิเจน (oxygen bomb) ที่ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้วที่ 70°C เป็นเวลา 1 วัน หรือเทียบเท่ากับการนำยางไปอัดด้วยอากาศ (air bomb) ที่ความดัน 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้วที่ 126°C เป็นต้น

แต่จริงๆ แล้ว สมบัติของยางที่เปลี่ยนไปทั้งหมดไม่ได้เป็นไปตามนั้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สมบัติทางด้าน TS, modulus, EB มีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน จึงไม่อาจใช้การเร่งอายุโดยการอบหรืออัดอากาศ หรืออัดออกซิเจน ในการทำนายสมบัติของยางที่ตั้งทิ้งไว้ได้อย่างแท้จริง

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การเสื่อมของยางนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของยาง และระบบการวัลคาไนซ์ยาง การเสื่อมของยางนั้นอาจจัดแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

- 1) เสื่อมเองตามธรรมชาติของกาลเวลา (Self-ageing)
- 2) เสื่อมเนื่องจากมีโลหะหนักปะปนในยาง (Metallic poisoning) ได้แก่ การทำยางอาบผ้า เพื่อกันน้ำซึม สีจากผ้า ซึ่งมีส่วนผสมของทองแดง เหล็กหรือแมงกานีส จะทำให้ยางเสื่อมสลายได้รวดเร็ว
- 3) เนื่องจากการใช้ในสภาวะที่ร้อน (Heat ageing)
- 4) เนื่องจากแสง (Light ageing)
- 5) เนื่องจากการโค้งงอไปมา (Flex cracking)
- 6) เนื่องจากการเกิดรอยแตก เนื่องจากการบรรยากาศ (Atmospheric cracking)

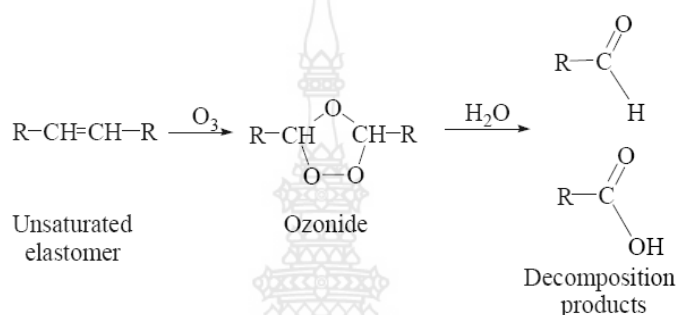
นอกจากการออกแบบขนาดรูปร่างของยางให้ถูกตามลักษณะที่ใช้งานและออกสูตรยางโดยเลือกยางให้ถูกชนิดและเลือกกระบวนการวัลคาไนซ์ให้ถูกต้องด้วย พร้อมๆ กันนั้นก็อาจจะเพิ่มความทนทานของยางให้ดีขึ้นไปอีก โดยการใช้สารประกอบประเภท antioxidant antiozonant และซีฟี่ แต่ทว่าสารเหล่านี้แต่ละตัวอาจมีสมบัติเด่นในการชะลอการเสื่อมของยางได้ไม่ครบทุกรายการทั้ง 6 นั้น ดังนั้นการใช้งานแต่ละประเภทต้องเลือกสาร antioxidant antiozonant และซีฟี่ให้ถูกต้องจึงจะได้สมบัติตามต้องการ ในบางครั้งอาจต้องใส่ antioxidant มากกว่า 1 ตัวด้วยเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติบางอย่างที่สารอีกตัวหนึ่งไม่มี

ปฏิกิริยาการเกิด oxidation ในยาง ออกซิเจนและโอโซน เป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมสลายของยางโดยที่โลหะหนัก ความร้อน แสงและความเครียดในยางเป็นตัวเร่งให้เสื่อมเร็วขึ้น ซึ่งสารเคมีที่ช่วยป้องกันไม่ใหยางเสื่อมสลาย เรียก antioxidant ปฏิกิริยาการเกิด oxidation ในยางเป็นปฏิกิริยาแบบ autoxidation นั่นคือผลผลิตจากการ oxidation เองจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการ oxidation เร็วขึ้นด้วย กลไกปฏิกิริยาการ oxidation ของพอลิเมอร์ เป็น ดังนี้



ในกรณีที่เมื่อยางถูกยืด มักจะพบว่ายางจะเกิดรอยแตกตั้งฉากกับทิศทางของแรงที่ยืด กระทำโอโซนในบรรยากาศเป็นตัวอย่างที่สำคัญที่ทำให้เกิดรอยแตกนั้น และพบว่าถ้ายางยืดมาก และโอโซนในบรรยากาศมีความเข้มข้นสูง ก็จะทำให้รอยแตกเกิดได้มากขึ้น การป้องกันรอยแตกประเภทนี้ต้องใช้สารที่เรียกว่า “antiozonant”

ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับยาง เมื่อนำยางไปยืดไว้ในบรรยากาศแล้วตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่าเกิดรอยแตกที่เนื้อยางในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่ดึงยางไว้ การเกิดรอยแตกนี้เกิดจากการที่โอโซนทำปฏิกิริยากับยาง ยางประเภทไม่อิ่มตัว เช่น ยาง diene, จะเกิดการแตกของยางเนื่องจากโอโซนมากกว่ายางประเภทอิ่มตัว เช่น butyl, EPR ซึ่งกลไกปฏิกิริยาระหว่างยางกับโอโซนได้มีการเสนอ ดังนี้



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่างยางกับโอโซน

สิ่งที่น่าสนใจเรื่องการทำโอโซนทำปฏิกิริยากับยางคือ ถ้าตั้งยางทิ้งไว้โดยไม่ยืดในบรรยากาศที่มีโอโซน จะพบว่าไม่มีรอยแตกเกิดขึ้นเลย ปรากฏการณ์การเกิดรอยแตกนี้ได้มีการเสนอว่า เนื่องจากการที่ยางเกิดสารโอโซนไนด์ (ozonide) ที่ยืดไม่ได้ ทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวขึ้น ทำให้เกิดผิวยางใหม่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนต่อไปได้อีก ยิ่งหากมีการดึงมากจะพบว่ารอยแตกนั้น ยิ่งลึก แต่ในกรณีที่ดึงยางน้อย (เช่นน้อยกว่า 5%) จะพบว่ามีรอยแตกเหมือนกัน แต่เป็นรอยเล็กๆ ทั่วไป การป้องกันเพื่อให้ยางทำปฏิกิริยากับโอโซนน้อยลงทำโดยใช้สารซีฟี่ง หรือ antiozonant (วรภรณ์, 2523)

2.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Analysis)

การวิเคราะห์ทางความร้อนเป็นเทคนิคที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อศึกษาสมบัติของสารโดยการวัดปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลง เมื่อสารเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมี เครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนสามารถวัดคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ของสารได้ เช่น อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) น้ำหนักสูญหายของสาร การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของสาร โมดูลัส ความเป็นวิสโคอิลาสติก การเปลี่ยนแปลงความจุความร้อนของสาร เป็นต้น (Brazier, 1980)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทการวิเคราะห์ทางความร้อน (Brazier, 1980)

Measured property	Principal techniques
Mass	Thermogravimetry Isobaric mass-change determination Evolved gas detection Evolved gas analysis Emanation thermal analysis
Temperature	Heating curve determination Differential thermal analysis
Enthalpy	Differential scanning calorimetry
Dimension	Thermodilatometry
Mechanical characteristics	Thermomechanical analysis Dynamic thermomechanometry
Acoustic characteristics	Thermosonimetry Thermoacousticmetry
Optical characteristics	Thermoptometry
Electrical characteristics	Thermoelectrometry
Magnetic characteristics	Thermomagnetometry

ตารางที่ 2.3 ประเภทของเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนและการใช้งาน (Hunt and James, 1993)

Thermal analysis technical	Application
TGA (Thermogravimetric analysis)	Weight loss versus temperature or time allows studies of plasticizer or solvent loss, degradation, sorption and desorption
DSC (Differential Scanning Calorimetry)	Heat capacity versus temperature or time allows measurement of heat of fusion, identification of crystalline and liquid crystalline phases, degree of crystalline, etc. Glass transition measurement allows characterization of ageing, blend compatibility. Heat of reaction allow cure and degradation studies

ตารางที่ 2.3 ประเภทของเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อนและการใช้งาน (ต่อ)

Thermal analysis technical	Application
DMTA (Dynamic Mechanical Thermal Analysis)	Characteristic of motional transitions including those in the glassy, crystalline and liquid crystalline state. Measurement of morphologies in two-phases system (e.g. rubber toughened plastics). Blend compatibility. Engineering modulus/damping characteristics over complete materials working range
DETA (Dielectric Thermal Analysis)	Electric equivalent of DMTA but less generally applicable. Characteristics motional processes involving dipole reorientation. Mobile-phase content (hence crystalline) Measurement of conducting polymers over complete working range. Definition of electrical quantities-dielectric permittivity and loss.
TSC (Thermally Stimulated Currents)	Information on charge mobility in polymers. Probe into the nature of glassy state. Experimentally arduous to obtain quantities results.
STA (Simultaneous Thermal Analysis)	DSC measurements performed on one arm of thermal balance, thus avoiding ambiguities of sample temperature for combined DSC-TGA. Characterizing minor volatile loss and reaction energies. Heat of desorption.
Hyphenated techniques (TGA/mass spec./FTIR) (STA/mass spec./FTIR)	Products evolved during thermal scan swept into FTIR or mass spectrometer for identification on a continuous basis. Characterization of polymers and copolymers by breakdown products. Detailed understanding of degradation processes.

มีหลายๆ เทคนิคในตารางที่ 2.2 ที่มีการนำมาใช้ศึกษาพอลิเมอร์เป็นพวียงและ อิลาสโตเมอร์ เช่น เทคนิค Evolved-gas analysis ใช้วิเคราะห์หาสารที่ระเหยได้ในยางคอมปาวด์ Differential Scanning Calorimetry ใช้ศึกษาความเข้ากันได้ของยางผสม ศึกษา cure characteristic ของยางผสม เป็นต้น

1) หลักการทั่วไปของ DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (enthalpy) เมื่อสารเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมี หลักการทำงานของ DSC โดยทั่วไปคือ วัดความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ทำให้สารอ้างอิง และสารตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากัน ซึ่งความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่สารเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจะมีค่าเท่ากับพลังงานความร้อนที่สารตัวอย่างนั้นดูดเข้าไป หรือคายออกมาขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ

2) การศึกษาความเข้ากันได้ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter วัสดุพอลิเมอร์นั้นเป็นที่ทราบกันดีว่า สมบัติของมันนั้นเปลี่ยนตามอุณหภูมิการใช้งานในขณะนั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ หากเปลี่ยนจากสภาพที่ยืดหยุ่นอย่างง่ายไปสู่สภาพที่แข็งคล้ายแก้วนั้น จะมีจุดหนึ่งที่ต้องใช้พลังงานมาก และเราจะเรียกอุณหภูมิตั้งนี้ว่าอุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass transition temperature) ซึ่งอุณหภูมิสภาพแก้วนี้ สามารถที่จะเลื่อนไปมาได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย (Ghosh and Premamoy, 1990) ดังต่อไปนี้

2.1) ปริมาตรที่ว่างของพอลิเมอร์ (Free volume of the polymer, V_f) คือปริมาตรภายในของพอลิเมอร์ที่ไม่มีโมเลกุลของพอลิเมอร์อยู่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_f = V - V_s$$

เมื่อ V เป็นปริมาตรโดยรวมทั้งก้อนของพอลิเมอร์
 V_s เป็นปริมาตรของมวลพอลิเมอร์ที่อัดเป็นก้อนแน่น

ดังนั้นพอลิเมอร์ที่มีปริมาตรที่ว่างมากโมเลกุลก็จะเคลื่อนไหวได้ง่ายและจะส่งผลให้พอลิเมอร์มี T_g ที่ต่ำลง

2.2) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (The attractive forces between molecules) เพื่อให้เคลื่อนไหวได้นั้น พอลิเมอร์ที่มีพันธะระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงย่อมต้องการพลังงานในการเอาชนะพันธะมากกว่าพันธะที่อ่อนแอ เพื่อให้เคลื่อนไหว หมายความว่าพอลิเมอร์ที่มีพันธะระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงนั้นจะมี T_g ที่สูงขึ้นด้วย

2.3) การเคลื่อนไหวภายในโซ่โมเลกุล (The internal mobility of the chains) หมายถึงความสามารถในการหมุนรอบๆ โซ่โมเลกุล โมเลกุลที่การเคลื่อนไหวภายในหรือการหมุนทำได้ยากนั้น จะมี T_g ที่สูงขึ้น เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการหมุนสายโซ่โมเลกุลที่มากกว่า

2.4) ความแข็งตึง (The stiffness) โซ่โมเลกุลที่มีการขดเป็นเกลียวหรือมีการพับเป็นทบย่อมที่จะต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการที่จะเคลื่อนไหวให้ได้ ซึ่งจะส่งผลให้ T_g สูงขึ้นเช่นกัน

2.5) ความยาวสายโซ่ (The chain length) สำหรับ T_g นั้นจะแปรผันกับความยาวโซ่โมเลกุลตามสมการอย่างง่าย ดังนี้

$$T_g = T_g^\infty - \frac{C}{X}$$

เมื่อ C เป็น ค่าคงที่ของพอลิเมอร์
 T_g^∞ เป็น ค่าอุณหภูมิสภาพแก้วที่มีค่าสูงสุด (ค่าอนันต์) เมื่อพอลิเมอร์มีความยาวโซ่อนันต์
 X เป็น น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่โมเลกุล ถ้า $X > 500$ จะได้ว่า $T_g \geq T_g^\infty$

ดังนั้น ในยางผสมที่เกิดพันธะเชื่อมขวางนั้นย่อมที่จะต้องมีผลให้ T_g ของยางองค์ประกอบทั้งสองนั้นเลื่อนขึ้นไปเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความสามารถในการเคลื่อนไหวที่ลดลง ที่เกิดจากความยาวโซ่โมเลกุลที่เพิ่มมากขึ้น พันธะเชื่อมระหว่างโมเลกุลที่มากขึ้นและแข็งแรงขึ้นนั่นเอง การผสมยางนั้นหากมีความเข้ากันได้ที่ดีก็จะมีผลทำให้ T_g ของยางผสมที่ได้นั้นมีเพียงค่าเดียว โดย T_g ที่ได้จะเลื่อนไปด้านใดนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของยางองค์ประกอบ และความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ตลอดจนความสามารถในการเกิดพันธะของยางองค์ประกอบแต่ละชนิด

2.4 สมบัติทางพลวัต

สมบัติทางพลวัตโดยทั่วไปอาจได้มาจากขั้นตอนทดสอบหรือชิ้นงานภายใต้ความเค้นหรือความเครียดที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาอย่างต่อเนื่อง และมักจะกำหนดให้มีความเครียดกระทำต่อขั้นตอนทดสอบในระดับต่างๆ กำหนดให้แรงเฉือน $F(t)$ ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในรูปฟังก์ชันไซน์ (Subramaniam, 1980; Barlow, 1993; Holfmann, 1989) ดังสมการ

$$F(t) = F_o \sin(\omega t)$$

เมื่อ	F_o	คือ	แอมพลิจูดของแรง
	ω	คือ	ความถี่เชิงมุมที่มีค่าเท่ากับ $2\pi f$
	f	คือ	ความถี่ของการสั่นในหน่วย Hz
	T	คือ	เวลา

การผิดรูปและแรง จะมีความแตกต่างของเวลาเมื่อเทียบกับแรงไปเป็นมุมเฟส δ ที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$X(t) = X_o \sin(\omega t + \delta)$$

เมื่อ	$X(t)$	คือ	การจัดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
	X_o	คือ	แอมพลิจูดของการสั่น หรือการจัดสูงสุด
	δ	คือ	มุมเฟสที่แตกต่างระหว่างแรงกับการจัด

ความเค้น $T(t)$ และความเครียดเฉือน $\epsilon(t)$ ที่สอดคล้องกับแรงและการจัด คือ

$$T(t) = T_o \sin(\omega t)$$

$$\epsilon(t) = \epsilon_o \sin(\omega t + \delta)$$

1) ความเค้นของวัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์เป็นความเค้นที่มีเฟสเดียวกับความเครียด เป็นความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดอย่างทันทีทันใด

$$T(t) = G\epsilon_o \sin(\omega t)$$

เมื่อ G คือ มอดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

2) ความเค้นของวัสดุไหลหนืด เป็นความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียด โดยความเค้นมีเฟสต่างจากความเครียด 90 องศา

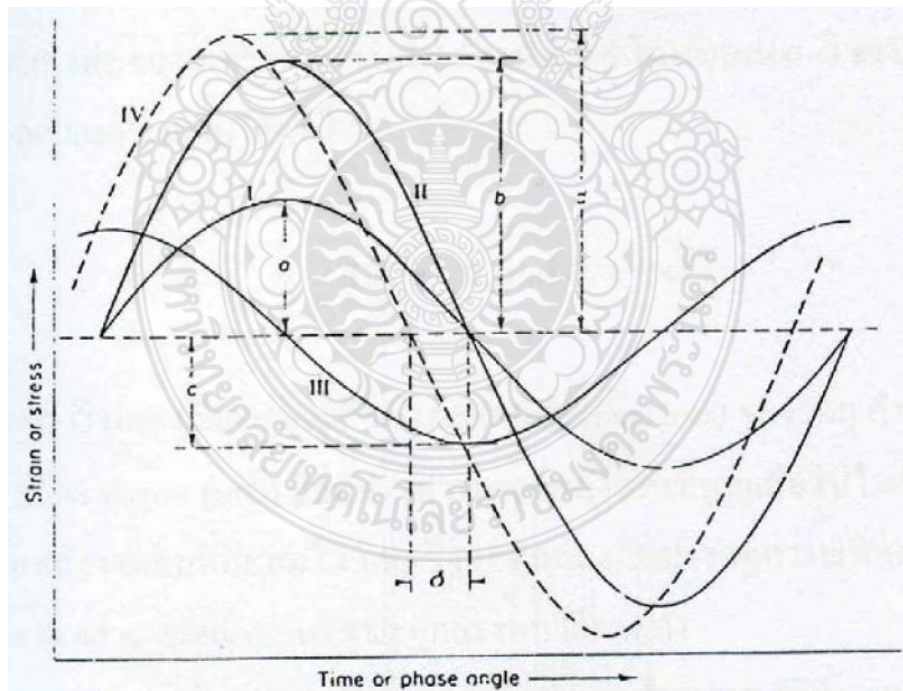
$$T(t) = \eta \omega \epsilon_o \sin(\omega t + 90)$$

เมื่อ η คือ ความหนืด (viscosity)

3) ความเค้นของวัสดุวิสโคอีลาสติก เป็นความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียด โดยความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดที่ต่างเฟส ดังรูปที่ 10 โดยมุมเฟส δ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา สามารถเขียนความเค้นได้ดังนี้

$$T(t) = T_o \sin(\omega t + \delta)$$

มุมเฟส δ แสดงถึงการสูญเสียเชิงกล (Mechanical loss) ของวัตถุ กำหนดเป็นเฟกเตอร์ของการสูญเสีย (Loss factor, $\tan \delta$) คือ อัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียไปในขั้นตอนรอบในรูปของความร้อนกับพลังงานกลที่สะสมในวัตถุ ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของขั้นตอนรอบเพิ่มขึ้น (Heat build up phenomena) ขณะถูกแรงพลวัตกระทำ



รูปที่ 2.7 การตอบสนองของความเค้นต่อความเครียดด้วยมุมเฟสต่างกัน (Freakley and Payne, 1978)

เมื่อทดสอบการผิดรูปของวัตถุใดๆ เราสามารถนิยามสมบัติที่ทดสอบได้ด้วยมอดูลัส ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด ในการศึกษาวัสดุวิสโคอีลาสติกมักนิยามมอดูลัส ออกเป็น 2 ส่วน (Freakley and Payne, 1978) คือ

1) ส่วนของความเป็นอีลาสติก (elastic component) หรือเรียกว่า โมดูลัสสะสม (storage modulus, G') ซึ่งสอดคล้องกับพลังงานที่สะสมในวัตถุขณะที่มีความเค้นกระทำ

$$G' = \frac{\tau_o}{\epsilon_o} \cos \delta$$

2) ส่วนที่เป็นของไหล (viscous component) หรือเรียกว่า โมดูลัสสูญเสีย (loss modulus, G'') ซึ่งสอดคล้องกับพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของความร้อน ขณะที่มีความเค้นกระทำต่อวัตถุครบรอบ

$$G'' = \frac{\tau_o}{\epsilon_o} \sin \delta$$

และเฟกเตอร์ของการสูญเสีย

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

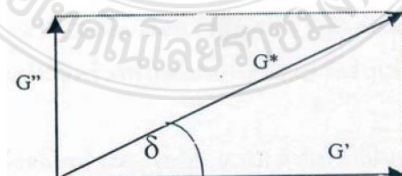
ในที่นี้สัญลักษณ์ G' และ G'' ใช้ในกรณีที่ขึ้นตัวอย่างถูกกระทำด้วยแรงเฉือน แต่เมื่อเป็นแบบการอัด หรือการยืดจะใช้สัญลักษณ์ E แทน G โดย G' และ G'' สามารถแทนได้ด้วยปริมาณเวกเตอร์ ดังรูปที่ 11 และนิยามด้วยรูปมอดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus, G^*) ดังนี้

$$G^* = G' + iG''$$

เมื่อ i คือ จำนวนจินตภาพ ($i = \sqrt{-1}$)

และค่ามอดูลัสทั้งสามมีความสัมพันธ์ ดังนี้

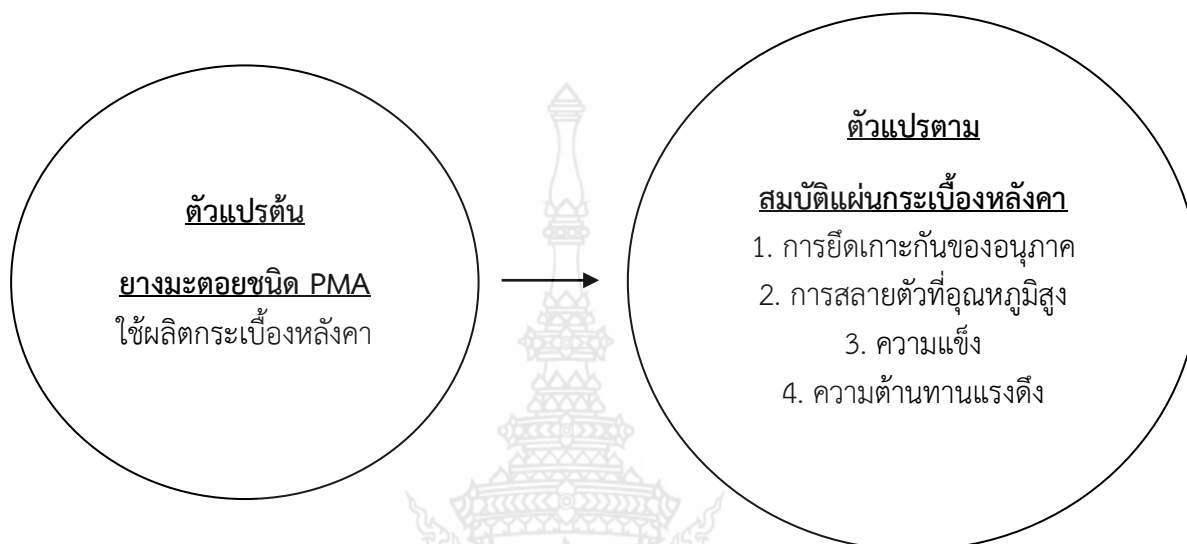
$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2}$$



รูปที่ 2.8 ปริมาณเวกเตอร์ของ G' , G'' , G^* และ δ

2.5 สมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงการการใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร มีสมมติฐานและกรอบแนวความคิดว่า ยางมะตอยชนิดPMA สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุผนังหลังคาสำหรับลดขนาดโครงสร้างอาคารช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และมีสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน



รูปที่ 2.9 กรอบแนวความคิดของแผ่นหลังคายางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพริ้วลาคาไนซ์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับปรุงและใช้งานยางมะตอยและพอลิเมอร์ในสถานที่กลางแจ้ง หรือมีสภาพการใช้งานที่ง่ายต่อการเสื่อมสภาพ ตลอดจนหลังจากพอลิเมอร์ มีดังต่อไปนี้

1) ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ (2551) ได้นำยางครีမ်บ์ (CRM) มาเบลนด์กับขวดน้ำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว ชนิดโพลีโพรไพลีนบดละเอียด (PP-r) เพื่อเตรียมเป็นวัสดุผนังหลังคา โดยเปรียบเทียบกับสมบัติค่าความต้านทานต่อการดึง และค่าความสามารถในการยึดจนขาดของวัสดุผนังหลังคาประเภทเดียวกันที่ผลิตโดยบริษัท Ecostar Inc. เป็นเกณฑ์มาตรฐาน เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) เตรียมโดยการแปรอัตราส่วนผสม CRM/PP-r ที่ 20/80, 40/60, 50/50 และ 60/40 ในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกคอเดอร์พบว่าที่อัตราส่วน CRM/PP-r 60/40 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดแต่ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน การนำยางสังเคราะห์ EPDM และยางธรรมชาติ NR เข้ามาผสมเพื่อเตรียมเป็นเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท (TPV) ช่วยให้สมบัติวัสดุที่ได้ดีขึ้นกว่า TPE โดย TPV ของ CRM/EPDM/PP-r ใช้ PP-r คงที่ที่ 40wt% แปรปริมาณของ EPDM 0-60 wt% และ TPV ของ CRM/NR/PP-r ใช้ NR 10wt% โดยเตรียมมาสเตอร์แบช CRM-EPDM หรือ CRM-NR บนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง และเตรียม TPV ในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกคอเดอร์ จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณยางใหม่สูงขึ้น ความสามารถในการยึดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อการดึง และความแข็ง มีค่าลดลง CRM/EPDM/PP-r ให้สมบัติค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความแข็ง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ดีกว่า CRM/NR/PP-r และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณยางใหม่ร้อยละสิบ ค่าความต้านทานต่อการดึง และค่าความสามารถในการยึดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2) ปิยะพร สอนจันทร์ และคณะ (2551) การเตรียมวัสดุกระเบื้องยางหลังคาจากยางธรรมชาติ โดยการเบลนด์ระหว่างยางคอมปาวด์อีพีดีเอ็ม (EPDM) กับยางคอมปาวด์ยางธรรมชาติ (NR) ที่สัดส่วน

การเบลนด์แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนการเบลนด์ยางคอมเพาต์ EPDM/NR 60/40 ทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อนดีที่สุด ยางคอมเพาต์อีพดีเอ็มที่ใช้ในกระบวนการนี้เป็นยางคอมเพาต์อีพดีเอ็มที่ทำการพรีวัลคาไนซ์ โดยใช้ตู้อบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นอกจากนี้การเติมยางบิวทาไดอิน (BR) 5 phr เพื่อเป็นตัวประสาน ทำให้มีการกระจายของยางธรรมชาติในยางอีพดีเอ็มสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกล และการต้านต่อการบ่มเร่งดีขึ้น

3) อนุรักษ์ สมบัติสมภพ (2554) ได้พัฒนาซีลี้อยไม้พารากลายเป็น “หลังคายาง” โดยใช้ซีลี้อยที่เป็นสารมีขั้ว (polar) ผสมกับเนื้อยางพาราที่เป็นสารไม่มีขั้ว (Non-polar) ซึ่งหลังคาที่ได้จะช่วยคลายร้อนให้ตัวบ้านมากกว่ากระเบื้องทั่วไป 2-3 เท่า ช่วยให้หลังคายางมีต้นทุนต่ำและเสริมความแข็งแรงให้หลังคาทนต่อแรงกระแทก แรงเหยียบ หรือรอบขีดข่วนได้ดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยยางพาราและบริษัท สยามยูไนเต็ด รีบเบอร์ จำกัด ซึ่งไม้ยางพาราที่เหลือซีลี้อยทั้งหมดนี้จะมีราคาถูกเพียงกิโลกรัมละ 50 สตางค์ ถึง 1 บาท เท่านั้น หลังคายางพารานี้เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของยางแข็ง (Ebonite Rubber) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลังคายางผสมซีลี้อยไม้ยางพารา (อนุรักษ์, 2554)

4) แววบุญ แยมแสงสังข์ และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2553) ได้ศึกษาการผลิตหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลี้อยไม้ที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยนำยางพารามาผสมกับผงซีลี้อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาถูกมาผสมและปรับปรุงคุณสมบัติให้สามารถทนต่อแสงแดดมากขึ้นด้วยการเติมสารต่อต้านการเสื่อมสภาพหรือ UV Stabilizer และ Antioxidant และนำยางสังเคราะห์ EPDM (Ethylene propylene Diene rubber) ซึ่งมีความทนทานต่อแสงแดดมาเคลือบด้านบนหลังคา รวมทั้งเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนให้กับหลังคายางพาราด้วยการสร้างชั้นดูดซับความร้อนที่มีลักษณะโครงสร้างเซลลูลา (คล้ายฟองน้ำ) ขึ้นในชั้นยางสังเคราะห์ EPDM โดยการเติมสารก่อฟอง (Blowing agent) ซึ่งการสร้างชั้นของฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของสารก่อฟอง และกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะสร้างฟองหรือเซลล์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เซลล์เล็ก เซลล์ใหญ่ เซลล์เปิด หรือเซลล์ปิด จากการทดลองพบว่า เซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนที่ดีต้องมีลักษณะเป็นเซลล์ปิด คือ มีลักษณะทรงกลมกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่ละเซลล์จะพองออกจนมีผนังของเซลล์ชนกันแต่ไม่เปิดเชื่อมต่อกัน เพราะเซลล์ที่เปิดเชื่อมต่อกันหรือเซลล์เปิดที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำอาบน้ำ จะไม่สามารถเก็บกักความร้อนไว้ภายในได้ การทดลองจึงต้องหาปริมาณสารและ

สภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดเซลล์ปิดอย่างสมบูรณ์หรือมีเซลล์เปิดน้อยที่สุดและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ขณะนี้สำหรับการวิจัยหลังคาประหยัดพลังงานกำลังอยู่ในช่วงการทดสอบประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อน โดยการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ซึ่งคาดว่าน่าจะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าวัสดุหลังคาทั่วไป เนื่องจากสารก่อฟองที่ใช้เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวและทำให้เกิดฟองอากาศที่บรรจุก๊าซไนโตรเจนไว้ภายในที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ จึงทำให้ค่าการนำความร้อนของหลังคาต่ำลงไปด้วย อีกทั้งยังมีการทดสอบความคงทนของการใช้งานโดยทดสอบผ่านเครื่องจำลองสภาพภูมิอากาศ (Weathering test, QUV) ที่มีแสงสลับกับละอองน้ำ เป็นการจำลองสภาพภูมิอากาศที่มีแดดออกและฝนตกสลับกัน ภายในระยะเวลาประมาณ 2 เดือน ในระหว่างนั้นก็มีการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ สัปดาห์ เพื่อทำนายการเสื่อมสภาพของหลังคาในระยะยาวได้



รูปที่ 2.11 หลังคาจากพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลี้อยู่ไม้ที่ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (แวนบุญ และณรงค์ฤทธิ์, 2553)

5) พงษ์ธร แห่อุย และชาคริต สิริสิงห (2548) ได้นำเสนอการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อความร้อนและความต้านทานต่อโอโซนของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพิตีเอ็ม งานวิจัยนี้ ได้นำยางธรรมชาติไปผสมกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ เพื่อที่จะปรับปรุงข้อด้อยของยางธรรมชาติ ซึ่งยางสังเคราะห์ที่นิยมนำมาใช้ผสมกับยางธรรมชาติคือ ยางอีพิตีเอ็ม เพราะยางอีพิตีเอ็มมีปริมาณพันธะคู่อยู่น้อยมาก ดังนั้น จึงทำให้ยางผสมมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนและโอโซนสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมยางธรรมชาติกับยางอีพิตีเอ็ม แม้จะทำให้ยางผสมที่ได้มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพสูงขึ้น แต่สมบัติเชิงกลของยางผสมที่ได้มักมีค่าต่ำ โดยเฉพาะค่าความทนทานต่อแรงดึง ทำให้เกิดข้อจำกัดในการนำยางผสมดังกล่าวไปใช้งานในทางวิศวกรรม งานวิจัยนี้จึงเน้นที่จะศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/EPDM เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/EPDM โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ เกรดของยางอีพิตีเอ็ม (ศึกษาผลของปริมาณเอทธิลีนและปริมาณของไดออกซิน) อัตราส่วนการผสม ระบบการคงรูป สภาวะของการผสม (ศึกษาผลของความเร็วรอบของโรเตอร์และระยะเวลาที่ใช้ในการผสม) รวมถึงชนิดและปริมาณของสารตัวเติม

6) วิริยญา แก้ววัฒนะ และคณะ (2549) ได้ศึกษาความต้านทานต่อแสงอัลตราไวโอเลต และโอโซนของยางธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์ใช้งานนอกอาคารนั้น สามารถปรับปรุงได้โดยผสมยางธรรมชาติกับพลาสติก Low Density Polyethylene (LDPE) เนื่องด้วยจากการทดสอบความทนความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วนต่างๆ โดยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มที่จะให้ความสามารถทนต่อความร้อนสูงกว่ายางธรรมชาติเดี่ยว และเมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้น การทนความร้อนของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการศึกษาความเข้ากันได้ (Compatibility) ของ

พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ LDPE ที่สัดส่วนต่างๆ โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC), Dynamic Mechanical Analyzer (DMA) และ Optical Microscopy พบว่า ค่า pseudo-equilibrium melting temperature (T_m) ของผลึก LDPE ลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วน (partially compatible) ของพอลิเมอร์ผสม โดยสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างยางธรรมชาติและ LDPE คือ 65/35 โดยมีปริมาณ Crosslinking agent (Dicumylperoxide, DCP) เท่ากับ 0.7phr เนื่องจากสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและ LDPE ที่สัดส่วน 60/40, 65/35, และ 70/30 แสดงสมบัติความต้านทานแรงดึง, และความต้านทานต่อการยืดที่ดี แต่ค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วน 65/35 มีค่าอยู่ในช่วง 60-70 Shore A (เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางปูพื้น) การศึกษาอิทธิพลของ Antioxidants (N, N'-diphenyl-1, 4-phenylenediamine, Irganox, และ Irgafos) และ UV Stabilizer (Tinuvin) ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่า Irganox, และ Irgafos เป็น Antioxidants ที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและ LDPE มีค่า Tensile Strength (TS) และ Elongation at break (EB) ที่สูงขึ้น ซึ่งให้ผลดีเมื่อใช้ควบคู่กันในปริมาณ 0.5, และ 0.5phr ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Tinuvin ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้นและมีค่า Compression Set ลดลง ในขณะที่ N, N'-diphenyl-1,4-phenylenediamine ให้ผลตรงกันข้าม เมื่อศึกษาอิทธิพลของ Antioxidants (Irgafos) และ UV Stabilizer (Tinuvin) ต่อสมบัติการทนทานต่อความร้อน (Thermal ageing) พบว่า Irgafos ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมหลังการบ่มเร่งมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและ การผิดรูป (Compression Set) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับก่อนบ่มเร่งนั้นคือ เกิด post-crosslink หลังได้รับความร้อน ในขณะที่ Tinuvin ส่งผลในทางตรงกันข้ามนั้นคือ พอลิเมอร์ผสมหลังการบ่มเร่งมีค่าความแข็งน้อยลงเมื่อเทียบกับก่อนบ่มเร่ง จากการศึกษาสมบัติความทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเลต, และโอโซน พบว่าการเติม Tinuvin ในปริมาณ 0.5phr นั้นมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยทำให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเลตและโอโซนมากขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดควรใช้ควบคู่กับ Antioxidants (Irganox, Irgafos) ในปริมาณ 0.5 และ 0.5phr ตามลำดับ)

7) นิติพงศ์ ปานกลาง และคณะ (2551) ได้ศึกษาข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการต่อแยกสายไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ไปยังมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัย ซึ่งในปัจจุบัน บริเวณจุดต่อดังกล่าวมักไม่มีการหุ้มฉนวนแต่อย่างใดหรือจะมีก็เพียงแต่การใช้เทปพันสายไฟฟ้าพันทับไว้เท่านั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบและพัฒนามาตรฐานสำหรับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจี 2 สลักขนาด 25 – 95 ตร.มม. อันเป็นข้อรัดสายไฟฟ้าที่นิยมใช้มากที่สุดในระบบจำหน่ายของ กฟภ. ฉนวนที่ออกแบบมีลักษณะเป็นฉนวนสองชิ้นที่สามารถประกบยึดติดเข้าหากันด้วยสกรูสแตนเลสผ่านรูเจาะที่ทะลุถึงกันระหว่างฉนวนทั้งสองชิ้น ข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในและสายไฟฟ้าจะต่อยื่นออกมาภายนอกโดยผ่านช่องรองรับสายไฟฟ้าลักษณะเป็นครึ่งวงกลมประกบเข้าหากันและมีเส้นรัศมีที่แตกต่างกันสามระดับที่สามารถัดัดเลือกให้มีขนาดพอเหมาะกับขนาดของสายไฟฟ้าวัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนเป็นยางพาราผสมยางอีพิตีเอ็มในอัตราส่วนยางพารา 60% และยางอีพิตีเอ็ม 40% เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความทนทานต่อสภาพแวดล้อมให้กับฉนวน จากการทดสอบคุณสมบัติยางคงรูปที่นำมาทำฉนวน พบว่า ยางคงรูปดังกล่าวมีค่าความแข็ง (Shore A) ก่อนและหลังบ่มเร่ง เท่ากับ 62.2 ± 0.3 ชอร์เอ และ 65.9 ± 0.3 ชอร์เอ ตามลำดับ ก่อนบ่มเร่งสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ 10.09 ± 0.58 MPa และหลังจากบ่มเร่งสามารถรับแรงดึงได้เท่ากับ 7.77 ± 1.20 MPa ยางคงรูปมีความต้านทานเชิงปริมาตรสูงสุดเท่ากับ $1.97 \times 10^9 \Omega\text{-cm}$ ความต้านทานเชิงผิวเท่ากับ $0.56 \times 10^{10} \Omega/\text{square}$ และมีความคงทนต่อ

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กำลังเท่ากับ 2 kV/mm โดยทั้งนี้ ฉนวนสำหรับข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้การต่อสายไฟมีความปลอดภัย ป้องกันการลัดวงจรอันไม่พึงประสงค์ที่อาจจะเกิดขึ้น ป้องกันการชำรุดเสียหายกับข้อรัดสายไฟฟ้าอันเนื่องจากความชื้นและละอองน้ำ รวมถึงช่วยให้การปฏิบัติงานของพนักงาน กฟภ. ในการซ่อมบำรุงมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

โครงการการใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง ซึ่งได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนา ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) ยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) ซึ่งมีสมบัติและลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของยางมะตอยชนิด PMA

สมบัติ	หน่วย	PMA
ความหนืด (Viscosity) - Visco. 165 °C	cP	512
จุดอ่อนตัว (Softening Point)	°C	85
ความยืดหยุ่น (Elasticity) - Torsional Recovery 25 °C	%	84
แรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) - Toughness	kg.cm	209
การรักษาคุณสมบัติ (Aging Resistance) - Thin Film Oven Test (TFOT) Pen. °C	%org	72



รูปที่ 3.1 ยางมะตอยชนิด PMA

2) น้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สูตรถุงมือแพทย์ จากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งมีส่วนประกอบและลักษณะ ดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

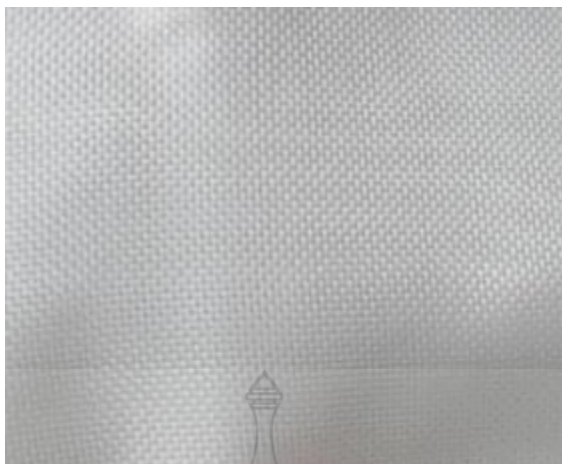
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สูตรถุงมือแพทย์ จากกรมวิชาการเกษตร

สารประกอบ	น้ำหนัก (กรัม)
60% น้ำยางข้น (Latex)	167.0
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)	2.0
10% เทอริก 16 เอ 16 (Teric 16 A 16)	0.2
50% กำมะถัน (Sulfur)	1.6
50% แซดดีอีซี (ZEDC)	0.8
50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	0.8
50% วิงสเตย์แอล (Wingstay L)	2.0
50% ทิทาเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	2.0
น้ำ	170.5



รูปที่ 3.2 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์

3) แผ่นเส้นใยไฟเบอร์ แบบเส้นใย 2 ทาง ตาถี่#100 ชนิด E-glass cloth ที่มีคุณสมบัติ คือน้ำหนัก 100 กรัมต่อตารางเมตร, เส้นยืน Warp >50, เส้นพุ่ง Weft >50, และมีความต้านทานแรงดึง 25 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผ่นเส้นใยไฟเบอร์ แบบเส้นใย 2 ทาง ตาถี่#100 ชนิด E-glass cloth

4) หินเกล็ด ขนาดเบอร์ 5 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หินเกล็ดขนาดเบอร์ 5

5) ไม้ค้ำยัน

6) แบบหล่อโลหะ ขนาด 20×20×0.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบหล่อโลหะ

7) ถังแก๊สและเตาแก๊ส ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ถังแก๊สและเตาแก๊ส

8) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

9) เครื่องทดสอบแรงดึง UTM และเครื่องประมวลผล ดังรูปที่ 3.7



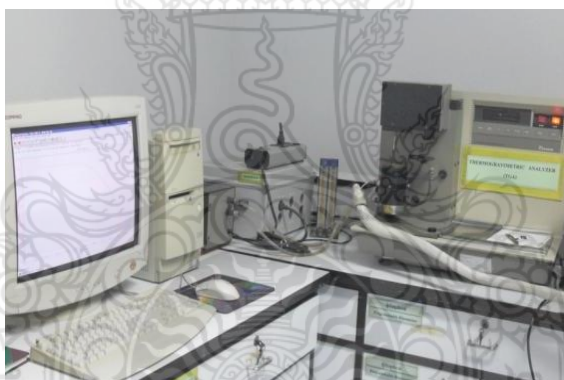
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบแรงดึง UTM และเครื่องประมวลผล

10) เครื่องตัดชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.8



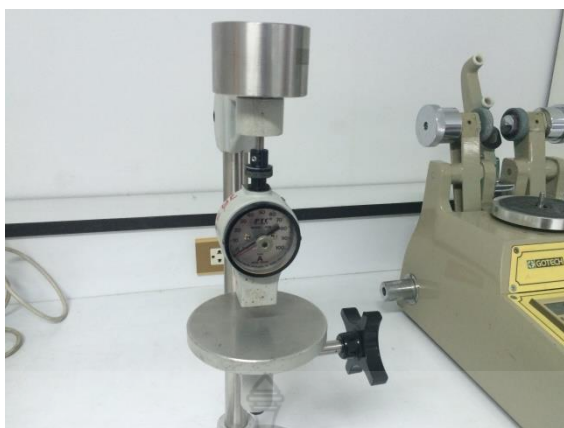
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้นงาน

11) เครื่องเผาที่อุณหภูมิความร้อนสูง Thermogravimetric Analyzer (TGA) และเครื่องประมวลผล ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องเผาที่อุณหภูมิความร้อนสูง TGA และเครื่องประมวลผล

12) เครื่องมือทดสอบความแข็ง (Hardness) แบบชอร์เอ (Shore A) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบความแข็ง

13) กล้องส่องจุลทรรศน์แบบแสง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กล้องส่องจุลทรรศน์แบบแสง

14) กล้องส่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กล้องส่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM

3.2 การออกแบบแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

การออกแบบส่วนผสมหลักของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ชนิดนี้ จะใช้ปริมาณเนื้อยางมะตอย PMA น้ำหนัก 400 กรัม ในการขึ้นรูปแผ่นหลังคา ขนาด 20x20x0.5 เซนติเมตร แล้วทำการโรยหินเกร็ด เบอร์ 5 น้ำหนัก 100 กรัม เป็นวัสดุตกแต่งผิวหน้า ได้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ได้อัตราส่วนแผ่นหลังคayangมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หรืออัตราส่วนผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 0

จากนั้น จึงลดปริมาณยางมะตอย PMA ของอัตราส่วนแผ่นหลังคayangมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลง แล้วเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์แทนอีก 6 อัตราส่วน ในลักษณะการแทนที่ร้อยละต่างๆ ตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 รวมทั้งหมด 7 อัตราส่วน เนื่องจากยางมะตอยมีราคาถูก และทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ทั้งนี้ การคำนวณเพื่อแปลงปริมาณของเนื้อยางที่อยู่ในน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จะอยู่บนฐานของค่า % TSC (Total Solid Content) (วรภรณ์, 2523; พงษ์ธร, 2547) ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ TSC} = \{1 - [(W_1 - W_2) / (W_1)]\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ	%TSC คือ	ร้อยละของสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด
	W_1 คือ	น้ำหนักของยางธรรมชาติสดก่อนอบ (น้ำหนักเปียก)
	W_2 คือ	น้ำหนักของยางธรรมชาติหลังอบ (น้ำหนักแห้ง)

การคำนวณอัตราส่วนระหว่างยางมะตอยและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 0 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์ 5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(0 \times 400) / 100$	กรัม
	=	0	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 0$	กรัม
	=	400	กรัม

2) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 0.5 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์ 5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(0.5 \times 400) / 100$	กรัม
	=	2	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 2$	กรัม
	=	398	กรัม

3) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 1.0 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์ 5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(1 \times 400) / 100$	กรัม
	=	4	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 4$	กรัม
	=	396	กรัม

4) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 1.5 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(1.5 \times 400) / 100$	กรัม
	=	6	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 6$	กรัม
	=	394	กรัม

5) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 2.0 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(2.0 \times 400) / 100$	กรัม
	=	8	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 8$	กรัม
	=	392	กรัม

6) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 2.5 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(2.5 \times 400) / 100$	กรัม
	=	10	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 10$	กรัม
	=	390	กรัม

7) การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ร้อยละ 3.0 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยาง)

หินเกร็ดเบอร์5	=	100	กรัม
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์	=	$(3.0 \times 400) / 100$	กรัม
	=	12	กรัม
น้ำหนักยางมะตอย	=	$400 - 12$	กรัม
	=	388	กรัม

ทั้งนี้ สามารถสรุปอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ได้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อยางมะตอย						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
ยางมะตอย PMA (กรัม)	400	398	396	394	392	390	388
น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (กรัม)	0	2	4	6	8	10	12
หินเกล็ด (กรัม)	100	100	100	100	100	100	100

3.3 การขึ้นรูปแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

การขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หรือแผ่นหลังคาพาราชิงเกล็ดรูปที่ใช้ในการทดสอบนั้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ ดังนี้

1) เตรียมวัสดุตามส่วนผสมตามที่ออกแบบในตารางที่ 3.1 ประกอบด้วย หินเกล็ดเบอร์ 5, น้ำยางพรีวัลคาไนซ์, ยางมะตอยชนิด PMA, และแผ่นใยไฟเบอร์ขนาด 19.5×19.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.13 ถึง 3.14



รูปที่ 3.13 การชั่งน้ำหนักยางมะตอย PMA เพื่อนำไปผสม



รูปที่ 3.14 การชั่งน้ำหนักน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อนำไปผสม

- 2) นำกระดาษรองบริเวณแบบหล่อยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ เพื่อป้องกันไม่ให้อส่วนผสมแห้งติดแบบหล่อ
- 3) นำแผ่นใยไฟเบอร์ยึดติดกับกระดาษที่รองในแบบหล่อด้วยกาวสองหน้า เพื่อยึดแผ่นไฟเบอร์ไว้ ไม่ให้เกิดการขยับขณะส่วนผสมลงในแบบหล่อ
- 4) ตีเตาโดยตั้งไฟปานกลาง พร้อมกับนำหม้อต้มยางมะตอยขึ้นตั้งบนเตา แล้วใส่ยางมะตอยชนิด PMA ตามปริมาณที่ได้ออกแบบไว้ลงไป ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การต้มยางมะตอยให้ละลายก่อนผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

5) ทำการหลอมละลายยางมะตอยภายในหม้อต้ม โดยระวังไม่ให้อุณหภูมิเกินกว่า 160 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ยางมะตอยเสื่อมคุณภาพ (กรมทางหลวง, 2544)

6) เมื่อยางมะตอยละลายจนเป็นสถานะของเหลวแล้ว ให้นำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ใส่ลงไปในหม้อ พร้อมทำการผสมจนยางมะตอยและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงในยางมะตอย

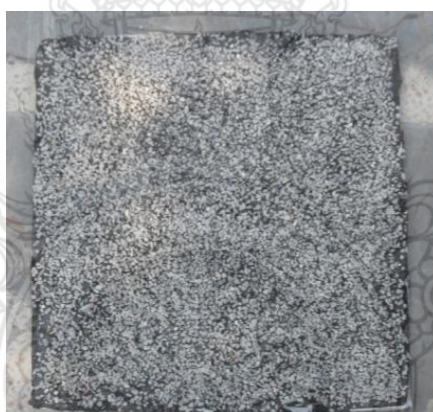
7) นำยางมะตอยที่ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เข้ากันดีแล้วลงจากเตา จากนั้นเทส่วนผสมที่ได้ลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยทำการเทส่วนผสมให้กระจายแต่ละจุดในแบบหล่อ พร้อมทำการปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้เท่ากัน ทั้งนี้ การเทส่วนผสมลงในแบบ จะต้องทำภายใน 2 – 3 นาที ก่อนที่ส่วนผสมจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง



รูปที่ 3.17 การปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้เรียบเท่ากัน

8) เมื่อปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้เรียบตามต้องการแล้ว จึงนำหินเกล็ดขนาดเบอร์ 5 มาโรยที่บริเวณผิวหน้าให้ทั่วบริเวณ

9) กดหินเกล็ดที่โรยไว้ให้ยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จากนั้นรอให้ส่วนผสมแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ ได้แผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์แข็งตัว ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผ่นยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

3.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติทางการทนต่อความร้อน และสมบัติทางด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของแผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ อัตราส่วนต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- 1) การส่องภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง
- 2) การส่องภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 3) การทดสอบการสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง ตามมาตรฐาน ASTM E1131 (ASTM, 2014a)
- 4) การทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D2240 (ASTM, 2014b)
- 5) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412 (ASTM, 2014c)
- 6) การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2014d)
- 7) การทดสอบใช้งานจริง



รูปที่ 3.19 การส่องภาพขยายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง



รูปที่ 3.20 การเตรียมแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เพื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 3.21 การส่องภาพขยายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 3.22 การทดสอบการสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาไนซ์ ด้วยเครื่องเผาที่อุณหภูมิความร้อนสูง TGA



รูปที่ 3.23 การทดสอบความแข็งของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาไนซ์



รูปที่ 3.24 การตัดแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาไนซ์เพื่อเตรียมทดสอบ ความต้านทานแรงดึงและความเครียด



รูปที่ 3.25 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด



รูปที่ 3.26 การทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียดของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์



รูปที่ 3.27 การจับยึดแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงและความเครียด



รูปที่ 3.28 การวัดของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์เมื่อทำการทดสอบ
ความต้านทานแรงดึงและความเครียด



บทที่ 4

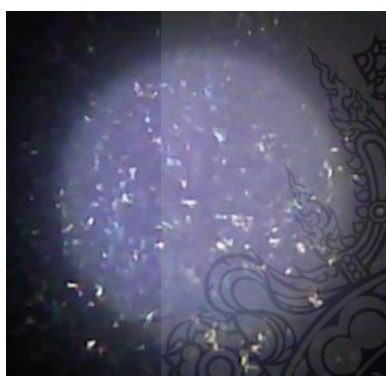
ผลการวิจัย

จากการทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการส่องภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ลักษณะของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่กำลังขยาย 50, 100 และ 200 เท่า ทั้งอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, และ 3.0 นั้น เป็นการส่องลักษณะของแผ่นยางที่ผ่านการขึ้นรูป โดยไม่มีการแต่งผิวหน้าด้วยหินหรือเสริมเส้นใยต่างๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถมองเห็นเนื้อของยางได้ชัดเจน ซึ่งภาพขยายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีดังต่อไปนี้

1) ภาพขยายที่ 50 เท่า ของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.7



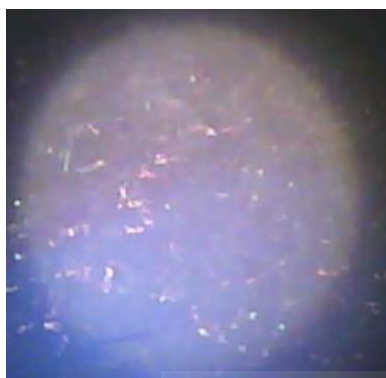
รูปที่ 4.1 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า

รูปที่ 4.2 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า

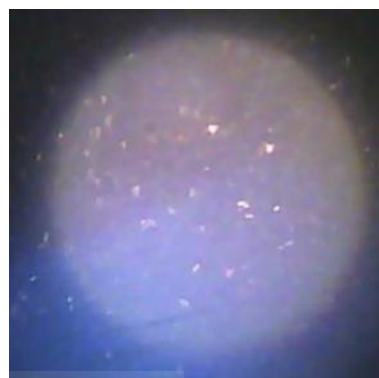


รูปที่ 4.3 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า

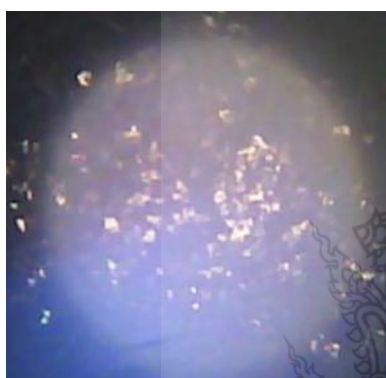
รูปที่ 4.4 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.5 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซ
อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า

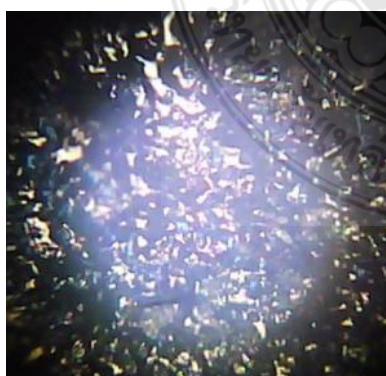


รูปที่ 4.6 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซ
อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.7 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซ
อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า

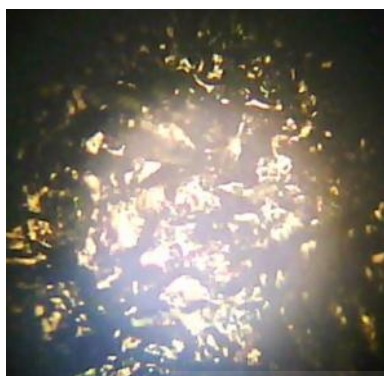
2) ภาพขยายที่ 100 เท่า ของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.14



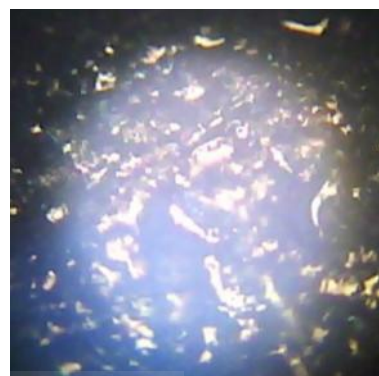
รูปที่ 4.8 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซ
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.9 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานโซ
อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.10 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



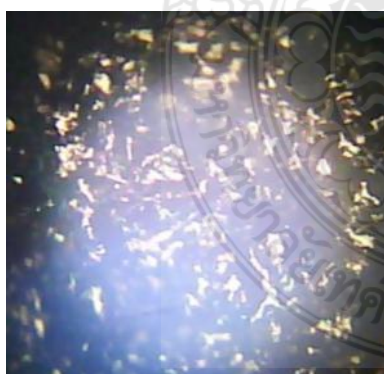
รูปที่ 4.11 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.12 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

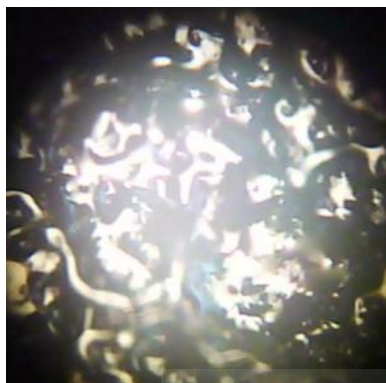


รูปที่ 4.13 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

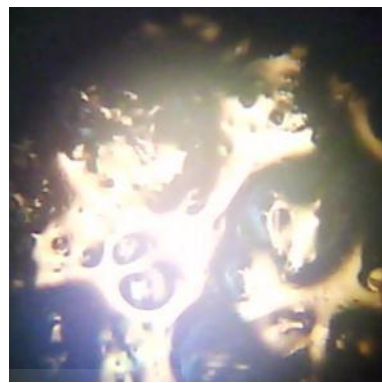


รูปที่ 4.14 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

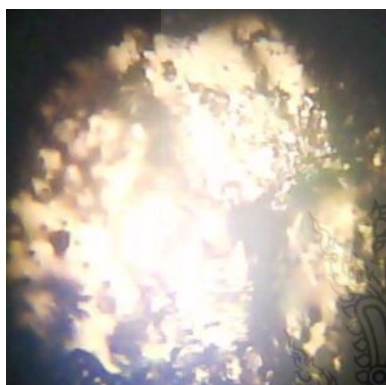
3) ภาพขยายที่ 200 เท่า ของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.21



รูปที่ 4.15 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



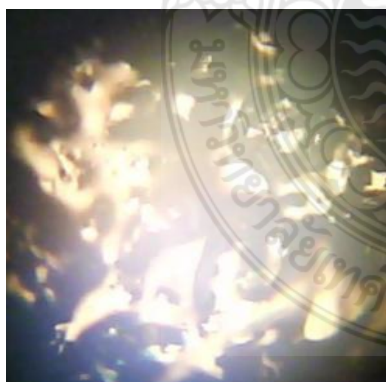
รูปที่ 4.16 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 0.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.17 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



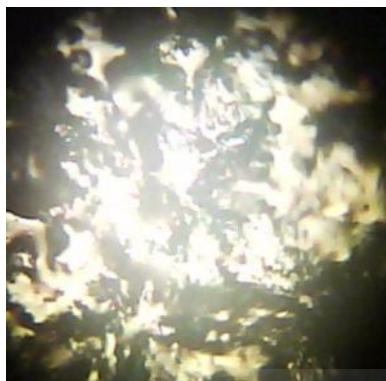
รูปที่ 4.18 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 1.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.19 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.20 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 2.5 ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.21 แผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์
อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ที่กำลังขยาย 200 เท่า

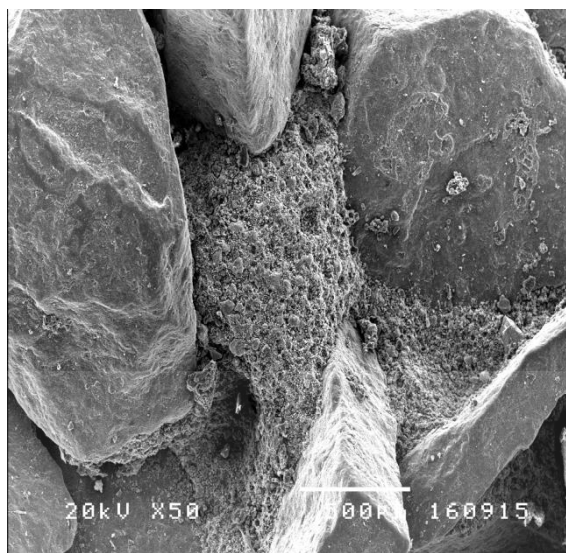
จากภาพถ่ายของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งส่องโดยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง พบว่า การขยายภาพที่ 50, 100 และ 200 เท่า ในแต่ละอัตราส่วนมีลักษณะที่คล้ายกันในทุกอัตราส่วน

4.2 ผลการส่องภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

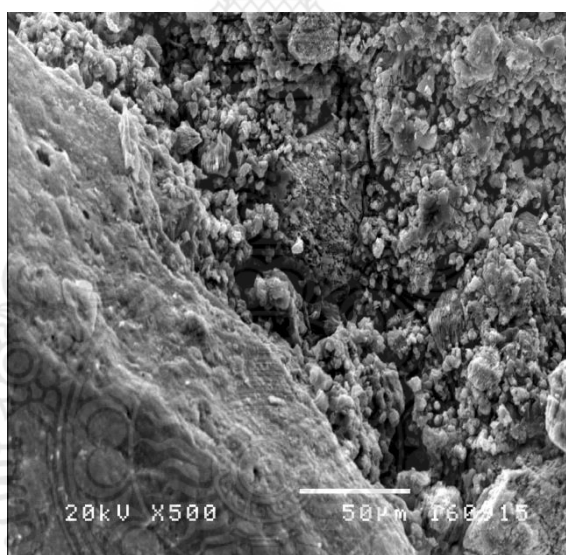
เมื่อนำแผ่นหลังค้ายางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคานาไนซ์อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 (รูปที่ 3.18) และแผ่นหลังซิงเกิ้ลรูปในท้องตลาด (รูปที่ 4.22) ซึ่งมีการตกแต่งผิวหน้าด้วยหินเกล็ดแล้ว ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.23 ถึง 4.28



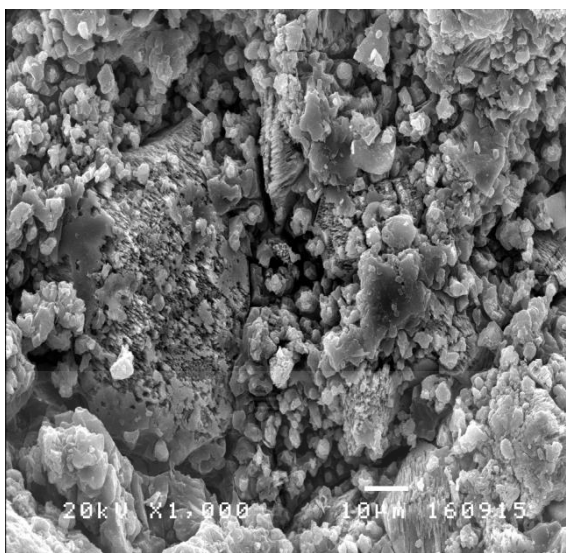
รูปที่ 4.22 แผ่นหลังซิงเกิ้ลรูปในท้องตลาดเมื่อมองด้วยตาเปล่า



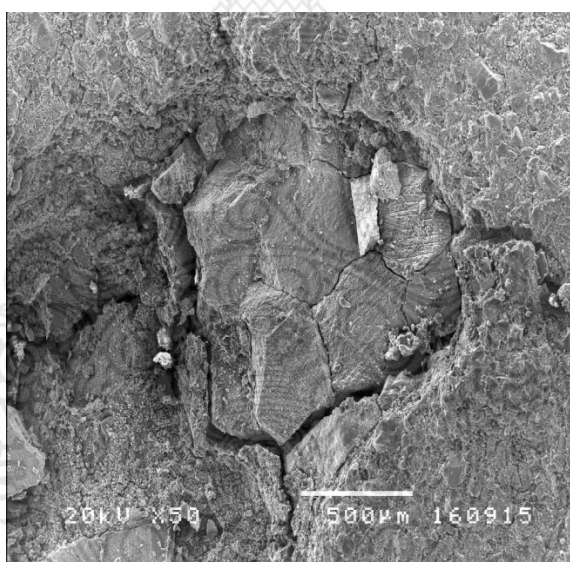
รูปที่ 4.23 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
แผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 50 เท่า



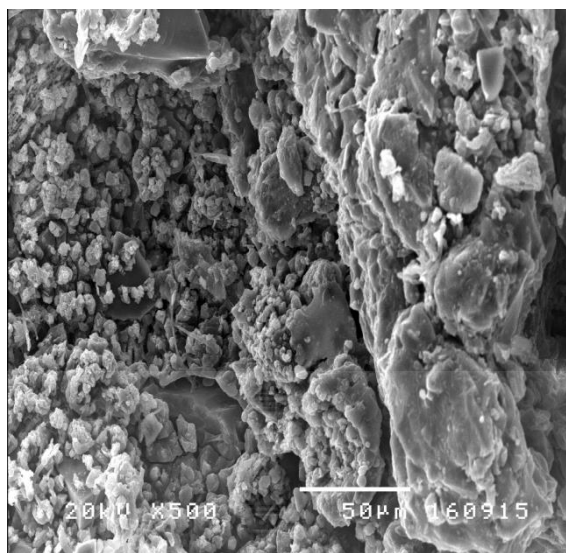
รูปที่ 4.24 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
แผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า



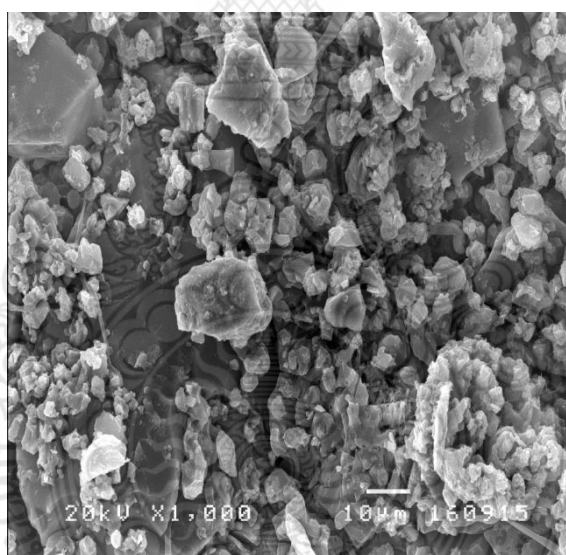
รูปที่ 4.25 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
แผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูปที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.26 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคาอย่างมะตอย
ผสมน้ำยางพริ้วคานาซ้อตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.27 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 500 เท่า

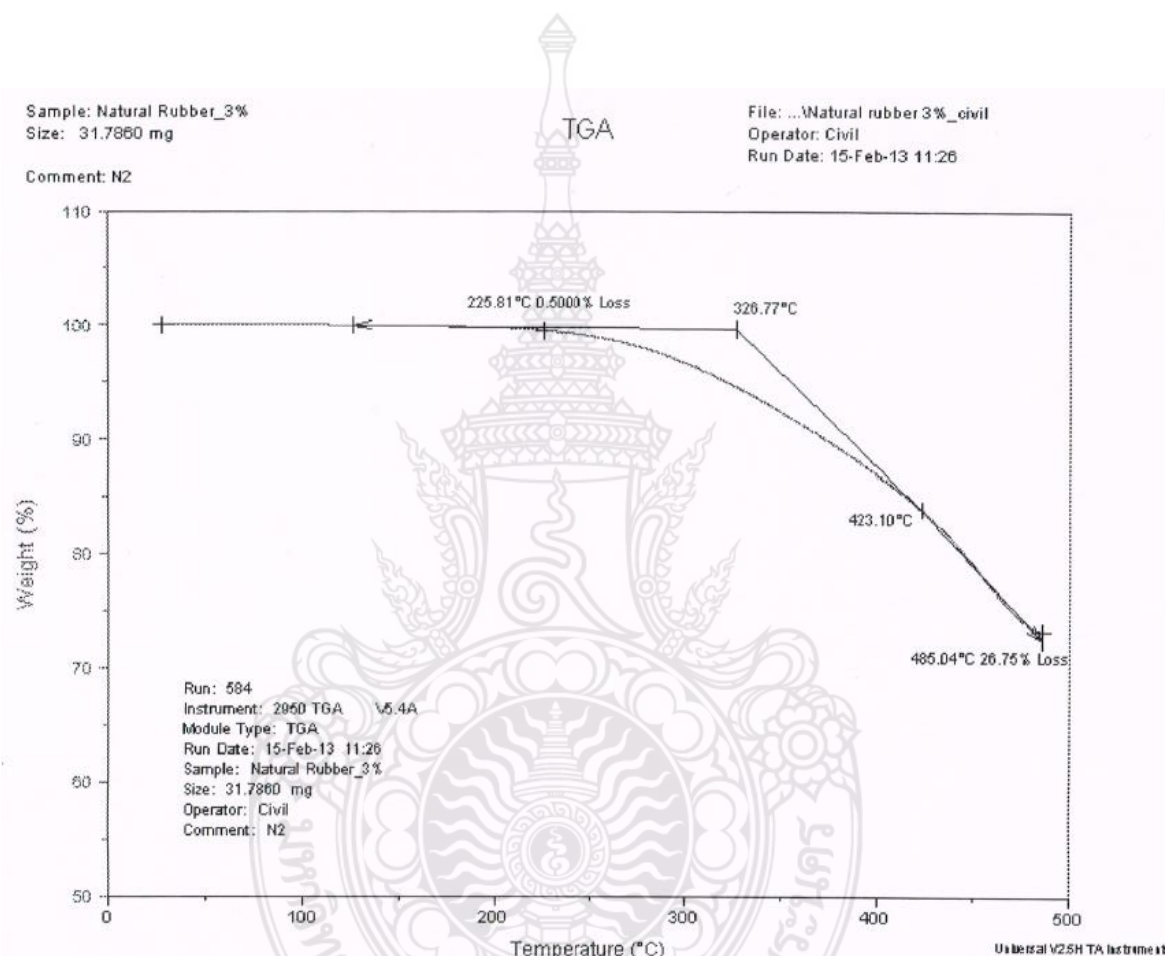


รูปที่ 4.28 ภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหลังคางซึ่งเกิดรูป และแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ที่กำลังขยาย 50, 500 และ 1,000 เท่าพบว่า ปริมาณหินเกล็ดที่ติดอยู่บนแผ่นหลังคางซึ่งเกิดรูปมีจำนวนมากกว่าแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 อย่างชัดเจน และลักษณะของหินเกล็ดของแผ่นหลังคางซึ่งเกิดรูปจะมีลักษณะที่แบนกว่าหินเกล็ดของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ดังรูปที่ 4.23 และ 4.26 ส่วนเนื้อของยางมะตอยที่ผสมนั้น มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาในข้ออัตราส่วน ร้อยละ 2.0 จะมีแผ่นฟิล์มของน้ำยางเคลือบผิวอนุภาคอยู่ ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28

4.3 ผลการทดสอบการสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง

จากทดสอบการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริวัลคาไนซ์ อัตราส่วน ร้อยละ 3.0 ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) เป็นการทดสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก โดยการตัดแผ่นตัวอย่างที่ไม่มีการตกแต่งผิวหน้าด้วยหินและไม่มีการเสริมเส้นใย นำไปเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูง เพื่อหาค่าการสลายตัวของวัสดุตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลทดสอบ ดังรูปที่ 4.29



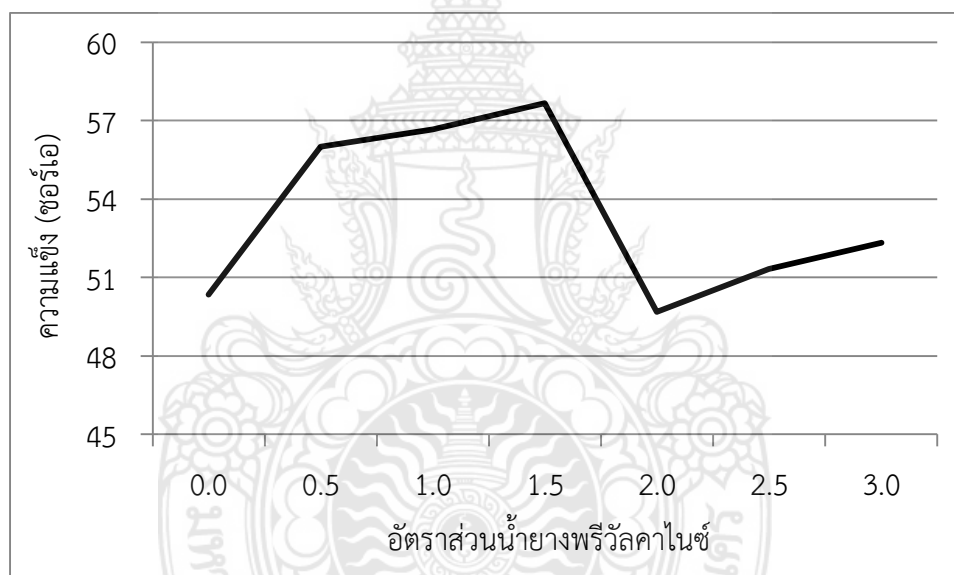
รูปที่ 4.29 การสลายตัวที่อุณหภูมิสูงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริวัลคาไนซ์ อัตราส่วนร้อยละ 3.0

จากกราฟผลการทดสอบโดยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ด้วยการเผา 2 ชั่วโมง ในรูปที่ 4.29 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ที่ผสมน้ำยางพริวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3.0 ขึ้นจากอุณหภูมิห้อง ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ 225.81 องศาเซลเซียส น้ำหนักของแผ่นหลังคayangมะตอยจะมีค่าลดลงไป ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากนั้น น้ำหนักก็เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิประมาณ 250 ถึง 400 องศาเซลเซียส จนถึงช่วงที่กราฟแสดงที่อุณหภูมิ 485.04 องศาเซลเซียส น้ำหนักของแผ่นหลังคayangมะตอยได้ลดลงเป็นร้อยละ 26.75

โดยน้ำหนัก และคาดว่า การสลายตัวจะเพิ่มขึ้นอีกที่อุณหภูมิสูงกว่า 485.04 องศาเซลเซียส แต่ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งแสดงผลได้เพียง 485.04 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบซ้ำอีก 3 ครั้ง ก็ได้ผลการทดสอบเหมือนเดิมทุกครั้ง คือ ไม่สามารถแสดงผลได้ถึง 800 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะใช้งานจริงตามธรรมชาติ อยู่ที่ประมาณ ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณยางพารามาก ทั้งที่ยางพาราสามารถทนความร้อนได้ต่ำกว่ายางมะตอย (เสาวรจน์, 2537; วิริญญา, 2549) ยังสามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จึงเริ่มสลายตัว ทำให้มั่นใจได้ว่า การใช้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในการผลิตเป็นหลังคาในทุกอัตราส่วน จะสามารถใช้งานได้ดีโดยไม่เกิดการสลายตัวที่ง่าย

4.4 ผลการทดสอบความแข็ง

จากการทดสอบความแข็ง โดยใช้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อัตราส่วนต่างๆ ที่ผ่านการตกแต่งผิวหน้าด้วยหินและเสริมเส้นใยไฟเบอร์แล้ว ซึ่งสามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.30

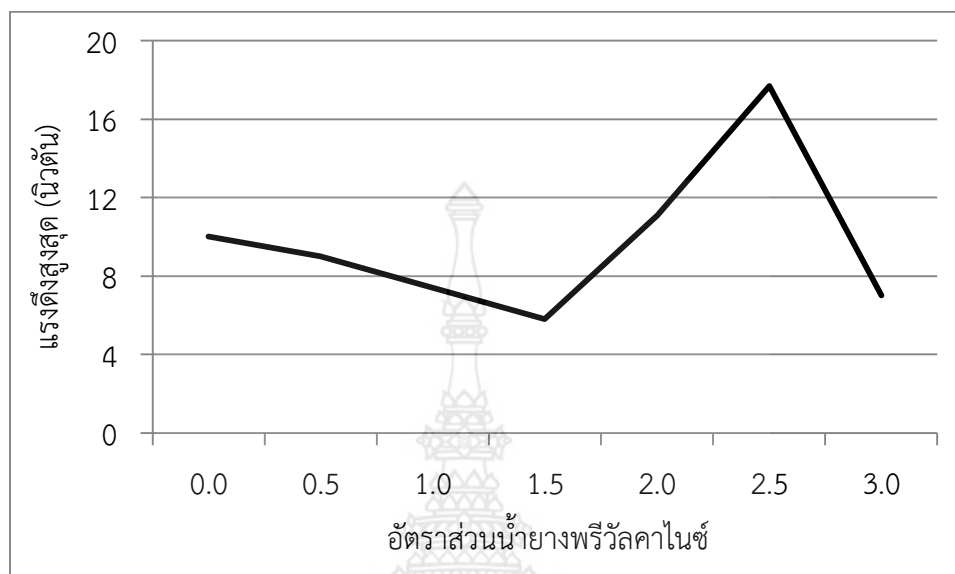


รูปที่ 4.30 ความแข็งของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.30 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงในยางมะตอยชนิด PMA จากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 1.5 ส่งผลให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 50.33 เป็น 57.67 แต่เมื่อผสมจนถึงอัตราส่วนร้อยละ 2.0 ค่าความแข็งกลับลดลงใกล้เคียงกับแผ่นยางมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และก็กลับมีค่าเพิ่มขึ้นอีก เมื่อผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มากกว่า ร้อยละ 2.5 แสดงให้เห็นว่า น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สามารถเพิ่มความแข็งของยางมะตอยได้ แต่ที่ค่าความแข็งมีการลดต่ำลง อาจเกิดความไม่เข้ากันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากยางมะตอยที่มีปริมาณของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มาก จะมีการแข็งตัวหรือจับตัวกันที่เร็วกว่าการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในปริมาณน้อยหรือไม่ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เลย นอกจากนี้ จากการสังเกตการขึ้นรูป ทำให้สรุปได้ว่า การแข็งตัวของยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม คือ ไม่ควรเกิน 50 วินาที ภายหลังจากหยุดให้ความร้อน

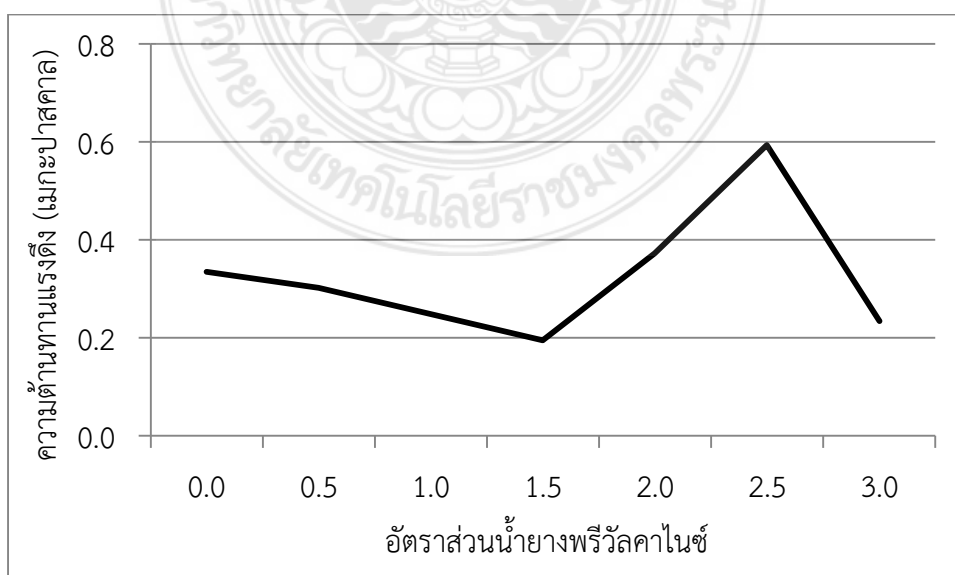
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง และความเครียด

จากความต้านทานแรงดึงและความเครียดของแผ่นยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งไม่ตกแต่งผิวหน้าด้วยหิน และไม่มีการเสริมเส้นใยไฟเบอร์ สามารถสรุปผลได้ ดังนี้



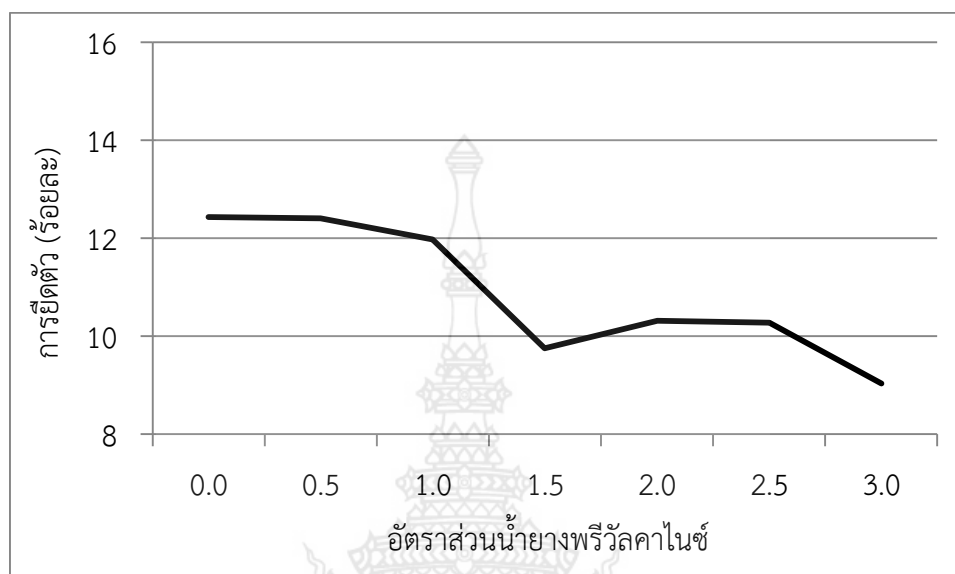
รูปที่ 4.31 แรงดึงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.31 พบว่า แรงดึงสูงสุดที่รับได้ของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ที่มีการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลต่อแนวโน้มการรับแรงดึงของแผ่นยางมะตอยที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ เป็นผลมาจากแผ่นฟิล์มยางที่แทรกและเคลือบอนุภาคยางมะตอย (Ohama, 1987) มีส่วนช่วยในการรับแรงดึงให้สูงขึ้น แต่การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในปริมาณที่น้อยหรือมากเกินไป (อัตราส่วนไม่เกิน ร้อยละ 1.5 และเกิน ร้อยละ 2.5) จะมีผลต่อความสามารถในการรับแรงดึงที่ลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการขึ้นรูปที่กระจายน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ได้ไม่ทั่วเท่าที่ควร



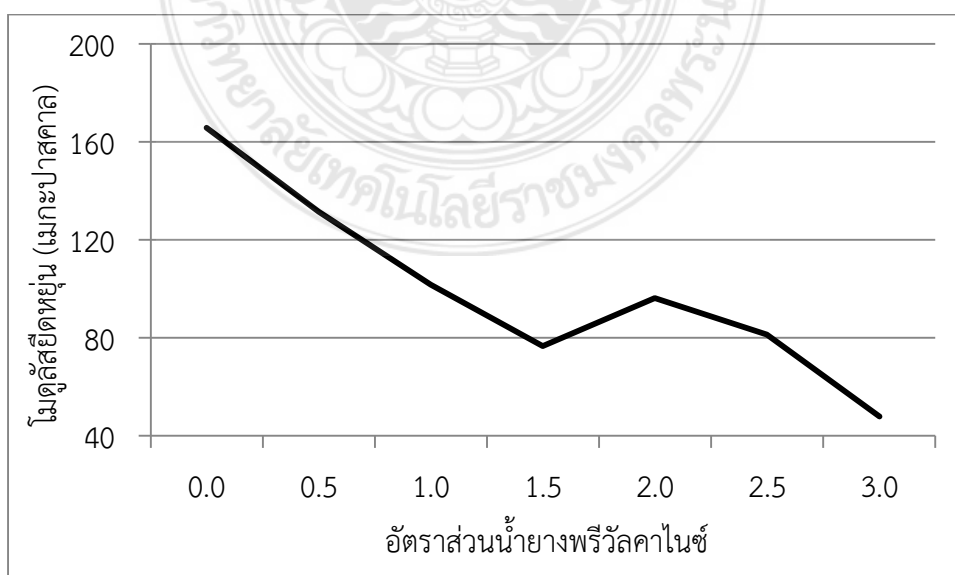
รูปที่ 4.32 ความต้านทานแรงดึงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.32 พบว่า ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์นั้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.194 ถึง 0.593 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การนำแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ แบบเส้นใย 2 ทาง ตาถี่#100 ชนิด E-glass cloth มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงหลัก จึงเป็นการพัฒนาที่เหมาะสม และสามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ทันที



รูปที่ 4.33 การยึดตัวของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.33 พบว่า ค่าการยึดตัวสูงสุดที่จุดขาดของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงและการยึดตัวของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มาคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จะสามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 4.34

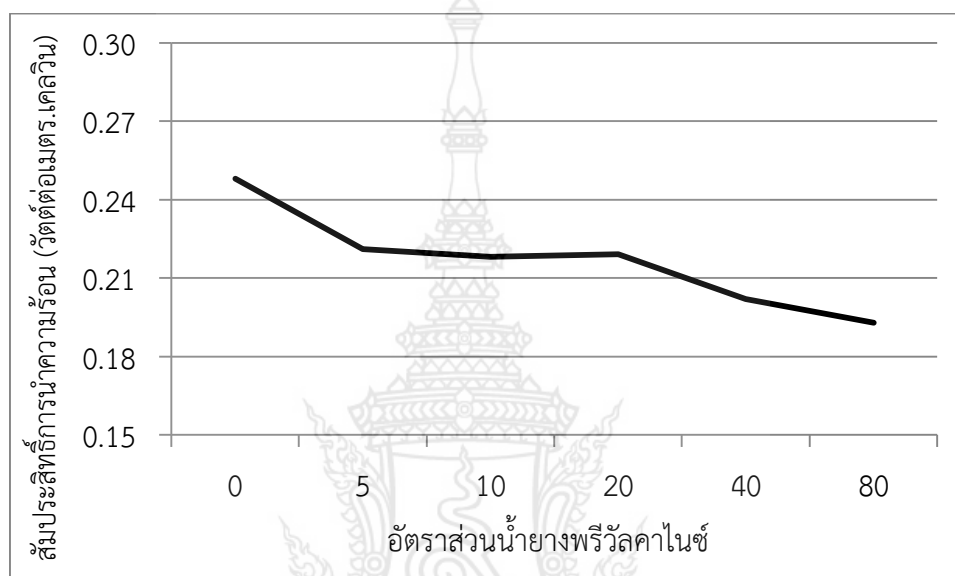


รูปที่ 4.34 โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.34 พบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ มีแนวโน้มลดต่ำลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่า การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีผลต่อความยืดหยุ่นของแผ่นยางมะตอยที่ลดลง

4.6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลจากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.35 พบว่า การผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงในแผ่นหลังคayangมะตอย จะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงได้ เนื่องจากการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จะทำให้เกิดช่องว่างและฟิล์มยางเคลือบอนุภาคต่างๆ ไว้ (Ohama, Y.. 1987) ดังรูปที่ 4.26 ถึง 4.28 นอกจากนี้ ยางพารายังเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีด้วย (Blow and Hepburn, 1982) เหล่านี้ ทำให้แผ่นหลังคayangมะตอยเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น

4.7 ผลการทดสอบใช้งานจริง

การทดสอบติดตั้งแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์จากโครงการวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หลังคาชิงเกิ้ลรูปทรงแปดหน้านำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้แบบจำลองหลังคานั้น ได้เลือกใช้แผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2.0 มาเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบ เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าว เป็นอัตราส่วนที่ปริมาณการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์น้อยที่สุด แต่ยังคงมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าแผ่นหลังคayangมะตอยในอัตราส่วนที่ไม่มีการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ รวมทั้ง อัตราส่วนดังกล่าวยังมีสมบัติอื่นๆ ที่อยู่ในช่วงที่ดี ทั้งนี้ ผลการทดสอบใช้งานจริงของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 และผลิตภัณฑ์หลังคาชิงเกิ้ลรูปทรงแปดหน้า (บางส่วน) สามารถสรุปเป็นตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ตัวอย่างการติดตั้งแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนร้อยละ 2 (ช่วงบน) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ (ช่วงล่าง)

จากการติดตั้งของแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 เปรียบเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไปในการใช้งานจริงในรูปที่ 3.6 พบว่า แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ติดตั้งนี้ สามารถใช้งานได้ดีและมีข้อได้เปรียบกว่าหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป คือ แผ่นหลังคayangมะตอยที่พัฒนา จะมีการยึดเกาะที่แน่นหนากว่า ดูแข็งแรง คงทน และสวยงามเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์หลังคาที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่อาจมีข้อจำกัดในด้านการเรียงตัวของแผ่นที่อาจจะยังไม่สม่ำเสมอ คือ พื้นผิวของแผ่นหลังคayangมะตอยที่ปูจะมีการโค้งงอที่มากกว่าแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการออกแบบให้แผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ต้องวางตัวแผ่นซ้อนกันโดยตรง และใช้การเชื่อมยึดเกาะกันระหว่างเนื้อยางมะตอยสำหรับทำให้แน่น ซึ่งจะมีผลดีในด้านการลดการเสื่อมสภาพของกาวที่นำมาใช้เชื่อมแผ่นให้ติดกัน แตกต่างกับแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟในตลาดที่ใช้แผ่นซ้อนกัน 2 ชั้น และเชื่อมแต่ละแผ่นให้ติดกันด้วยกาวยาง ซึ่งมีอายุการใช้งานที่สั้น และอาจเสื่อมสภาพได้รวดเร็ว แต่สำหรับวิธีการก่อสร้างและการปรับแต่งของหลังคา ทั้ง 2 ชนิดนี้ ไม่มีความแตกต่างกัน โดยช่างที่สามารถติดตั้งแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไปได้ ก็สามารถติดตั้งแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ได้เช่นกัน

4.8 การยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตร

จากผลการวิจัยในโครงการ “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร” สามารถยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตร จำนวน 1 คำขอ คือ เรื่อง “แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต”

ทั้งนี้ได้รับคำแนะนำจาก หน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (TLO-RMUT) ในการดำเนินการร่าง จัดเตรียมเอกสาร และยื่นคำขออนุสิทธิบัตรในนาม “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร”

4.9 การเขียนบทความวิจัยส่งลงในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

ได้เขียนและนำเสนอบทความเรื่อง “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักรังสีความร้อน” (ตั้งเอกสารแนบในภาคผนวก) ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14 ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 27 – 29 พฤษภาคม 2558 ณ โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 4.37 สถานที่จัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14
ณ โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 4.38 ห้องประชุมใหญ่ที่จัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14



รูปที่ 4.39 ผู้วิจัยนำเสนอผลงานเรื่อง “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักร โครงสร้างอาคาร” ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14

4.10 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์

ผลจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากโครงการ “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร” ให้แก่กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน ชุมชน บริษัท และห้างร้านต่างๆ นั้น พบว่า มีกลุ่มเป้าหมายในส่วนผู้ประกอบการสนใจรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และได้นำไปประยุกต์ใช้เบื้องต้นแล้ว จำนวน 1 ราย คือ ห้างหุ้นส่วนจำกัด พี.ที. สุพรรณ วัสดุก่อสร้างและการเกษตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาโครงการ “การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร” สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

สรุปผลการดำเนินโครงการทั้งหมด สามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

1) ส่วนผสมและวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมสำหรับผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA ประกอบด้วย ส่วนผสม คือ ยางมะตอยชนิด PMA และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สูตรลงมืออย่าง ส่วนวัสดุเสริมแรง คือ czjo เส้นใยไฟเบอร์ แบบเส้นใย 2 ทาง ตาถี่#100 ชนิด E-glass cloth และหินเกล็ด ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นหลังคayangมะตอยที่มีสมบัติต่างๆ เหมาะกับการใช้งานภายในประเทศ

2) กระบวนการผลิตหลังคayangมะตอยชนิด PMA เป็นการผสมส่วนผสมระหว่างยางมะตอยชนิด PMA และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส แล้วนำมาราดลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ จากนั้นกดขึ้นรูปเป็นแผ่นเรียบ และติดหินเกล็ดเพื่อตกแต่งและเพิ่มความต้านทานต่อสภาพอากาศ

3) ผลจากการผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงในยางมะตอย PMA สำหรับขึ้นรูปเป็นหลังคาน้ำหนักเบา มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของแผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ดีขึ้น ทั้งในด้านความแข็ง และความต้านทานแรงดึงที่มีค่าเพิ่มขึ้น และด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าลดลง

4) เมื่อนำแผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน ร้อยละ 2.0 ไปทดสอบใช้งานจริง เปรียบเทียบกับแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป พบว่า แผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สามารถยึดเกาะกันได้ดีกว่าหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ โดยเฉพาะเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากเนื้อของแผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จะเชื่อมติดกันได้มากขึ้นเมื่อสัมผัสความร้อนและแสงแดด ในขณะที่แผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป จะเกิดการแข็ง แตกกร้าว เสื่อมสภาพ และหลุดร่อนเมื่อสัมผัสความร้อนและแสงแดดเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแสดงว่า แผ่นหลังคayangมะตอย PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จะเหมาะกับการใช้งานในประเทศไทยกว่าแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟที่นำมาจากต่างประเทศ

5) เมื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ให้แก่ผู้ประกอบการ ชุมชน และประชาชนทั่วไป ผ่านทางการนำเสนอและตีพิมพ์ผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ จำนวน 1 ครั้ง การยื่นคำขอรับสิทธิบัตร จำนวน 1 คำขอ ตลอดจนการประชาสัมพันธ์ให้กับบริษัทที่สนใจ ทำให้มีบริษัทที่สนใจนำผลงานที่ทำการศึกษาวินิจฉัย ไปใช้ประโยชน์แล้ว จำนวน 1 บริษัท

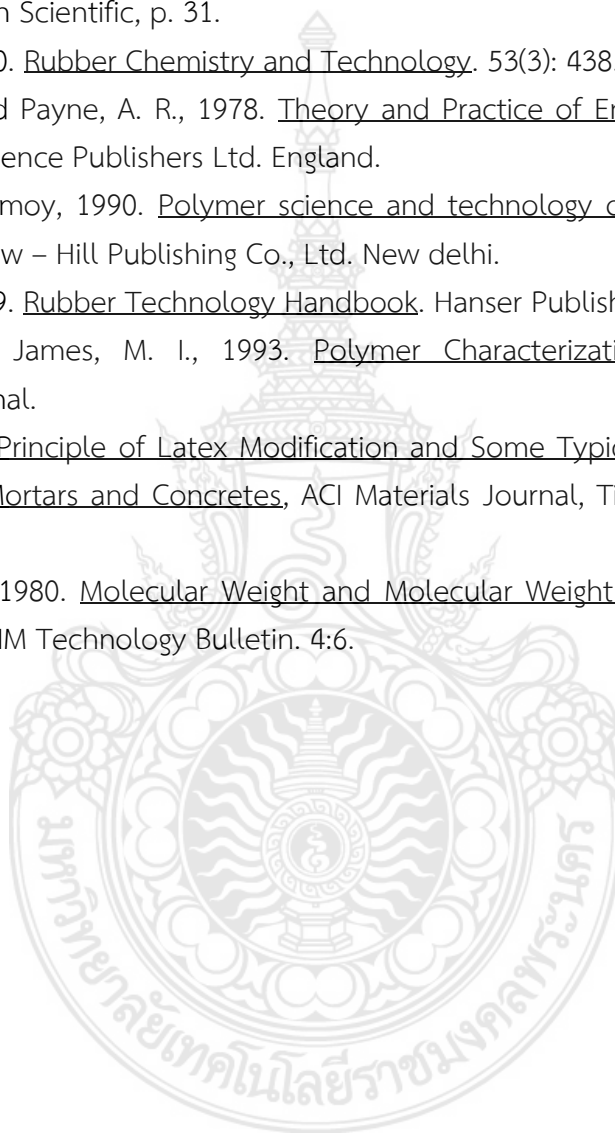
5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ให้สามารถผลิตได้รวดเร็วและมีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้ ยังทำให้แผ่นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ทั้งนี้ ก็เพื่อส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์หลังคาใหม่นี้ มีความเป็นไปได้ในการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง, 2544. แผนงานการใช้อย่างธรรมชาติในงานทางหลวง พ.ศ. 2544-2545 และข้อคิดเห็นของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการพิจารณา ของคณะกรรมการกลั่นกรอง เรื่อง เสนอคณะรัฐมนตรี คณะที่ 5. กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ
- ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย, จักรพงษ์ รักษาพรหมณ์ และอติยา โต๊ะสัน, 2551. การเตรียมวัสดุผงหลังจากจากยางครัมป์และพลาสติกกรีซเคิล. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551.
- ณรงฤทธิ์ สมบัติสมภพ, 2554. การพัฒนาซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นหลังคาอย่าง. โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพาราฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- นิติพงศ์ ปานกลาง, สุพจน์ สิงห์วิระสมร และพุดผิงษ์ เรืองพิศาล, 2551. โครงการ การการพัฒนาฉนวนหุ้มข้อรัดสายไฟฟ้าแบบพีจีจากยางพารา (RDG5050068). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.
- บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน. บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.
- ปิยะพร สอนจันทร์, ณัฐนิ โล่ห์พัฒนานนท์, อาชีวัน แกสमान และแวอาแซ แวหามะ, 2551. การเตรียมวัสดุกระเบื้องยางหลังคาจากยางธรรมชาติ. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย, 2547. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย และชาคริต สิริสิงห์, 2548. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อความร้อนและความต้านทานต่อโอโซนของยางผสม NR/EPDM. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- วรารณณ์ ขจรไชยกูล, 2523. วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแท่ง. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยางหาดใหญ่.
- วิรัชญา แก้ววัฒนะ, 2549. โครงการการศึกษาทางรังสี UV แสงแดด สำหรับผลิตภัณฑ์ใช้งานนอกอาคาร (RDG4650044). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.
- แววบุญ แยมแสงสังข์ และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, 2553. หลังคาจากยางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีเมนต์ที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. นิตยสารเกียร์. ฉบับเดือนมีนาคม 2553.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2537. เทคโนโลยียาง. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014a. ASTM E1131: Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014b. ASTM D2240: Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014c. ASTM D412: Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.

- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2014d. ASTM C177: Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot-Plate Apparatus. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- Barlow, Fred W., 1993. Rubber Compounding : Principles, Materials, and Techniques. Second Edition.
- Blow, C.M. and Hepburn C., 1982. Rubber Technology and Manufacture, Second Edition., Butterworth Scientific, p. 31.
- Brazier, D. W., 1980. Rubber Chemistry and Technology. 53(3): 438.
- Freakley, P. K. and Payne, A. R., 1978. Theory and Practice of Engineering with Rubber. Applied Science Publishers Ltd. England.
- Ghosh and Premamoy, 1990. Polymer science and technology of plastics and rubbers. Tata McGraw – Hill Publishing Co., Ltd. New delhi.
- Holmann, W. 1989. Rubber Technology Handbook. Hanser Publishers. Munich.
- Hunt, B. J. and James, M. I., 1993. Polymer Characterization. Blackie Academic & Professional.
- Ohama, Y.. 1987, Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes, ACI Materials Journal, Title No. 84-M45, p 511-518.
- Subramaniam, A. 1980. Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber. RRIM Technology Bulletin. 4:6.



ภาคผนวก



การใช้ยางมะตอยชนิดPMAเป็นหลังคา เพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

Using PMA Asphalt to Produce Roof Plates for Reducing Building Structure Weight

วิหาร คีปญญา^{1*} และ กิตติพงษ์ สุวีโร²

Wiharn Deepaya^{1*} and Kittipong Suweero²

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10300

²ที่ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ หน่วยจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

*โทรศัพท์ : 0 2549 4032, โทรสาร : 0 2549 4033, E-mail : wiharn.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของหลังคาซึ่งเกิดรูปจากยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ ในปริมาณ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยน้ำหนัก ผสมส่วนผสมภายในหม้อให้ความร้อน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปด้วยแบบหล่อ ขนาด 20 x 20 x 0.5 เซนติเมตร เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใย และใช้หินเกล็ดตกแต่งผิวหน้า ทดสอบสมบัติของหลังคาซึ่งเกิดรูปจากยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM พบว่า แผ่นยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติทั้งหมด สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส โดยปริมาณน้ำยางธรรมชาติไม่เกินอัตราส่วน 1.5 ส่งผลให้ความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นถึงอัตราส่วน 2.0 ความต้านทานแรงดึงกลับเพิ่มขึ้น จากการนำแผ่นหลังคาซึ่งเกิดรูปจากยางมะตอย PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ อัตราส่วน 2.0 ไปใช้งานจริงเทียบกับหลังคาซึ่งเกิดรูปทั่วไป หลังคาซึ่งเกิดรูปจากยางมะตอย PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ สามารถใช้งานได้และมีข้อได้เปรียบหลังคาซึ่งเกิดรูปทั่วไป คือ หลังคามีความแน่นหนายึดเกาะกันดีเอง ทั้งนี้ ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลังคาซึ่งเกิดรูปทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศได้

คำสำคัญ : หลังคาซึ่งเกิดรูป; ยางมะตอยชนิด PMA; น้ำยาง ธรรมชาติ; เส้นใย; ความต้านทานแรงดึง

Abstract

This research aims to study the properties of PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex by various contents of natural latex to PMA asphalt (e.g. 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 by weight). The heat pot was used to mix the mixture with lower than 160 degree of Celsius. The PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex samples were cast in 20 x 20 x 0.5 centimeter of dimension and added the fiber plate and stone flake to reinforce and decorate the roof plate. The properties



of the roof plates were tested under ASTM standard. From the results, it is found that all samples can resist the temperature higher than 200 degree of Celsius and the increasing of natural latex (lower than 1.5 of ratio) can improve the hardness property while the tensile strength and elongation properties are decreased. However, when the amount of natural latex increased to 2.0 of ratio, the tensile strength are increased. After compare the PMA asphalt shingle roof mixed with natural latex (2.0 of ratio) and the general shingle roof found that the researched shingle roof can use as well as the general shingle roof and more tightly. The research results can develop to the PMA shingle roof products and replace the import shingle roofs.

Keywords : shingle roof; PMA asphalt; natural latex; fiber; tensile strength

บทนำ

“หลังคาขางมะตอย” หรือที่รู้จักกันในชื่อ “หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ” เป็นหลังคาที่มีน้ำหนักเบาเพียง 18 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่หลังคาทั่วไปหนักมากกว่า 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว พื้นผิวสวยงามเป็นธรรมชาติ สามารถลดขนาดโครงสร้างอาคารจากน้ำหนักหลังคาที่ลดลงได้ หลังคาชนิดนี้น้ำเข้าจากต่างประเทศ แตกต่างจากหลังคาชนิดอื่นที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาหลังคาขางมะตอยขึ้นจากวัตถุดิบภายในประเทศ [1] โดยใช้ขางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) เป็นวัสดุหลัก พร้อมปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำยางธรรมชาติ [2-4] และตกแต่งผิวหน้าด้วยหินเกล็ด ซึ่งเหมาะสมกับภูมิอากาศในประเทศไทย ดังนั้น การใช้ขางมะตอยชนิด PMA เป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร จึงเป็นพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุขางมะตอย สำหรับลดขนาดโครงสร้างอาคาร ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และลดการนำเข้าวัสดุก่อสร้างจากต่างประเทศด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตหาอัตราส่วนที่เหมาะสม และทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นหลังคา PMA ชิงเกิ้ลรูฟผสมน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 1 หลังคาขางมะตอยหรือหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ

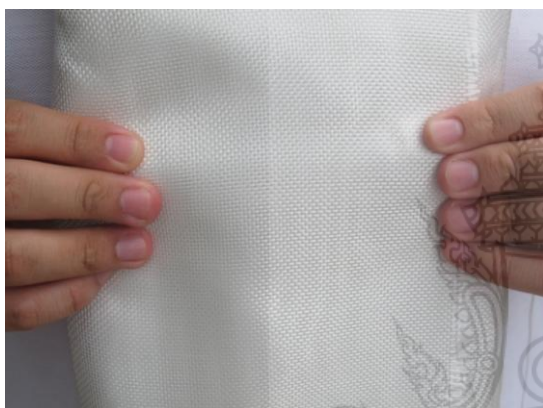


รูปที่ 2 การติดตั้งแผ่นหลังคาขางมะตอย

อุปกรณ์และวิธีการ

เริ่มจากออกแบบส่วนผสมและวัสดุเสริมแรง โดยใช้ส่วนผสมหลัก คือ ขางมะตอย PMA (ตารางที่ 1) ในปริมาณต่อแผ่น ขนาด 20 x 20 x 0.5 เซนติเมตร เท่ากับ 400 กรัม จากนั้นผสมน้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ สูตรถุงมือแพทย์ จากกรมวิชาการเกษตรดังตารางที่ 2 ลงไป พร้อมทั้งลดปริมาณขางมะตอย PMA ลง คิดเป็นอัตราส่วนต่างๆ โดยน้ำหนัก รวม 6 อัตราส่วน คือ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 และใช้หินเกล็ดเบอร์ 5 เท่ากับ 100 กรัมในการตกแต่งผิวหน้า ซึ่งการขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นหลังคาสำหรับทดสอบ ให้ทำการตักขางมะตอย PMA ที่อุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส และเติมน้ำยาง

ธรรมชาติลงไป จากนั้นสเปรย์ยางมะตอย PMA ที่ผสมน้ำยางธรรมชาติแล้ว ลงบนแผ่นใยไฟเบอร์ ชนิดเส้นใย 2 ทาง ดาต้า#100 ชนิด E-glass cloth ที่มีคุณสมบัติ คือ น้ำหนัก 100 กรัมต่อตารางเมตร เส้นยืน (Warp) >50 เส้นพุ่ง (Weft) >50 และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) 25 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร (รูปที่ 3) แล้วจึงโรยหินเกล็ดบนผิวหน้า [5-6] และอัดเป็นแผ่นให้เรียบสม่ำเสมอ ได้ตัวอย่างหลังคายางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติสำหรับนำไปทดสอบ ดังรูปที่ 4 เตรียมตัวอย่าง และเครื่องมือการทดสอบสมบัติเช่นเดียวกับแผ่นยางทั่วไป เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดและบังคับใช้มาตรฐาน มอก. ในผลิตภัณฑ์นี้ การทดสอบที่ใช้ ประกอบด้วย การส่องกล้องจุลทรรศน์ด้วยแสง ที่กำลังขยาย 200 เท่า การสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงด้วยเครื่อง Thermo Gravimetric Analyzer (TGA) ความแข็ง [7] ความต้านทานแรงดึง และความเครียด [8] รวมทั้งการทดสอบการใช้งานจริงเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไปเป็นเวลา 3 เดือน การทดสอบนอกจากการใช้งานจริงและความแข็งแรงนั้น ทั้งหมดเป็นการใช้เนื้อยางมะตอย PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ โดยไม่มีเส้นใยและหินเกล็ดเป็นส่วนประกอบ เพราะทำให้สามารถทราบถึงผลจากการผสมน้ำยางธรรมชาติลงในยางมะตอยชนิด PMA อย่างชัดเจน



รูปที่ 3 แผ่นใยไฟเบอร์ ชนิดเส้นใย 2 ทาง



รูปที่ 4 หลังคายางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 1 สมบัติของยางมะตอยชนิด PMA

สมบัติ	PMA
ความหนืด(Viscosity) - Visco. 165 °C	512 cP
จุดอ่อนตัว (Softening Point)	85 °C
ความยืดหยุ่น(Elasticity) - Torsional Recovery 25 °C	84 %
แรงยึดเหนี่ยว(Cohesion) - Toughness	209 kg.cm
การรักษาคูณสมบัติ (Aging Resistance) - Thin Film Oven Test (TFOT) Pen. °C	72 %org

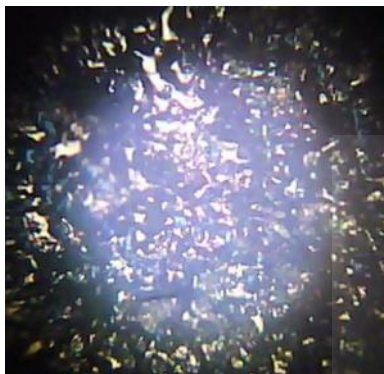
ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของหลังคายางมะตอยชนิด PMA

ส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อยางมะตอย						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
ยางมะตอย PMA (กรัม)	400	398	396	394	392	390	388
น้ำยางธรรมชาติชั้น (กรัม)	0	2	4	6	8	10	12
หินเกล็ด (กรัม)	100	100	100	100	100	100	100

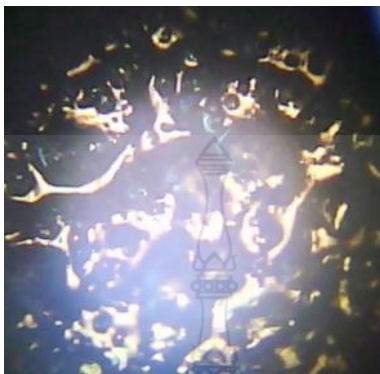


ผลการทดลองและวิจารณ์

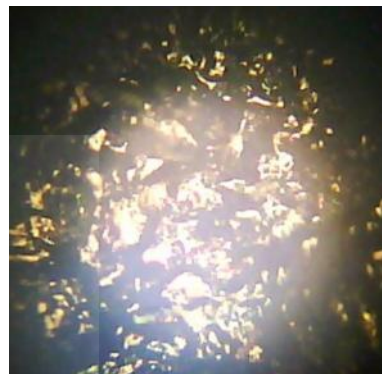
จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นหลังคayangมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้



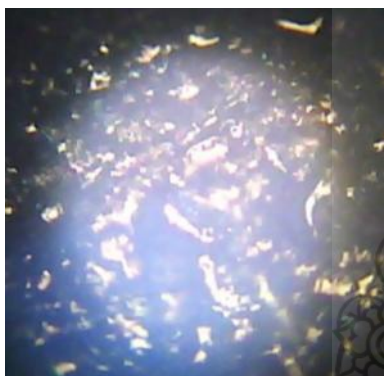
รูปที่ 5 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 0.0



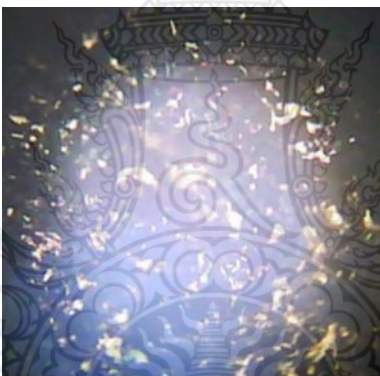
รูปที่ 6 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 0.5



รูปที่ 7 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 1.0



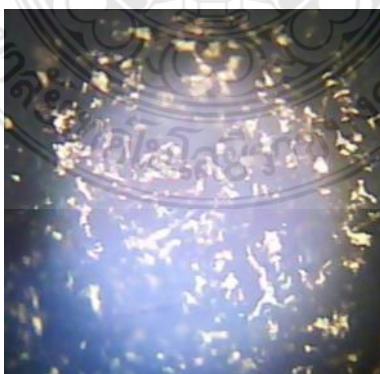
รูปที่ 8 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 1.5



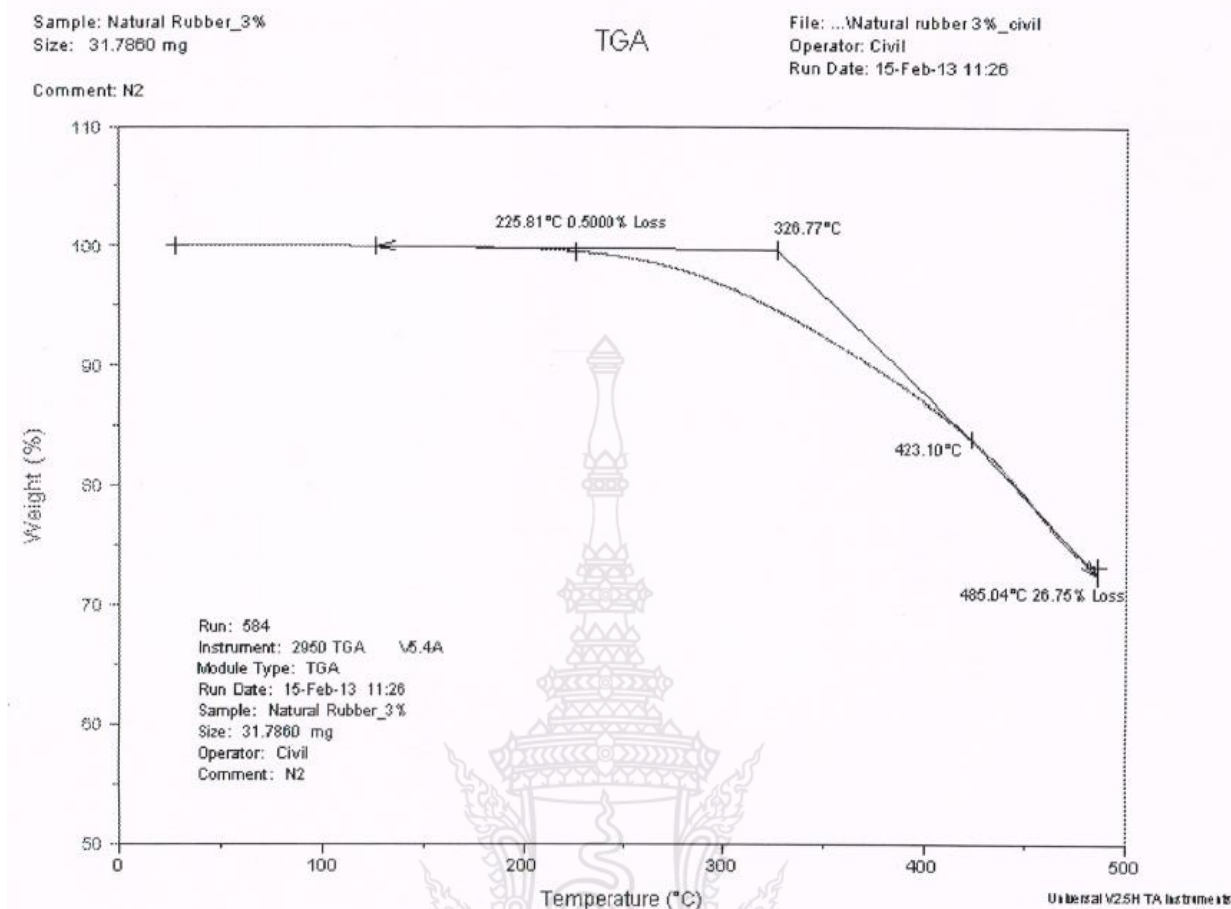
รูปที่ 9 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 2.0



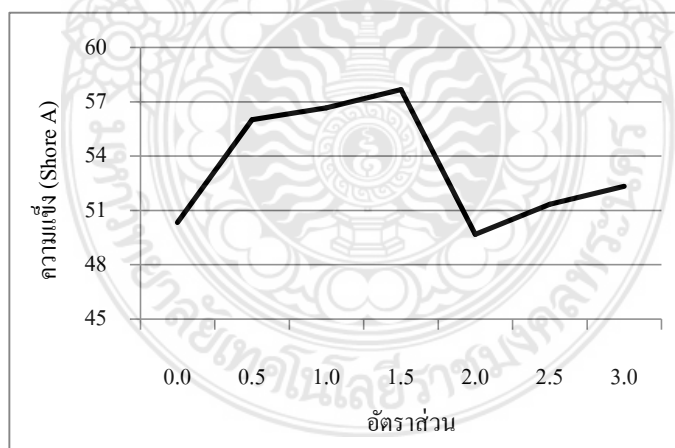
รูปที่ 10 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 2.5



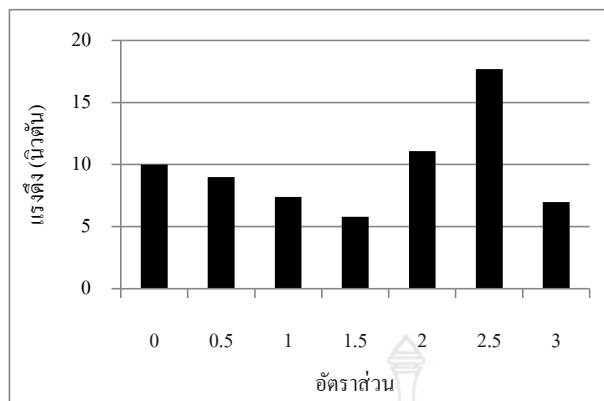
รูปที่ 11 การส่องกล้องจุลทรรศน์แผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ ร้อยละ 3.0



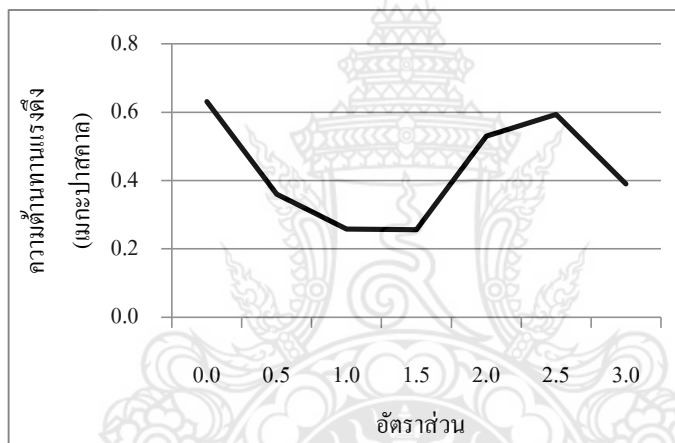
รูปที่ 12 การสลายตัวที่อุณหภูมิสูงของยางมะตอยผสมยางธรรมชาติอัตราส่วน ร้อยละ 3.0



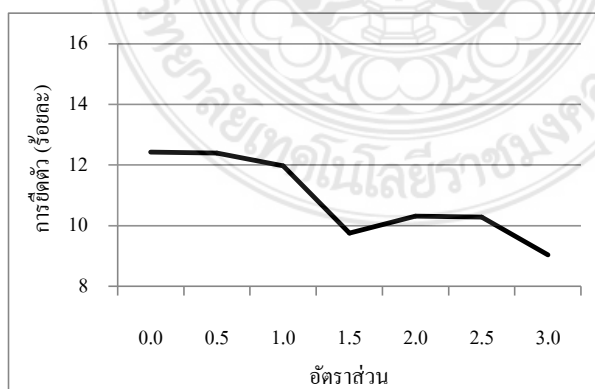
รูปที่ 13 ความแข็งของแผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ



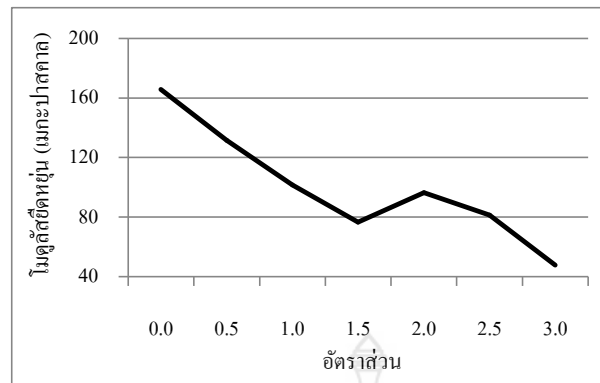
รูปที่ 14 แรงดึงของแผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ



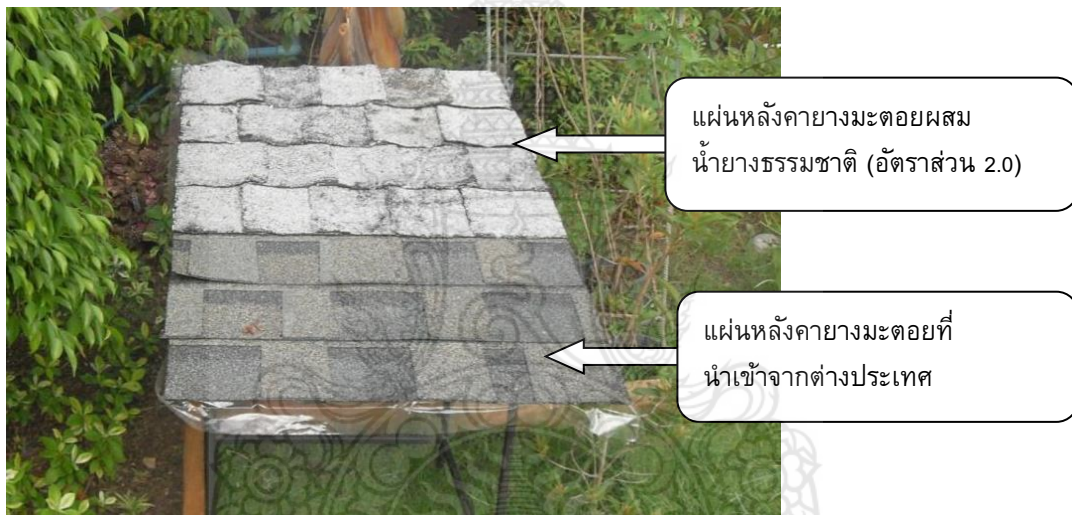
รูปที่ 15 ความต้านทานแรงดึงของแผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ



รูปที่ 16 การยืดตัวของแผ่นยางมะตอยผสมยางธรรมชาติ



รูปที่ 17 โมดูลัสยึดหยุ่นของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 18 การติดตั้งหลังคาซึ่งเกิดรูปจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับหลังคาซึ่งเกิดรูปทั่วไป

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ว่า ลักษณะของแผ่นหลังคาอย่างมะตอยชนิด PMA ทั้งที่ผสมและไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่เนื้อของแผ่นยางมะตอยส่วนๆ มีลักษณะที่ละเอียดมากกว่าแผ่นยางมะตอยที่ผสมน้ำยางธรรมชาติ เห็นได้จากพื้นผิวของแผ่นยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติที่มีสีออกขาวๆ เป็นพื้นที่ใหญ่มากกว่าแผ่นยางมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติ ดังรูปที่ 5 ถึง 11 ส่วนการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงของยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ ด้วยการเผา 2 ชั่วโมง จากอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ 225.81 องศาเซลเซียส ในรูปที่ 12 พบว่า น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างลดลงไป ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นน้ำหนักก็เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิประมาณ 250 ถึง 400 องศาเซลเซียส จนถึงช่วงที่กราฟแสดงที่อุณหภูมิ 485.04 องศาเซลเซียส น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างได้ลดลงเป็นร้อยละ 26.75 โดยน้ำหนัก แสดงว่า ยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานเป็นหลังคายานอกอาคาร ในส่วนของการทดสอบความแข็งแรงนั้น (รูปที่ 13) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำยางธรรมชาติลงไปยางมะตอย จากร้อยละ 0.0 ถึงร้อยละ 1.5 ส่งผลให้ความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 50.33 เป็น 57.67 แต่เมื่อผสมจนถึงอัตราส่วนร้อยละ 2.0 ค่าความแข็งแรงกลับลดลงใกล้เคียงกับยางมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติ และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผสมมากกว่า ร้อยละ 2.5 สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงและการขีดตัวในรูปที่ 14 ถึง 16 แรงดึงสูงสุดที่รับได้ของแผ่นยางมะตอยที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรง กล่าวคือ



เมื่อผสมน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่แรงดึงสูงสุดที่ได้กลับมีค่าลดลง โดยค่าการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาด (Elongation at Break) และโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติ (รูปที่ 17) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าแรงดึงสูงสุดและความต้านทานแรงดึง คือ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการผสมน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น และเมื่อนำหลังคาชิงเกิ้ลรูฟหรือหลังคาของ PMA จากงานวิจัยไปใช้งานจริงเปรียบเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป ดังรูปที่ 18 เห็นได้ว่า การติดตั้งหลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากยางมะตอยผสมน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 2.0 เปรียบเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป หลังคาที่พัฒนาสามารถใช้งานได้และมีข้อได้เปรียบหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป คือ หลังคามีความแน่นหนายึดเกาะกันเองได้ดี ดูแข็งแรงทนทาน และสวยงามตามแบบหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ ไม่มีการเสื่อมสภาพของกาวที่นำมาใช้เชื่อมแผ่นให้ติดกัน แตกต่างกับหลังคาในตลาดที่กาวอาจหมดอายุหรือเสื่อมสภาพได้

สรุป

การใช้ยางมะตอยชนิด PMA เป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร โดยการผสมยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางธรรมชาติ ไม่เกินร้อยละ 2.0 ขึ้นรูปด้วยการดัดที่อุณหภูมิ ไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส เสริมความแข็งแรงและตกแต่งพื้นผิวด้วยแผ่นเส้นใยและเกล็ด สามารถใช้งานเป็นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟได้ดีเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด แต่แผ่นหลังคาที่พัฒนาขึ้นสามารถยึดเกาะระหว่างแผ่นที่ดีกว่าหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีเพียงพอต่อการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน. บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- [2] กรมทางหลวง, 2544. แผนงานการใช้ยางธรรมชาติในงานทางหลวง พ.ศ. 2544-2545 และข้อคิดเห็นของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการพิจารณา ของคณะกรรมการกลั่นกรอง เรื่อง เสนอคณะรัฐมนตรี คณะที่ 5. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- [3] Barlow, Fred W., 1993. Rubber Compounding : Principles, Materials, and Techniques. Second Edition.
- [4] พงษ์ธร แซ่ฮุย และชาคริต สิริสิงห, 2548. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อความร้อนและความต้านทานต่อโอโซนของยางผสม NR/EPDM, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ปทุมธานี.
- [5] Matsuda Takatsugu, Arakawa Harunori, Nakagawa Toru, Matsumura Katsumi และ Nishikawa Ryoichi, 1988. JPO Patent Application No.63-256644 (Waterproofing by use of Thin Stone Plate with Non-vulcanized Butyl Lining). Filed 12 October 1988.
- [6] Soudai Kimitoyo and Kasuga Yoshinobu, 1999. JPO Patent Application No.11-026860 (Asphalt Roofing and Sand Therefor). Filed 4 February 1999.
- [7] American Society for Testing and Materials, 2012. ASTM D2 240 : Standard Test Method for Rubber Property_ Durometer Hardness. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- [8] American Society for Testing and Materials, 2012. ASTM D412 : Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.



คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

- ☐ การประดิษฐ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์
☒ อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ 2535
และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่

วันรับคำขอ	เลขที่คำขอ
วันยื่นคำขอ	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
แผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพริ้วคาลาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย	3.1 สัญชาติ	ไทย
	3.2 โทรศัพท์	0 2282 9009, 08 8274 0869
	3.3 โทรสาร	0 2282 9009
	3.4 อีเมลล์	choositpakamas765@gmail.com

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☒ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน(ถ้ามี)/ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์) ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวิโร ที่อยู่ เลขที่ 8/3 หมู่ที่ 8 ถนนพุทธรักษา ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10280 ประเทศไทย	5.1 ตัวแทนเลขที่	2262
	5.2 โทรศัพท์	08 1199 4705
	5.3 โทรสาร	0 2549 4032
	5.4 อีเมลล์	siam_macho@hotmail.com

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 1381 ถ.พินุลสงคราม
 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10800 และ ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวิโร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
 รัตนบุรี เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก คลองหก อำเภอรัตนบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศไทย

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
 ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร
 เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่าจะระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียด
เพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

- 5 สาขาวิศวกรรมวัสดุที่เกี่ยวข้องกับแผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

- ขนาดโครงสร้างอาคารมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักจากวัสดุก่อสร้าง (น้ำหนักบรรทุกคงที่) และน้ำหนักใช้งาน (น้ำหนักบรรทุกจร) ปัจจุบันนิยมลดน้ำหนักวัสดุก่อสร้างจำพวก 10 วัสดุก่อผนังกันมาก โดยเปลี่ยนจากคอนกรีตบล็อก อิฐก่อสร้างสามัญ (อิฐมอญ) มาเป็นอิฐมวลเบา ซึ่งช่วยให้ขนาดโครงสร้างเล็กลงได้ แต่สำหรับน้ำหนักของหลังคากลับไม่ค่อยให้ความสำคัญมากนัก ทั้งนี้หลังคาที่มีน้ำหนักเบาและเป็นที่นิยมกันในประเทศ คือ “หลังคayangมะตอย” หรือที่รู้จักกันในชื่อ “หลังคาชิงเกิ้ลวูฟ” เป็นหลังคาที่มีน้ำหนักเบาเพียง 18 กิโลกรัม ในขณะที่หลังคาทั่วไปหนักมากกว่า 100 กิโลกรัม สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว พื้นผิวสวยงามเป็นธรรมชาติ
- 15 ในประเทศไทยมีการนำเข้าหลังคาชนิดนี้จากประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากไม่มีผู้ผลิตภายในประเทศ ซึ่งแตกต่างจากหลังคาชนิดอื่นที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาหลังคayangมะตอยขึ้นจากวัตถุดิบภายในประเทศ โดยใช้ยางมะตอยชนิด PMA เป็นวัสดุหลัก พร้อมทั้งปรับปรุงวัสดุเสริมแรง แผ่นกันซึม และพัฒนาผิวหน้าด้วยหินเกล็ดธรรมชาติที่เหมาะสมกับ ภูมิอากาศและมีอยู่ในประเทศไทย ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydro 20 Carbon) ได้มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม โดยยางมะตอยจะเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่หนักที่สุด ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ Asphaltenes เป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเกือบดำ ลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นตัวทำให้เกิดความข้นหนืดในแอสฟัลต์, Asphaltic เป็นของแข็งที่มีสีน้ำตาลแก่ เป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อนทำให้น้ำที่ช่วยให้ Asphaltenes กระจายตัวในแอสฟัลต์, และ Oily Constituents เป็นส่วน 30 ของน้ำมันเหลวไว้สี
- ทั้งนี้ การที่ยางมะตอยได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางนั้น เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญ คือ เป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี (Good Binder) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวัสดุต่างๆ ให้ติดกัน เช่น การผสมยางมะตอยกับหินย่อย เพื่อใช้ทำผิวจราจรต่างๆ เป็นต้น, ป้องกันน้ำซึมผ่าน (Good Waterproofing) เมื่อวัสดุเคลือบด้วยยางมะตอยแล้ว โอกาสที่น้ำจะซึมผ่านจะเป็นไปได้ยาก, ใช้ความร้อนแล้วกลายเป็น 30 ของเหลว (Liquid) อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลงคุณสมบัตินี้จะทำให้สามารถนำยางมะตอยมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น เช่น การทำถนน เมื่อทำใหยางมะตอยเหลวก็สามารถผสมยางมะตอยกับวัสดุ

ต่างๆ ได้ดี และเมื่อลาดยางแล้วจะเย็นลงจนเกิดการแข็งตัว และทนทานคงสภาพดินฟ้าอากาศ (Aging Resistance) จึงเหมาะกับการใช้งานกลางแจ้ง

การใช้ยางมะตอยชนิด PMA ผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เป็นหลังคาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร จึงเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุผงหลังคาที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง นอกจากนี้ หลังคายางมะตอยที่พัฒนา ยังมีการนำน้ำยางธรรมชาติที่กำลังประสบปัญหาด้านราคาตกต่ำ มาใช้ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของหลังคายางมะตอยให้ดีขึ้น ซึ่งจะเป็นแนวทางการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ และช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับราคายางและเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ลักษณะของแผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ประกอบด้วย ยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt), น้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์, แผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth แบบสองทาง, และหินเกล็ด โดยมีกรรมวิธีการผลิต เริ่มจากการผสมยางมะตอยชนิด PMA และน้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ด้วยความร้อน แล้วนำส่วนผสมที่ได้เทหรือฉีดพ่นลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth ปรับความหนาให้เรียบสม่ำเสมอ และโรยหินเกล็ดลงบนผิวหน้า แล้วกดทับจนหินเกล็ดจมลงเหลือเพียงผิวด้านบน ได้แผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ เพื่อใช้เป็นแผ่นหลังคาน้ำหนักเบา สำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย และอุตสาหกรรมการก่อสร้างทั่วไป

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

แผ่นหลังคายางมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ มีส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิต ดังนี้

ก. ทำการคัดขนาดหินเกล็ดให้มีขนาด 1.00 – 2.38 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้างตะแกรงเบอร์ 18)

ข. ละลายยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) ในภาชนะด้วยอุณหภูมิ 140 – 160 องศาเซลเซียส จนยางมะตอยชนิด PMA เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว

ค. เติมน้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ ปริมาณ 0.015 – 0.030 ส่วนโดยน้ำหนักของยางมะตอยชนิด PMA ใส่ลงในยางมะตอยชนิด PMA ที่ละลายแล้ว จากนั้นทำการกวนผสมจนเข้ากัน ภายในระยะเวลา 2 นาที

ง. ตัดแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth แบบสองทาง มาวางและยึดลงในแบบหล่อหลังคายางที่มีความหนาตามต้องการ

จ. เทหรือฉีดพ่นส่วนผสมระหว่างยางมะตอยชนิด PMA และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth ที่เตรียมไว้ พร้อมอัดให้มีความหนาเท่ากัน ภายในเวลา 1 นาที หลังจากเทหรือฉีดส่วนผสม

ฉ. รอยหินเกล็ดที่คัดขนาดแล้วลงบนแผ่นส่วนผสมที่ปรับให้เรียบ แล้วจึงกดอัดหินเกล็ดให้จมลงไป
โดยเหลือไว้เพียงพื้นผิวด้านบนของหินเกล็ดเท่านั้น

ช. รอให้ส่วนผสมเย็นตัวและจับตัวแข็ง ได้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วลคาไนซ์

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

5

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์



ข้อถือสิทธิ

1. แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ มีส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิต ดังนี้

ก. ทำการคัดขนาดหินเกล็ดให้มีขนาด 1.00 – 2.38 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้างตะแกรงเบอร์ 18)

5 ข. ละลายยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) ในภาชนะด้วยอุณหภูมิ 140 – 160 องศาเซลเซียส จนยางมะตอยชนิด PMA เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว

ค. เติมน้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ ปริมาณ 0.015 – 0.030 ส่วนโดยน้ำหนักของยางมะตอยชนิด PMA ใส่ลงในยางมะตอยชนิด PMA ที่ละลายแล้ว จากนั้นทำการกวนผสมจนเข้ากัน ภายในระยะเวลา 2 นาที

10 ง. ตัดแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth แบบสองทาง มาวางและยึดลงในแบบหล่อหลังคayangที่มีความหนาตามต้องการ

จ. เทหรือฉีดส่วนผสมระหว่างยางมะตอยชนิด PMA และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth ที่เตรียมไว้ พร้อมอัดให้มีความหนาเท่ากัน ภายในเวลา 1 นาที หลังจากเทหรือฉีดส่วนผสม

15 ฉ. โรยหินเกล็ดที่คัดขนาดแล้วลงบนแผ่นส่วนผสมที่ปรับให้เรียบ แล้วจึงกดอัดหินเกล็ดให้จมลงไป โดยเหลือไว้เพียงพื้นผิวด้านบนของหินเกล็ดเท่านั้น

ช. รอให้ส่วนผสมเย็นตัวและจับตัวแข็ง ได้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์



บทสรุปการประดิษฐ์

แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต เป็นการนำยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt), น้ำยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์, แผ่นเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass cloth แบบสองทาง, และหินเกล็ด มาผ่านกรรมวิธีการผลิต เริ่มจากการผสมยางมะตอยชนิด PMA และน้ำ 5 ยางธรรมชาติชนิดพรีวัลคาไนซ์ด้วยความร้อน แล้วนำส่วนผสมที่ได้เทหรือฉีดพ่นลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ ชนิด E-glass cloth ปรับความหนาให้เรียบสม่ำเสมอ และโรยหินเกล็ดลงบนผิวหน้า แล้วกดทับจนหินเกล็ด จมลงเหลือเพียงผิวด้านบน ได้แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สำหรับใช้เป็นหลังคาของ บ้านพักอาศัย และอุตสาหกรรมการก่อสร้างทั่วไป



หนังสือสัญญาโอนสิทธิขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

เขียนที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล

เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

วันที่ 10 กันยายน 2558

สัญญาระหว่างผู้โอน คือ **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา** ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10800 ประเทศไทย และ **ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวิโร** ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110 ประเทศไทย โดยมีผู้รับโอน คือ **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร** โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์ ตำแหน่ง อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย

โดยสัญญานี้ ผู้โอนซึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์ **แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต** ขอโอนสิทธิในการประดิษฐ์ดังกล่าว ซึ่งรวมถึงสิทธิขอรับอนุสิทธิบัตรและสิทธิอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้แก่ผู้รับโอน โดยผู้รับโอนได้จ่ายค่าตอบแทนที่เหมาะสมให้แก่ผู้โอน

เพื่อเป็นพยานหลักฐานแห่งการนี้ ผู้โอนและผู้รับโอนได้ลงลายมือชื่อไว้ข้างล่างนี้

(ลงชื่อ)	ผู้โอน	(ลงชื่อ)	ผู้โอน
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหาร ดีปัญญา)		(ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวิโร)
		(ลงชื่อ)	ผู้รับโอน
			(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)
(ลงชื่อ)	พยาน	(ลงชื่อ)	พยาน
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล)		(ดร.ผกามาศ ชูสิทธิ์)

หนังสือมอบอำนาจ

ข้าพเจ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์ ตำแหน่ง อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อยู่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 399 ถนนสามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10300 ประเทศไทย ขอมอบหมายและแต่งตั้งให้ **ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร** (ตัวแทนสิทธิบัตรเลขที่ 2262) ที่อยู่ เลขที่ 8/3 หมู่ที่ 8 ถนนพุทธรักษา ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10280 ประเทศไทย เป็นตัวแทนและผู้รับมอบอำนาจของข้าพเจ้าอันแท้จริง และชอบด้วยกฎหมายเพื่อข้าพเจ้าและในนามข้าพเจ้าให้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรและให้ได้มาซึ่งสิทธิบัตร ภายใต้ชื่อ **“แผ่นหลังคayangมะตอยผสมน้ำยางพริ้วลคาไนซ์ และกรรมวิธีการผลิต”** ให้อำนาจการประดิษฐ์การออกแบบผลิตภัณฑ์สิทธิบัตรและคำขอรับสิทธิบัตรต่างๆ และเพื่อความประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วในนามของข้าพเจ้า ให้ลงนามและยื่นบรรดาหนังสือและเอกสารทั้งหมดซึ่งตัวแทนผู้รับมอบอำนาจ ในฐานะดังที่ได้กล่าวมาแล้วอาจคิดเห็นว่าเป็นการจำเป็นหรือพึงต้องการ ให้เปลี่ยนแปลงแก้ไขและเพิกถอนคำขอรับสิทธิบัตรและเอกสารต่างๆ เช่นว่ามานั้น ให้ไปปฏิบัติการ ณ สถานที่ราชการหรือ ณ ที่อื่นใด ให้ต่อสู้หรือป้องกันคำขอและสิทธิบัตรให้พ้นจากการปฏิเสธการคัดค้านหรือการขัดขวางใดๆ ให้ยื่นคำร้องคัดค้านและคำอุทธรณ์ ให้ชำระค่าธรรมเนียมทั้งหลายทั้งปวง และให้แต่งตั้งตัวแทนช่วงภายใต้อำนาจของตัวแทนผู้รับมอบอำนาจเพื่อกระทำการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือกระทำการทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น และให้มีอำนาจยกเลิกการแต่งตั้งตัวแทนช่วงได้ตามอำเภอใจเช่นเดียวกัน และโดยหนังสือนี้ข้าพเจ้าขอยืนยันและให้สัตยาบันรับรองทุกสิ่งทุกอย่างที่ตัวแทนของข้าพเจ้าหรือตัวแทนช่วงอาจได้กระทำไปโดยชอบด้วยกฎหมายอาศัยอำนาจแห่งหนังสือนี้

ลงวันที่ ณ วันที่ 10 กันยายน 2558

(ลงชื่อ)

ผู้มอบอำนาจ

(รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์)

(ลงชื่อ)

ผู้รับมอบอำนาจ

(ว่าที่ร้อยเอกกิตติพงษ์ สุวีโร)

(ลงชื่อ)

พยาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิहार ดีปัญญา)

(ลงชื่อ)

พยาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วีรานุกูล)