



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้กากชีแป่งน้ำยางชั้นเป็นสารตัวเติมซีเมนต์ยางปูพื้น

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ คณะ

22 พฤษภาคม 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็ก วิจัยและพัฒนา น้ำยางธรรมชาติ-มอ. (8)
: การใช้กากขี้แป้งน้ำยางชั้นเป็นสารตัวเติมซีเมนต์ยางปูพื้น”

Research and Development of Natural Rubber Latex-PSU small project group (8)
Using Concentrated Latex Sludge as Filler for Making Rubber Mat Flooring

คณะวิจัย	สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิภูธรังษี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายเอกพล จันธิ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายประวิทย์ คงจันทร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร

(Executive Summary)

กากชีปะัง เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีการกำจัดทิ้งโดยนำไปถมที่ ร่วมกับขยะหรือเผาทิ้ง ศึกษาที่จะการนำเอากากชีปะังจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ โดยเก็บตัวอย่างกากชีปะังในบริเวณถังปั่นและถังพักน้ำยางจากโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลาและจังหวัดปัตตานี พบว่า กากชีปะังอบแห้งมีค่า pH (7.28-8.56) ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย มีส่วนความหนาแน่น 1.16–1.65 กรัม/ลบ.ซม. มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้นอยู่ในช่วง 50.83–77.72% และ 22.27–49.16% ตามลำดับ ส่วนปูนซีเมนต์ (OPC) ที่นำมาใช้ผสมมีค่า pH (12.5) ค่อนข้างเป็นด่างเช่นเดียวกัน และมีความหนาแน่นเท่ากับ 3.15 กรัม/ลบ.ซม.

การใช้กากชีปะังและน้ำยางข้นผสมในซีเมนต์ พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ 100 phr มีซีเมนต์ 1000 phr ผสม กากชีปะัง 250 phr และ Terric N30 ปริมาณ 10 phr ร่วมกับการใส่น้ำ โดยใช้สัดส่วนของซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 1.6 : 1 และสัดส่วนของ กากชีปะัง ต่อ น้ำ เท่ากับ 1 : 1 โดยปริมาณกากชีปะังมีผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว การหดตัว และความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต สูตรที่ไม่ใส่กากชีปะังจะมีระยะเวลาการแข็งตัวและการหดตัวที่น้อยที่สุด ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงกดมีค่ามากที่สุด และเมื่อใส่กากชีปะังปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาการแข็งตัว และการหดตัวของซีเมนต์อย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง

การใช้กากชีปะังเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และการผิรุปร่างจากการกด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากชีปะัง (20-60 phr) กากชีปะังจากโรงงานต่างๆ พบว่ามีความแปรปรวน ส่งผลให้สมบัติยางวัลคาไนซ์มีสมบัติความแปรปรวนด้วย การบ่มเร่งของยางที่ใช้กากชีปะังเป็นสารตัวเติม มีผลทำให้ค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาด มีค่าลดลง

การใช้กากชีปะังร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่ากากชีปะัง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยาง ปริมาณ 10, 20 และ 30 phr มีผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และการผิรุปร่างจากการกด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หากใส่ปูนซีเมนต์ในช่วง 10–20 phr ค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) มีแนวโน้มลดลงและค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ในช่วง 20–30 phr ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการใส่กากชีปะังจากโรงงานต่างๆ ร่วมกับปูนซีเมนต์ สมบัติยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความแปรปรวน การบ่มเร่งของยางที่ใช้กากชีปะังร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม มีผลทำให้โมดูลัส (100%, 300% และ 500%) ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาด มีค่าลดลง

บทคัดย่อ

การนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้เป็นสารตัวเติมในน้ำยางธรรมชาติและซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากซีเมนต์ที่ระดับ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 phr ในส่วนผสมที่มีซีเมนต์ 1,000 phr สารเพิ่มความเสถียร 10 phr มีส่วนผสมของซีเมนต์ต่อน้ำเท่ากับ 1.6 ต่อ 1 และ กากซีเมนต์ต่อ น้ำ 1 ต่อ 1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากซีเมนต์ ทำให้ระยะเวลาการเซ็ตตัวและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ พอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง เมื่อปล่อยให้ เกิด การเซ็ตตัวที่ระยะเวลา 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ระยะเวลาที่ปล่อยให้เกิดการเซ็ตตัว เมื่อนำกากซีเมนต์มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยแปร ปริมาณของกากซีเมนต์ที่ระดับ 20, 40, และ 60 phr และการนำกากซีเมนต์ 20 phr มาใช้เป็นสารตัวเติม ร่วมกับปูนซีเมนต์ในยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ระดับ 10, 20, และ 30 phr พบว่า ในสูตรที่เพิ่มปริมาณกากซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความแข็ง และการผิกรูปร่างเนื่องจากการกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติด้าน 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส 500% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการสึกหรอมีแนวโน้มลดลง

คำสำคัญ : กากซีเมนต์ ซีเมนต์ น้ำยางข้น ยางธรรมชาติ สารตัวเติม สมบัติฟิสิกส์

Abstract

Sludge from concentrated natural rubber manufacture was used as filler in natural rubber latex and cement by adding sludge of 0, 250, 500, 750 and 1,000 phr. The ingredients contain of cement 1,000 phr, latex stabilizer 10 phr. The ratio of cement and water was 1.6:1 and ratio of sludge and water was 1 : 1. It was found that an increase of sludge loading would increase the setting's time and shrinkage of polymer while compressive strength was decreased. However, the compressive strength of polymer composite would increase while increasing the storage's times from 7 days, 14 days and 28 days respectively. Sludge of 20, 40 and 60 phr was used as filler in natural rubber compound. It was found that sludge of 20 phr loading together with cement of 10, 20 and 30 phr would increase the specific gravity, hardness and compression set of polymer composite, while 100% modulus, 300% modulus 500% modulus, tensile strength, elongation at break, tear strength and abrasion index were decrease.

keywords : sludge, cement, concentrated latex, natural rubber, fFiller, physical properties.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญ	iv
สารบัญ รูปภาพ	vi
สารบัญ ตาราง	ixi
เนื้อหาวิจัย	
1. บทนำ	1
2. สารเคมี และอุปกรณ์	3
2.1 สารเคมี	3
2.2 อุปกรณ์	4
3. วิธีดำเนินการทดลอง	8
3.1 การเก็บตัวอย่างกากจี๋แบ่งจากโรงงานน้ำยางข้น	8
3.2 การเตรียมกากจี๋แบ่ง	8
3.3 การตรวจสอบสมบัติทั่วไปของกากจี๋แบ่ง	8
3.4 การตรวจสอบสมบัติของปูนซีเมนต์	10
3.5 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต (กากจี๋แบ่ง ซีเมนต์-ยางธรรมชาติ)	10
3.6 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์	12
3.7 การทดสอบซีเมนต์	13
3.7.1 การแข็งตัว	13
3.7.2 การหดตัว	13
3.7.3 ความต้านทานต่อแรงกด (Compressive strength)	14
3.7.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)	14
3.8 การทดสอบยางวัลคาไนซ์	14
3.8.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	14
3.8.2 ความทนทานต่อแรงดึงและการยืดจนขาด (Stress and strain)	15
3.8.3 ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength)	16
3.8.4 ความแข็งของยาง (Hardness)	16

3.8.5 การผิดรูปเนื่องจากการกด (Compression set)	16
3.8.6 การสึกหรอของยางแบบ Akron	17
3.8.7 การดูดซับน้ำ	17
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	18
4.1 สมบัติของกากจีเป้ง น้ำยางข้นและปูนซีเมนต์	18
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพและสมบัติของกากจีเป้ง	18
1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	19
2) ความหนาแน่น	19
3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด และความชื้น	19
4.1.2 สมบัติทั่วไปของน้ำยางข้น	20
4.1.3 สมบัติทั่วไปของปูนซีเมนต์	20
1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	20
2) ความหนาแน่น	20
4.2 การผสมซีเมนต์โดยใช้กากจีเป้งและน้ำยางข้น	21
4.2.1 ผลของการใช้กากจีเป้งและน้ำยางข้นต่อสมบัติของซีเมนต์	23
1) การเซ็ตตัว	23
2) การหดตัว	24
3) ความต้านทานต่อแรงกด	26
4) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	29
4.2.2 สัดส่วนที่เหมาะสมของการผสมซีเมนต์โดยใช้กากจีเป้งและน้ำยางข้น	30
4.3 การใช้กากจีเป้งเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ	31
4.3.1 สมบัติยางวัลคาไนซ์	32
4.3.2 สมบัติยางวัลคาไนซ์หลังบ่มเร่ง	40
4.4 การใช้กากจีเป้งร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ	44
4.4.1 สมบัติยางวัลคาไนซ์ก่อนบ่มเร่ง	44
4.4.2 สมบัติยางวัลคาไนซ์ หลังบ่มเร่ง	53
4.5 ราคาต้นทุน	57
5 สรุป และข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	61

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เบ้าที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตขนาด 10x10x10 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4
รูปที่ 2.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้พร้อมโถบดแห้ง	4
รูปที่ 2.3 เครื่องบด	5
รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบความต้านต่อแรงกดของซีเมนต์และคอนกรีต	6
รูปที่ 2.5 เครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก	7
รูปที่ 2.6 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด	7
รูปที่ 3.1 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต	11
รูปที่ 3.2 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์	12
รูปที่ 3.3 รูปร่างของชิ้นทดสอบขนาด 10 x10 x 10 cm ³	13
รูปที่ 4.1 ลักษณะของกากจีแป็งหลังอบแห้ง	19
รูปที่ 4.2 ปริมาณกากจีแป็งแต่ละโรงงานต่อเวลาการเซ็ทตัวของพอลิเมอร์ คอมโพสิต	23
รูปที่ 4.3 ปริมาณกากจีแป็งแต่ละโรงงานต่อการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต	24
รูปที่ 4.4 ปริมาณกากจีแป็งโรงงานต่างๆ ต่อความต้านทานแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต	26
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกากจีแป็งโรงงานต่างๆ ต่อความต้านทานแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต	27
รูปที่ 4.6 ระยะเวลาในการเซ็ทตัวต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต	27
รูปที่ 4.7-4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ไม่ใส่กากจีแป็ง	29
รูปที่ 4.9-4.10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ใส่กากจีแป็ง	29
รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละ โรงงานของการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ครั้งต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์	32
รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละ โรงงานของการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ครั้งต่อค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์	33
รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละ โรงงานของการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ครั้งต่อ 100% Modulus ของยางวัลคาไนซ์	34
รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละ โรงงานของการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ครั้งต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์	34
รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละ โรงงานของการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ครั้งต่อ 500% Modulus ของยางวัลคาไนซ์	35

[illegible]

[illegible]

สารบัญ ตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงรายชื่อของโรงงานน้ำยางชั้นที่เก็บตัวอย่างกากจีแป็ง	18
ตารางที่ 4.2 สูตรที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณกากจีแป็งต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต	22
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต	30
ตารางที่ 4.4 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติม	31
ตารางที่ 4.5 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของการใช้กากจีแป็งร่วมกับปูนซีเมนต์ เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ	45
ตารางที่ 4.6 การดูดซับน้ำของปูพื้นซีเมนต์-อ้างอิง และยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของ กากจีแป็งกับซีเมนต์ แช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน	57

เนื้อหาวิจัย

1. บทนำ

กากจีแป้ง เป็นของเสียจากอุตสาหกรรม ในการผลิตน้ำยางข้นในเชิงการค้า ส่วนใหญ่ใช้วิธีการปั่น (centrifugation) มีการเติมสารเคมีลงในกระบวนการผลิต ซึ่งสารเคมีบางส่วนจะตกตะกอนออกมาก่อนการปั่น จากกระบวนการปั่น จะได้ของเสียออกมาในรูปของแข็ง เรียกว่า “ตะกอน” หรือ “กากจีแป้ง” สารนี้ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นพวกฝุ่น ทราย เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมในถังพักน้ำยางและจากกระบวนการปั่นน้ำยางสด กากจีแป้งมีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ของเสียในรูปกากจีแป้งที่เกิดขึ้นในโรงงานที่ผลิตน้ำยางข้น ส่วนใหญ่จะกำจัดทิ้งไปโดยการนำไปถมที่ ถนนหนทาง หรือ เผาทิ้ง ซึ่งการจัดการของเสียโดยวิธีดังกล่าวถือว่าไม่เหมาะสมและอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ หากมีการนำเอากากจีแป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ได้ จะเป็นการลดมลภาวะและเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากจีแป้งได้

มีการศึกษานำกากจีแป้งมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สามารถใช้เป็นปุ๋ยและเป็นสารปรับสภาพดินได้ (วรสารี, 2543) เสาวนีย์ และ คณะ (2547) ได้ศึกษาองค์ประกอบของธาตุโลหะที่มีอยู่ในกากจีแป้งน้ำยางข้น ประกอบด้วยธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ประกอบด้วยธาตุ N, P, K, Mg, Zn และ Ca มีธาตุที่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำหรือธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง และพบว่าสามารถนำกากจีแป้งมาย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเป็นแนวทางเตรียมปุ๋ยเหลวได้

Vinypal (1976) ได้ศึกษานำกากจีแป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใยมาใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตเม็ดโฟมเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชีวภาพไบโอดีกรี โพลีเอสเตอร์ ซึ่งสามารถนำมาหล่อแบบพิมพ์ได้ Ratnasamy (2002) ได้นำกากจีแป้งมาใช้เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมยางมะตอย โดยการนำมาผสมกับผงหิน กรวด ทราย และเซลลูโลส (โฟมเบอร์ของพวกน้ำมันปาล์ม) ส่วน Gonzalez และคณะ (1998) ได้ใช้กากที่เป็นของเสียจากสีที่ใช้กับยานยนต์มาใช้เป็นส่วนผสมสารตัวเติมในยางมะตอย สำหรับ Rene(1983) ได้ใช้กากจีแป้งที่ตกตะกอนอยู่ตรงกันภาชนะซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมน้ำยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุหีบห่อ (packaging based on industrial wastes) ส่วนกากจีแป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นไม่มีการอ้างอิงถึงการใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติมาก่อน โดยผู้วิจัยเห็นว่าการนำมาใช้ประโยชน์โดยวิธีการที่ง่ายอาจเป็นไปได้ โดยการใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับซีเมนต์ เพื่อทำแผ่นซีเมนต์ยางปูพื้น แผ่นยางคอนกรีตปูพื้น ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำกากจีแป้งซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์

โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานปูพื้น มีสมบัติแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น ความทนทาน ต่อแรงกระแทกไม่ดี ทราบดีที่ผสมกับซีเมนต์อาจไม่สามารถที่จะยึดเกาะเอาไว้ได้ดี ดังนั้นเมื่อนำเอาปูนซีเมนต์ไปใช้งานในบางประเภท คุณสมบัติเหล่านี้จะไม่เหมาะสมนัก

Asthana (2004) ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติของซีเมนต์ที่ใช้ทำกระเบื้องปูพื้น โดยนำน้ำยาง SBR และอะคริลิกอีพอกซีผสมกับซีเมนต์ ร่วมกับสารเคมีบางอย่าง พบว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของกระเบื้องปูพื้นได้ เช่น ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความยืดหยุ่น ความทนทานต่อการกระแทกให้ดีขึ้นได้

ในการวิจัยนี้ได้ใช้กากซีเมนต์ที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้นมาทำเป็นสารตัวเติมแทนที่ดินหรือทรายที่ให้อยู่ในปูนซีเมนต์ และผสมในน้ำยางหรือยางธรรมชาติ รวมทั้งทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ทำเป็นแผ่นซีเมนต์ยางปูพื้นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการผสมกากซีเมนต์ ยางธรรมชาติ และปูนซีเมนต์
2. เพื่อศึกษาการใช้กากซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในการทำซีเมนต์ยางปูพื้น
3. เพื่อศึกษาสมบัติของซีเมนต์ยางปูพื้น

2. สารเคมี และอุปกรณ์

2.1 สารเคมี

2.1.1 ยางแผ่นรมควันชั้น 3 ผลิตโดยบริษัท อารอุตสาหกรรมยาง จำกัด ประเทศไทย

2.1.2 น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง (High Ammonia Latex, HA) ผลิตโดยบริษัท ยะลาอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด

2.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น ผลิตโดยบริษัท China National Chemical Construction ประเทศจีน

2.1.4 กรดสเตียริก (Stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ ผลิตโดยบริษัท อิมพีเรียล อินดัสทรีเคมีคอล จำกัด ประเทศไทย

2.1.5 กำมะถัน (Sulphur) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ในยาง ผลิตโดยบริษัท สยามเคมี จำกัด ประเทศไทย

2.1.6 สารตัวเร่ง 2,2-Dibenzothiazyl disulphide (MBTS) ทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยบริษัท เพชรไทยเคมี จำกัด

2.1.7 Santogard PVI (N-(Cyclohexylthio)phthalimide) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 261 ใช้เป็นสารยับยั้งการวัลคาไนซ์ก่อนกำหนด ผลิตโดย Flexsys Co., Ltd

2.1.8 Flectol TMQ (Polymerized 2,2-4-trimethyle-1,2-dihydroquinoline) ใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ จำหน่ายโดย บริษัท Flexsys Co. Ltd. ประเทศไทย

2.1.9 สารรักษาความเสถียรของน้ำยางชนิดเทอร์ิก (Teric N30) เป็นสารประกอบประเภทอัลคิลฟีนอลเอทอกซิเลท (Alkylphenol ethoxylates) ชนิดนอนไอออนิก (non-ionic surfactants) จำหน่ายโดย บริษัท The East Asiatic (Thailand) Public Company Limited , EAC

2.1.10 กากจีบ่งน้ำยางข้น (Sludge) เก็บตัวอย่างจากโรงงานน้ำยางข้น 3 แห่ง คือจะนะถาวร และปาเท็กซ์ กากจีบ่งบริเวณหัวปั่นน้ำยาง ทำให้แห้ง บดและร่อน มีขนาดเล็กกว่า 40 เมช

2.1.11 ปูนซีเมนต์เทาตราเสือ (Ordinary Portland Cement, OPC) ชนิด Mixed cement กำลังอัด 240 กก./ตร.ซม ที่อายุ 28 วัน มอก.80-2517 ความถ่วงจำเพาะ 3.15 ผลิตโดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า ชนิด 2 ตำแหน่ง รับน้ำหนักสูงสุด 620.00 กรัม รุ่น Vibra ผลิตโดย บริษัท Shiko Denshi Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

2.2.2 เบ้าสำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบ มีรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 ทำด้วยไม้อัดหนา 3 มิลลิเมตร หุ้มด้วยพลาสติก พอลิเอทิลีน



รูปที่ 2.1 เบ้าที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตขนาด 10x10x10 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2.3 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ พร้อมโถบดแข็ง มีปริมาตรความจุ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร รุ่น Dawa Dw-111 ผลิตโดย บริษัท Landkob CO.,Ltd ประเทศจีน ดังรูปที่ 2..2



รูปที่ 2.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้พร้อมโถบดแข็ง

2.2.4 เครื่องบด บดกากจี้แป้งให้มีขนาดเล็กลง ผลิตโดยบริษัท Bosco Engineering

ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องบด

2.2.5 ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) รุ่น ED115 ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 5-300 °C ผลิตโดยบริษัท Binder Co., Ltd. ประเทศเยอรมันนี

2.2.7 เครื่องบ่มแรงแบบเกียร์ ยี่ห้อ TABAI รุ่น GPHH-200 ใช้การบ่มแรงยาง ผลิตโดยบริษัท Tabai Espec Corp. ประเทศญี่ปุ่น

2.2.8 เครื่องทดสอบกำลังของซีเมนต์ (Compression machine) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบความต้านต่อแรงกดของซีเมนต์และคอนกรีต

2.2.9 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง ผลิตโดยโรงงานชัยเจริญ การช่าง

2.2.10 เครื่องวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ เครื่องรุ่น 100s ผลิตโดยบริษัท Monsanto Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.11 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงยี่หื้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield test equipment ประเทศอังกฤษ

2.2.12 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A มีระบบสปริงเป็นตัวกดเข็มลงไปบนยาง ด้วยน้ำหนักคงที่กด 822 กรัม ลักษณะปลายเข็มกดเป็นแบบกรวยปลายตัด ผลิตโดย บริษัท Brevelli AFTRI ประเทศอิตาลี

2.2.13 เครื่องทดสอบการสึกหรอของยางแบบ Akron หมุนด้วยความเร็ว 250 ± 5 รอบต่อนาที มีหินขัดกดลงบนยาง 4.5 กิโลกรัม ผลิตโดยบริษัท H.W. Wallace & CO., Ltd

2.2.14 เครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก (Hydraulic vulcanizing press) ขนาดแผ่นอัด 16x16 ตารางนิ้ว ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า ปรับอุณหภูมิได้ 399 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อัดสูงสุด 6,000 psi ผลิตโดยโรงงานชัยเจริญการช่าง ดังรูปที่ 2.5



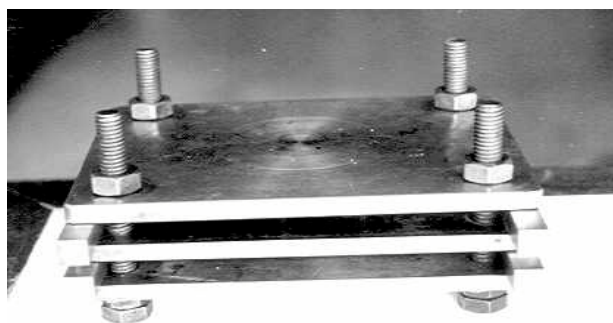
รูปที่ 2.5 เครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก

2.2.15 เครื่องหาความถ่วงจำเพาะ (Density gravitometer) ใช้หลักการแทนที่น้ำ ผลิตโดยบริษัท Draveil-S&O ประเทศฝรั่งเศส

2.2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 18 – 300,000 เท่า รุ่น JSM-5800 LV ยี่ห้อ Jeol ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น

2.2.17 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง Model 215 ผลิตโดยบริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.18 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปของยาง (Compression set apparatus) แต่ละชิ้นถูกคั่นด้วย Space bar หนา 0.94 เซนติเมตร มีสกรูยึดแน่นทั้งสี่มุมดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด

3. วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างกากชี้เป้งจากโรงงานน้ำยางข้น

เก็บตัวอย่างกากชี้เป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 แห่งในพื้นที่จังหวัดสงขลา และปัตตานี คือ

บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด

บริษัท จะนะน้ำยางข้น จำกัด

บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด

โดยเก็บตัวอย่างจากจุดเกิดกากชี้เป้ง คือ ถังปั่นน้ำยาง การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะเก็บกากชี้เป้งประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตัวอย่าง โดย

ครั้งที่ 1 วันศุกร์ที่ 25 ธันวาคม 2547

ครั้งที่ 2 วันจันทร์ที่ 28 กุมภาพันธ์ 2548

3.2 การเตรียมกากชี้เป้ง

กากชี้เป้งสดจากโรงงาน นำไปเตรียมให้แห้งและบดให้ละเอียด โดยวิธีดังนี้

1) นำกากชี้เป้งมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากชี้เป้งแห้งสนิท (หรือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

2) นำไปบดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด และนำไปร่อนต่อเพื่อจำกัดขนาดของกากชี้เป้ง โดยใช้กระแกรงร่อนขนาด 40 เมช

3.3 การตรวจสอบสมบัติทั่วไปของกากชี้เป้ง

นำกากชี้เป้งที่ผ่านการร่อนจำกัดขนาดด้วยตะแกรง 40 เมช แล้วตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่น ความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังนี้

3.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง

- 1) ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 30 นาที
- 3) วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที
- 4) วัดค่า pH ของสารละลาย ด้วยเครื่อง pH meter

3.3.2 ความหนาแน่น

- 1) เติมน้ำกลั่น (ทราบปริมาตร) ลงในบีกเกอร์ ชิด ระดับน้ำเอาไว้
- 2) ชั่งกากชี้เป้งอบแห้งในบีกเกอร์
- 3) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง (M)
- 4) ใช้หลอดหยดหรือปิเปต คูดน้ำออกจนถึงขีดระดับที่ mark ไว้ แล้วนำมาวัดปริมาตร (v) ที่ถูกมวลของตัวอย่างแทนที่

การคำนวณ

$$D = M / V$$

โดย D = ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)

M = มวลหรือน้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

V = ปริมาตรของน้ำที่อุกมวลแทนที่ (ลบ.ซม.)

3.3.3 ความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด

- 1) อบถาดเหล็กที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จนน้ำหนักคงที่)
- 2) นำถาดเหล็กใส่ใน dessicator ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 -30 นาที)
- 3) ชั่งน้ำหนักถาดเหล็ก (A)
- 4) ตักกากจีแป้งใส่ลงในถาดเหล็ก
- 5) บันทึกน้ำหนักรวมของถาดเหล็กและกากจีแป้ง (B)
- 6) อบถาดเหล็กที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จนน้ำหนักคงที่)
- 7) นำถาดเหล็กไปใส่ใน dessicator ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15 -30 นาที)
- 8) ชั่งน้ำหนักรวมของถาดเหล็กและกากจีแป้งหลังการอบ (C)

การคำนวณ

$$\% \text{ TSC (ปริมาณของแข็งทั้งหมด)} = (Y \times 100) / X$$

$$\% \text{ MC (ความชื้น)} = ((X-Y) \times 100) / X$$

โดยที่ X = น้ำหนักของกากสด (B-A) หน่วยเป็น กรัม

Y = น้ำหนักของกากหลังอบ (B-C) หน่วยเป็น กรัม

3.4 การตรวจสอบสมบัติของปูนซีเมนต์

ตรวจสอบสมบัติทั่วไปของปูนซีเมนต์ ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง และ ความหนาแน่น ดังนี้

3.4.1 ความเป็นกรด – ด่าง (1: 5 water)

- 1) ชั่งปูนซีเมนต์ (OPC) 10 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่วประมาณ 10 นาที
- 3) ตั้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที
- 4) วัดค่า pH ของสารละลาย ด้วยเครื่อง pH meter

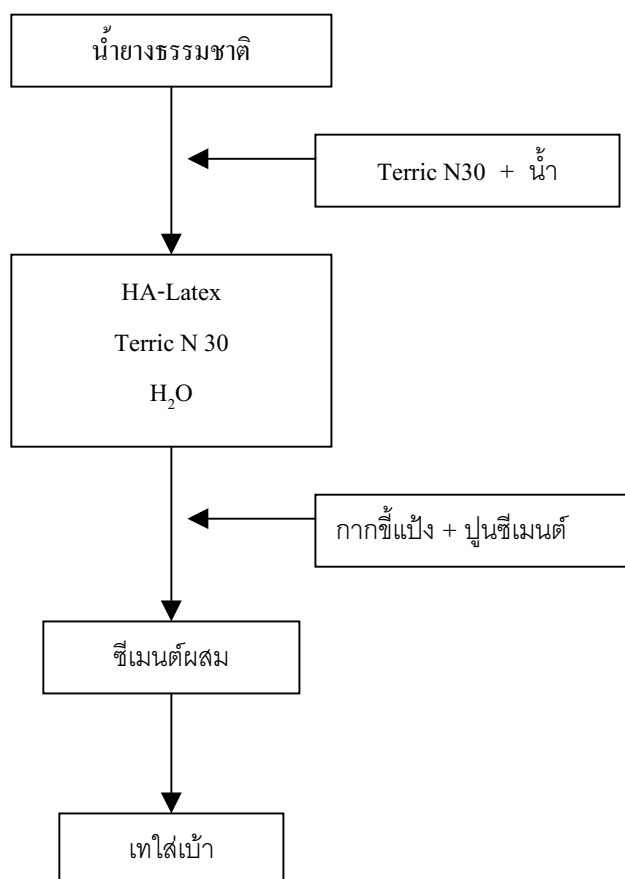
3.4.2 ความหนาแน่น โดยใช้ขวด ถพ. (Pyknometer)

- 1) นำขวด ถพ. หรือ pyknometer ชั่งน้ำหนักขวดเปล่า (W)
- 2) ชั่งขวดบรรจุน้ำกลั่นจนเต็ม (W_1)
- 3) ชั่งขวดที่เติมกากซีเมนต์แห้งจำนวนเล็กน้อย (W_2) และเมื่อเติมน้ำกลั่นเข้าไปจนเต็ม นำไปชั่ง (W_3)
- 4) คำนวณหาความหนาแน่น

การคำนวณ	D	=	M / V
โดย	D	=	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
	M	=	น้ำหนักตัวอย่าง ($W_2 - W$) หน่วยเป็น กรัม
	V	=	ปริมาตรกากซีเมนต์แห้ง ($(W_1 - W) - (W_3 - W_2)$) หน่วยเป็น ลบ.ซม.

3.5 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต (กากซีแพ้ง ซีเมนต์-ยางธรรมชาติ)

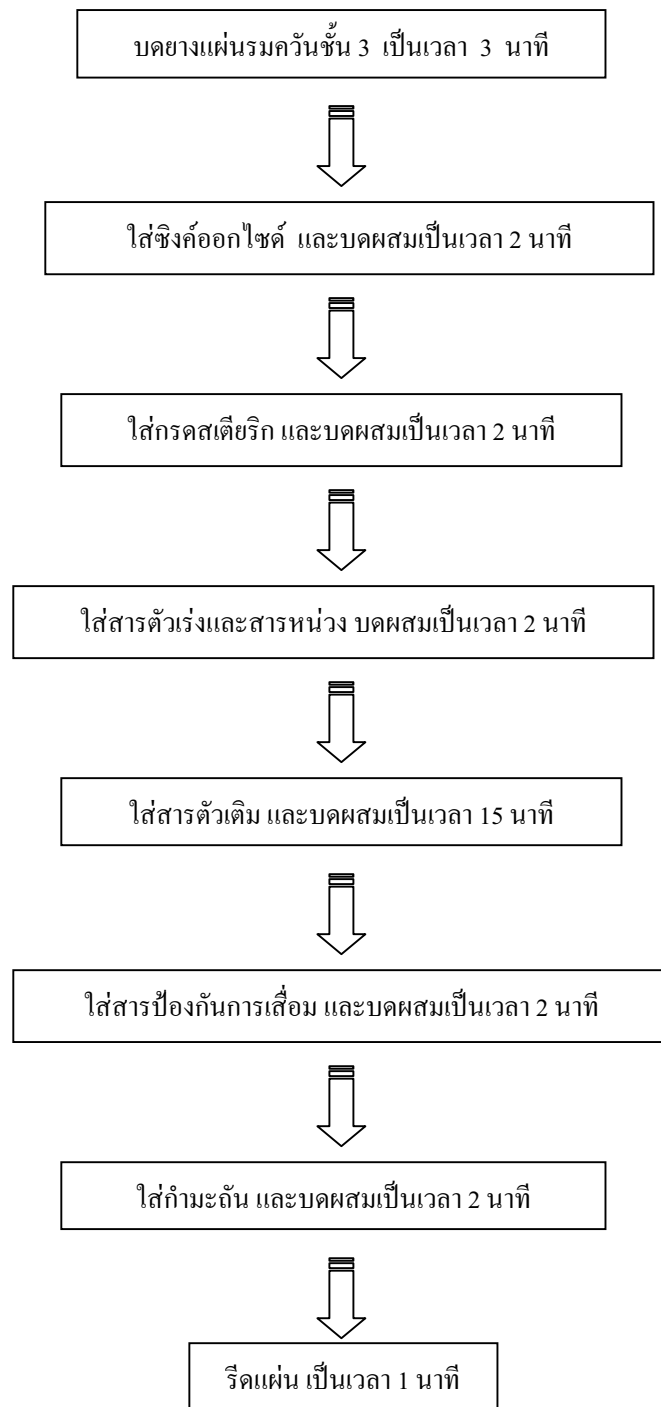
การเตรียมซีเมนต์ที่ใช้ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสม และเตรียมซีเมนต์ที่จะใช้เป็นจันททดสอบนั้นมีลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.6 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์

นำยางและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางคอมปาวด์ ทำการบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์

3.7 การทดสอบซีเมนต์

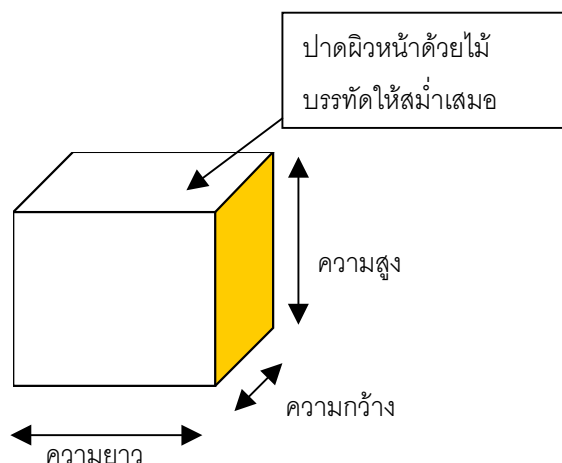
3.7.1 การแข็งตัว

สมบัติการแข็งตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างนำยางธรรมชาติและปูนซีเมนต์ โดยมีกากจี้เป้งผสมเข้าไปเป็นสารตัวเติม ทำการเตรียมชิ้นทดสอบสูตรต่างๆดังตารางที่ 3.1 จากนั้นเทลงในเบ้าที่ได้จัดเตรียมไว้ ทิ้งไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องจนชิ้นทดสอบแข็งตัว กดด้วยนิ้วมือไม่เกิดรอยยุบและเมื่อแกะออกจากเบ้าแล้วไม่ทำให้ชิ้นทดสอบเสียหาย โดยระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเทลงในเบ้าจนชิ้นทดสอบแข็งตัวคือเวลาการแข็งตัว (setting) ของพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.7.2 การหดตัว

ทำการทดสอบสมบัติการแข็งตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างนำยางธรรมชาติและปูนซีเมนต์ โดยมีกากจี้เป้งผสมเข้าไปเป็นสารตัวเติม ทำการเตรียมชิ้นทดสอบสูตรต่างๆดังตารางที่ 3.1 จากนั้นเทลงในเบ้าที่เตรียมไว้ เอาไม้บรรทัดมาปาดผิวหน้าให้สม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้ชิ้นทดสอบแข็งตัวแล้วแกะออกจากเบ้า ตั้งชิ้นทดสอบไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน จากนั้นทำการวัดปริมาตรของชิ้นทดสอบทั้ง 3 ด้าน (สูง x กว้าง x ยาว) ดังรูปที่ 3.3 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวได้จากสมการ

$$(1) \quad \% \text{ การหดตัว} = \frac{\text{ปริมาตรของเบ้า} - \text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}}{\text{ปริมาตรของเบ้า}} \times 100$$



รูปที่ 3.3 รูปร่างของชิ้นทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 cm³

3.7.3 ความต้านทานต่อแรงกด (Compressive strength)

ทดสอบความต้านทานต่อแรงอัดของซีเมนต์ยางหรือพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยเตรียมชิ้นทดสอบที่แปรปริมาณกากซีเมนต์ปริมาณต่างๆ (ดังตารางที่ 4.2) เทส่วนผสมใส่เบ้าที่เตรียมไว้ (รูปที่ 2.1) เมื่อชิ้นทดสอบแข็งตัวแล้วแกะชิ้นทดสอบออกจากเบ้า ตั้งชิ้นทดสอบไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบความต้านทานต่อแรงอัด (Compressive strength) ด้วยเครื่อง Compressive machine นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาความต้านทานต่อแรงอัด ตามมาตรฐาน BS 1881 : Part 4 (คู่มือการทดสอบ หิน ทรายและคอนกรีต, 2543) โดยมีสมการดังนี้

$$(2) \quad \text{ความต้านทานต่อแรงอัด} = \frac{A \times 453.59}{\text{กว้าง} \times \text{ยาว}} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

เมื่อ A = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ

3.7.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

ทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของอนุภาคกากซีเมนต์ที่กระจายตัวในส่วนผสมของน้ำยางและซีเมนต์ โดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope , SEM) เตรียมชิ้นทดสอบโดยการทุบชิ้นทดสอบด้วยฆ้อน จากนั้นนำส่วนที่ถูกทำลายที่มีขนาดประมาณ 2-5 มม. ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

3.8 การทดสอบยางวัลคาไนซ์

3.8.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ตัดตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ 2-3 กรัม นำยางและตุ้มถ่วงไปชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ ในการชั่งในน้ำต้องได้ฟองอากาศที่จับผิวชิ้นตัวอย่างออกจนหมด และรอให้น้ำในถ้วยแก้วอยู่ในสภาวะนิ่ง ไม่มีกระแสน้ำในแนวตั้งหรือกระแสไหลวน นำมาคำนวณผลดังนี้

$$(3) \quad \text{ความถ่วงจำเพาะ} = W_1 / [(W_1 + W_2) - W_3]$$

เมื่อ	W_1	คือ	น้ำหนักยางในอากาศ (กรัม)
	$W_1 + W_2$	คือ	น้ำหนักยางและตุ้มถ่วงในอากาศ (กรัม)
	W_3	คือ	น้ำหนักยางในน้ำกับตุ้มถ่วงในน้ำ (กรัม)

3.8.2 ความทนทานต่อแรงดึงและการยืดจนขาด (Stress and strain)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 412-98 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปคัมเบลขนาด Die Type C โดยตัดตามแนว grain ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 x 0.4 มิลลิเมตร จัดเส้นกลางแนวการทดสอบ (gauge length) ระยะ 20 มิลลิเมตร ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของที่จับชิ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตร/นาที แล้วบันทึกค่าแรงที่ระยะยืด 100% และ 300% แรงที่ดึงจนขาด และระยะยืดที่ดึงจนขาด โดยมีสูตรในการคำนวณผลดังนี้

$$(4) \quad 100\% \text{ Modulus} = F/A \quad (\text{MPa})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะ 100 % จากระยะเดิม (นิวตัน)
A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)

$$(5) \quad 300\% \text{ Modulus} = F/A \quad (\text{MPa})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะ 300 % จากระยะเดิม (นิวตัน)
A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)

$$(6) \quad 500\% \text{ Modulus} = F/A \quad (\text{MPa})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะ 500 % จากระยะเดิม (นิวตัน)
A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)

$$(7) \quad \text{Tensile strength} = F/A \quad (\text{MPa})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการยืดชิ้นทดสอบจนขาด (นิวตัน)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะที่ไม่ได้ยืด (ตารางมิลลิเมตร)

$$(8) \quad \text{Elongation at break} = [(L-L_0)/L_0] \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อ L คือ ระยะยืดขณะที่ชิ้นทดสอบขาด (เซนติเมตร)
L₀ คือ ระยะกำหนดเริ่มต้นก่อนดึง (เซนติเมตร)

3.8.3 ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 624-98 ตัดชิ้นทดสอบเป็นแบบมุมด้วย die B มีความหนา 2 ± 0.2 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 ± 50 มิลลิเมตร/นาที อ่านค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ยางฉีกขาดจากกัน โดยมีสูตรในการคำนวณผลดังสมการด้านล่างนี้

$$(9) \quad \text{Tear strength} = F/d \quad (\text{N/mm})$$

เมื่อ F = แรงดึงจนชิ้นทดสอบขาด (นิวตัน)

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

3.8.4 ความแข็งของยาง (Hardness)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2240-97 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ใช้เครื่องมือวัดความแข็งกดลงบนยางหลาย ๆ ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งของยางจากหน้าปัดของเครื่องแล้วหาค่ากลาง ค่าที่ได้เป็นค่าความแข็งของยางหน่วยเป็น Shore A ยางที่ใช้ทดสอบมีความหนาประมาณ 8-10 มิลลิเมตร ความกว้างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร การวัดจะต้องกดให้เป็นสัมผัสกับหน้ายางโดยตลอด อาจจะใช้มือกดหรือน้ำหนักกดก็ได้ ให้ทำการวัด 5 จุด ใช้ค่ากลางเป็นค่าความแข็งของยางชิ้นทดสอบ

3.8.5 การผิดรูปเนื่องจากการกด (Compression set)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 395-98 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ เตรียมชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 29.0 ± 0.5 มิลลิเมตร หนา 12.5 ± 0.5 มิลลิเมตร นำมาอัดให้ผิดรูป 25 % ของความหนาเดิม วัดความหนาก่อนทดสอบ บริเวณกึ่งกลางของยางวัดค่าใน 3 ตำแหน่ง ด้วยเครื่องมือโครมิเตอร์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเอาออกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของยางบริเวณกึ่งกลาง 3 ตำแหน่ง อีกครั้ง และคำนวณผลดังสมการด้านล่างนี้

$$(10) \quad C = [(t_0 - t_f) / (t_0 - t_n)] \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อ t_0 คือ ความหนาเดิมก่อนทดสอบ (มิลลิเมตร)

t_f คือ ความหนาของยางหลังอบ (มิลลิเมตร)

t_n คือ ความหนาของแผ่นกั้น (มิลลิเมตร)

3.8.6 การสึกกร่อนของยางแบบ Akron

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน BS.903 : Part A (บุญธรรม คณะ, 2534) มีวิธีการทดสอบดังนี้ เตรียมยางมาตรฐานตามสูตรในตารางที่ 3.5 เตรียมยางมาตรฐานและยางตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร หนา 13.5 มิลลิเมตร ตรงกลางมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักแล้วไปทดสอบด้วยเครื่อง Akron Abrader ให้ครบ 500 รอบ ชั่งน้ำหนักและปริมาตรของยางที่หายไปเทียบกับตารางที่ 3.7 เพื่อหาจำนวนรอบที่จะ Running-in และทดสอบจริง โดยการทดสอบจริง 5 ครั้งจะต้องนำไปหาค่าเฉลี่ยปริมาตรยางที่หายไป

สูตรยางมาตรฐานทดสอบความต้านทานต่อการสึกกร่อน ประกอบด้วย

RSS-1 100, ZnO 5, Stearic acid 3, TMQ 1, TBBS 1, HAF 50, Sulphur 3 phr.

การคำนวณ ดัชนีการสึกกร่อน ผลดังสมการ

$$(11) \quad \text{Abrasion index} = (S/T) \times 100 \quad (\%)$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรของยางมาตรฐานที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ

T คือ ปริมาตรของยางตัวอย่างที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ

3.8.7 การดูดซับน้ำ

นำชิ้นทดสอบตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน ชั่งน้ำหนักแล้วเอาไปแช่น้ำที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน นำชิ้นทดสอบมาเช็ดให้แห้งแล้วตั้งทิ้งไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสมการ

$$(12) \quad \% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

การผลิตน้ำยางข้น โดยวิธีการปั่นแยกน้ำยางด้วยความเร็วสูงเพื่อแยกน้ำและสารเจือปนอื่นๆ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการปั่นแล้ว น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ หางน้ำยาง และส่วนที่สอง คือ น้ำยางข้น ซึ่งมีอนุภาคยางมาก โดยปกติ น้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60% ของเนื้อยางแห้ง

กระบวนการผลิตในโรงงานผลิตน้ำยางข้น มีกากจีแป็ง เป็นของเสียจากการผลิต ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณถังปั่นและถังพักน้ำยาง เป็นตะกอนก้อนโลหะแมกนีเซียมก่อนนำน้ำยางมาปั่น โดยทั่วไปแล้วในโรงงานต่างๆ จะกำจัดทิ้งโดยใช้วิธีการนำกากจีแป็งไปถมที่ บางโรงงานก็ทิ้งรวมกับขยะและบางโรงงานกำจัดโดยการเผาทิ้ง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างกากจีแป็งจากโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลาและจังหวัดปัตตานี ซึ่งแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายชื่อของโรงงานน้ำยางข้นที่เก็บตัวอย่างกากจีแป็ง

ลำดับที่	ชื่อโรงงาน
1	บริษัท จะนะน้ำยางข้น จำกัด อ.จะนะ จ.สงขลา
2	บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด อ.เมือง จ.ปัตตานี
3	บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด อ.สะเดา จ.สงขลา

4.1 สมบัติของกากจีแป็ง น้ำยางข้น และปูนซีเมนต์

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของกากจีแป็ง

นำกากจีแป็งสด มาอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนาแน่น ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดและความชื้น



รูปที่ 4.1 ลักษณะของกากจีแป็งหลังอบแห้ง

1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

กากซีเป้งสด เก็บมาประมาณ 5 – 6 ชั่วโมง มีค่า pH อยู่ในช่วง 8.38–9.30 แสดงว่าค่อนข้างเป็นด่าง เนื่องจากในกระบวนการปั่นน้ำยางข้น ได้มีการใส่แอมโมเนียลงไปให้น้ำยางสด เมื่อทำการปั่นอาจจะมีแอมโมเนียบางส่วนหลงเหลืออยู่ในกากซีเป้ง จึงทำให้กากซีเป้งสดที่ได้ค่อนข้างเป็นด่าง แต่กากซีเป้งรอบแห้งและบดละเอียด มีค่า pH ในช่วง 7.28–8.56 มีความเป็นด่างเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนียบางส่วนที่เหลืออยู่ในกากซีเป้งได้สูญหายไปขณะทำการอบแห้ง

ค่า pH ของกากซีเป้งจากโรงงานต่างๆ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วัตถุดิบที่ใช้เป็นน้ำยางสด มีการเก็บรักษาด้วยแอมโมเนียและรวบรวมน้ำยางสดในช่วงเวลาต่างกัน จึงทำให้กากซีเป้งในแต่ละโรงงานมีค่า pH แตกต่างกัน

2) ความหนาแน่น

กากซีเป้งประกอบด้วย มีสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น NH_3 , TMTD, และ ZnO รวมทั้ง DAHP ที่เติมลงไปให้น้ำยางเพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม (Blackley, 1997) ดังนั้นเมื่อทำการปั่นน้ำยาง ส่วนที่เหลือตรงกันถึงมาจากการเซนตริฟิวก์ จะมีลักษณะเป็นโคลนตม สีเหลืองหรือสีขาว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกโลหะหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัสและซีลีเนียม จึงทำให้ความหนาแน่นของกากซีเป้งที่ได้มากกว่าความหนาแน่นของเนื้อยาง (0.975–0.980 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) สำหรับกากซีเป้งที่จากโรงงานทั้ง 3 โรง มีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.16–1.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีความแตกต่างกัน เนื่องจากกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงานแตกต่างกัน แหล่งวัตถุดิบน้ำยางสดมาจากสวนยางที่มีการดูแลให้ปุ๋ยและดูแลการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน นอกจากนี้มีการเก็บรักษาน้ำยางโดยการใส่สารเคมีในปริมาณที่ต่างกัน

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด และความชื้น

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากซีเป้ง ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย แมกนีเซียมและฟอสฟอรัส และสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งอยู่ในรูปของโคลนตมสีเหลือง หรือสีขาวที่ได้จากกระบวนการปั่น ส่วนความชื้นเป็นส่วนของน้ำที่เหลือมาจากการปั่น โดยทั้งปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้นที่ได้ มีความแตกต่างกันทั้ง 3 โรงงาน โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) อยู่ในช่วง 50.83–77.72% และความชื้น (%MC) มีค่าอยู่ในช่วง 22.27–49.16% เนื่องจากความแตกต่างในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นของแต่ละโรงงาน วัตถุดิบน้ำยางสด การเก็บรวบรวมน้ำยาง และสารเคมีที่ใส่ลงไปให้น้ำยาง มีความแตกต่างกัน

4.1.2 สมบัติทั่วไปของน้ำยางข้น มีดังนี้

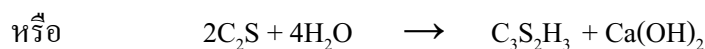
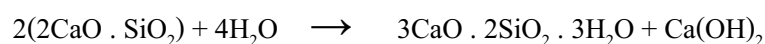
TSC	=	62.15	%
DRC	=	60.58	%
Surface tension	=	32	dyne / cm.
Viscosity	=	58	centipoise
pH	=	11.55	
Alkalinity	=	0.68	

4.1.3 สมบัติทั่วไปของปูนซีเมนต์

นำปูนซีเมนต์ชนิด Ordinary Portland Cement (OPC) มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และความหนาแน่น (

1) ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด Ordinary Portland Cement (OPC) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ตราเสือ) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทาดำ ทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยนำปูนซีเมนต์มาใส่น้ำด้วยอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 5 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของปูนซีเมนต์ได้ค่าเท่ากับ 12.5 ซึ่งถือว่าเป็นด่างค่อนข้างมาก เนื่องจากว่าปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบพวกโลหะออกไซด์ ได้แก่ CaO, MgO, SiO₂ , Al₂O₃ , Fe₂O₃ เป็นต้น โดยเฉพาะ CaO เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดเป็น Ca(OH)₂ ซึ่งให้สมบัติที่เป็นด่างอย่างมาก จึงทำให้ปูนซีเมนต์มีความเป็นด่างที่ค่อนข้างสูง โดยแสดงการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ (��ชาวลัย, 2543)



2) ความหนาแน่น

ปูนซีเมนต์ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเป็นพวกโลหะออกไซด์ เช่น CaO, MgO, SiO₂ , Al₂O₃ , Fe₂O₃ มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ดังนั้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์มีค่าสูงตามไปด้วย มีค่าความหนาแน่น 3.15 กรัม/ลบ.ซม.

4.2 การผสมซีเมนต์โดยใช้กากซีเมนต์และน้ำยางชัน

นำกากซีเมนต์ที่เตรียมให้มีขนาดเล็กกว่า 40 เมช มาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำยางชัน เพื่อทำเป็นซีเมนต์ยางปูพื้น โดยใช้สัดส่วนในการผสมตามตารางที่ 4.2 และแปรปริมาณของกากซีเมนต์ตั้งแต่ 0–1,000 phr ที่ใส่เข้าไปในสูตรการผสม ทำการเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้กับสูตรการผสมที่ไม่ใช้กากซีเมนต์ โดยขั้นตอนการผสมทำตามหัวข้อ 3.5 ณ อุณหภูมิห้อง ชั่งทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้ ก่อนทำการทดสอบจะต้องนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการเซ็ตตัวก่อน โดยทดสอบสมบัติการเซ็ตตัวที่ระยะเวลา 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 28 วัน สมบัติการหดตัว ความต้านทานต่อแรงกด และ ลักษณะฐานฐานวิทยา ตามวิธีการทดสอบในหัวข้อ 3.7

ตารางที่ 4.2 สูตรที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณกากขี้เป้งต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

สารเคมี (phr)	ถาวร					จะนะ					ป่าสัก				
	T1	T2	T3	T4	T5	J1	J2	J3	J4	J5	P1	P2	P3	P4	P5
HA 20%DRC *	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10%Terric N-30 **	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cement	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Sludge	0	250	500	750	1000	0	250	500	750	1000	0	250	500	750	1000
H ₂ O ***	135	385	635	885	1135	135	385	635	885	1135	135	385	635	885	1135

หมายเหตุ * น้ำหนักที่แท้จริง = 500 กรัม
 ** น้ำหนักที่แท้จริง = 100 กรัม
 *** น้ำหนักน้ำที่แท้จริง

ใช้สัดส่วน Cement : water = 1.6 : 1 Sludge : water = 1 : 1

(ตัวอย่างสูตร T2 ปริมาณน้ำที่ ใช้ = (สัดส่วนน้ำที่ใช้ในซีเมนต์ + สัดส่วนน้ำที่ใส่ในกากขี้เป้ง) – น้ำที่มีในส่วนของน้ำยาง – น้ำในส่วนของ terric 30

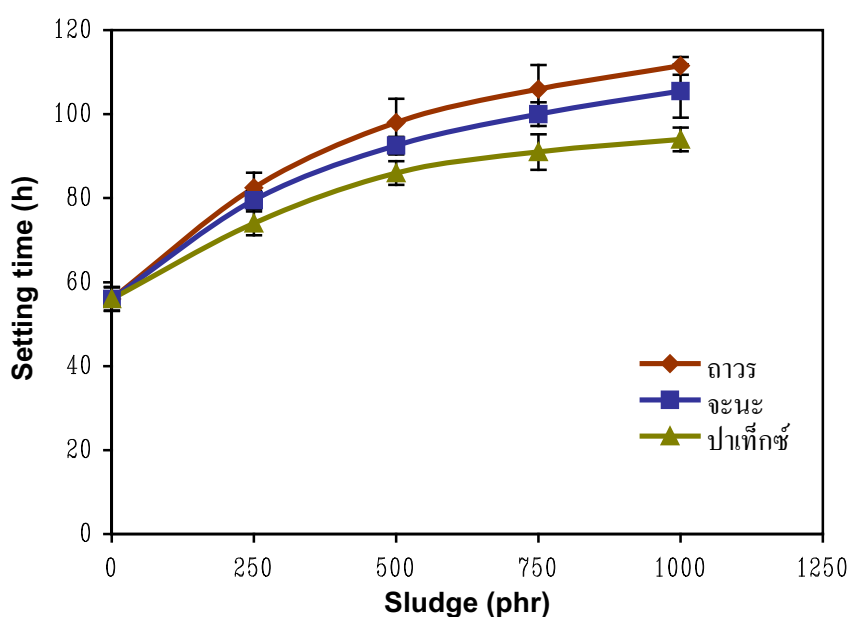
$$= (1000/1.6) + 250 - 400 - 90$$

$$= 385$$

4.2.1 ผลของการใช้กากจี้แป้งและน้ำยางข้นต่อสมบัติของซีเมนต์

1) การเซ็ทตัว

พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากจี้แป้งน้ำยางข้นและปูนซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากจี้แป้งที่ระดับ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 phr ส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตตามหัวข้อ 3.5 และทำการทดสอบระยะเวลาในการแข็งตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ตามหัวข้อ 3.7.1 ได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณกากจี้แป้งแต่ละโรงงานต่อเวลาการเซ็ทตัวของพอลิเมอร์ คอมโพสิต

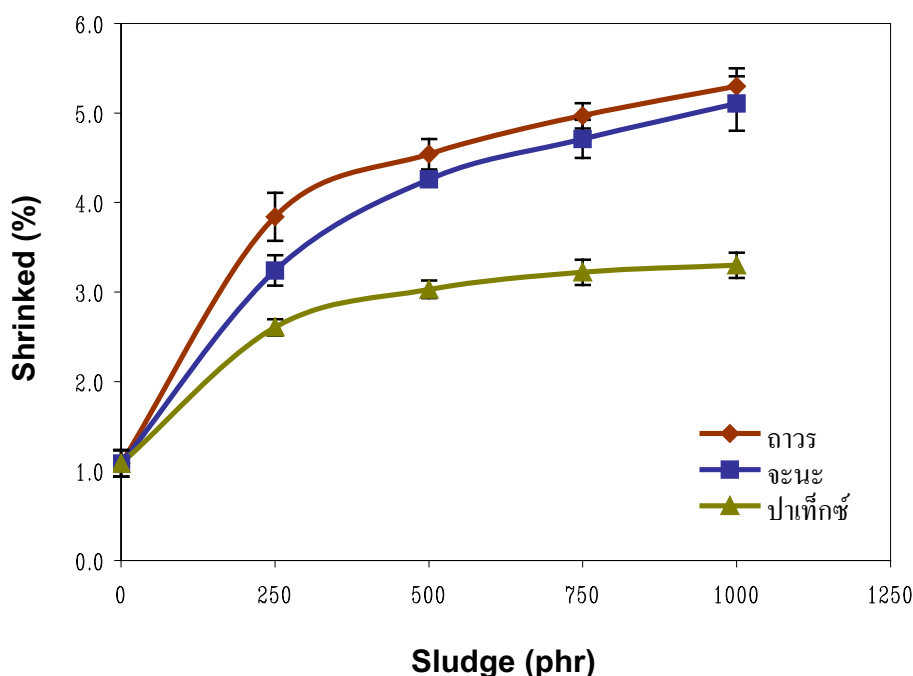
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ซีเมนต์ยางหรือพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ไม่ได้ใส่กากจี้แป้ง มีปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อย จึงทำให้ซีเมนต์ยางแห้งเร็วกว่าสูตรที่ใส่กากจี้แป้ง คาดว่ากากจี้แป้งที่ใส่ลงไปในส่วนผสมซีเมนต์ยางจะดูดซับน้ำเอาไว้ ทำให้ซีเมนต์มีความชื้นจึงแข็งตัวช้าลง ซีเมนต์ยางสูตรที่ไม่ได้ใส่กากจี้แป้ง จะใช้เวลาในการแข็งตัวน้อยที่สุด คือ ใช้เวลา 56 ± 2.45 ชั่วโมง และเมื่อเริ่มใส่กากจี้แป้งที่ 250 phr เวลาในการแข็งตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก หรือใช้เวลาในการแข็งตัวนานมากขึ้น โดยส่วนผสมที่มีอยู่ในการจี้แป้ง เช่น โพรตีน โลหะ อีออน หรือสารตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่มีเจือปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ในกากจี้แป้ง อาจทำให้เกิดการหน่วงของปฏิกิริยาการจับตัว เมื่อใส่กากจี้แป้งเพิ่มขึ้นอีกเป็น 500–1,000 phr แนวโน้มของระยะเวลาการแข็งตัวของส่วนผสมซีเมนต์ น้ำยาง และกากจี้แป้งจะเพิ่มขึ้นอีก

เล็กน้อย โดยกากซีเมนต์ที่ได้จากแต่ละโรงงานมีองค์ประกอบของธาตุแตกต่างกัน ส่งผลให้ระยะเวลาแข็งตัวของส่วนผสมแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การใส่กากซีเมนต์ในน้ำยางและซีเมนต์มีแนวโน้มเหมือนกันหมด คือ ระยะเวลาแข็งตัวของส่วนผสมจะนานเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกากซีเมนต์ที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ที่ส่วนผสมที่มีอนุภาคของยางอยู่ในซีเมนต์ยังไม่แห้ง จึงทำให้น้ำที่เหลืออยู่ก่อให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์ช้าลง หรือใช้เวลาในการแข็งตัวนานขึ้น

การพิจารณาความแตกต่าง ของระยะเวลาในการแข็งตัวของส่วนผสมซีเมนต์ยางหรือพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีกากซีเมนต์ทั้ง 3 โรงงานผสมอยู่ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการแข็งตัวของส่วนผสมที่มีกากซีเมนต์จากโรงงานถาวรจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือโรงงานจะนะและโรงงานป่าเท็กซ์ ในทุกปริมาณกากซีเมนต์ที่ใส่เข้าไป คาดว่าเนื่องจากกากซีเมนต์ของแต่ละโรงงานที่ใส่เข้าไปนั้น มีความแตกต่างทางด้านลักษณะทางกายภาพ เนื่องมาจากกระบวนการผลิตน้ำยางขึ้นวัตถุดิบน้ำยางสด ของแต่ละโรงงานแตกต่างกัน

2) การหดตัว

จากการทดลองเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเมนต์ในน้ำยางขึ้นและปูนซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากซีเมนต์ที่ระดับ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 phr ดังส่วนผสมตามตารางที่ 4.2 โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตตามหัวข้อ 3.5 และทำการทดสอบการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตตามหัวข้อ 3.7.2 ผลแสดงรูปที่ 4.3



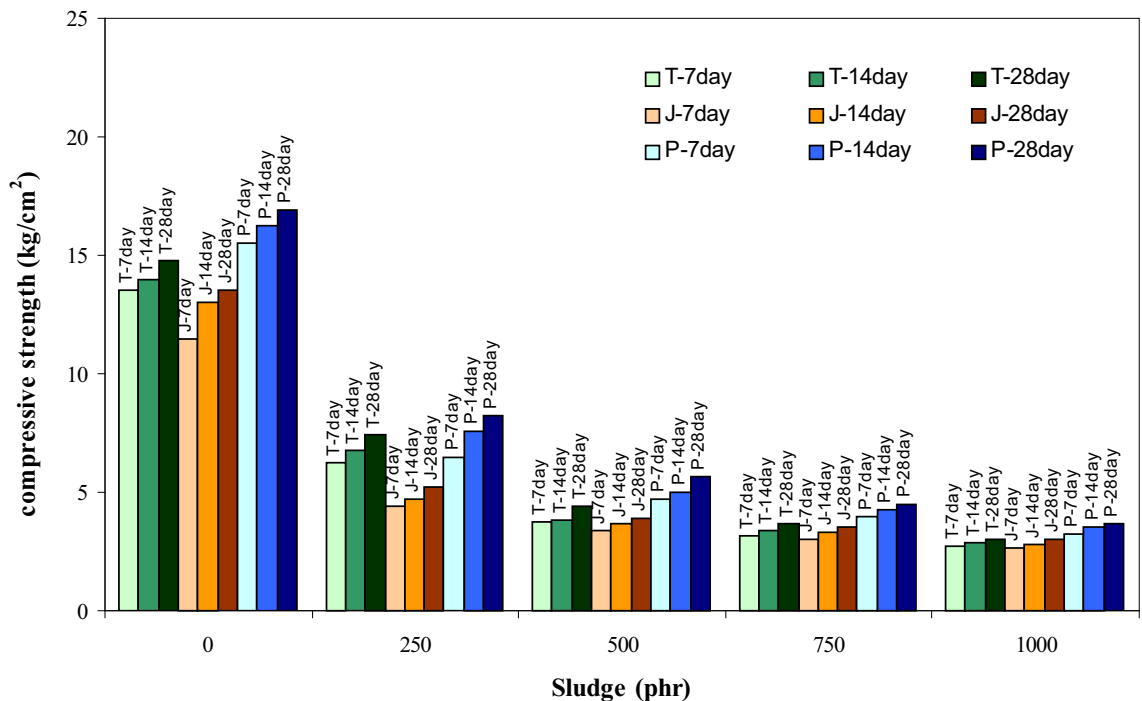
รูปที่ 4.3 ปริมาณกากซีเมนต์แต่ละโรงงานต่อการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต

รูปที่ 4.3 จะเห็นว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเป้งนำยางขึ้นและปูนซีเมนต์ มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากซีเป้งที่เพิ่มขึ้น โดยในสูตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ใส่กากซีเป้งจะให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวที่น้อยที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเริ่มใส่กากซีเป้งที่ระดับ 250 phr หลังจากนั้นเมื่อใส่กากซีเป้งที่ระดับ 500 – 1,000 phr แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากกากซีเป้งมีสมบัติดูดน้ำเก็บไว้ ดังนั้นน้ำที่มีอยู่ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจะถูกกากซีเป้งดูดเก็บไว้ โดยสูตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ใส่กากซีเป้งจะมีการหดตัวน้อยเพราะไม่เกิดการดูดน้ำเก็บไว้ แต่ในสูตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีกากซีเป้งผสมอยู่นั้น กากซีเป้งจะดูดซับน้ำเก็บไว้ ทำให้อุณหภูมิของซีเมนต์ที่ต้องการน้ำเพื่อทำปฏิกิริยาในการแข็งตัว เกิดการแข็งตัวขึ้นก่อนน้ำที่ถูกกากซีเป้งเก็บไว้ระเหยออกมา เมื่อน้ำระเหยออกจนหมด จะเกิดการยุบตัวหรือหดตัวของกากซีเป้ง จึงทำให้ขนาดของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของเบ้าที่ใช้เตรียม

การพิจารณาถึงความแตกต่าง ของเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่มีกากซีเป้งทั้ง 3 โรงงานผสมอยู่ จะเห็นว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีกากซีเป้งโรงงานถาวรและโรงงานจะนะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ใกล้เคียงกันในทุกปริมาณกากซีเป้งที่ใส่เข้าไป โดยกากซีเป้งจากโรงงานถาวรจะให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวมากกว่าโรงงานจะนะเล็กน้อย และพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้กากซีเป้งของโรงงานปาเท็กมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่น้อยกว่า โรงงานถาวรและโรงงานจะนะค่อนข้างมาก คาดว่ากากซีเป้งจากโรงงานปาเท็กดูดซับน้ำไว้น้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของกากซีเป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนำยางขึ้น วัตถุดิบนำยางสด และสิ่งเจือปน จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าต่ำกว่ามาก

3) ความต้านทานต่อแรงกด

จากการทดลองเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเมนต์น้ำยางขึ้นและปูนซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากซีเมนต์ที่ระดับ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 phr ดังส่วนผสมในตารางที่ 4.2 โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตตามหัวข้อ 3.5 และทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ตามหัวข้อ 3.7.3 ผลแสดงรูปที่ 4.4 – 4.6



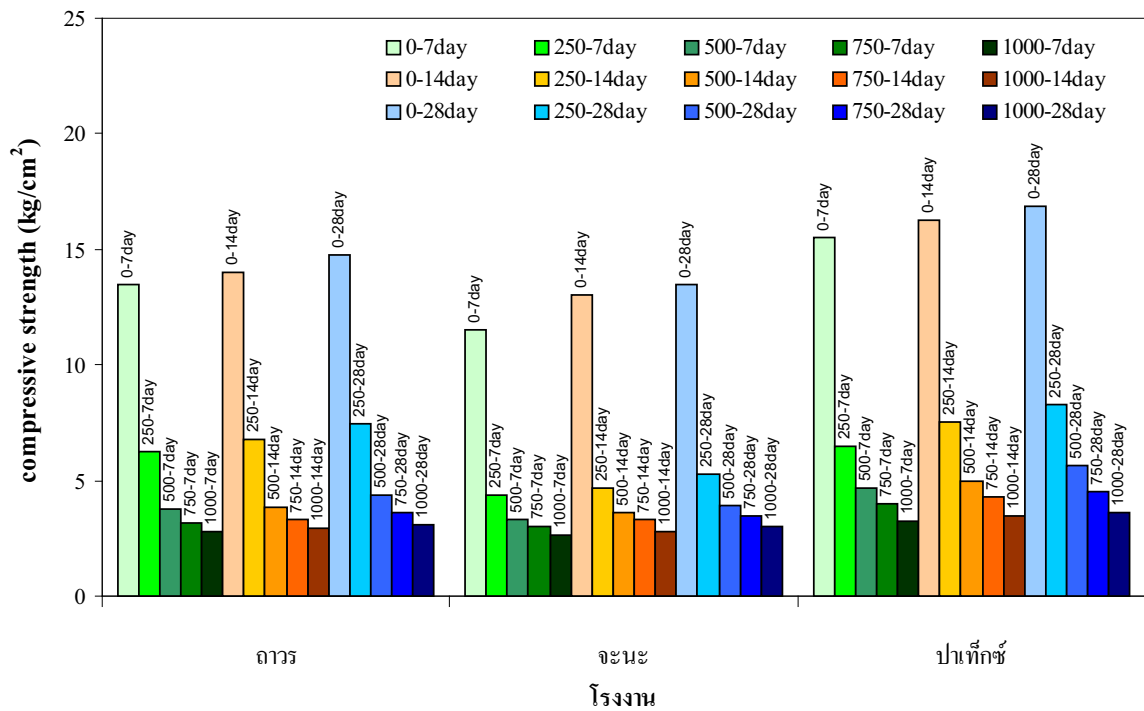
รูปที่ 4.4 ปริมาณกากซีเมนต์ปริมาณต่างๆ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

หมายเหตุ

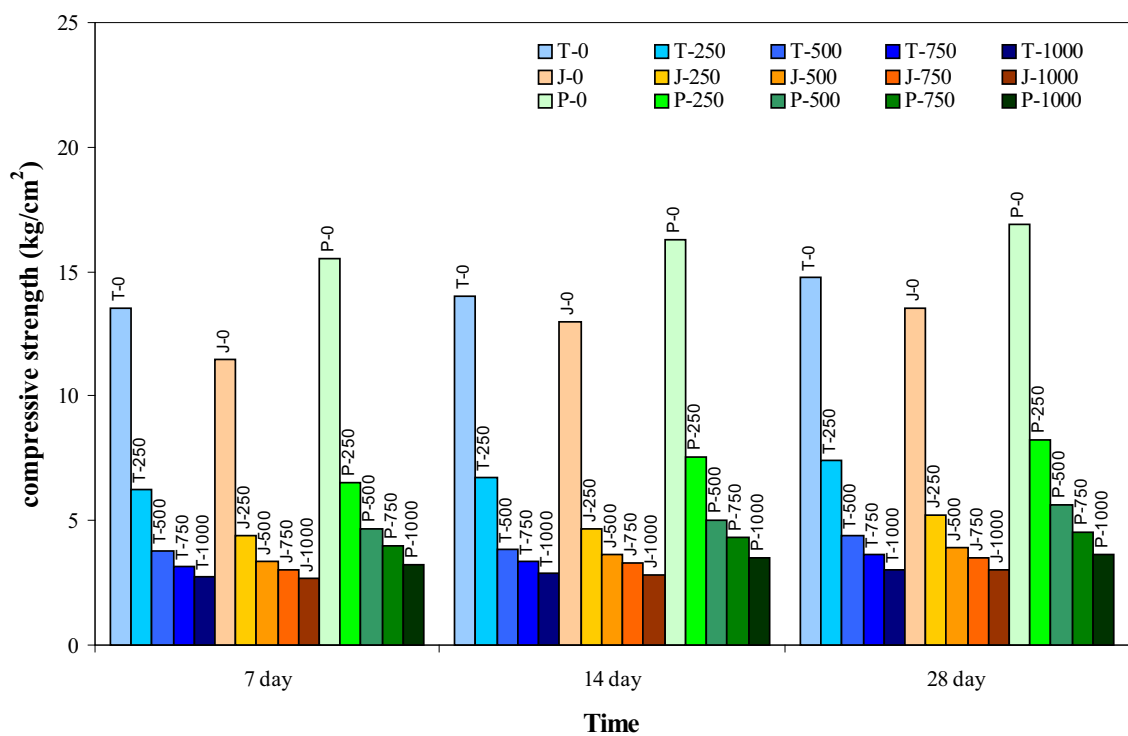
รูปที่ 4.4 และ 4.6 T หมายถึง บริษัทถาวรอุตสาหกรรม จำกัด

J หมายถึง บริษัทจะนะน้ำยางขึ้น จำกัด

P หมายถึง บริษัทปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกากซีเมนต์โรงงานต่างๆ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต



รูปที่ 4.6 ระยะเวลาในการเซตตัวต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากรูปที่ 4.4 – 4.6 จะเห็นว่าแรงกดที่ทำให้เกิดรอยแตกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเมนต์น้ำยางข้นและปูนซีเมนต์ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยในสูตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ใส่กากซีเมนต์นั้น จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดมากที่สุด แรงที่ใช้ในการกดจนเกิดรอยแตกมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใส่กากซีเมนต์ในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ระดับ 250 phr และหากเปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงกดที่ลดลงของการใส่กากซีเมนต์ 250 phr กับสูตรพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่กากซีเมนต์ที่ระดับ 500 – 1,000 phr มีแนวโน้มความต้านทานต่อแรงกดลดลงเล็กน้อย เนื่องจากกากซีเมนต์เป็นของแข็งที่เป็นผงละเอียด มีส่วนผสมของยางอยู่ด้วย ซึ่งทำให้ยึดติดกับวัสดุซีเมนต์ได้ไม่ดี ทำให้ความสามารถทนกำลังอัดต่ำ ซึ่งต่างจากทรายและหิน ดังนั้นในสูตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ใส่กากซีเมนต์จะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดสูง การใส่กากซีเมนต์ลงไปพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ระดับ 250 – 1,000 phr ความสามารถในการทนต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดต่ำลง เนื่องจากที่กากซีเมนต์เป็นเพียงสารตัวเติม ไม่เกิดพันธะกับปูนซีเมนต์ โดยจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.9-4.10) มีช่องว่างเล็กๆภายในเนื้อของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยอาจจะส่งผลถึงความแข็งแรงของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ ดังนั้นเมื่อใส่กากซีเมนต์เข้าไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกดก็จะยิ่งลดลง โดยที่กากซีเมนต์นั้นจะทำการดูดซับน้ำเก็บไว้ ซึ่งเป็นการทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวได้ไม่เต็มที่ (จากหัวข้อ 4.2.2.1) เมื่อเพิ่มปริมาณกากซีเมนต์เข้าไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตจึงทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดยิ่งลดลง

ความแตกต่างของค่าความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ระยะการเซ็ทตัวแตกต่างกัน คือ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน จากรูปที่ 4.4 และ 4.6 จะเห็นว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรเดียวกันแต่ระยะเวลาการเซ็ทตัวต่างกัน ค่าความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างกากซีเมนต์น้ำยางข้นและปูนซีเมนต์ ที่ระยะการเซ็ทตัว 7 วัน มีค่าน้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเซ็ทตัวที่ 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ (ในทุกปริมาณกากซีเมนต์ที่ใส่เข้าไป) โดยปกติแล้วค่าความต้านทานต่อแรงกดในการเตรียมซีเมนต์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม หรือระยะเวลาในการปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการเซ็ทตัว (ชัชวาลย์, 2543) ซึ่งสอดคล้องกันกับผลที่ได้ แต่ค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คาดว่าเนื่องจากซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่สมบูรณ์ โดยเกิดการสูญเสียน้ำจากการที่กากซีเมนต์ดูดซับน้ำเก็บไว้ จึงทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงกดของซีเมนต์เพิ่มขึ้นไม่มากนัก