นวัตกรรมหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตจากยางธรรมชาติ
Innovation of rubber cap for covering concrete block from natural rubber

ภัณฑิลา ภูมิระเบียบ[1],อรสา อ่อนจันทร์[1*]
Pantila Poomrabeab[1], Orasa Onjun[1*]

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต เป็นการผสมผสานกันระหว่างคอนกรีตและยาง โดยการนำยางพารามาทำเป็นหมวกเพื่อไปคลุมบนบล็อกคอนกรีต ก็จะได้บล็อกแบบใหม่ที่มีความแข็งแรงเหมือนกับบล็อกคอนกรีต แต่มีความสวยงามและปลอดภัยเหมือนกับบล็อกยาง บล็อกปูพื้นแบบใหม่นี้เรียกว่า "เซฟตี้บล็อก" (Safety Block) ซึ่งสามารถใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำหมวกยางคลุมบล็อกคอนกรีต ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานของบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) ได้สูตรยางที่เหมาะสมคือ ยางแท่ง STR 5L 100 phr แคลเซียมคาร์บอเนต 50 phr ไวท์เคลย์ 50 phr น้ำมันพาราฟิน 5 phr ซิงค์ออกไซด์ 5 phr กรดสเตียริค 3 phr สารป้องกันการเสื่อมสภาพ 5 phr ซีบีเอส 1 phr ทีเอ็มทีดี 0.5 phr กำมะถัน 3 phr สี 5 phr ไขพาราฟิน 2 phr และเพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงได้เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต 5 phr สารป้องกันแบคทีเรีย 0.5 phr และสารป้องกันเชื้อรา 0.5 phr ซึ่งผลของการทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่าผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตที่ได้มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 ดังนี้ ความแข็ง 56 ชอร์เอ ความต้านแรงดึง 14.7 เมกะปาสคาล ความยืดเมื่อขาดร้อยละ 570 การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่งเพิ่มขึ้น 2 ชอร์เอ การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่งลดลงร้อยละ 13 และการเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่งลดลงร้อยละ 9 ความต้านต่อการขัดสี 246 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ความทนต่อโอโซนไม่เปลี่ยนแปลง มอดุลัสกดอัด 0.96 เมกะปาสคาล และความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งสภาวะที่เกรย์เสกลระดับ 3-4

Abstract

Rubber cap for covering concrete block is a combination of concrete and rubber blocks called "Safety Block". For this product, a concrete block serves as a base and a rubber block provides a soft and elastic surface on the top can be used in both indoor and outdoor environments. This research is to find the best formula for making rubber cap for covering concrete block and its property must meet all criteria of the industrial standard number TIS2348-2551. The best compound formulation found in the research is; rubber 100 phr, Calcium carbonate 50 phr, White clay 50 phr, Paraffinic oil 5 phr, Zinc oxide 5 phr, Steric acid 3 phr, Antioxidant 5 phr, CBS 1 phr, TMTD 0.5 phr, Sulfur 3 phr, color 5 phr, Paraffin wax 2 phr, and added UV protection 5 phr, anti-fungal 0.5 phr and anti-bacterial 0.5 phr for more efficient use of the outdoor environment. The test results from the best formula found that the product meets all criteria of the industrial standard number TIS 2378-2551 that is, hardness (56 Shore A), tensile strength (14.7 MPa), elongation at break (570%), hardness changed after aging increase 2 Shore A, tensile strength changed after aging decrease 13% and elongation at break changed after aging decrease 9%, abrasion resistance (246 mm^3), good Ozone resistance, compressive strength (0.96 MPa), and level 3-4 grey scale Q.U.V. weathering resistance.

คำสำคัญ : บล็อกคอนกรีต, หมวกยาง
Keywords : Concrete Block, Rubber Cap,

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
*Corresponding author E-mail address : orasa@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันนิยมใช้บล็อกคอนกรีตในการปูพื้นแทนการเทคอนกรีตกันอย่างกว้างขวางทั้งลานเอนกประสงค์ ทางเท้า ลาดจอดรถ สนามเด็กเล่น สนามกีฬา เนื่องจากมีความสวยงาม สามารถเปลี่ยนแปลงปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย และสะสมความร้อนน้อยกว่าการเทคอนกรีต ในขณะที่บล็อกยางปูพื้น (1) มีความสวยงามและปลอดภัยมากกว่า แต่ก็ยังมีการใช้งานค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีราคาแพงกว่าหลายเท่า จึงเกิดแนวคิดที่จะทำหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ซึ่งเป็นบล็อกที่มีการผสมผสานข้อดีของยางและคอนกรีตเข้าด้วยกัน และยังเป็นการลดปริมาณยางที่ใช้ให้น้อยลง แต่บล็อกที่ได้ยังคงมีความนุ่มนวลเหมือนกับบล็อกยาง อีกทั้งยังมีความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งเป็นข้อดีกว่าบล็อกยางล้วนๆ การประกอบเป็นรูปร่างต่างๆ และการใช้งานจะมีความมั่นคงสม่ำเสมอและสวยงามมากกว่า และที่สำคัญที่สุดคือหมวกยางที่สวมบนบล็อกคอนกรีตสามารถถอดเปลี่ยนใหม่ได้เมื่อใช้งานไปจนเสื่อมสภาพแล้ว ซึ่งจะทำให้ได้ลวดลายใหม่และความสวยงามกลับมาเหมือนเดิม ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่ต้องการทั้งความปลอดภัย ความสวยงาม ความทนทาน และราคาที่เหมาะสม ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงมีศักยภาพในทางการตลาดสูง

ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสูตรผสมของยางและสารเคมี เพื่อให้ได้สูตรยางคอมปาวด์ที่ดีที่สุดในการผลิตหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) (2) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงที่สุด เนื่องจากหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังไม่มีมาตรฐานรองรับ และมาตรฐานอื่นๆ ที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้ ISO 815:2008 (การคืนตัวภายหลังการถูกกด) ASTM D570-98 (อัตราการดูดซึมน้ำ) ASTM D792-00 (ความหนาแน่น) ISO 3417:2008 (ระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป) ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8 (การลดลงของแรงกระแทก) ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9 (การยุบตัวในแนวตั้ง) และ BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2 (แรงเสียดทานของพื้นผิว)

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ยางและสารเคมี

2.1.1 ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR 5L บริษัทไทยฮั้วชุมพรยางพารา จำกัด

2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3, 4Q (MCE11)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.3 ไวท์เคลย์ (White Clay, China clay S-400 (MFA70)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.4 ฮาร์ดเคลย์ (Hard clay, Microbrite FH100 (MFA80)) บริษัทโพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด

2.1.5 สารช่วยให้ยางนิ่ม (Paraffinic oil (rubber process oil P-30)) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, Zinc white seal KS-5) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.7 กรดสเตียริค (Stearic acid (Beads)) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.8 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Ionol®LC) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.9 N-cyclohexyl-benzothiazy sulfonamide (CBS, Vulsator CBS (P)) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.10 Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.11 กำมะถัน (sulphur, S) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.12 สีน้ำเงินแผ่น NO.524 / สีเหลืองแผ่น NO.333 / สีแดงแผ่น NO.112 ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี

2.1.13 สารเสริมความต้านทานต่อโอโซน (ไขพาราฟิน, Paraffin wax) บริษัทเคมลู้บ อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.1.14 สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (Tinuvin) ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี

2.1.15 สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย (Irgaguard B5000, silver-zeolite) บริษัทโกบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

2.1.16 สารป้องกันเชื้อรา (Irgaguard F3000) บริษัทโกบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน)

2.2 ออกสูตรยางคอมปาวด์ (3) ออกสูตรยางคอมปาวด์สำหรับทำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต จากสูตรยางพื้นฐาน (ตารางที่ 1) โดยการศึกษาผลของปริมาณสารเคมี (4) ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง ดังนี้ (รูปที่ 1)

(1) ศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป (vulcanizing agent หรือ curing agent) คือ กำมะถัน

(2) ศึกษาผลของปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่ม (plasticizers) คือ น้ำมันพาราฟิน

(3) ศึกษาผลของอัตราส่วนสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (vulcanization accelerators) ระหว่าง (CBS:TMTD)

(4) ศึกษาผลของชนิดของสารตัวเติม (fillers) ระหว่าง แคลเซียมคาร์บอเนต, ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์

(5) เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และสารป้องกันเชื้อรา เพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น

(6) ศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งของยาง โดยการปรับปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต และไวท์เคลย์

(7) ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็ง ความทนต่อโอโซน และความต้านต่อการขัดสี โดยการปรับปริมาณไขพาราฟิน น้ำมันพาราฟิน และกำมะถัน

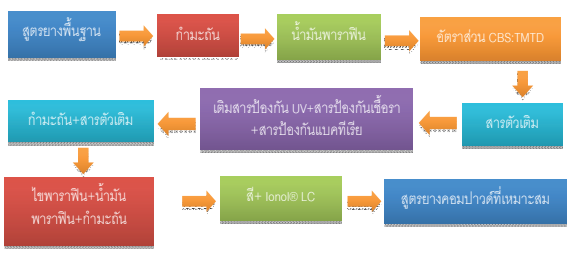
(8) ศึกษาเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง

การบดผสมยางและสารเคมี (5) กระทำในเครื่องบดผสมระบบปิด (internal mixer; YFM Serial No. 0241) และเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two-roll mill; YFM Serial No. 0242) จากนั้นนำยางที่ผสมสารเคมีที่ได้มาวัดลักษณะการคงรูป เพื่อหาระยะเวลาการคงรูป (ระยะเวลาสกอร์ช; ts2 และระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป; t'90) ที่อุณหภูมิ160°C ด้วยเครื่องวัดการคงรูปของยาง (moving die rheometer; TECH PRO/rheoTECH MD+) ตามวิธี ISO 3417:2008 แล้วจึงใช้เวลาการคงรูปที่หาได้มาเป็นแนวทางในการเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยใช้แม่พิมพ์และเครื่องอัดไฮดรอลิคพร้อมแผ่นความร้อน (hydraulic press with heated plates; YFM Serial No. 0138)

2.3 ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลในห้องปฏิบัติการเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติทางกายภาพจากสูตรยางคอมปาวด์ทุกสูตรจากการปรับปรุงสูตร เพื่อทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength, ISO 37:2005) ความยืดเมื่อขาด (elongation at break, ISO 37:2005) ความแข็ง (hardness, ASTM D2240-05) การบ่มเร่งด้วยความร้อนที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (aging at 70oC/72h., ISO 188:1998) ความต้านต่อการขัดสี (abrasion resistance, ISO 4649:2002) ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ (weathering resistance,

ตารางที่ 1 สูตรยางพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปพัฒนาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตต่อไป

สาร	สูตรยางพื้นฐาน, phr
ยางแท่ง STR 5L	100
สารตัวเติม	Variable
สารช่วยให้ยางนิ่ม	5
ซิงค์ออกไซด์	5
กรดสเตียริค	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1
ทีเอ็มทีดี	0.5
ซีบีเอส	1
กำมะถัน	2
สี	5
สารเสริมความต้านทานต่อโอโซน	5



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกสูตรยางคอมปาวด์ โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีต่างๆ

ASTM G154-05) การคืนตัวภายหลังการถูกกด (compression set at 70oC/22 h, ISO 815:2008) อัตราการดูดซึมน้ำ (water absorption, ASTM D570-98) ความหนาแน่น (density, ASTM D792-00) และค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว (skid resistance, BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2) และทำยางคอมปาวด์จากสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดแล้วทดสอบสมบัติต่างๆให้ครบถ้วนตาม มอก. 2378-2551 (ตารางที่ 2)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตที่มีความทนทาน ยืดหยุ่น ช่วยลดแรงกระแทกและมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร จึงได้ทำการทดลองออกสูตรยางคอมปาวด์แต่ละสูตรโดยการปรับปรุงปริมาณยางและสารเคมียาง (6) (ตารางที่ 3) แล้วนำมาขึ้นรูปเพื่อทดสอบระยะเวลาสกอร์ช ระยะ

ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานของสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้น ตามมาตรฐาน มอก. 2378-2551

สมบัติ	มอก. 2378-2551	
	เกณฑ์มาตรฐาน	วิธีทดสอบ
ความแข็ง, ชอร์เอ	56-65	ASTM D 2240-05
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	6	ISO 37:2005
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	200	ISO 37:2005
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่ง, ชอร์เอ	$\frac{+5}{-4}$	ISO 188:1998
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	± 25	ISO 188:1998
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-50	ISO 188:1998
ความต้านต่อการขัดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	250	ISO 4649:2002
ความทนต่อโอโซน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ISO 1431-1:2004
มอดุลัสกดอัด, เมกะปาสคาล	7.0 (min)	ISO 7743:2004
ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	ระดับ 3	ASTM G 154-05

2.4 ทดสอบผลิตภัณฑ์

จากยางคอมปาวด์สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการปรับปรุงสูตร ทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตปูบริเวณลานจอดรถ แล้วทดสอบสมบัติภาคสนามต่างๆ ได้แก่ ค่าการลดลงของแรงกระแทก (Force reduction; ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8) ค่าการยุบตัวในแนวตั้ง (Vertical deformation; ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9) ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว (skid resistance; BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2) ความแข็ง (hardness; ASTM D2240-05) เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้งานได้จริง

เวลาการคงรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ค่าความต้านแรงดึง และค่าความยืดเมื่อขาด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4 เพื่อการเปรียบเทียบ ปรับปรุงสูตรส่วนผสม และคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 บล็อกยางปูพื้น ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตารางที่ 3 สูตรยางและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป สารช่วยให้ยางนิ่ม สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และสารตัวเติม

สาร	ปริมาณ (phr)							
	RC01	RC02	RC03	RC04	RC05	RC06	RC07	RC08
ยางแท่ง STR 5L	100	100	100	100	100	100	100	100
แคลเซียมคาร์บอเนต	50	50	50	50	50	50	50	100
ไวท์เคลย์	50	50	50	50	50	50	-	-
ฮาร์ดเคลย์	-	-	-	-	-	-	50	-
น้ำมันพาราฟิน	10	10	10	2.5	5	10	10	10
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5
กรดสเตียริค	3	3	3	3	3	3	3	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ซีบีเอส	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
ทีเอ็มทีดี	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5
กำมะถัน	1	2	3	2	2	2	2	2
สี	1	1	1	1	1	1	1	1
ไขพาราฟิน	5	5	5	5	5	5	5	5

ตารางที่ 4 ผลของสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป สารช่วยให้ยางนิ่ม สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และสารตัวเติม

สมบัติ	RC01	RC02	RC03	RC04	RC05	RC06	RC07	RC08
ระยะเวลาสกอร์ช (ts_2) ที่ 160°C, นาที	2.64	2.24	2.03	2.29	2.13	2.22	4.63	2.25
ระยะเวลาการคงรูป (t'90) ที่ 160°C, นาที	4.38	3.64	3.01	4.12	4.55	3.59	4.58	4.63
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	16.4	16.2	16.1	13.9	15.7	16.0	13.2	12.9
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	625	539	506	539	543	540	568	567

3.1 ศึกษาผลของปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูปที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบสารทำปฏิกิริยาการคงรูป คือ กำมะถัน ที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 phr ดังแสดงในตารางที่ 3 สูตร RC01, RC02 และ RC03 ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าปริมาณกำมะถันเพิ่มมากขึ้นจาก 1, 2 และ 3 phr เวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงพบว่ามีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ดีเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มสูงขึ้นถึง 3 phr ค่าความยืดเมื่อขาดลดลง ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดร่วมกันแล้วพบว่า สูตร RC 02 (กำมะถันเท่ากับ 2 phr) เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

3.2 ศึกษาผลของปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่มที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่มคือ น้ำมันพาราฟิน ที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ 2.5, 5 และ 10 phr ดังแสดงในตารางที่ 3 สูตร RC04, RC05 และ RC02 ตามลำดับ จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าปริมาณน้ำมันมากจะทำให้การบดผสมง่ายขึ้น ส่งผลให้สารเคมีต่างๆ สามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง เมื่อเปรียบเทียบยางทั้ง 3 สูตร พบว่าสูตร RC02 ใช้ระยะเวลาในการคงรูปสั้นกว่าสูตร RC04 และ

RC05 นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาความต้านแรงดึงของชิ้นตัวอย่างทั้ง 3 สูตร พบว่า ค่าความต้านแรงดึงของสูตร RC02 สูงกว่า RC05 และ RC04 ตามลำดับ ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตร RC02 ที่มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 10 phr

3.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

ส่วนนี้เป็นการทดลองหาค่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปที่เหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง CBS:TMTD เท่ากับ 0.5:1 phr (สูตร RC02) และ 1:0.5 phr (สูตร RC06) ดังตารางที่ 3 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เวลาในการทำให้ยางคงรูปและความต้านแรงดึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจาก CBS เป็นตัวเร่งปฐมภูมิ (primary accelerator) และ TMTD จัดเป็นตัวเร่งทุติยภูมิ (secondary accelerator) สูตร RC06 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสม

3.4 ศึกษาผลของชนิดของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

การทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารตัวเติม ระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบสารตัวเติมทั้งสามระบบคือ แคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ (สูตร RC06), แคลเซียมคาร์บอเนตกับฮาร์ดเคลย์ (สูตร RC07) และ แคลเซียมคาร์บอกเนต (สูตร RC08) พบว่าสูตร RC06 ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ในประมาณชนิดละ 50 phr ให้ผลเวลาในการทำให้ยางคงรูปสั้นที่สุด และความต้านแรงดึงดีที่สุด ดังนั้นสูตร RC06 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

3.5 เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และสารป้องกันเชื้อรา

การนำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตไปใช้งานจริงยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่เกิดจากแบคทีเรียและเชื้อราอีกด้วย เนื่องจากแบคทีเรียที่เพาะตัวอยู่บนพื้นผิวของยางอาจทำให้พื้นยางลื่น ส่วนเชื้อราก็อาจทำให้ยางมีสีดำ ไม่สวยงาม ดังนั้น จากสูตร RC06 ซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุดในขณะนี้ จึงเติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณ 5 phr สารป้องกันเชื้อแบคทีเรียและสารป้องกันเชื้อราในปริมาณอย่างละ 0.5 phr (สูตร RC09) แล้วทำการปรับปรุงค่าสมบัติต่างๆ ของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551 ตารางที่ 5 แสดงสูตรยางที่มีการปรับปรุงค่าสมบัติความแข็ง ความทนต่อโอโซน ความต้านต่อการขัดสี และสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง และผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ จากการปรับปรุงค่าสมบัติดังกล่าว แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สูตรยางและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน มอก.2378-2551

สาร	ปริมาณ (phr)							
	RC09	RC10	RC11	RC12	RC13	RC14	RC15	RC16
ยางแท่ง STR 5L	100	100	100	100	100	100	100	100
แคเซียมคาร์บอเนต	50	50	75	75	50	50	50	50
ไวท์เคลย์	50	50	75	75	50	50	50	50
น้ำมันพาราฟิน	10	10	10	10	10	5	5	5
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5
กรดสเตียริค	3	3	3	3	3	3	3	3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	5
ซีบีเอส	1	1	1	1	1	1	1	1
ทีเอ็มทีดี	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
กำมะถัน	2	5	2	5	2	2	3	3
สี	1	1	1	1	1	1	1	5
ไขพาราฟิน	5	5	5	5	2	2	2	2
สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต	5	5	5	5	5	5	5	5
สารป้องกันแบคทีเรีย	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
สารป้องกันเชื้อรา	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ตารางที่ 6 ผลของสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางเพื่อให้ผ่านเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน มอก.2378-2551

สมบัติ	RC09	RC10	RC11	RC12	RC13	RC14	RC15	RC16
ระยะเวลาสกอร์ช (ts_2) ที่ 160°C, นาที	3.33	2.22	3.24	2.39	2.01	1.73	1.63	1.38
ระยะเวลาการคงรูป (t'90) ที่ 160°C, นาที	5.23	4.80	5.82	5.26	3.72	3.55	3.18	3.11
ความแข็ง, ชอร์เอ	48	52	53	56	49	52	58	56
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	15.7	13.3	12.9	9.0	15.1	15.9	16.8	14.7
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	599	497	555	599	570	546	580	570
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่ง, ชอร์เอ	51	58	57	59	51	53	59	60
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-12	-40	-19	-14	-18	-22	-21	-13
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-12	-30	-14	-36	-14	-15	-14	-9
ความทนต่อการขัดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	253	249	316	314	267	278	241	246
ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	3-4	3	2	2	3-4	3	3	3-4
แรงเสียดทานของพื้นผิว	0.49	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.45	0.47
การคืนตัวภายหลังการถูกกด, ร้อยละ	18.9	24.8	21.7	18.3	29.0	27.0	24.2	18.9
อัตราการดูดซึมน้ำ, ร้อยละ	0.184	0.134	0.120	0.180	0.218	0.242	0.189	0.140
ความหนาแน่น, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	1.319	1.333	1.456	1.456	1.329	1.346	1.319	1.346

3.6 ศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งของยาง โดยการปรับปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต และไวท์เคลย์

หลังจากใส่สารเคมีในข้อ 3.5 แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางสูตร RC09 เพิ่มขึ้นจากเดิม (ตารางที่ 4) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าความแข็งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดตาม มอก. 2378-2551 จึงได้ทำการปรับปรุงค่าสมบัติความแข็งของยางคงรูป โดยการเพิ่มปริมาณกำมะถัน พร้อมๆ กับปรับปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ จากตารางที่ 5 พบว่าสูตร RC10 ซึ่งเป็นสูตรดัดแปลงของ RC09 โดยการเพิ่มปริมาณกำมะถันจาก 2 เป็น 5 phr ส่วนสูตร RC11 เพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ จากเดิมอย่างละ 50 เป็น 75 phr และสูตร RC12 เป็นการเพิ่มทั้งปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ในขณะเดียวกัน

ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มปริมาณกำมะถันเป็น 5 phr (สูตร RC10) ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลง ส่วนยางสูตร RC11 ที่เพิ่มปริมาณสารแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์นั้น จะมีค่าระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร RC09 และสูตร RC12 ที่เพิ่มทั้งปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์มีค่าเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลงเมื่อเปรียบเทียบสูตร RC11 ดังนั้นสรุปได้ว่า ปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปลดลง แต่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ที่เพิ่มขึ้นกลับเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป

เมื่อพิจารณาสมบัติค่าความแข็งที่เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงสูตรขณะนี้พบว่า ยางคงรูปสูตรปรับปรุงทั้งสามมีค่าความแข็งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือสูตร RC10, RC11, RC12 เท่ากับ 52, 53 และ 56 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับ มอก. 2378-2551 พบว่าสูตร RC12 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

อย่างไรก็ดียางทั้งสามสูตร (RC10, RC11, RC12) มีค่าความต้านแรงดึงต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางสูตรที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของสารดังกล่าวจะทำให้ปริมาณเนื้อยางในชิ้นทดสอบลดลงหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ การลดลงของสมบัติเชิงกลจากผลของการเจือจาง (dilution effect) แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับมอก. 2378-2551

ผลการทดสอบยังแสดงถึงอิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเติมที่มีต่อค่าความทนต่อการขัดสี โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันขึ้นความทนต่อการขัดสีของยางมีค่าสูงขึ้นและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและไวท์เคลย์ค่าความทนต่อการขัดสีลดลงซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะที่ตรวจวัดด้วยเกรย์สเกลของยางสูตรปรับปรุงทั้งสามสูตร (RC10, RC11, RC12) ลดลง เมื่อเทียบกับมาตรฐานพบว่า สูตร RC11 และ RC12 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดลองโดยรวมพบว่า ยางสูตรที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต และไวท์เคลย์ลงไปในยางนั้นไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ถึงแม้ว่าค่าความแข็งของยางคงรูปที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่สมบัติทางกลส่วนใหญ่ดังที่กล่าวข้างต้นมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นยางสูตร RC09 ยังเป็นสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดในขณะนี้

3.7 ศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติความแข็ง ความทนต่อโอโซน และความต้านต่อการขัดสี โดยการปรับปริมาณไขพาราฟิน น้ำมันพาราฟิน และกำมะถัน

เนื่องจากแผ่นยางคงรูปที่ได้จากสูตร RC09 มีคราบขาวของไขพาราฟิน ซึ่งเป็นสารที่ป้องกันยางทำปฏิกิริยากับโอโซนตกค้างอยู่บนพื้นผิวของแผ่นยาง จึงได้ลดปริมาณไขพาราฟินลงจาก 5 เป็น 2 phr (สูตร RC13) นอกจากนั้นค่าความแข็งและค่าความทนต่อการขัดสี ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด จึงทำการลดปริมาณน้ำมันพาราฟิน ตามสูตร RC14 และ RC15 เพื่อเพิ่มค่าความแข็งและความทนต่อการขัดสี

จากการทดลองพบว่ายางสูตร RC15 ใช้ระยะเวลาการคงรูปสั้นที่สุด คือ 3.18 นาที นั่นคือการลดปริมาณไขพาราฟินและน้ำมันพาราฟิน รวมทั้งเพิ่มปริมาณกำมะถันมีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปของยางคอมปาวด์ ค่าความแข็งของยางเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้คือ RC09<RC13<RC14<RC15 การลดปริมาณน้ำมันพาราฟินและไขพาราฟินส่งผลให้ค่าความแข็งของยางสูตร RC13 และ RC14 สูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การเพิ่มปริมาณกำมะถันจาก 2 เป็น 3 phr ร่วมกับการลดปริมาณน้ำมันพาราฟิน ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางสูตร RC15 มีค่าความแข็งเท่ากับ 58 ชอร์เอ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของ มอก. 2378-2551

นอกจากนั้นยางสูตร RC15 มีผลของค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ดีกว่ายางสูตร RC09 ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่ายางสูตร RC15 นี้มีค่าความทนต่อการขัดสีที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน คือต่ำกว่า 250 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ส่วนค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 ตรงตามมาตรฐานเช่นกัน โดยสรุปพบว่า ยางสูตร RC15 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดและมีค่าสมบัติต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน มอก. 2378-2551 ทุกประการ

3.8 ศึกษาเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง

ส่วนนี้เป็นการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยางสูตร RC15 ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดขณะนี้ โดยการเพิ่มสีและสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง (Ionol®LC) ดังสูตร RC16

ผลการเปรียบเทียบสมบัติยางต่างๆระหว่างยางสูตร RC16 และ RC 15 ดังนี้ ยางสูตร RC 16 ใช้ระยะเวลาการคงรูปน้อยกว่า มีค่าความแข็งลดลงแต่ผลการทดสอบก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และยางคงรูปที่ได้มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน โดยเห็นได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนลดลง นอกจากนั้นค่าความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะโดยวัดจากสีระบบเกรย์สเกลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกด้วย อย่างไรก็ดีโดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่าสูตร RC16 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าสมบัติเบื้องต้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2378-2551

หลังจากได้สูตรยางที่เหมาะสมแล้ว เตรียมยางคอมปาวด์ (สูตร RC16) เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ให้ครบถ้วน

ตามที่ มอก.2378-2551 กำหนด ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 7 จากผลการทดสอบในตารางจะเห็นได้ว่าค่าสมบัติต่างๆ ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน มอก.2378-2551 ทั้งหมด ยกเว้น ค่ามอดุลัสกดอัด (compressive modulus) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งค่านี้ชี้ถึงการทนทานต่อการกดอัดของชิ้นงานหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต อย่างไรก็ตามเนื่องจากหมวกยางฯ ที่ใช้มีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตร ซึ่งบางมาก ดังนั้นแรงกดอัดส่วนใหญ่จะถูกกระทำบนฐานบล็อกคอนกรีตที่มีความแข็งแรงมาก ดังนั้นมอดุลัสกดอัดที่ต่ำของหมวกยางจึงมีผลกระทบทางลบน้อยมากต่อชิ้นงานหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตโดยรวม กระแทกอยู่ที่ร้อยละ 15 นั่นคือผลิตภัณฑ์หมวกยางสวมบล็อกคอนกรีตสามารถลดแรงกระแทกเมื่อเกิดอุบัติเหตุได้ถึงร้อยละ 15 ของแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจริงบนพื้นคอนกรีต นับว่าปลอดภัยอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับคนชราและเด็ก นอกจากนั้นผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มยังช่วยไม่ให้เกิดแผลถลอกเหมือนการล้มบนพื้นคอนกรีตอีกด้วย ส่วนค่าการยุบตัวในแนวตั้งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานพื้นลู่-ลานกรีฑากำหนดไว้ นั่นคือไม่ยุบตัวมากเกินไปและไม่แข็งจนไม่สามารถยุบตัวได้ ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิวก็เป็นอีกสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากควรจะมีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด เพราะถ้าแรงเสียดทานของพื้นผิวมากเกินไปทำให้พื้นผิวฝืดยากต่อการเคลื่อนที่ผ่าน

ตารางที่ 7 สรุปผลสมบัติของผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่เตรียมจากสูตรยางที่ดีที่สุดตามมาตรฐาน มอก. 2378-2551

สมบัติ	มอก. 2378-2551	
	หมวกยาง	เกณฑ์มาตรฐาน
ความแข็ง, ชอร์เอ	56	56-65
ความต้านแรงดึง, เมกะปาสคาล	14.7	6
ความยืดเมื่อขาด, ร้อยละ	570	200
การเปลี่ยนแปลงความแข็งหลังบ่มเร่ง, ชอร์เอ	+2	$\frac{+5}{-4}$
การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-13	± 25
การเปลี่ยนแปลงความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง, ร้อยละ	-9	-50
ความต้านต่อการขัดสี, ลูกบาศก์มิลลิเมตร	246	250
ความทนต่อโอโซน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
มอดุลัสกดอัด, เมกะปาสคาล	0.96	7.0 (min)
ความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะ, เกรย์สเกล	ระดับ 3-4	> ระดับ 3

เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการทดสอบการใช้งานจริงภาคสนาม โดยทำผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตต้นแบบ (รูปที่ 2) และทดลองใช้จริงบริเวณลาดจอดรถยนต์ บริษัท สยามซีแพคบล็อก จำกัด (รูปที่ 3) แล้วทดสอบสมบัติภาคสนามต่างๆ ได้แก่ ค่าการลดลงของแรงกระแทก ค่าการยุบตัวในแนวตั้ง ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว และค่าความแข็ง ผลการทดสอบในตารางที่ 8 พบว่า ค่าการลดลงของแรงและถ้าน้อยจนเกินไปก็จะลื่นหกล้มได้ง่าย ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์หมวกยางสวมบล็อกคอนกรีตเท่ากับ 0.59 อยู่ในช่วงที่มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น ฉบับ JRMA T0301 (7) กำหนดไว้ ส่วนค่าความแข็งอยู่ในช่วงที่ มอก. 2378-2551 กำหนดคือ 55-64 shore A

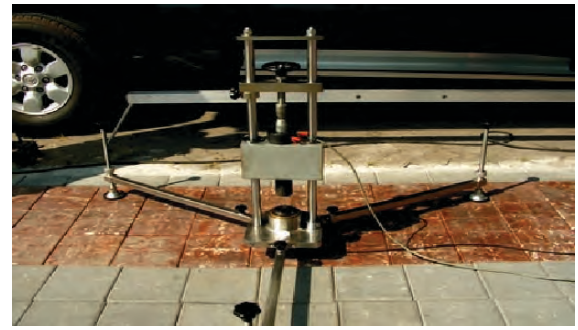
ตารางที่ 8 ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพื้นผิวผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

สมบัติ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน	มาตรฐานทดสอบ
ค่าการลดลงของแรงกระแทก, ร้อยละ	15	50-25 (พื้นยางหนา 13 มม.)	ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.8
ค่าการยุบตัวในแนวตั้ง, มิลลิเมตร	1.7	0.5-3.0	ASTM F2157-02 หัวข้อ 6.9
ค่าแรงเสียดทานของพื้นผิว	0.59	0.4-0.9	BS 812:Part 114 หัวข้อ 5.2
ความแข็ง, shore A	58	56-65	ASTM D 2240-05

หมวกยาง บล็อกคอนกรีต ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต

รูปที่ 3 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพื้นผิวผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต



การตรวจสอบสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์หมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีตเมื่อใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง พบว่าผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาพดี มีการยึดเกาะที่ดีระหว่างหมวกยางและบล็อกคอนกรีต เกิดการซีดจางของสีของหมวกยางส่วนที่รับแสงแดดเป็นเวลานาน เนื้อยางแข็งขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1-2 สเกลชอร์เอ ไม่มีการเกิดขึ้นของแบคทีเรียและเชื้อรา มีคราบสกปรกจากฝุ่นและคราบต่างๆ แต่สามารถล้างและขัดออกได้ง่ายด้วยน้ำ

4. สรุป (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสูตรผสมของยางและสารเคมี เพื่อให้ได้สูตรยางคอมปาวด์ที่ดีที่สุดในการผลิตหมวกยางสำหรับคลุมบล็อกคอนกรีต ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบล็อกยางปูพื้น (มอก. 2378-2551) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นการผสมผสานข้อดีของยางและคอนกรีตเข้าด้วยกัน คือความนุ่มนวล สวยงามของยางและความแข็งแรงของคอนกรีต ทำให้ผู้ใช้ได้ทั้งความปลอดภัย ความสวยงาม และความทนทาน

จากการปรับปรุงปริมาณสารทำปฏิกิริยาการคงรูป (กำมะถัน 1, 2 และ 3 phr) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการคงรูป ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดร่วมกันแล้ว พบว่ายางสูตรที่มีกำมะถัน 2 phr เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ในขณะที่ปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่ม (น้ำมันพาราฟิน 2.5, 5 และ 10 phr) มากจะทำให้การบดผสมง่ายขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการคงรูปสั้นกว่า และค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าอีกด้วย สูตรยางที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตกับไวท์เคลย์ในประมาณชนิดละ 50 phr ให้ผลเวลาในการทำให้ยางคงรูปสั้นที่สุด และความต้านแรงดึงดีที่สุดเมื่อเทียบระหว่างสารตัวเติมอื่นๆ (แคลเซียมคาร์บอเนต ไวท์เคลย์ และฮาร์ดเคลย์) เพื่อให้การใช้งานภายนอกอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้เติมสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (5 phr) สารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย (0.5 phr) และสารป้องกันเชื้อรา (0.5 phr) เนื่องจากมีคราบขาวของไขพาราฟินตกค้างอยู่บนพื้นผิวของแผ่นยางจึงได้ลดปริมาณไขพาราฟินลงจาก 5 เป็น 2 phr พร้อมกับลดปริมาณน้ำมันพาราฟิน (จาก 10 เป็น 5 phr) และเพิ่มปริมาณกำมะถัน (จาก 2 เป็น 3 phr) ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดดีขึ้น ความทนต่อการขัดสีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 250 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และความคงทนของสีต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งภาวะเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 ตรงตามมาตรฐาน เพิ่มปริมาณสี (จาก 1 เป็น 5 phr) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Ionol®LC, จาก 1.5 เป็น 5 phr) เพื่อปรับปรุงสีและสมบัติการต้านการเสื่อมสภาพของยาง ทำให้ได้ยางคอมปาวด์ที่ใช้ระยะเวลาการคงรูปน้อยที่สุดและมีค่าสมบัติต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน มอก. 2378-2551 ทุกประการ

ดังนั้นสูตรยางที่เหมาะสมที่สุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ ยาง (100 phr) แคลเซียมคาร์บอเนต (50 phr) ไวท์เคลย์ (50 phr) น้ำมันพาราฟิน (5 phr) ซิงค์ออกไซด์ (5 phr) กรดสเตียริค (3 phr) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (5 phr) ซีบีเอส (1 phr) ทีเอ็มทีดี (0.5 phr) กำมะถัน (3 phr) สี (5 phr) ไขพาราฟิน (2 phr) สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (5 phr) สารป้องกันแบคทีเรีย (0.5 phr) และสารป้องกันเชื้อรา (0.5 phr)

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ บริษัท สยามซีแพคบล็อก จำกัด สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย นอกจากนั้นยังขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือด้านการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์

6 เอกสารอ้างอิง (References)

(1) พายับ นามประเสริฐ. การทำผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็วด้วยยางพารา.กรุงเทพมหานคร: กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2545, หน้า 1-53.

(2) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. บล็อกยางปูพื้น. มอก.2378. 2551.

(3) นิตยา รัตนโสม. เทคโนโลยียางพื้นฐาน : เทคโนโลยีการออกสูตรยาง. นครปฐม: มหาวิทยาลัย

มหิดล(ศาลายา), 2548, หน้า 39-81.

(4) นุชนาฏ ณ ระนอง. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2550, หน้า 206-218.

(5) วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีโน พับลิชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด, 2552, หน้า 131-144.

(6) วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีโน พับลิชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด, 2552, หน้า 52-100.

(7) THE JAPAN RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION. JRMA T0301: 2003. Rubber braille block.