



รายงานการวิจัย

การเตรียมคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

Preparation of crumb rubber filled concrete

นางสาวสุวิมล เทียกทุม

สาขาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2564

รหัสโครงการสัญญา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

Preparation of crumb rubber filled concrete

นางสาวสุวิมล เทียกทุม

สาขาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนโดย งบประมาณส่วนตัว

ประจำปีงบประมาณ 2564

(ก)

ชื่องานวิจัย	การเตรียมคอนกรีตที่เติมยางครัมป์
ผู้วิจัย	สุวิมล เทียกทุม
ผู้ร่วมวิจัย	ชัยวุฒิ วัคจิง
สาขาวิชา	สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีเสรีจวิชัย 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมบล็อกปูพื้นลดแรงกระแทก โดยมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ คอนกรีตที่เติมยางครัมป์ ยางชั้นยึดติด และยางชั้นรับแรงกระแทก ซึ่งในงานวิจัยศึกษา 2 ส่วน คือ คอนกรีตที่เติมยางครัมป์และยางชั้นยึดติด โดยศึกษาผลของยางครัมป์ที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์และผลของปริมาณเถ้าลอยต่อสมบัติของยางชั้นยึดติด จากการทดลองพบว่า คอนกรีตมีความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของทราย มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด (156.32 kg/cm^2) สำหรับการทดสอบสมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติมพบว่า MH – ML เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น แต่ ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (TS2) และ ระยะเวลาการคงรูป (TC90) ค่อนข้างคงที่ และการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางชั้นยึดติด พบว่า ความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และการกระเดื่องกระดอนมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติมไม่สามารถยึดติดกันทางเคมีกับคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ จึงต้องออกแบบลักษณะของยางชั้นยึดติดให้สามารถยึดติดกับคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ได้ในทางกายภาพ

คำสำคัญ : ยางครัมป์, บล็อกปูพื้น, คอนกรีต, เถ้าลอย

Title Preparation of crumb rubber filled concrete

Author Suwimon Thiakthum
Chaiwute Vudjung

Branch Production Engineering and Management, Phetchabun Rajabhat University
Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University
2021

Abstract

This research aimed to study the preparation of shock-reducing paving blocks. Typically, the paving blocks are made of concrete mixed with three different materials, namely crumb rubber, bonded rubber, and shock-absorbing rubber. This research focused on studying the effects of crumb rubber on the characteristics of concrete and the impact of fly ash content on the properties of bonded rubber. The tests showed that concrete had less density and compressive strength when the crumb rubber content increased. The concrete with 10% crumb rubber content by sand weight had the highest compressive strength (156.32 kg/cm²). The vulcanization test of bonded rubber using fly ash as a filler revealed that M_H-M_L increased when the fly ash content increased. However, the scorch time (T_{S_2}) and cure time ($T_{C_{90}}$) of the rubber were somewhat stable. The mechanical properties test of bonded rubber found that tensile strength, elongation at break, and rebound resilience tended to decrease; on the other hand, the hardness appeared to increase when the fly ash content became greater. However, the bonded rubber with fly ash as a filler could not be chemically bonded with the concrete mixed with crumb rubber. Consequently, it is advisable to design the characteristics of bonded rubber to be physically adhesive to concrete mixed with crumb rubber.

Key words: Crumb rubber, Shock-reducing paving blocks, Portland cement, Fly ash

(ค)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณาใช้เครื่องมือทดสอบและให้คำปรึกษาแนะนำให้แก่ผู้วิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวสุวิมล เทียกทุม และคณะ

25 มีนาคม 2565

(ง)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คอนกรีตบล็อก.....	4
2.2 ปูนซีเมนต์และคอนกรีต.....	7
2.3 ยางครัมป์หรือยางผง	8
2.4 ยางธรรมชาติ.....	9
2.5 เถ้าลอย	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	13
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	13
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	15

(จ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	20
4.1 ผลของยางครัมป์ที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์.....	20
4.2 ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อสมบัติของยางชั้นยึดติด.....	23
4.3 การยึดติดระหว่างยางชั้นยึดติดและคอนกรีตที่เติมยางครัมป์.....	28
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	30
บรรณานุกรม.....	31
ประวัติคณะผู้วิจัย.....	33

(จ)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การประยุกต์ใช้งานของยางพาราในประเทศไทย..... 9
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 13
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 13
3.3	อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์..... 15
3.4	สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการเตรียมยางชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระทำ 16
4.1	สมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย.... 24

(ช)

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะของบล็อกรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก..... 4
2.2	ลักษณะบล็อกรีดบนแบบทึบและแบบโปร่ง 4
2.3	มิติและการเชื่อมประสานของบล็อกรีดพื้นแบบคดกริช (UNI-PAVE)..... 5
2.4	การเตรียมส่วนผสมของบล็อกรีดพื้น..... 5
2.5	การขึ้นรูปบล็อกรีดพื้น..... 6
2.6	โครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติ (cis-1,4-polyisoprene) 9
3.1	แบบหล่อลูกบาศก์คอนกรีตขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร 17
3.2	ชั้นทดสอบรูปดัมเบล die C..... 18
4.1	มิติและส่วนประกอบของบล็อกรีดพื้น 20
4.2	ความหนาแน่นของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์..... 21
4.3	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ 21
4.4	สัณฐานวิทยาของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ 23
4.5	ความทนทานต่อแรงดึงของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณ เถ้าลอย 25
4.6	ระยะยึด ผน จูดาของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย..25
4.7	ความแข็งแรงของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย 26
4.8	การกระเด็นกระดอนของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณ เถ้าลอย 26
4.9	สัณฐานวิทยาของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย 27
4.10	การหดตัวของคอนกรีตออกจากผิวของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติม 28
4.11	มิติและขนาดของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติม 29
4.12	ภาพตัดขวางของบล็อกรีดพื้น 29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัลคาไนซ์เป็นกระบวนการที่ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลและมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่ยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วจะมีสมบัติเป็นเทอร์โมเซตที่ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ได้ ทำให้การรีไซเคิลหรือการนำผลิตภัณฑ์ยางกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก อีกทั้งยางยังจัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยาก ดังนั้นขยะที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ยางเก่าจึงก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกวิธี ปัญหาที่เกิดจากขยะยางก็จะมีมากขึ้นตามปริมาณการใช้ยางที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากขยะที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ยางเก่าแล้ว เศษยาง (Scrap) หรือยางตายที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต (ส่วนใหญ่จะมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 3-15) ถือเป็นปัญหาหลักอีกอย่างหนึ่งของผู้ประกอบการ เพราะการกำจัดขยะจากเศษยางต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่สามารถนำขยะยางกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจจากทั้งผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยางเองและจากนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั่วโลก ส่วนการนำขยะยางกลับไปแปรรูปใหม่นั้นเป็นวิธีที่ทำได้ค่อนข้างยากเพราะต้องทำลายโครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่เกิดจากการวัลคาไนซ์ของโมเลกุลยางก่อน ซึ่งการทำลายโครงสร้างตาข่ายดังกล่าวแม้ว่าจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถนำยางไปแปรรูปหรือขึ้นรูปใหม่ได้อีกครั้ง แต่ต้องทราบด้วยว่ายางที่ได้จากการรีไซเคิลนั้นส่วนใหญ่จะมีสมบัติที่ด้อยกว่ายางใหม่ค่อนข้างมาก วิธีการกำจัดขยะยางในปัจจุบันมี 5 วิธี คือ การนำไปถมที่ การใช้เป็นเชื้อเพลิง การสลายตัวทางความร้อน (Pyrolysis) การแปรรูปให้เป็นยางผง และการรีเคลม [1]

ยางผงหรือยางครัมป์ (Crumb rubber) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำขยะยาง เช่น ยางล้อเก่า และเศษยางที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ไปผ่านกระบวนการบดโดยใช้เครื่องมือเชิงกลต่างๆ ปัจจุบันได้มีการนำยางผงที่ได้จากการรีไซเคิลไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยาง นำไปใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในพลาสติก นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรีเคลมและยางเทอร์โมพลาสติก รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมโยธา ยางผงมีการนำไปใช้เป็นสารตัวเติมทั้งในอุตสาหกรรมยางล้อและในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แผ่นยาง และบล็อกยางปูพื้น พรมปูพื้น ยางบังโคลน แผ่นยางรองใต้พรม แผ่นยางชั้นล่างของลู่วิ่งลาน

กรีทาหรือสนามเทนนิส ท่อยาง แผ่นปูพื้นสำหรับคอกปลุสัตว์ กระถางต้นไม้ยางกันกระแทกทำเรือ พื้นรองเท้า แผ่นฉนวนกันเสียง การประยุกต์ใช้ยางดังกล่าวมีจุดประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ลดต้นทุนการผลิต คัดแปรหรือปรับปรุงสมบัติเฉพาะบางประการของผลิตภัณฑ์ และลดมลพิษโดยการนำเอาขยะยางกลับมาใช้ใหม่ [1]

แม้ว่ายางผงจัดเป็นวัสดุที่มีราคาแพงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นที่ใช้ในงานโยธา เช่น หิน ดิน หรือยางมะตอย แต่ก็มีการนำไปใช้งานอย่างหลากหลายในงานวิศวกรรมโยธา เพราะยางผงมีสมบัติเฉพาะที่ทำให้งานโยธาดีขึ้น แม้ว่าการเติมยางผงอาจทำให้ต้นทุนในช่วงเริ่มต้นสูงขึ้น แต่ช่วยให้ค่าบำรุงรักษาลดลง ซึ่งส่งผลดีในระยะยาว [1] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะนำยางครัมป์มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต โดยนำยางครัมป์มาผสมกับคอนกรีต โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นตัวประสาน (Binder) สำหรับข้อดีของการใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานนั้น คือ มีความง่ายในการทำงาน ไม่ต้องการความร้อนหรือสารเคมีอื่นๆ ในการช่วยทำ ทำให้ผลผลิตที่ได้มีต้นทุนต่ำ ความคงทนของปูนซีเมนต์ในแง่ความสามารถในการต้านทานความร้อนนั้นสูงและปูนซีเมนต์นั้นไม่ละลายหรือเปลี่ยนรูปเมื่อโดนความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมคอนกรีตที่มียางครัมป์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของยางครัมป์ที่มีต่อสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเตรียมชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เติมยางครัมป์และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระแทก

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- 1.3.3 ดำเนินการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย
 - 1.3.3.1 จัดหายางครัมป์ขนาด 20 mesh และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
 - 1.3.3.2 จัดเตรียมแม่พิมพ์ลูกบาศก์ขนาด 100 มม. x 100 มม. x 100 มม.
- 1.3.4 ผสมปูนซีเมนต์โดยการแทนที่ด้วยยางครัมป์ที่ปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, และ 60 โดยน้ำหนัก บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน

1.3.5 การทดสอบสมบัติของชิ้นตัวอย่าง

1.3.5.1 การทดสอบหาความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C128

1.3.5.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของชิ้นตัวอย่างลูกบาศก์ตามมาตรฐาน ASTM C349-82

1.3.5.3 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วย SEM

1.3.6 รวบรวม วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินการวิจัย

1.3.7 สถานที่ทำการทดลองเก็บข้อมูล ณ สาขาวิชา เทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ความยืดหยุ่นของยางจะสามารถทำให้คอนกรีตที่ได้ มีความเหนียว ไม่แตกหักง่าย อีกทั้งยังมีความอ่อนนุ่มที่พื้นผิว สามารถดูดซับพลังงานได้ดี และมีน้ำหนักเบา

1.4.2 ได้ชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เดิมยางครีမ်และยางชั้นรับแรงกระแทก เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สำหรับเด็กและผู้สูงอายุ

บทที่ 2

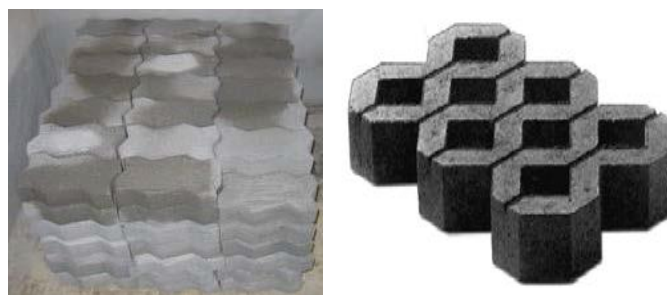
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตบล็อก [4, 5]

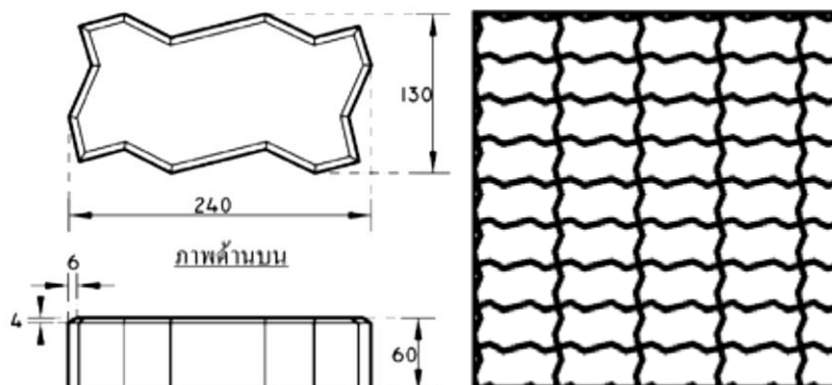
คอนกรีตบล็อก (Concrete Block) เป็นวัสดุก่อสร้างที่ทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และมวลรวมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ โดยมีน้ำทำหน้าที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในปูนซีเมนต์ จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปตามความต้องการใช้งาน โดยต้องบ่มเพื่อให้เกิดการพัฒนากำลังรับแรงอัดประมาณ 7 – 14 วัน คอนกรีตบล็อกที่ทำการผลิตนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกชนิดที่รับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ซึ่งคอนกรีตบล็อกแบบชนิดรับน้ำหนักจะมีลักษณะเป็นแท่งผิวเรียบ มีรูตรงกลางในแนวดิ่ง ส่วนแบบที่ไม่รับน้ำหนัก (Screen Block) จะเป็นบล็อกที่มีลักษณะเป็นลวดลาย เมื่อทำการก่อแล้วสามารถที่จะเกิดเป็นลวดลายหรือให้เหตุผลผ่านดังแสดงในรูปที่ 2.1 นอกจากนั้น มีการนำส่วนผสมดังกล่าวผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ บล็อกปูถนน (Paving Block) หรือเรียกอีกอย่างว่าคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น



รูปที่ 2.1 ลักษณะของบล็อกชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก [4]



รูปที่ 2.2 ลักษณะบล็อกปูถนนแบบทึบและแบบโปร่ง [4]



รูปที่ 2.3 มิติและการเชื่อมประสานของบล็อกปูพื้นแบบคดกริช (UNI-PAVE) [4]

2.1.1 การเตรียมบล็อกปูพื้น

ตวงสัดส่วนที่กำหนดโดยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1:3 และสัดส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.3 – 0.4 จากนั้นผสมให้เข้ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยสังเกตจากการที่มีซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวมวลรวมอย่างสม่ำเสมอจากนั้นขึ้นรูปบล็อกปูพื้นโดยใช้เครื่องอัดแบบมือโยกดังแสดงในรูปที่ 2.5 และนำก้อนตัวอย่างผึ่งเพื่อให้บล็อกปูพื้นแข็งตัวเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบ่มต่อโดยการรดน้ำ เช้า เย็น จนครบกำหนด



รูปที่ 2.4 การเตรียมส่วนผสมของบล็อกปูพื้น [4]



รูปที่ 2.5 การขึ้นรูปบล็อกปูพื้น [4]

2.1.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกปูพื้น

2.1.2.1 สิ่งแวดล้อม

พื้นที่ทั่วไปทุกประเภทมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติซึ่งอาจจะมีอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญ กล่าวคือ อุณหภูมิจะเป็นสาเหตุหลักของการขยายตัว หดตัวและโก่งตัวในแผ่นพื้นคอนกรีต การป้องกันผลการกระทบเหล่านี้ต้องอาศัยการเสริมกำลังและรอยต่อที่เหมาะสมในกรณีพื้นแอสฟัลต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความแข็งแรงของพื้นลดลง ข้อได้เปรียบของบล็อกปูพื้นคือไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ เพราะการขยายตัวของพื้นบล็อกน้อยกว่าแอสฟัลต์ และพื้นที่ 1.5 - 2.5% ของพื้นบล็อกปูพื้นจะประกอบด้วยรอยต่อซึ่งมากเพียงพอสำหรับการขยายตัว

2.1.2.2 การแอ่นตัวของพื้น

ในพื้นที่คอนกรีตและพื้นแอสฟัลต์ต้องจำกัดการแอ่นตัวที่พื้นผิวโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวของผิว เนื่องจากพื้นบล็อกปูพื้นมีรอยต่อระหว่างก้อนจึงไม่มีผลกระทบเกี่ยวกับการแตกร้าวเนื่องจากการแอ่นตัวเหมือนพื้นประเภทอื่น

2.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกปูพื้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 [5] กำหนดคอนกรีตบล็อก ชนิดความหนาชั้นผิวหน้าไม่น้อยกว่า 5 มม. ความหนา 6 ซม. มีความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 35 MPa. (ประมาณ 350 กก./ตร.ซม.) และความหนา 10 ซม. มีความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 40 MPa. (ประมาณ 400 กก./ตร.ซม.)

2.2 ปูนซีเมนต์และคอนกรีต [6, 7]

2.2.1 ซีเมนต์

ตามความหมายของการใช้งานทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ บิทูมินัส (Bituminous) และนอนบิทูมินัส (Nonbituminous) โดยบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ ยางมะตอย (Asphalts) และ น้ำมันยาง (Tars) โดยยางมะตอย หรือน้ำมันยางใช้เป็นตัวประสานหิน หรือกรวดในการทำผิวถนน นอกจากนี้ ยังใช้บิทูมินัสซีเมนต์ผสมกับหิน ทราย รวดทำผิวถนน และเรียกส่วนผสมนี้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete) สำหรับนอนบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ อะลูมินาซีเมนต์ (Alumina cement) และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland cement) มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนต้องผสมน้ำปริมาณมากพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งจึงจะแข็งตัว จะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (Hydraulic cement) ทั้งนี้เพราะต้องใช้น้ำผสม และแข็งตัวในน้ำได้ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด โดยทั่วไป กระบวนการผลิตมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบผสมเหลว (Wet process) และแบบผสมแห้ง (Dry process)

2.2.1.1 แบบผสมเหลว

วัตถุดิบคือ ดินขาว หรือปูนมาร์ล (Marl or calcium carbonate) ดินเหนียว (Clay) และดินคำ ผสมวัตถุดิบทั้งสามชนิดกับน้ำในบ่อตีดิน (Wash mill) กวนให้เข้ากันเรียกว่า น้ำดิน (Slushy) แล้วกรองเอาหินก้อนดินออก น้ำดินที่ละลายเข้ากันดีแล้วนำไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน ความร้อนในหม้อเผาประมาณ 2,500 – 3,000 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในน้ำดินระเหยกลายเป็นเม็ดปูนซีเมนต์ (Clinker) จากนั้นก็นำเม็ดปูนไปบด เติมยิปซัม (Gypsum) ลงไปเล็กน้อย เพื่อชะลอการแข็งตัวของซีเมนต์ใช้งาน หลังจากนั้นจะลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บซีเมนต์ผง (Cement silo) เพื่อรอการบรรจุลงถุงต่อไป

2.2.1.2 แบบผสมแห้ง

วิธีนี้ใช้วัตถุดิบสำคัญ 2 ชนิด คือ หินปูน (Limestone) และดินดาน (Shale) มาผสมกันให้ถูกส่วน แล้วนำไปบดให้เป็นผงละเอียดตามต้องการ ต่อไปจึงนำไปเก็บไว้เพื่อรอส่งไปเผาให้สุกเช่นเดียวกับแบบผสมเหลวในเตาเผาแบบหมุน และบดเป็นผงซีเมนต์อีกครั้ง แบบผสมแห้งเป็นวิธีที่ไม่ต้องการใช้น้ำเข้าผสม และวัตถุดิบที่ใช้ก็ต้องอยู่ในลักษณะแห้งด้วย

2.2.2 คอนกรีต

เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และ น้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อ

ผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่า การไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากผสม และยิ่งแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ คอนกรีตมีใช้กันในงานก่อสร้างหลายชนิด ซึ่งรวมถึง อาคาร ถนน เขื่อน สะพาน อนุสาวรีย์ และงานก่อสร้างต่างๆ คุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัดสูง ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณร้อยละ 10 ของแรงอัด) โดยเมื่อต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึง จะมีการเสริมวัสดุอื่นเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตโดยจะเรียกว่า คอนกรีตเสริมแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก (โดยเสริมแรงด้วยเหล็ก) วัสดุเหล่านี้จะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต ซึ่งงานโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่นิยมใช้คอนกรีตเสริมแรงแทนที่คอนกรีตเปลือย นอกจากนี้ ในงานก่อสร้างยังมีการใช้วิธีการที่เรียกว่า คอนกรีตอัดแรง โดยใส่แรงเข้าไปในคอนกรีตหล่อสำเร็จที่หล่อมาจากโรงงาน โดยเมื่อนำไปใช้งาน แรงที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตจะหักล้างกับน้ำหนักของตัวคอนกรีตเองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้คอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น โดยงานสะพานและทางยกระดับ นิยมใช้คอนกรีตอัดแรง

คอนกรีต จะมีสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ต่อหิน ดังนี้

1. สัดส่วน 1 : 1.5 : 3 จะเป็นงานเสาและโครงสร้าง
2. สัดส่วน 1 : 2 : 4 จะเป็นงานพื้น คาน
3. สัดส่วน 1 : 2.5 : 4 จะเป็นงานถนน ฐานราก

2.3 ยางครัมป์หรือยางผง (Crumb rubber) [1]

ยางผงหรือยางครัมป์ (Crumb rubber) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก การนำขยะยาง (เช่น ยางล้อเก่า เศษยางที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต) ไปผ่านกระบวนการบด โดยใช้เครื่องมือเชิงกลต่างๆ เช่น เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Granulator) เครื่องฟัลเวอร์ไรเซอร์ (Pulverizer) เครื่องบดกระแทก (Hammer mill) เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ทั้งนี้การบดสามารถทำได้ทั้งที่ อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปการบดที่อุณหภูมิห้องจะเหมาะกับการผลิตยางผงที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ ยางผงที่ได้จะมีรูปร่างที่ไม่เป็นระเบียบและมีพื้นผิวขรุขระ หากต้องการยางผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง จำเป็นต้องนำขยะยางไปผ่านเครื่องบดซ้ำหลายๆ รอบ ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ส่วนการบดที่อุณหภูมิต่ำนั้นเป็นวิธีการบดที่มีต้นทุนสูงเพราะต้องใช้ในโตรเจนเหลวปริมาณมาก วิธีนี้จึงเหมาะ

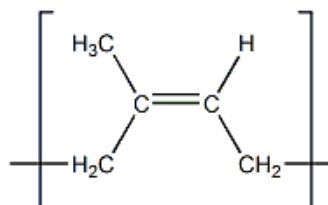
สำหรับการผลิตยางผงที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กเท่านั้น ยางผงที่ได้จากการบดด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ ปัจจุบันได้มีการนำยางผงที่ได้จากการรีไซเคิลไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยาง นำไปใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในพลาสติก นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรีเคลมและยางเทอร์โมพลาสติก รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธา

ตารางที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานของยางผงในประเทศสหรัฐอเมริกา

การใช้งาน	ปริมาณ (ร้อยละ)
วิศวกรรมโยธา	44
อุตสาหกรรมการผลิตยางล้อ	20
ผลิตยางรีเคลม	18
ทำลู่วิ่งลานกรีฑา	8
อุตสาหกรรมยางและพลาสติกอื่นๆ	10

2.4 ยางธรรมชาติ [8]

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบมีสูตรเคมี คือ C_5H_8 เป็น *cis*-1,4 polyisoprene ดังรูปที่ 2.6 มีน้ำหนักโมเลกุล 200,000 – 500,000 ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยางด้วยเล็กน้อย ได้แก่ โปรตีน น้ำตาล และกรดไขมัน ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญในการทำน้ำที่เป็นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ และเป็นสารกระตุ้นให้ยางคงรูป (Antioxidant and activator of cure) สำหรับธาตุบางชนิดที่อยู่ในยางธรรมชาติ ได้แก่ โพแทสเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัส ทองแดง และเหล็ก มีความสำคัญในการเป็นสารตัวเร่งการเสื่อมสภาพของยาง



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติ (*cis*-1,4-polyisoprene)

ยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกหรือสายโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เมื่อเกิดความเครียด (Strain crystallize) ซึ่งเป็นผลให้ยางมีความทนทานต่อการดึง และการฉีกขาด (Tensile strength and tear strength) นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังสามารถเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลได้ ณ อุณหภูมิต่ำ แต่การเติมสารเคมีต่างๆ มีผลทำให้ความสามารถนี้ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้กำมะถันมากกว่า 2.5 ส่วน ต่อ ยาง 100 ส่วน (Part per hundred of rubber; phr) เพื่อให้ยางคงรูป

การทำให้ยางธรรมชาติแข็งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่แข็งกระด้างและทนต่อสารเคมีได้โดยการทำให้คงรูปด้วยปริมาณกำมะถันมากกว่า 30 phr ซึ่งเรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า ebonite ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกมากระทำกับยางหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติติดเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

2.5 เถ้าลอย [9]

เถ้าลอย (Fly ash หรือ Pulverized) เป็นผลพลอยได้ (By-product) จากการเผาถ่านหินเพื่อเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ่านหินที่บดจะถูกเผาเพื่อเอาพลังงานความร้อน ถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงก้นเตา จึงเรียกว่าเถ้าก้นเตา (Bottom ash) ส่วนเถ้าถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึงประมาณ 200 ไมครอน จะลอยไปกับอากาศร้อนจึงเรียกว่าเถ้าลอย เถ้าลอยจะถูกดักจับฝุ่น (Electrostatic precipitation) เพื่อไม่ให้ออกไปกับอากาศร้อน เนื่องจากจะเป็นมลภาวะต่อพื้นที่โดยรอบบริเวณโรงไฟฟ้า

2.5.1 ชนิดของเถ้าลอย มาตรฐาน ASTM C618 แบ่งเถ้าลอยออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.5.1.1 เถ้าลอยชนิด F (Class F)

เป็นเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์ และบิทูมินัส มีปริมาณผลรวมของซิลิกา (Silica; SiO_2) และอลูมินา (Alumina; Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric oxide; Fe_2O_3) มากกว่าร้อยละ 70 โดยทั่วไปเถ้าลอยชนิด F มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide; CaO) ต่ำ ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เถ้าลอยแคลเซียมต่ำ สำหรับ SiO_2 มาจากแร่ดินเหนียวและควอร์ตซ์ ถ่านหินแอนทราไซต์และบิทูมินัสมีแร่ดินเหนียวสูงจึงให้เถ้าลอยที่มี SiO_2 สูง

2.5.1.2 เถ้าลอยชนิด C (Class C)

เป็นเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ และชั้นบิทูมินัสเป็นส่วนใหญ่ มีปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 50 ปริมาณ CaO สูง เถ้าลอยชนิดนี้เรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าเถ้าลอยแคลเซียมสูง สำหรับ Al_2O_3 มาจากแร่ดินเหนียว โดยที่ลิกไนต์ประกอบไปด้วยดินเหนียวที่มี Al_2O_3 ต่ำ ทำให้เถ้าลอยชนิด C นอกจากมี SiO_2 ต่ำแล้วยังมี Al_2O_3 ต่ำด้วย

2.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีถ่านหิน แต่โดยทั่วไป องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจะคล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือประกอบด้วย ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ไออนอนออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O , K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นองค์ประกอบรอง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยความชื้น (H_2O) มาตรฐาน ASTM C618 กำหนดผลรวมของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ของเถ้าลอยไว้้อย่างต่ำร้อยละ 50 ถึงจะอยู่ในเกณฑ์ที่นำไปใช้งานได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2014 Xiang Shu และ Baoshan Huang [3] ได้ศึกษาการนำยางครีมาไปใช้ในงานพื้นถนนโดยนำยางครีมาผสมกับยางมะตอยและผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า ยางครีมาช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของยางมะตอยให้ดีขึ้น ในขณะที่ยางครีมาที่ผสมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้สมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้อยลง เนื่องจากสองปัจจัยคือ สมบัติความไม่เข้ากันทางเคมีของยางครีมาและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับความแตกต่างกันของความแข็งแรงทำให้เกิดความเค้นสะสมสูงในวัสดุ

ในปี ค.ศ. 2015 Fabiana Maria da Silva และคณะ [10] ได้ศึกษาสมบัติของบล็อกคอนกรีตปูพื้นที่เตรียมจากการผสมยางครีมา โดยแทนที่ทรายด้วยยางครีมาที่ปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ซึ่งศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด การดูดซับน้ำ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อการขัดถู ความต้านทานต่อแรงกระแทก และการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค พบว่า การแทนที่ทรายด้วยยางครีมาที่ปริมาณร้อยละ 50 ให้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 40 MPa กำลังรับแรงดัดมากกว่า 6.5 MPa และให้สมบัติความต้านทานต่อการขัดถูที่ดี

ในปี ค.ศ. 2016 Yu Ma และคณะ [11] ได้ดัดแปรผิวของยางครีมาและศึกษาผลต่อสมบัติเชิงกลของซีเมนต์คอนกรีตผสมยางครีมา โดยการออกซิไดซ์ยางครีมาด้วยสารละลาย KMnO_4 จากนั้นทำการ

ซัลโฟเนตด้วยสารละลาย NaHSO_3 ซึ่งสเปกตรัมจากเทคนิค FTIR และการวัดมุมสัมผัส แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิลบนยางครัมป์และการลดลงของมุมสัมผัสระหว่างยางครัมป์กับน้ำ หลังจากทำการตัดแปรผิวของยางครัมป์ทำให้แรงยึดติดระหว่างยางและซีเมนต์สูงขึ้นร้อยละ 41.1

ในปี ค.ศ. 2016 Samar Raffoul และคณะ [12] ได้ศึกษาผลของการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ในงานคอนกรีต โดยการแทนที่ที่ปริมาณสูงถึงร้อยละ 100 ซึ่งทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่า เมื่อปริมาณยางครัมป์สูงขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง และสัณฐานวิทยา พบช่องว่างระหว่างผิวยางครัมป์และผิวของปูนซีเมนต์

ในปี ค.ศ. 2014 Obinna Onuaguluchi และ Daman K. Panesar [13] ได้ศึกษาสมบัติของซีเมนต์ที่ผสมยางครัมป์และซิลิกา โดยแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 แล้วแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกา ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ซิลิกาทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าให้กับคอนกรีตผสมยางครัมป์

ในปี ค.ศ. 2012 Tung-Chai Ling [14] ได้ศึกษาผลของวิธีการอัดและปริมาณของยางครัมป์ต่อสมบัติของบล็อคซีเมนต์ปูพื้น โดยแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 พบว่าเมื่อปริมาณยางครัมป์มากกว่าร้อยละ 10 จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของบล็อคซีเมนต์ด้อยลง และการอัดขึ้นรูปแบบ plant-made ให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตสูงกว่า

ในปี ค.ศ. 2016 A. Sanz-Garcia และคณะ [15] ได้เตรียมอิฐบล็อกน้ำหนักเบาจากปูนซีเมนต์ผสมยางครัมป์ โดยแทนที่ด้วยยางครัมป์ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 40 พบว่า เมื่อปริมาณยางครัมป์สูงกว่าร้อยละ 20 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกน้ำหนักลดลง และเนื่องจากราคาของยางครัมป์ที่สูง ทำให้อิฐบล็อกน้ำหนักราคามีต้นทุนสูงขึ้นเมื่อปริมาณยางครัมป์สูงขึ้น

ในปี ค.ศ. 2016 R. Bharathi Murugan และคณะ [16] ได้พัฒนาคอนกรีตที่ใช้ในงานปูพื้นถนน โดยการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ พบว่า การหดตัวของคอนกรีตลดลงที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 25 กำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณยางครัมป์สูงขึ้น กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 15 และการต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 25

ในปี ค.ศ. 2016 Assem A.A. Hassan และ Mohamed K. Ismail [17] ได้ศึกษาการใช้ดินขาวเผา (Metakaolin) ในคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ พบว่า ดินขาวเผา (Metakaolin) ช่วยให้ยางครัมป์กระจายตัวในคอนกรีตได้ดีขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมยางครัมป์ดีขึ้นที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต/บริษัทผู้จำหน่าย
1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
2	ยางครัมป์	บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด
3	ยางแผ่นฟุ้งแห้ง	ประยูรธัยางพารา
4	กรดสเตียริก (Stearic acid)	Imperial Co., Ltd.
5	ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	Global Chemical Co., Ltd.
6	เถ้าลอย (Fly ash)	MBTEC Laos Co., Ltd.
7	MBTS	Oaldic Thailand Co., Ltd.
8	TMTD	หจก. กิจไพบูลย์เคมี
9	กำมะถัน	หจก. กิจไพบูลย์เคมี

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต/บริษัทผู้จำหน่าย
1	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression machine) รุ่น Toni Technik Model: 2031	Zwick Asia Pte Ltd.

ลำดับ	อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต/บริษัทผู้จำหน่าย
2	เครื่องทดสอบความหนาแน่น (Electronic densimeter) รุ่น MD - 3003	Alfa Mirage Co., Ltd.
3	เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) รุ่น MX500-TQ	บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด
4	เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น ML-D200L450	บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด
5	เครื่องขึ้นรูปยาง (Compression machine) รุ่น PR1D-W280L280	บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด
6	เครื่องตรวจสอบลักษณะการไหลของยาง (Moving die rheometer; MDR)	Micro Vision Enterprises
7	เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine)	CG Engineering. Ltd., Part.
8	เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness tester) แบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore durometer)	บริษัท Sundoo Co., Ltd.
9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM 5410-LV	JEOL Ltd.
10	เครื่องทดสอบการกระด้างกระดอน (Rebound resilience) รุ่น GT-7042-RDA	Gotech testing machines inc.

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

การเตรียมคอนกรีตผสมยางครัมป์จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:3 โดยการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ที่ปริมาณร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของทราย และใช้น้ำที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงในตารางที่ 3.3 โดยผสมให้กันแล้วเทลงแม่พิมพ์ และบ่มทิ้งไว้ 7 วัน ซึ่งห่อด้วยฟิล์มพลาสติก

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

ปริมาณยางครัมป์ (ร้อยละ)	อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์			
	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ทราย (กรัม)	ยางครัมป์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
0	33	67	0	13.2
10	33	60	7	13.2
20	33	54	13.4	13.2
30	33	47	20	13.2
40	33	40.2	26.8	13.2
50	33	33.5	33.5	13.2

3.3.2 ยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการเตรียมยางชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เติมยางครัมป์และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระทำ

การเตรียมยางชั้นยึดติดจากยางแผ่นผึ่งแห้งและแปรปริมาณเถ้าลอย ดังสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.4 บดผสมด้วยเครื่องแบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของโรเตอร์ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และรีดแผ่นด้วยเครื่องแบบเปิด (Two-roll mill) ทดสอบเวลาในการคงรูปโดยเครื่อง MDR ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากนั้นขึ้นรูปโดยการอัดยางเข้าแม่พิมพ์

ตารางที่ 3.4 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการเตรียมยางชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เติมยางครัมป์และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระแทก

วัตถุดิบ	phr
ยางแผ่นผึ่งแห้ง	100
Zinc oxide	5
Stearic acid	1
Fly ash	0, 50, 100, 150
MBTS	1
TMTD	0.1
Sulfur	2.5

3.3.3 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

3.3.3.1 การทดสอบความหนาแน่น

ทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต ด้วยเครื่องเดนซิมิเตอร์ (Electronic densimeter) ตามมาตรฐาน ASTM D792 โดยชั่งน้ำหนักของคอนกรีตทั้งในอากาศและในของเหลวที่ทราบความหนาแน่นที่แน่นอน (ใช้น้ำกลั่น) จากนั้นบันทึกค่าความหนาแน่นได้จากเครื่อง

3.3.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

เตรียมตัวอย่างจากแม่พิมพ์ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 ตามมาตรฐาน ASTM C349-82 จากนั้นบ่มทิ้งไว้ 7 วัน แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression machine)



รูปที่ 3.1 แบบหล่อลูกบาศก์คอนกรีตขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร

3.3.3.3 สัณฐานวิทยา

ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผิวคอนกรีตที่เดิมยางครัมภ์ โดยการนำตัวอย่างมาเคลือบผิวด้วยทอง (AU) ในสภาวะสุญญากาศเพื่อให้พื้นที่ผิวของตัวอย่างมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า หลังจากนั้นนำมาตรวจสอบสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

3.3.4 การทดสอบสมบัติของยางชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เดิมยางครัมภ์และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระแทก

3.3.4.1 การทดสอบเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง

ทดสอบเวลาการวัลคาไนซ์ของยางด้วยเครื่องตรวจสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ (Moving die rheometer; MDR) ตามมาตรฐาน ASTM D 2084 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มุมในการแกว่ง 1 องศา แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับแรงบิด แสดงค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) แรงบิดสูงสุด (M_H) ระยะ เวลา ที่ยางเกิดการคงรูป (T_{S_2}) และระยะเวลาคงรูปที่ 90 เปอร์เซ็นต์ ($T_{C_{90}}$)

3.3.4.2 ความทนทานต่อแรงดึงของยาง

เตรียมชิ้นทดสอบรูปคัมเบล die C (ตามมาตรฐาน ASTM D412) แสดงดังรูปที่ 3.2 ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงที่อัตราการดึงยึด 500 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ load cell ขนาด 1000 N ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย

- ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength, MPa) สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Tensile strength} = F / A \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ F = แรงที่ยืดยางจนขาด

A = ความกว้าง $\times$ ความหนา (พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบในขณะที่

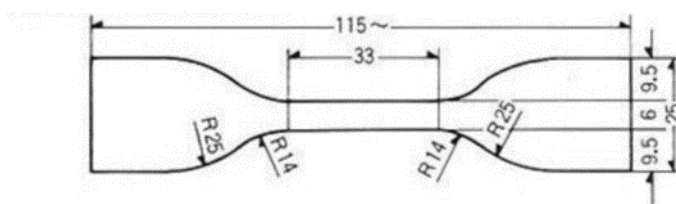
ไม่ได้ยืด)

- ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break, %) สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Elongation at break} = [L - L_0 / L_0] \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ L = ระยะห่างของ extensometer

L_0 = ระยะห่างของ extensometer เริ่มต้น (25 mm)



รูปที่ 3.2 ชิ้นทดสอบรูปคัมเบล die C

3.3.4.3 การกระด้างกระดอนของยาง

นำแผ่นยางมีลักษณะเป็นวงกลมหนา 12.5 ± 5 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2632 เข้าวางในช่องของเครื่องทดสอบ จากนั้นปล่อยลูกกลมเหล็ก (Pendulum) ลงมากระแทกชิ้นทดสอบ โดยตามมาตรฐานต้องปล่อยให้มากระแทกกับชิ้นทดสอบอย่างน้อย 6 ครั้งต่อ 1 ชิ้นทดสอบ บันทึกค่าที่ได้จากการกระแทก

3.3.4.4 ความแข็งของยาง

ทดสอบความแข็งโดยชิ้นทดสอบหนาน้อย 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่อง Shore durometer โดยกดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบและออกแรงกดให้มากพอที่จะทำให้ฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบ แล้วจึงอ่านค่าความแข็งหลังจากกด 30 วินาที

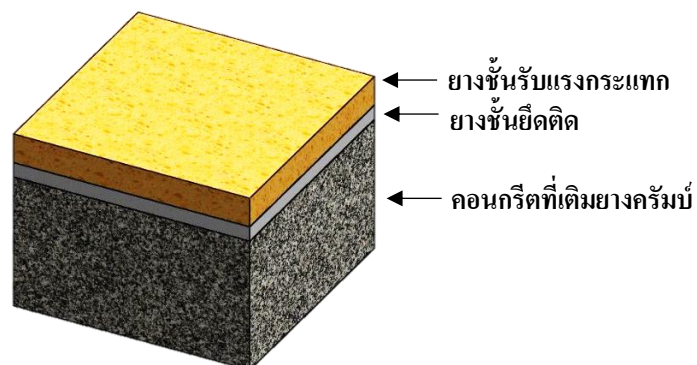
3.3.4.5 สัณฐานวิทยาของยาง

ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของสารตัวเดิมและพื้นผิวตัวอย่างวัลคาไนซ์ที่ผ่านการทดสอบสมบัติทนต่อแรงดึง (Tensile fracture surface) โดยการนำสารตัวอย่างมาเคลือบผิวด้วยทอง (AU) ในสภาวะสุญญากาศเพื่อให้พื้นที่ผิวของตัวอย่างมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าหลังจากนั้นนำมาตรวจสอบสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การเตรียมบล็อกปูพื้นลดแรงกระแทกจากคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ ที่มีองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ยางครัมป์และทราย ซึ่งบล็อกปูพื้นลดแรงกระแทกประกอบด้วย 3 ส่วน (รูปที่ 4.1) คือ คอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ ยางชั้นยึดติด และยางชั้นรับแรงกระแทก ขนาด 80 x 80 x 60 มม. (มอก. 827-2537) [5] ในงานวิจัยนี้ศึกษา 2 ส่วน คือ คอนกรีตที่เดิมยางครัมป์และยางชั้นยึดติด โดยผลของการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ต่อความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) นอกจากนี้มีการเตรียมยางชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์และยางชั้นบนที่ทำหน้าที่รับแรงกระแทก โดยใช้ยางธรรมชาติและเถ้าลอยเป็นสารตัวเติม ใช้เครื่องบดผสมแบบปิด (Internal mixer) ขึ้นรูปโดยการอัดยางเข้าแม่พิมพ์ (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ทดสอบสมบัติการกระเด็นกระดอน (Rebound resilience) ความแข็ง (Hardness) และสัณฐานวิทยา

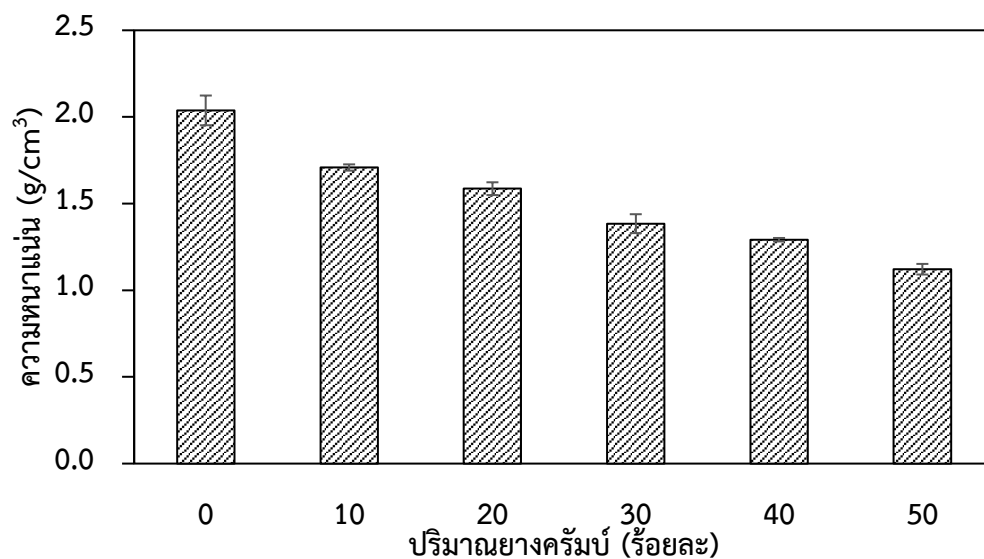


รูปที่ 4.1 มิติและส่วนประกอบของบล็อกปูพื้น

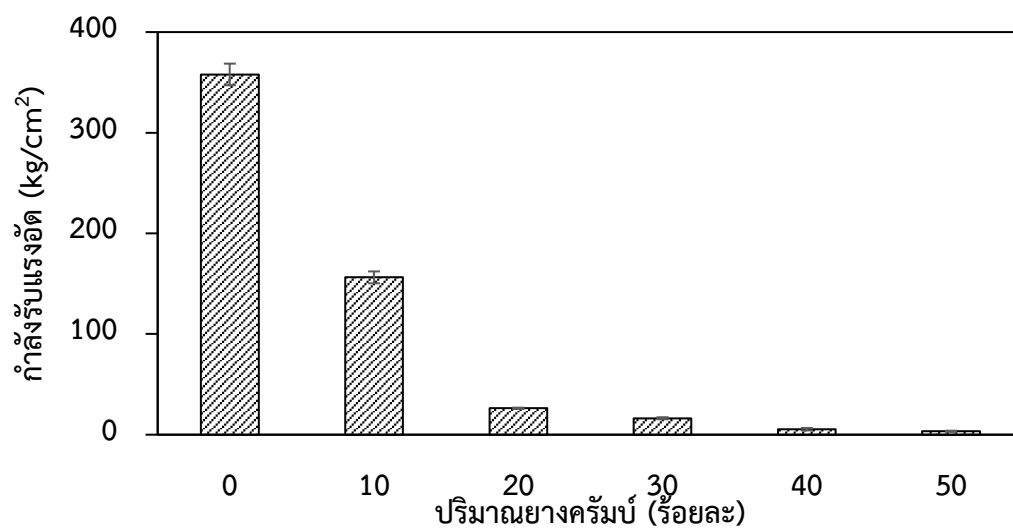
4.1 ผลของยางครัมป์ที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์

เตรียมคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน โดยศึกษาผลของการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ที่ปริมาตรร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของทราย ต่อสมบัติความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

4.1.1 ผลของปริมาณยางครีမ်ต่อสมบัติของคอนกรีตที่เติมยางครีမ်



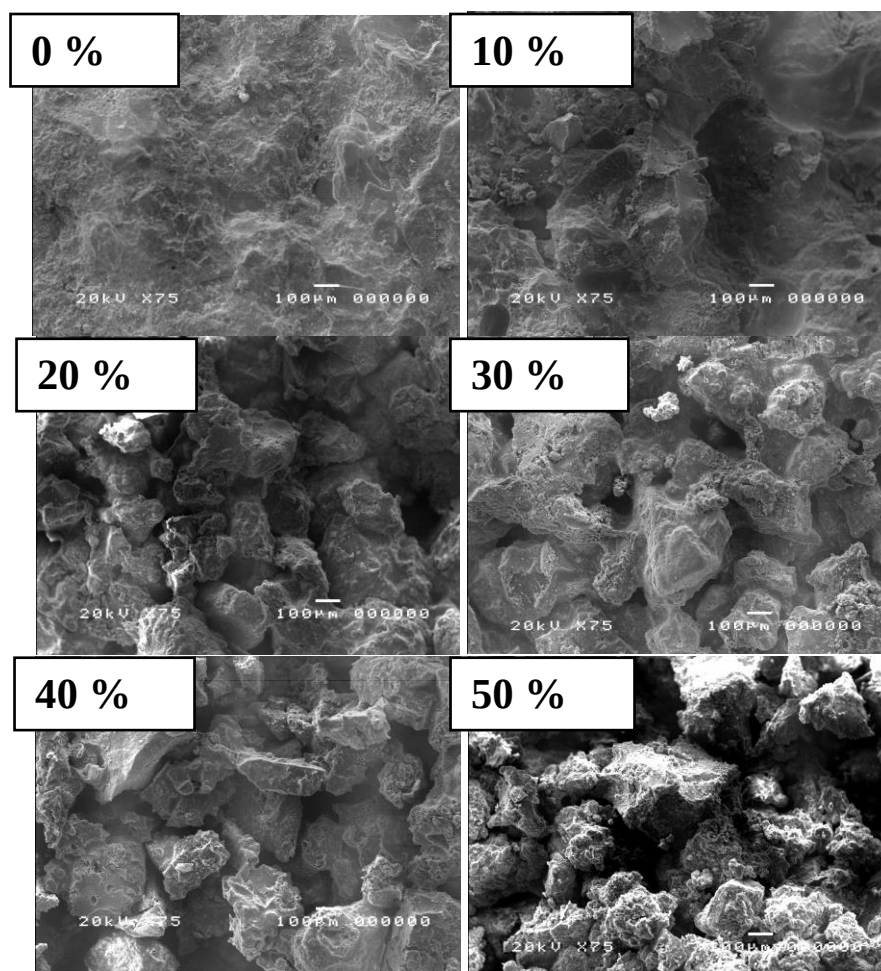
รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของคอนกรีตที่เติมยางครีမ်



รูปที่ 4.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เติมยางครีမ်

รูปที่ 4.2 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ พบว่าเมื่อใช้ยางครัมป์ในการแทนที่ทรายเพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงตามปริมาณยางครัมป์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางครัมป์มีความหนาแน่นน้อยกว่าทรายถึง 4.11 เท่า [18] นอกจากนี้ เมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตจึงลดลง

รูปที่ 4.3 แสดงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ พบว่าเมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยยางครัมป์ในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของยางครัมป์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางครัมป์มีความยืดหยุ่นมากกว่าทราย จึงทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง และลักษณะเฉพาะของอนุภาคของยางครัมป์มีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่นเมื่อใช้แทนที่ทรายทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณของยางครัมป์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์ด้วย SEM (รูปที่ 4.4) พบว่าเมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้นการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคของยางครัมป์ และเกิดความไม่ต่อเนื่องของเฟสซีเมนต์ (Cement phase) ส่งผลให้เกิดช่องว่าง (Hole effect) [2] ขึ้นระหว่างเฟสของซีเมนต์และยางครัมป์ เนื่องจากสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของยาง ทำให้อันตรกิริยาหรือแรงกระทำระหว่างทั้งสองเฟสมีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงต่ำลงเมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของทราย สัณฐานวิทยาของคอนกรีตยังมีความต่อเนื่องของเฟสซีเมนต์และไม่เกิดช่องว่างระหว่างทั้งสองเฟส ทำให้คอนกรีตที่ปริมาณยางครัมป์ดังกล่าวมีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด



รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของคอนกรีตที่เติมยางครัมป์

4.2 ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อสมบัติของยางชั้นยึดติด

ศึกษาการเตรียมชั้นยึดติดระหว่างชั้นคอนกรีตที่เติมยางครัมป์และยางชั้นที่รับแรงกระทำจากยางธรรมชาติและเถ้าลอย โดยใช้กำมะถันเป็นสารคงรูป ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยแปรปริมาณเถ้าลอย 0, 50, 100 และ 150 phr

4.2.1 สมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย

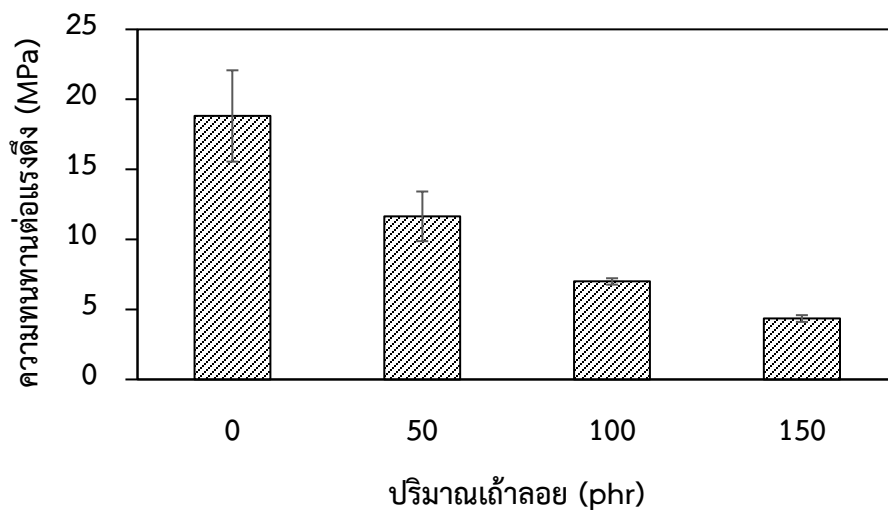
สมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่า ทั้งระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (T_{S2}) และระยะเวลาการคงรูปของยาง (T_{C90}) ของยางคอมปาวด์ไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอย และผลการทดสอบออกมาสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ N. Sombatsompop และคณะ [20] ซึ่งทำการศึกษาถึงผลของปริมาณซิลิกาและเถ้าลอยต่อระยะเวลาการคงรูปของยางธรรมชาติ โดยรายงานว่า เมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นทำให้ T_{C90} เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของเถ้าลอย T_{C90} มีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่ T_{S2} และ T_{C90} ค่อนข้างคงที่ เนื่องจาก สารเร่งปฏิกิริยาจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของซิลิกา ทำให้ T_{C90} เพิ่มขึ้น แต่โลหะออกไซด์ที่มีอยู่มากในเถ้าลอย เช่น Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นเหมือนสารเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยาในกระบวนการวัลคาไนซ์ ทำให้ T_{S2} และ T_{C90} ค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้โลหะออกไซด์ดังกล่าวยังส่งผลให้ $M_H - M_L$ ซึ่งบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง (Crosslink density) ของยาง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะออกไซด์ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาของกระบวนการวัลคาไนซ์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของการเชื่อมขวางที่สูงขึ้น

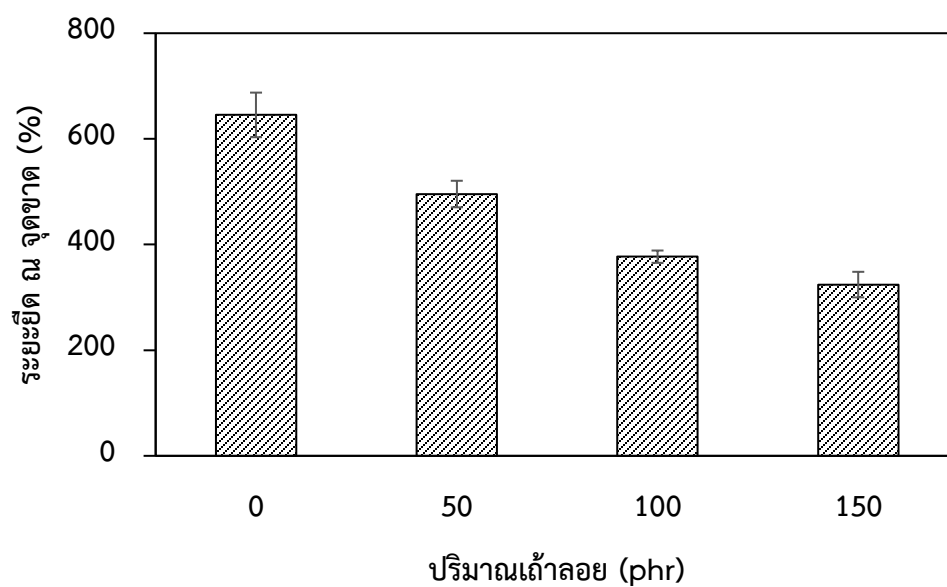
ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย

ปริมาณ เถ้าลอย (phr)	สมบัติการคงรูป				
	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	$M_H - M_L$ (dN.m)	T_{S2} (min)	T_{C90} (min)
0	3.23 ± 0.06	6.67 ± 0.06	3.43 ± 0.06	1.42 ± 0.04	1.92 ± 0.05
50	2.83 ± 0.06	6.70 ± 0.10	3.87 ± 0.12	1.40 ± 0.06	2.04 ± 0.01
100	2.80 ± 0.17	7.07 ± 1.18	4.27 ± 1.01	1.37 ± 0.14	1.93 ± 0.09
150	2.73 ± 0.15	7.23 ± 0.90	4.50 ± 0.75	1.26 ± 0.08	1.87 ± 0.01

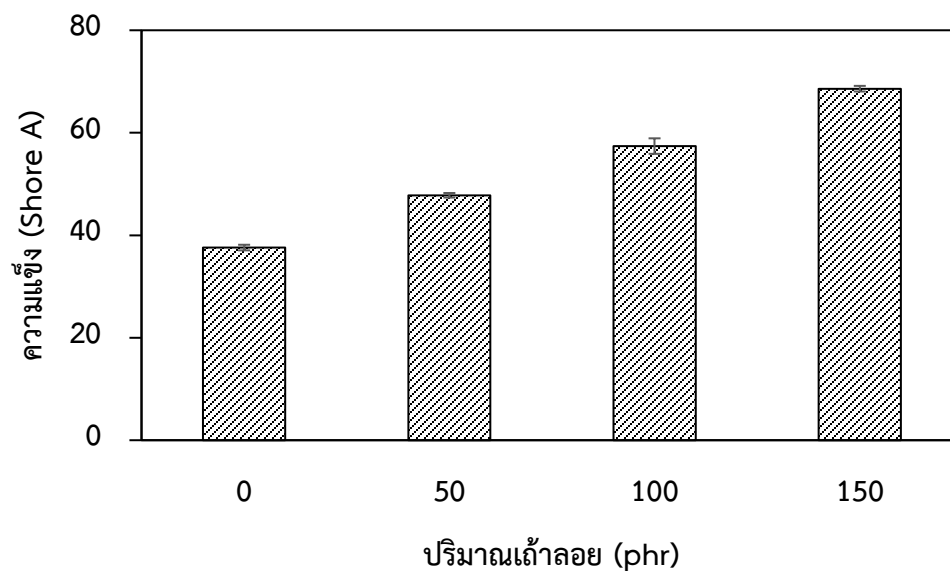
4.2.2 สมบัติเชิงกลของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย



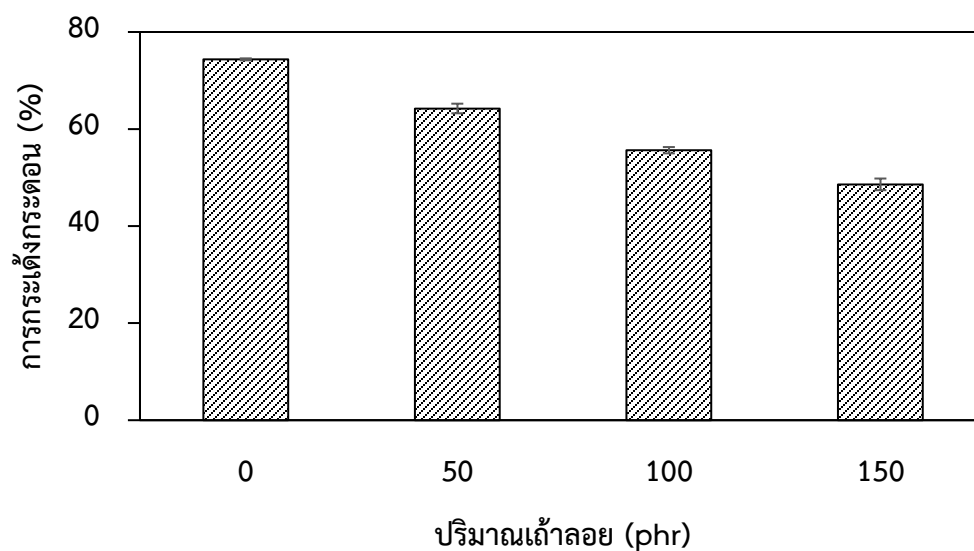
รูปที่ 4.5 ความทนทานต่อแรงดึงของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย



รูปที่ 4.6 ระยะยืด ณ จุดขาดของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย



รูปที่ 4.7 ความแข็งของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย



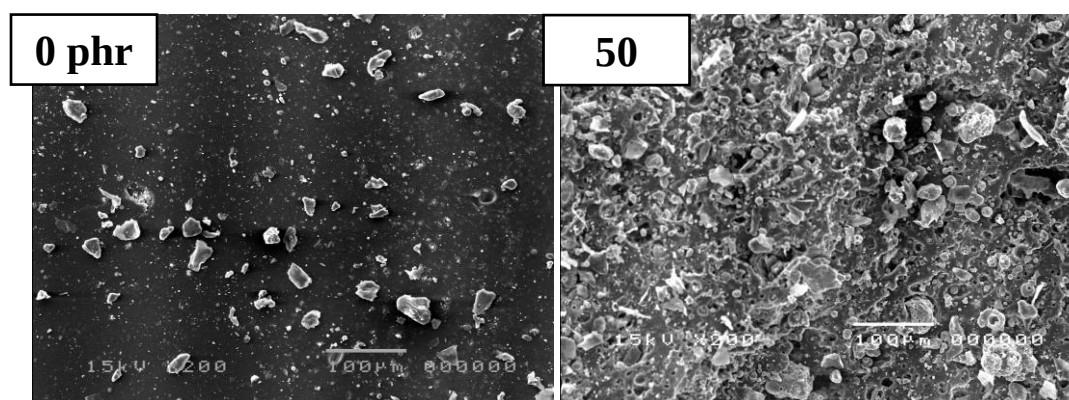
รูปที่ 4.8 การกระเต็งกระดอนของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย

ผลของปริมาณเถ้าลอยที่มีต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางชั้นยึดติด แสดงในรูปที่ 4.5 จากการทดสอบพบว่า ความทนทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบ

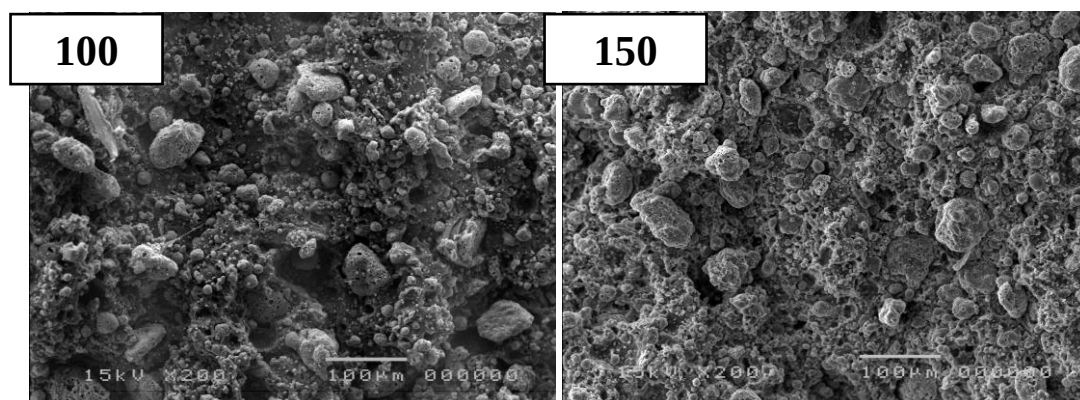
กับกรณีที่ไม่มีการเติม เนื่องจากอันตรกิริยาหรือแรงกระทำระหว่างอนุภาคของเถ้าลอยและยางธรรมชาติมีความแข็งแรงต่ำ เพราะเถ้าลอยมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วสูง เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) [19] จึงเกิดความเป็นขั้วที่ต่างกับยางธรรมชาติ นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลงไปปริมาณมากๆ ทำให้ความต่อเนื่องของเฟสยาง (Rubber phase) น้อยลง และอาจเกิดจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเถ้าลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ความแข็งแรงของยางจึงลดลง ดังนั้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อแรงดึงของยางชั้นยึดติดจะมีค่าลดลง

ผลของปริมาณเถ้าลอยที่มีต่อระยะยึด ผน จุดขาดของยางชั้นยึดติด แสดงในรูปที่ 4.6 จากการทดสอบพบว่า ระยะยึด ผน จุดขาดลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น โดยระยะยึด ผน จุดขาดของยางที่เติมเถ้าลอยปริมาณ 150 phr มีค่าลดลงถึงร้อยละ 49.77 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติมสารตัวเติม ระยะยึด ผน จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยจะไปกีดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลยาง ทำให้ยางมีความเปราะ (Brittleness) เพิ่มขึ้น [21] นอกจากนี้ เมื่อเติมลงไปปริมาณมากขึ้นทำให้ความต่อเนื่องของเฟสของยางลดลง ระยะยึด ผน จุดขาดของยางจึงลดลง

ผลของปริมาณเถ้าลอยที่มีต่อความแข็งแรงของยางชั้นยึดติด แสดงในรูปที่ 4.7 จากการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยไปกีดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลยาง [19] เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นของยางจึงต่ำลง ทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น และส่งผลให้การกระเด็งกระดอนต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกับยางที่ไม่เติมสารตัวเติม



รูปที่ 4.9 พื้นฐานวิทยาของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย



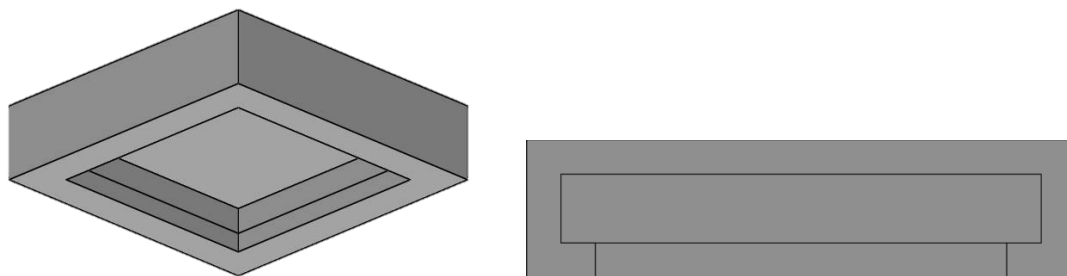
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของยางชั้นยึดติดที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณเถ้าลอย

4.3 การยึดติดระหว่างยางชั้นยึดติดและคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์

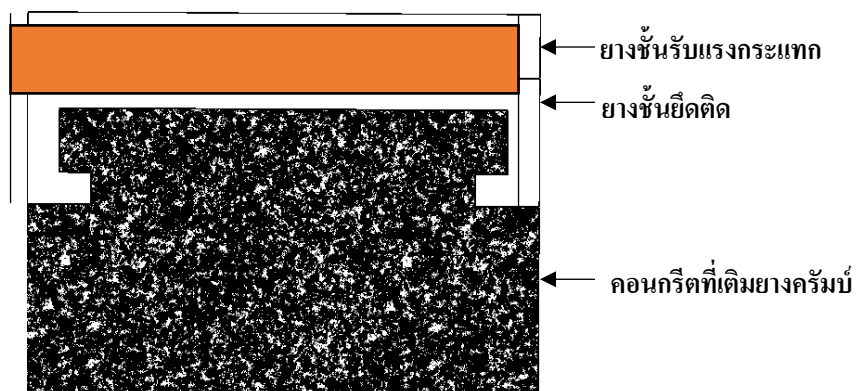
การทดสอบการยึดติดของยางชั้นยึดติดและคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ พบว่าไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจาก การหลุดตัวของคอนกรีตจากผิวของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติม แสดงในรูปที่ 4.10 ส่งผลให้ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างสองชั้นดังกล่าวต่ำมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการออกแบบลักษณะของชั้นยึดติดให้มีการยึดติดกันทางกายภาพกับคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 การหลุดตัวของคอนกรีตออกจากผิวของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติม



รูปที่ 4.11 มิติและขนาดของชั้นยึดติดที่ใช้ถ้ำลอยเป็นสารตัวเติม



รูปที่ 4.12 ภาพตัดขวางของบล็อกปูพื้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

คอนกรีตมีความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้น จากการทดสอบพบว่า ที่ปริมาณยางครัมป์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของทราย มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด ส่วนสมบัติการคงรูปของยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติมพบว่า $M_H - M_L$ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น แต่ T_{S2} และ T_{C90} ก่อนข้างคงที่ และการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางชั้นยึดติดพบว่า ความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และการกระเดื่องกระดอนมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ยางชั้นยึดติดที่ใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติมไม่สามารถยึดติดกันทางเคมีกับคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ จึงต้องมีการออกแบบลักษณะของยางชั้นยึดติดให้สามารถยึดติดกับคอนกรีตที่เดิมยางครัมป์ได้ในทางกายภาพ

บรรณานุกรม

- [1] พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2552. “การประยุกต์ใช้งานของยางผง”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง 3: 13-20.
- [2] ปิติ สุคนธ์สุขกุล และ สุพรชัย อุทัยนฤมล. 2546. “การศึกษาการใช้ผงกากยางรถยนต์เก่าในคอนกรีตบล็อกปูผิวทางแบบอ่อน”. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [3] X. Shu, B. Huang. 2014. "Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview". Construction and Building Materials. 67: 217–224.
- [4] อรุณเดช บุญสูง. 2554. “กำลังรับแรงอัดของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากทรายกรองประปาใช้แล้ว”. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
- [5] อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ ประพัฒน์ สีใส. 2558. “วัสดุปูพื้นภายนอกอาคารจากขยะอุตสาหกรรมประเภทตะกรันเหล็ก”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
- [6] <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=2&chap=5&page=t2-5-infodetail10.html> (สืบค้นเมื่อ 12/03/60)
- [7] <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0> (สืบค้นเมื่อ 23/03/60)
- [8] พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2547. “ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน”. ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [9] ปิตินันต์ กร้ามาตร. 2553. “คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน”. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
- [10] F. Maria da Silva, L. Andria Gachet Barbosa, R. Cristina Cecche Lintz, A. Elisabete P.G.A. Jacintho. 2015. "Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber". Construction and Building Materials. 91: 71–79.
- [11] L. He, Yu Ma, Q. Liu, Y. Mu. 2016. "Surface modification of crumb rubber and its influence on the mechanical properties of rubber-cement concrete". Construction and Building Materials. 120: 403–407.

- [12] S. Raffoul, R. Garcia, K. Pilakoutas, M. Guadagnini, Nelson F. Medina. 2016. "Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: An experimental investigation". *Construction and Building Materials*. 124: 391–404.
- [13] O. Onuaguluchi, D. K. Panesar. 2014. "Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume". *Cleaner Production*. 82: 125-131.
- [14] T. Ling. 2012. "Effects of compaction method and rubber content on the properties of concrete paving blocks". *Construction and Building Materials*. 28: 164–175.
- [15] E. Sodupe-Ortega, E. Fraile-Garcia, J. Ferreira-Cabello, A. Sanz-Garcia. 2016. "Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks". *Construction and Building Materials*. 106: 305-316.
- [16] R. Bharathi Murugan, C. Natarajan, S. Chen. 2016. "Material development for a sustainable precast concrete block pavement". *Traffic and Transportation Engineering*. 3: 483-491.
- [17] M. K. Ismail, A. A.A. Hassan. 2016. "Use of metakaolin on enhancing the mechanical properties of self-consolidating concrete containing high percentages of crumb rubber". *Cleaner Production*. 125: 282-295.
- [18] ธรพร บุศย์น้ำเพชร และ นิพนธ์ ตันไพบุลย์กุล. 2559. “สมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมผงยางรถยนต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน”. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [19] ยุทธชาติ วิเชียรบุตร. 2549. “สมบัติของยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์”. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [20] N. Sombatsompop, S. Thongsang, T. Markpin, E. Wimolmala. 2004. “Fly ash particles and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene–butadiene rubber compounds”. *Applied Polymer*. 95: 2119–2130.
- [21] Y. Wichianbut, C. Dechwayukul, L. Sikong, W. Thongruang. 2005. “Mechanical Properties of Lignite Fly Ash/Natural Rubber Composites: Effects of Filler Size, Loading and Silane Coupling Agent”. The 19th conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. Prince of Songkla University.

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวสุวิมล เทียกทุม
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Suwimon Thiakthum
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5440600024595
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
เวลาที่ใช้ทำวิจัย 10 ชั่วโมง : สัปดาห์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ รหัสไปรษณีย์ 67000 โทรศัพท์
056-717164, 0897034659,
E-mail : Suwimon.thi@pcru.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
วศ.ม. (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - 6.1 นวัตกรรมและเทคโนโลยี
 - 6.2 กรรมวิธีการผลิต
 - 6.3 การวิจัยและพัฒนา
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการ โครงการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการ โครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
-ไม่มี-
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

สุวิมล เทียกทุม และ ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์. (2563).การพัฒนาชุดอุปกรณ์ขนถ่ายเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต. ได้รับเงินทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2563 (การพัฒนาศักยภาพพืชอาหารแบบบูรณาการในจังหวัดเพชรบูรณ์) งบประมาณที่ได้รับ 420,000 บาท

สุวิมล เทียกทุม และ หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใส่กรอกเห็ดเสริมด้วยเมล็ดมะขาม. ได้รับเงินทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2563 (การพัฒนาศักยภาพพืชอาหารแบบบูรณาการในจังหวัดเพชรบูรณ์) งบประมาณที่ได้รับ 400,000 บาท

สุวิมล เทียกทุม. (2562).การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นใยขัดผิวจากกรรมะขามพันธุ์ศรีชมภู. ได้รับเงินทุนงบประมาณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี ประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม) งบประมาณที่ได้รับ 20,000 บาท

สุวิมล เทียกทุม และ หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ. (2561). การหาส่วนผสมชีวมวลวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก. ได้รับเงินอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมฯ งบประมาณที่ได้รับ 120,000 บาท

ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์ หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ และสุวิมล เทียกทุม. (2560). การถ่ายทอดเทคโนโลยีการประดิษฐ์สื่อเกราะกันกระสุนอินทนิลสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐ. ได้รับเงินทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2559 งบประมาณที่ได้รับ 220,000 บาท

สุวิมล เทียกทุม และ ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. (2559). การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ OTOP ด้วยวิศวกรรมเครื่องเคลือบผิว:กรณีศึกษาสินค้ากลุ่มตีมีดบ้านใหม่และสินค้ากลุ่มสตรีแก้วหน้าอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์. ได้รับเงินทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2559 งบประมาณที่ได้รับ 150,000 บาท

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

Saksirichai Srisawad, Thongchai Khrueaphue and Suwimon Thaikthum (2020). Design and Fabrication of Tobacco Leaf-stripping Machine to Enhance Economic Production of Farmers in Phetchabun Province. SNRU Journal of Science and Technology (SNRUJST), pp. 198-206, Vol 12. No 3.

สุวิมล เทียกทุม สมใจ คำมุงคุณ และ ชัยวุฒิ วัดจิง. (2563).การเตรียมกายาขยธรรมชาติสำหรับสื่อ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 43 ฉบับที่ 4 ตุลาคม 2563 – ธันวาคม 2563, หน้า 433-448.

- งานวิจัยเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง, สุวิมล เทียกทุม, น้ำผึ้ง พูนวิวัฒน์ และศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์. (2563). การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปและแม่พิมพ์ สำหรับผลิตสินค้าของที่ระลึกจังหวัดเพชรบูรณ์จากวัสดุเหลือทิ้งทาง

การเกษตร. [การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับนานาชาติและระดับชาติ ประจำปี การศึกษา 2562 “เศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียวสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน” กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย วันที่ 12 มิถุนายน 2563 ณ คอนเวนชันฮอลล์ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชัน, กรุงเทพมหานคร.]

สุวิมล เทียกทุม และ ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์. (2558). การออกแบบและสร้างเครื่องทำแบบหล่อแบบเปลือกสำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอน. [การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 "งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น" วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2558 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์]

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยคล่องแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

- ไม่มี-

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยวุฒิ วัจจิง
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assistant Professor Chaiwute Vudjung
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
เวลาที่ใช้ทำวิจัย 10 ชั่วโมง : สัปดาห์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34190 หมายเลขโทรศัพท์ 0-4535-3400 โทรสาร 0-4528-8379

E-mail: chaiwute2110@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

วศ.บ. (วิศวกรรมพอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วท.ม. (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

6.1 เทคโนโลยีการยาง

6.2 การสังเคราะห์และทดสอบพอลิเมอร์ (Polymer Synthesis and Characterization)

6.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมและการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการ โครงการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

-ไม่มี-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

ชัยวุฒิ วัชรัง. (2560). “ผลิตภัณฑ์จากยางพาราสำหรับผู้สูงอายุ” โครงการย่อย : บล็อกปูพื้นยางพาราสำหรับผู้สูงอายุ. ได้รับเงินทุนงบประมาณประจำปี 2560 (สำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) งบประมาณที่ได้รับ 300,000 บาท

ชัยวุฒิ วัชรัง. (2560). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการตลาดของผลิตภัณฑ์หมอนจืดยางพารา. ได้รับเงินทุนงบประมาณประจำปี 2560 (โครงการ Innovation Hubs เพื่อสร้างเศรษฐกิจนวัตกรรมของประเทศไทยตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย) งบประมาณที่ได้รับ 600,000 บาท

ชัยวุฒิ วัชรัง. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเศษยางฟองน้ำเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตไส้หมอนจืดยางพารา. ได้รับเงินทุนงบประมาณประจำปี 2562 (โครงการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชน (IRTC) โครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) งบประมาณที่ได้รับ 150,000 บาท

ชัยวุฒิ วัชรัง. (2563). พัฒนาระบบการผลิตเหยื่อตกปลาจากฟองน้ำยางพารา. ได้รับเงินทุนงบประมาณประจำปี 2563 (โครงการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชน (IRTC) โครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี) งบประมาณที่ได้รับ 300,000 บาท

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

ชัยวุฒิ วัชรัง. ผลของอัตราส่วนยางและแป้งต่อสมบัติของไฮโดรเจลชนิดพอลิเมอร์เชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่ายและการประยุกต์ใช้ในการปลูกดาวเรือง. 2560. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 หน้า 49-62.

เสาวลักษณ์ บุญยอด และชัยวุฒิ วัชรัง. การเตรียมยางบวมน้ำจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยโซเดียมอะคริเลต. 2560. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 25 ฉบับที่ 5, 791-804.

เสาวลักษณ์ บุญยอด, ชัยวุฒิ วัดจิ่ง และมาหามะสุไฮมี มะแซ. การเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติ. 2560. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. รัตนบุรี. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1, 78-87.

ชัยวุฒิ วัดจิ่ง, ศันสนีย์ ศรีจันทร์, เสาวลักษณ์ บุญยอด, สราวุธ ประเสริฐศรี. ผลิตภัณฑ์หมอนจืดยางพารา บ้านศรีฐาน จังหวัดยโสธร. 2561. วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่. ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2561, 1-18.

ชัยวุฒิ วัดจิ่ง, สราวุธ ประเสริฐศรี, ชัยวัฒน์ บำเพ็ญ, ชลากรณ์ ครองยุทธ, ศตวรรษ ดอกจันทร์, จารุวรรณ ชูปวา. บล็อกยางปูพื้นสำหรับผู้สูงอายุ: ผลของสารหน่วงปฏิกิริยาการคงรูปต่อสมบัติของบล็อกยางปูพื้น. 2563. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. รัตนบุรี. ปีที่ 10 ฉบับที่ 1, 60-73.

สุวิมล เทียกทุม สมใจ คำมุงคุณ และ ชัยวุฒิ วัดจิ่ง. (2563). การเตรียมกาวยางธรรมชาติสำหรับเสื้อ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 43 ฉบับที่ 4 ตุลาคม 2563 – ธันวาคม 2563, หน้า 433-448.

Saowaluk Boonyod and Chaiwute Vudjung. (2017). Effect of Oleic Acid on Properties of Natural Rubber Filled Bacterial Cellulose. Key Engineering Materials. 744. 295-299.

Chaiwute Vudjung and Sayant Saengsuwan. (2017). Synthesis and properties of biodegradable hydrogels based on cross-linked natural rubber and cassava starch. Journal of Elastomers & Plastics. 49 (7). 574-594.

Chaiwute Vudjung and Sayant Saengsuwan. (2018). Biodegradable IPN Hydrogels Based on Pre-vulcanized Natural Rubber and Cassava Starch as Coating Membrane for Environment-Friendly Slow-Release Urea Fertilizer. Journal of Polymers and the Environment 26. 3967-3980.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

- ไม่มี-