



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้กากซีเมนต์น้ำยางชั้นเป็นสารตัวเติมซีเมนต์ยางปูพื้น

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ คณะ

22 พฤษภาคม 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

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

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)

กากชี้แป้ง เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีการกำจัดทิ้งโดยนำไปถมที่ ร่วมกับขยะหรือเผาทิ้ง ศึกษาที่จะการนำเอากากชี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ โดยเก็บตัวอย่างกากชี้แป้งในบริเวณถังปั่นและถังพักน้ำยางจากโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลาและจังหวัดปัตตานี พบว่า กากชี้แป้งอบแห้งมีค่า 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.

การใช้กากชี้แป้งและน้ำยางข้นผสมในซีเมนต์ พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ 100 phr มีซีเมนต์ 1000 phr ผสม กากชี้แป้ง 250 phr และ Terric N30 ปริมาณ 10 phr ร่วมกับการใส่น้ำ โดยใช้สัดส่วนของซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 1.6 : 1 และสัดส่วนของ กากชี้แป้ง ต่อ น้ำ เท่ากับ 1 : 1 โดยปริมาณกากชี้แป้งมีผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว การหดตัว และความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต สูตรที่ไม่ใส่กากชี้แป้งจะมีระยะเวลาการแข็งตัวและการหดตัวที่น้อยที่สุด ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงกดมีค่ามากที่สุด และเมื่อใส่กากชี้แป้งปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาการแข็งตัว และการหดตัวของซีเมนต์อย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง

การใช้กากชี้แป้งเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และการบิดรูปเนื่องจากการกด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากชี้แป้ง (20-60 phr) กากชี้แป้งจากโรงงานต่างๆ พบว่ามีความแปรปรวน ส่งผลให้สมบัติยางวัลคาไนซ์มีสมบัติความแปรปรวนด้วย การบ่มเร่งของยางที่ใช้กากชี้แป้งเป็นสารตัวเติม มีผลทำให้ค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาด มีค่าลดลง

การใช้กากชี้แป้งร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่ากากชี้แป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยาง ปริมาณ 10, 20 และ 30 phr มีผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และการบิดรูปจากการกด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หากใส่ปูนซีเมนต์ในช่วง 10–20 phr ค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) มีแนวโน้มลดลงและค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ในช่วง 20–30 phr ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการใส่กากชี้แป้งจากโรงงานต่างๆ ร่วมกับปูนซีเมนต์ สมบัติยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความแปรปรวน การบ่มเร่งของยางที่ใช้กากชี้แป้งร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม 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 ทำให้ระยะเวลาการเซตตัวและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ พอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง เมื่อปล่อยให้ เกิด การเซตตัวที่ระยะเวลา 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ระยะเวลาที่ปล่อยให้เกิดการเซตตัว 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 การเก็บตัวอย่างกากจีแบ่งจากโรงงานน้ำยางข้น	8
3.2 การเตรียมกากจีแบ่ง	8
3.3 การตรวจสอบสมบัติทั่วไปของกากจีแบ่ง	8
3.4 การตรวจสอบสมบัติของปูนซีเมนต์	10
3.5 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต (กากจีแบ่ง 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 ราคาคำนวณ	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]

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) ได้ศึกษานำกากจีแป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใยมาใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตเม็ดโฟมโพลีเอทิลีนพลาสติก พลาสติกชีวภาพไบโอดีกรี โพลีเอทิลีน 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 ทรายที่ผสมกับซีเมนต์อาจไม่สามารถที่จะยึดเกาะเอาไว้ได้ดี ดังนั้นเมื่อนำเอาปูนซีเมนต์ไปใช้งานในบางประเภท คุณสมบัติเหล่านี้จะไม่เหมาะสมนัก

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

ในการวิจัยนี้ได้ใช้กากจี้เป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาทำเป็นสารตัวเติมแทนที่ดินหรือทรายที่ให้อยู่ในปูนซีเมนต์ และผสมในน้ำยางหรือยางธรรมชาติ รวมทั้งทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ทำเป็นแผ่นซีเมนต์ยางปูพื้นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการผสมกากจี้เป้ง ยางธรรมชาติ และปูนซีเมนต์
2. เพื่อศึกษาการใช้กากจี้เป้งเป็นสารตัวเติมในการทำซีเมนต์ยางปูพื้น
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-trimethyl-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 และป่าเทกซ์ กากจีบ่งบริเวณหัวป่นน้ำยาง 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 เครื่องวัดลักษณะการวัดคาไนซ์ 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 รอบต่อ
นาที 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



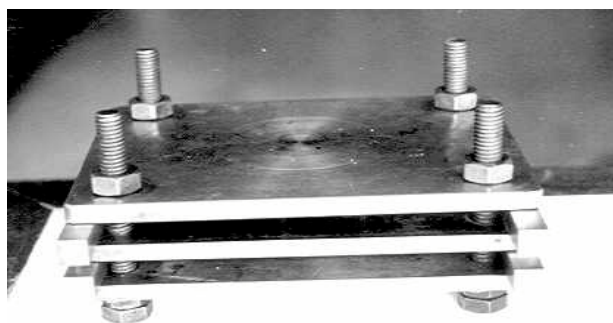
รูปที่ 2.5 เครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก

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 การเก็บตัวอย่างกากซีเมนต์จากโรงงานนำย่างขึ้น

เก็บตัวอย่างกากซีเมนต์จากตัวแทนโรงงานนำย่างขึ้น 3 แห่งในพื้นที่จังหวัดสงขลา และปัตตานี คือ

บริษัท ถาวรอุตสาหกรรม จำกัด

บริษัท จะนะนำย่างขึ้น จำกัด

บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด

โดยเก็บตัวอย่างจากจุดเกิดกากซีเมนต์ คือ ถังปั่นนำย่าง การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะเก็บกากซีเมนต์ประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตัวอย่าง โดย

ครั้งที่ 1 วันศุกร์ที่ 25 ธันวาคม 2547

ครั้งที่ 2 วันจันทร์ที่ 28 กุมภาพันธ์ 2548

3.2 การเตรียมกากซีเมนต์

กากซีเมนต์สดจากโรงงาน นำไปเตรียมให้แห้งและบดให้ละเอียด โดยวิธีดังนี้

1) นำกากซีเมนต์มาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากซีเมนต์แห้งสนิท (หรือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

2) นำไปบดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด และนำไปร่อนต่อเพื่อจำกัดขนาดของกากซีเมนต์ โดยใช้กระแกรงร่อนขนาด 40 เมช

3.3 การตรวจสอบสมบัติทั่วไปของกากซีเมนต์

นำกากซีเมนต์ที่ผ่านการร่อนจำกัดขนาดด้วยตะแกรง 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) ชั่งกากซีเมนต์อบแห้งในบีกเกอร์
- 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

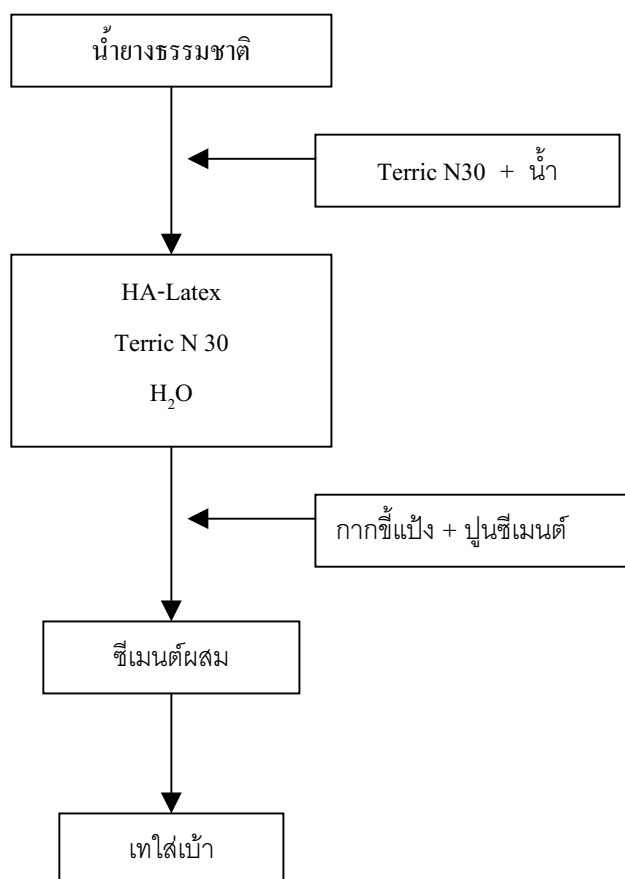
3.4.2 ความหนาแน่น โดยใช้ขวด ถพ. (Pyknometer)

- 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)

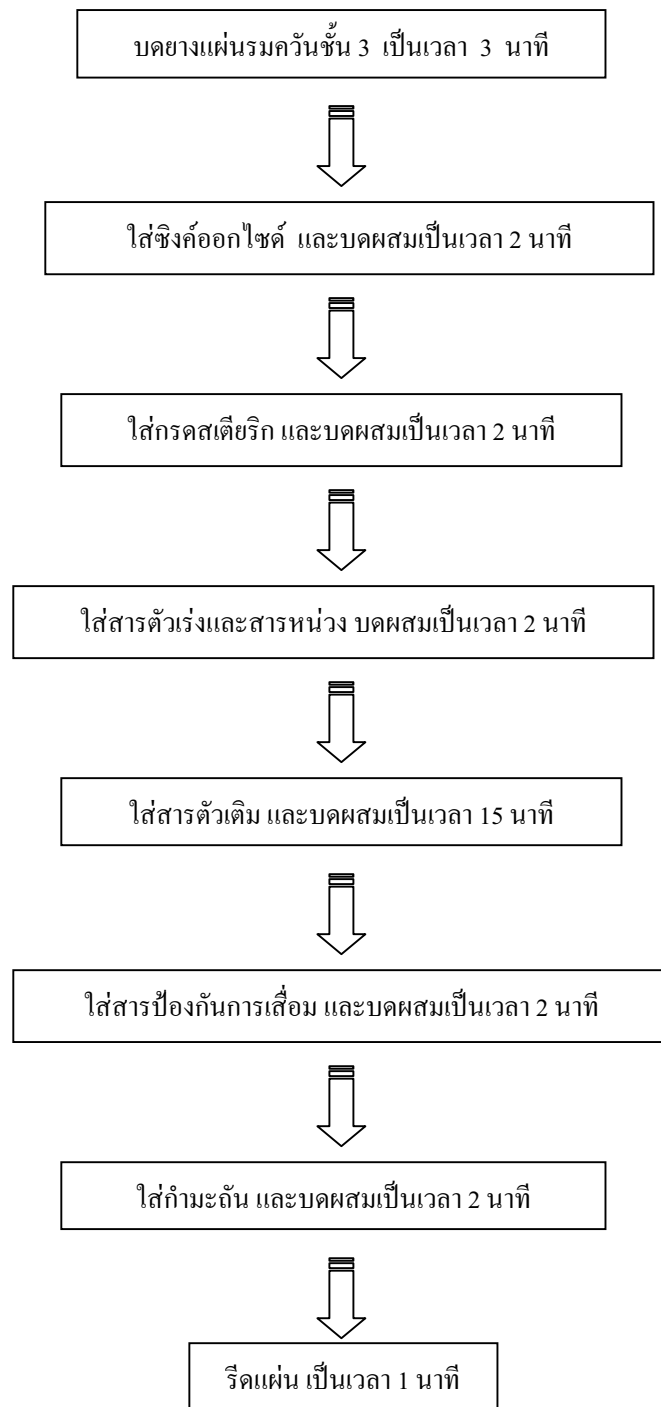
การเตรียมซีเมนต์ที่ใช้ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสม และเตรียมซีเมนต์ที่จะใช้เป็นจันททดสอบนั้นมีลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.6 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์

นำยางและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางคอมปาวด์ ทำการบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเตรียมยางธรรมชาติคอมปาวด์

3.7 การทดสอบซีเมนต์

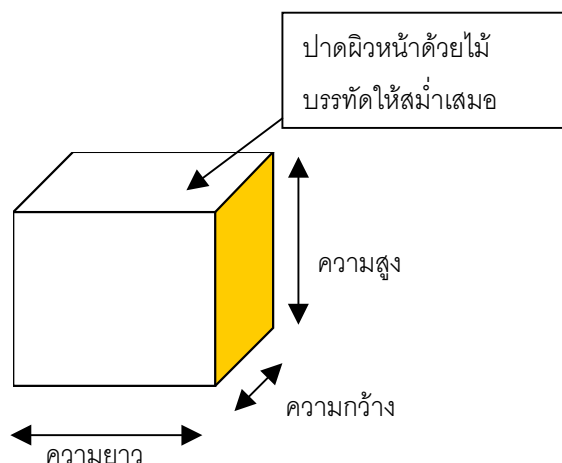
3.7.1 การแข็งตัว

สมบัติการแข็งตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างน้ำยางธรรมชาติและปูนซีเมนต์ โดยมีกากจี้แป้งผสมเข้าไปเป็นสารตัวเติม ทำการเตรียมชิ้นทดสอบสูตรต่างๆดังตารางที่ 3.1 จากนั้นเทลงในเบ้าที่ได้จัดเตรียมไว้ ทิ้งไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องจนชิ้นทดสอบแข็งตัว กดด้วยนิ้วมือไม่เกิดรอยยุบและเมื่อแกะออกจากเบ้าแล้วไม่ทำให้ชิ้นทดสอบเสียหาย โดยระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเทลงในเบ้าจนชิ้นทดสอบแข็งตัวคือเวลาการแข็งตัว (setting) ของพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.7.2 การหดตัว

ทำการทดสอบสมบัติการแข็งตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างน้ำยางธรรมชาติและปูนซีเมนต์ โดยมีกากจี้แป้งผสมเข้าไปเป็นสารตัวเติม 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 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลขนาด 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 เมื่อครบกำหนดเอายางออกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 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 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้น



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

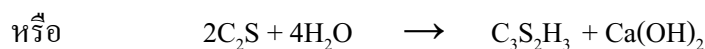
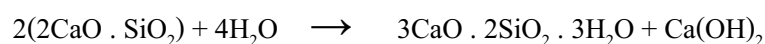
TSC	=	62.15	%
DRC	=	60.58	%
Surface tension	=	32	dyne / cm.
Viscosity	=	58	centipoise
pH	=	11.55	
Alkalinity	=	0.68	

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

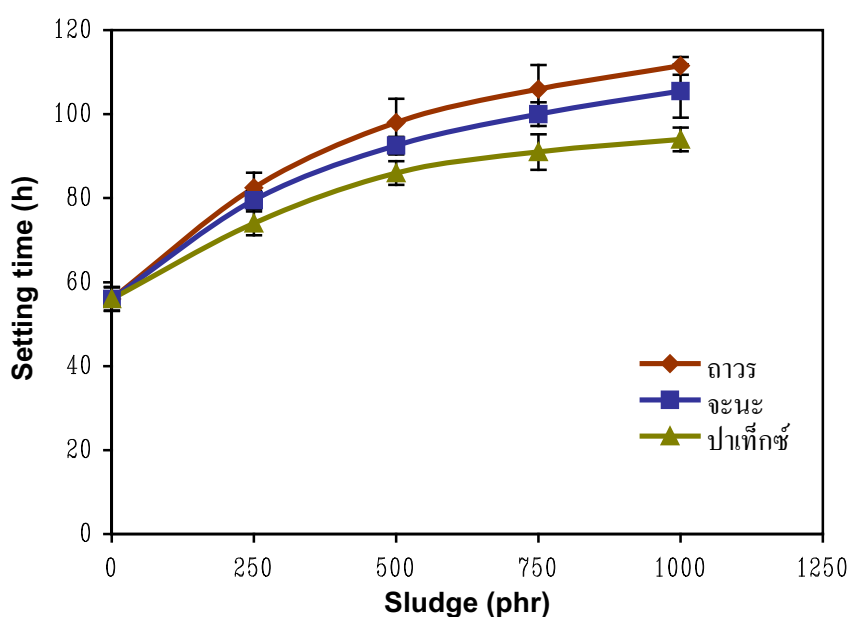
*** น้ำหนักที่แท้จริง

$$\begin{aligned}
 &\text{ใช้สัดส่วน Cement : water} = 1.6 : 1 \qquad \text{Sludge : water} = 1 : 1 \\
 &(\text{ตัวอย่างสูตร T2 ปริมาณน้ำที่} = (\text{สัดส่วนน้ำที่ใช้ในซีเมนต์} + \text{สัดส่วนน้ำที่เสียนกขี้เป้ง}) - \text{น้ำที่มีในส่วนของน้ำยาง} - \text{น้ำในส่วนของ terric 30} \\
 &= (1000/1.6) + 250 - 400 - 90 \\
 &= 385
 \end{aligned}$$

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

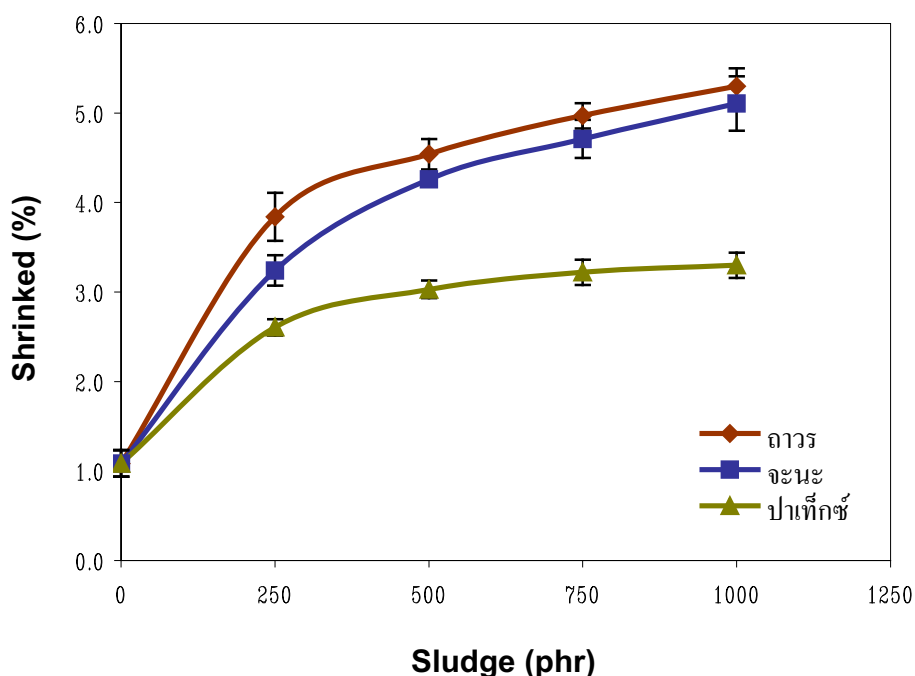
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ซีเมนต์ยางหรือพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ไม่ได้ใส่กากจี้แป้ง มีปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อย จึงทำให้ซีเมนต์ยางแห้งเร็วกว่าสูตรที่ใส่กากจี้แป้ง คาดว่ากากจี้แป้งที่ใส่ลงไปในส่วนผสมซีเมนต์ยางจะดูดซับน้ำเอาไว้ ทำให้ซีเมนต์มีความชื้นจึงแข็งตัวช้าลง ซีเมนต์ยางสูตรที่ไม่ได้ใส่กากจี้แป้ง จะใช้เวลาในการแข็งตัวน้อยที่สุด 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



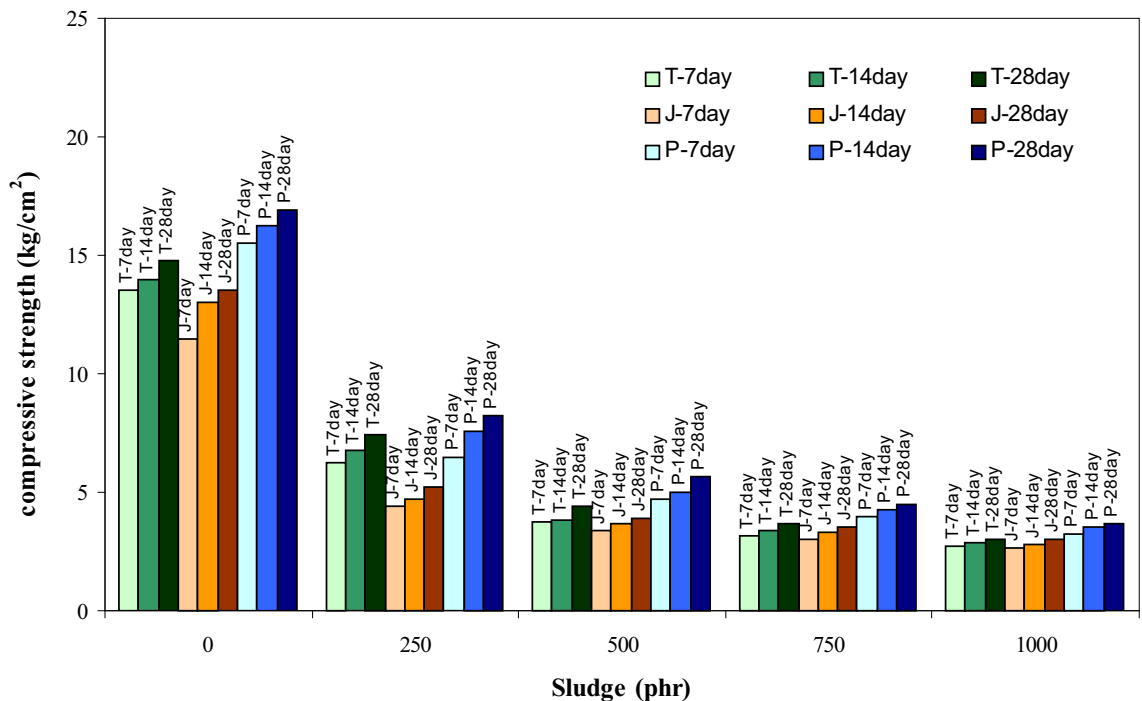
รูปที่ 4.3 ปริมาณกากซีเมนต์แต่ละโรงงานต่อการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิต

รูปที่ 4.3 จะเห็นว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเป้งน้ำยางข้นและปูนซีเมนต์ 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 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วัตถุดิบน้ำยางสด 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



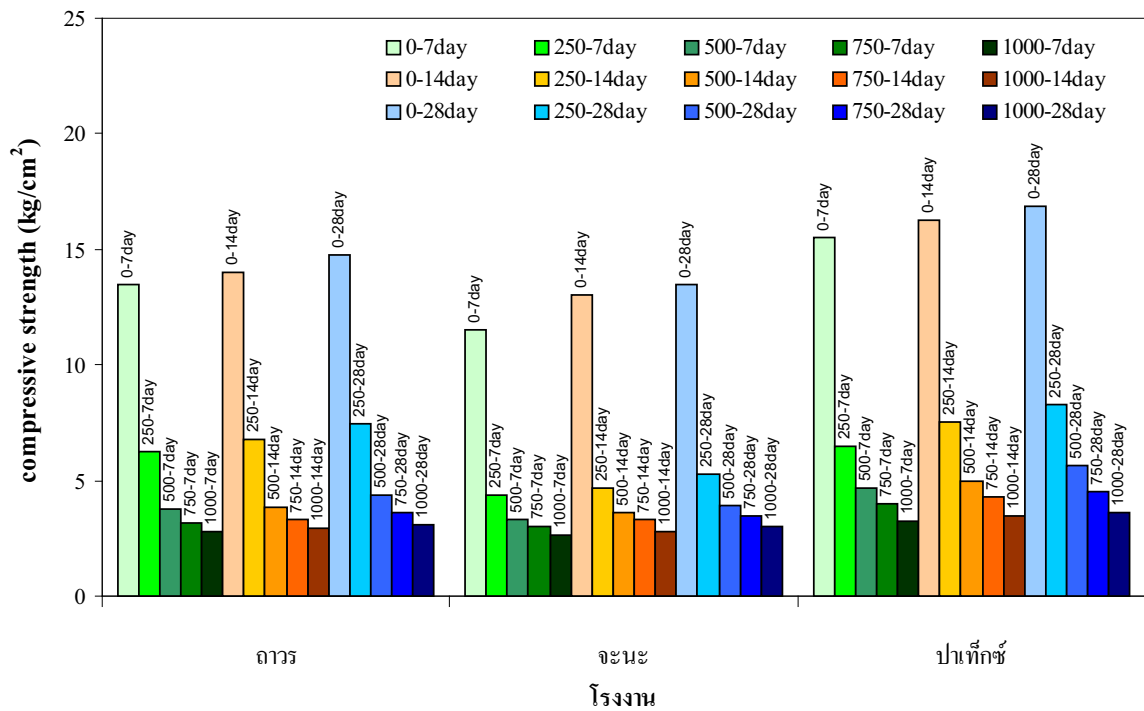
รูปที่ 4.4 ปริมาณกากซีเมนต์ปริมาณต่างๆ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

หมายเหตุ

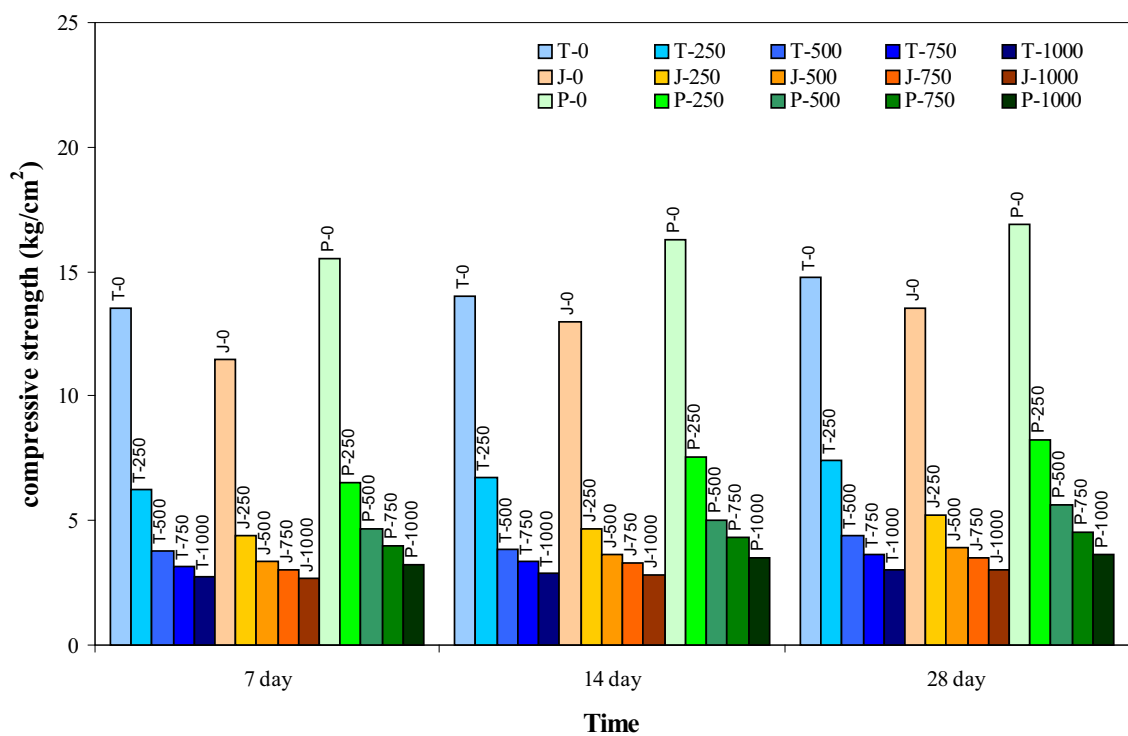
รูปที่ 4.4 และ 4.6 T หมายถึง บริษัทถาวรอุตสาหกรรม จำกัด

J หมายถึง บริษัทจะนะน้ำยางขึ้น จำกัด

P หมายถึง บริษัทปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่ากักเก็บน้ำของโรงงานต่างๆ ต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต



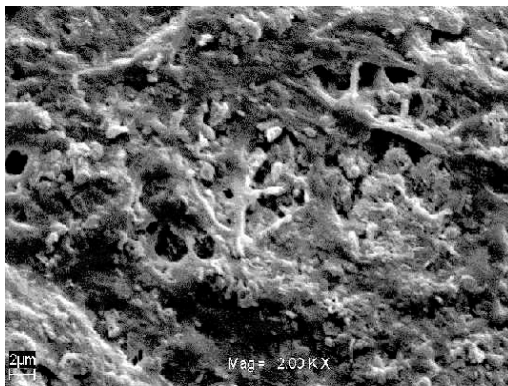
รูปที่ 4.6 ระยะเวลาในการเซตตัวต่อความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

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

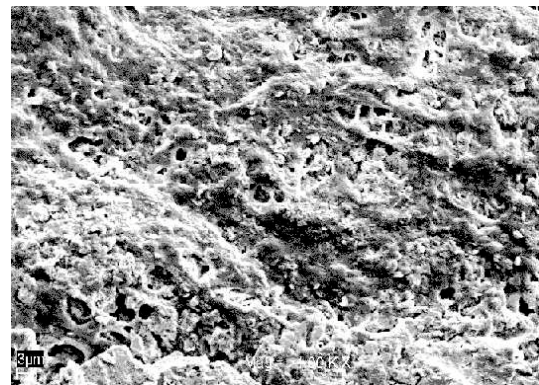
ความแตกต่างของค่าความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ระยะการเซ็ทตัวแตกต่างกัน คือ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน จากรูปที่ 4.4 และ 4.6 จะเห็นว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรเดียวกันแต่ระยะเวลาการเซ็ทตัวต่างกัน ค่าความต้านทานต่อแรงกดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างกากซีเมนต์น้ำยางข้นและปูนซีเมนต์ ที่ระยะการเซ็ทตัว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

4) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคกากจีเป้งที่อัดเกาะกับอนุภาคของยางและซีเมนต์ ซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมซีเมนต์ยางปูพื้น ทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เปรียบเทียบการใส่และไม่ใส่กากจีเป้ง ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7 - 4.10

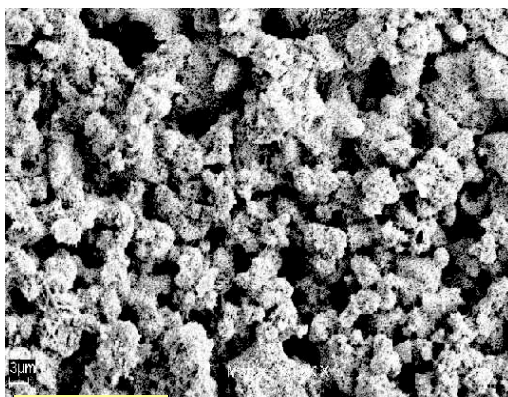


— 2 μm.



— 3 μm.

รูปที่ 4.7-4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ไม่ใส่กากจีเป้ง



— 3 μm.



— 10 μm.

รูปที่ 4.9-4.10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ใส่กากจีเป้ง

รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงรูปกากจีเป้งจากบริษัทถาวรอุตสาหกรรมจำกัด ที่มีกำลังขยายต่างกัน สูตรไม่ใส่กากจีเป้งจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตค่อนข้างมีลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกับยาง มีช่องว่างเล็กๆ ภายในเนื้อพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งแตกต่างจากพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรที่ใส่กากจีเป้ง จะเห็นว่าอนุภาคของยางและซีเมนต์เพียงแต่ปกคลุมอนุภาคของกากจีเป้งเท่านั้น เกิดเป็นช่องว่างเล็กๆ โดยอาจจะส่งผลถึงความแข็งแรงของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้

4.2.2 สัดส่วนที่เหมาะสมของการผสมซีเมนต์โดยใช้กากซีเมนต์และน้ำยางข้น

ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ เพื่อใช้ทำซีเมนต์ยางปูพื้น โดยนำกากซีเมนต์ที่ผ่านการร่อนจำกัขนาดด้วยตะแกรง 40 เมช มาเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ ใช้สารที่เพิ่มความเสถียร คือ Terric N 30 ได้สัดส่วนที่เหมาะสม ก่อนที่จะทำเป็นชั้นทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

สารเคมี	ปริมาณ (phr)	น้ำหนักจริง (กรัม)
HA 20% DRC	100	500
10% Terric N30	10	100
Cement	1000	1000
Sludge	250	250
Water	Cement : water = 1.6 : 1 Sludge : water = 1 : 1	385

หมายเหตุ : phr ที่ใช้ในตารางเป็นน้ำหนักแห้งของสารต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 ใช้ยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA) โดยทำการเจือจางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) เท่ากับ 20 % และใช้สบู Terric N30 เข้มข้น 10 % w/w เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเกิดการจับตัวก่อนกำหนด ในขณะที่กำลังทำการผสมพอลิเมอร์คอมโพสิต ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ คือ 1:4 ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้นี้ จะไม่ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้นั้นเกิดการแตกร้าว หรือสามารถผสมได้เป็น mortar (ก้อนซีเมนต์) ส่วนน้ำที่ใช้ในสูตรแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นน้ำที่ใช้ในการผสมซีเมนต์ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมคือ ซีเมนต์ 1.6 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน และส่วนที่สอง เป็นน้ำที่ใช้ในการผสมกากซีเมนต์ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ กากซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน ดังนั้นในขั้นตอนการผสมจะต้องหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ ปูนซีเมนต์และกากซีเมนต์จะต้องใช้ในการผสม ลบออกด้วยปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำยางข้นที่เจือจางแล้วและน้ำที่มีอยู่ในการเจือจาง Terric N30 จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้จริง ซึ่งขั้นตอนในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตได้แสดงไว้ตามหัวข้อ 3.5

4.3 การใช้กากจีแป้งเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

การใช้กากจีแป้งเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ เพื่อทำยางปูพื้น โดยนำกากจีแป้งที่บดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด และนำมาร้อนด้วยตะแกรงจนจำกัให้มีขนาดเล็กกว่า 40 เมช ตามหัวข้อ 3.2 และนำไปบดผสมร่วมกับยางธรรมชาติและสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 4.4 โดยแปรปริมาณของกากจีแป้ง คือ 20, 40 และ 60 phr สำหรับสูตรที่ใช้กากจีแป้งจากโรงงานป่าเท็กซ์จะเพิ่มสารหน่วงเข้าไป (Pre-vulcanization inhibitor, PVI) เนื่องจากส่วนผสมของยางมีค่า scorch time สั้นมาก (แสดงตามภาคผนวก ก) สารหน่วงนี้จะทำหน้าที่เลื่อนการเริ่มวัลคาไนซ์ออกไปโดยไม่มีผลต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์ (Flexsys, 2004) นำยางมาวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C ให้เกิดการเชื่อมโยงที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ และนำยางวัลคาไนซ์ไปทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

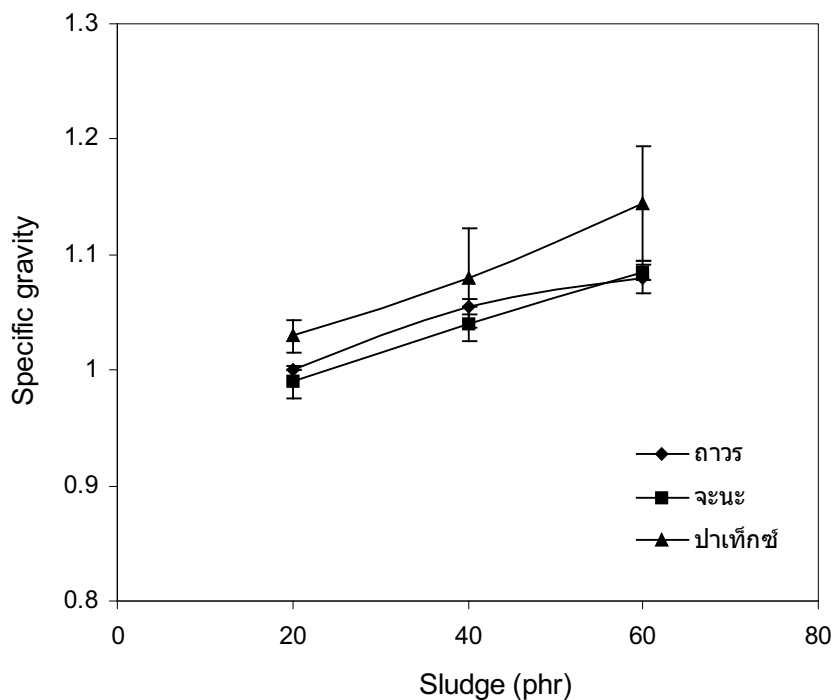
ตารางที่ 4.4 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของกากจีแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติม

สารเคมี (phr)	ถาวร			จะนะ			ป่าเท็กซ์		
	TR1	TR2	TR3	JR1	JR2	JR3	PR1	PR2	PR3
RSS 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MBTS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PVI	-	-	-	-	-	-	1	1	1
Sludge	20	40	60	20	40	60	20	40	60
TMQ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulphur	2	2	2	2	2	2	2	2	2

4.3.1 สมบัติยางวัลคาไนซ์ก่อนบ่มเร่ง

กากชีปะ่งที่มีขนาดเล็กกว่า 40 เมช ทำการแปรปริมาณของกากชีปะ่งที่ใช้ที่ระดับ 20, 40 และ 60 phr โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 4.4 แล้วนำไปบดผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามหัวข้อ 3.6 หลังจากวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C ให้เกิดการเชื่อมโยงที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ (cure time แสดงตามภาคผนวก ก) แล้วนำแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เป็นตัวอย่างขึ้นทดสอบของยางปูพื้นมาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง โมดูลัส (100%, 300% และ 500%) ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด ดัชนีการสึกหรอ และการผิกรูปเนื่องจากการกด (ตามหัวข้อ 3.8) ได้ผลดังนี้

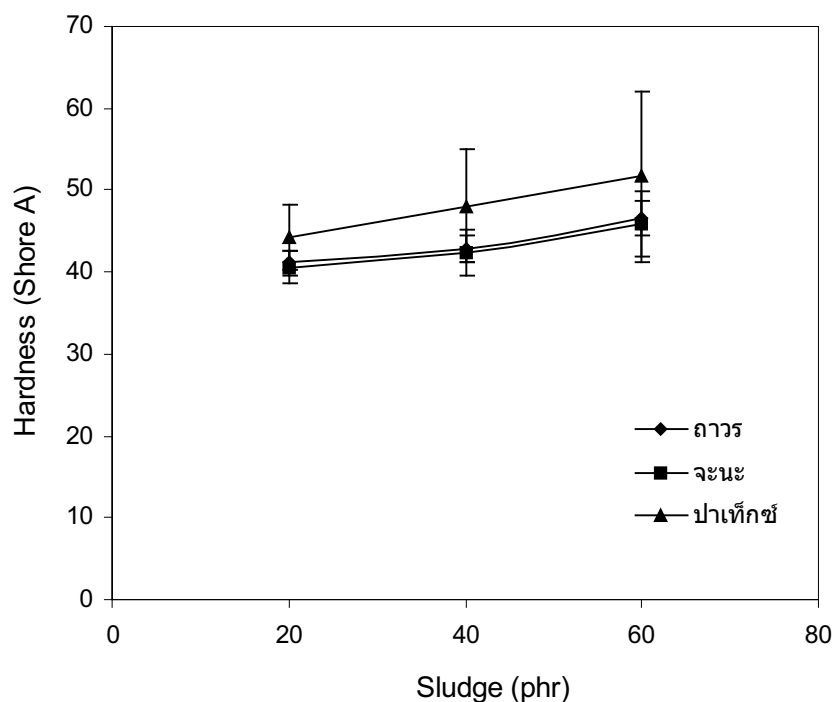
ความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์

รูปที่ 4.11 ความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากชีปะ่งปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากชีปะ่งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกากชีปะ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ (1.16–1.65) มากกว่าความถ่วงจำเพาะยางธรรมชาติ (0.92) ดังนั้นการใส่ในยางปริมาณมากจึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์มีค่าสูงขึ้น โดยค่าความถ่วงจำเพาะของยางที่ใส่กากชีปะ่ง ที่เก็บจากโรงงานผลิตน้ำยางขึ้นอาจมีความแตกต่างกัน เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตและสารเคมีที่ใส่ลงไปให้น้ำยาง ระหว่างกระบวนการผลิตแตกต่างกัน

ความแข็ง

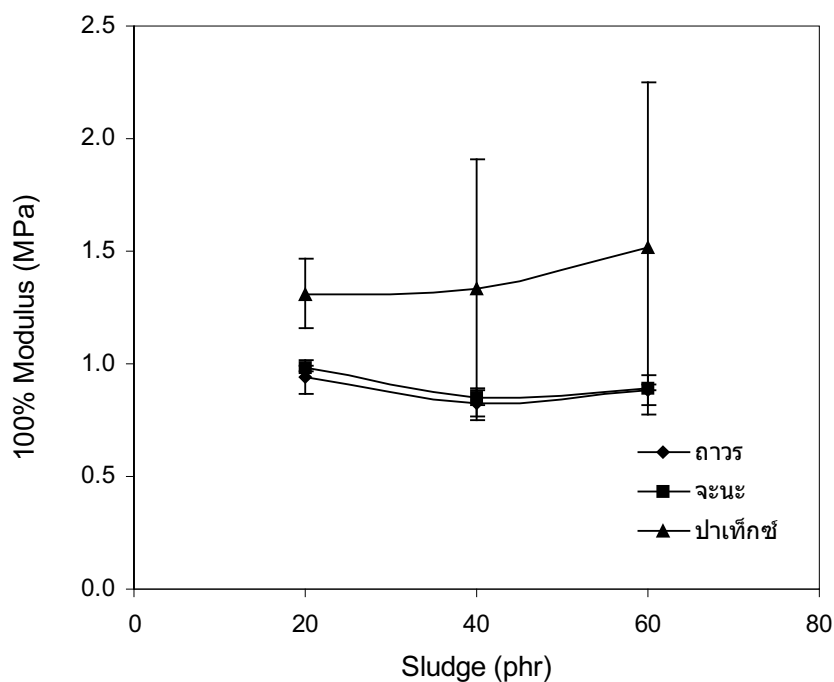


รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณกากซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์

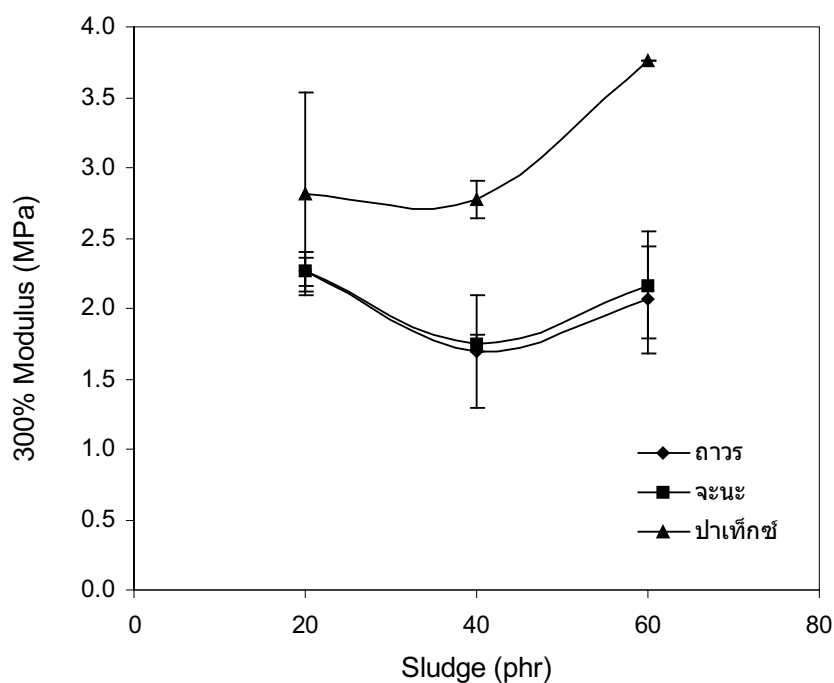
จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าความแข็ง (Shore A) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20, 40 และ 60 phr ลงไปในยางธรรมชาตินั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกากซีเมนต์ที่ใช้เป็นผงและมีขนาดอนุภาคเล็ก เมื่อผสมลงในยางธรรมชาติโดยมีสารกระตุ้น (ZnO, stearic acid) สารตัวเร่ง (MBTS) และสารวัลคาไนซ์ร่วมอยู่ด้วย คาดว่าอาจเกิดพันธะเชื่อมโยงบางส่วน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแตกต่างกันน้อย หรือกากซีเมนต์แทรกอยู่ในโมเลกุลยางธรรมชาติ จึงส่งผลให้ความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความแข็ง (Shore A) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ที่ปริมาณเท่ากัน (20, 40 และ 60 phr) ที่ได้จากต่างโรงงานกัน จะเห็นได้ว่าให้ผลแตกต่างกัน เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบ ช่วงเวลาการเก็บวัตถุดิบ ตลอดจนลักษณะการเก็บวัตถุดิบนำมาสกัดของแต่ละโรงงานแตกต่างกัน กากซีเมนต์ที่ได้จึงมีความแปรปรวน

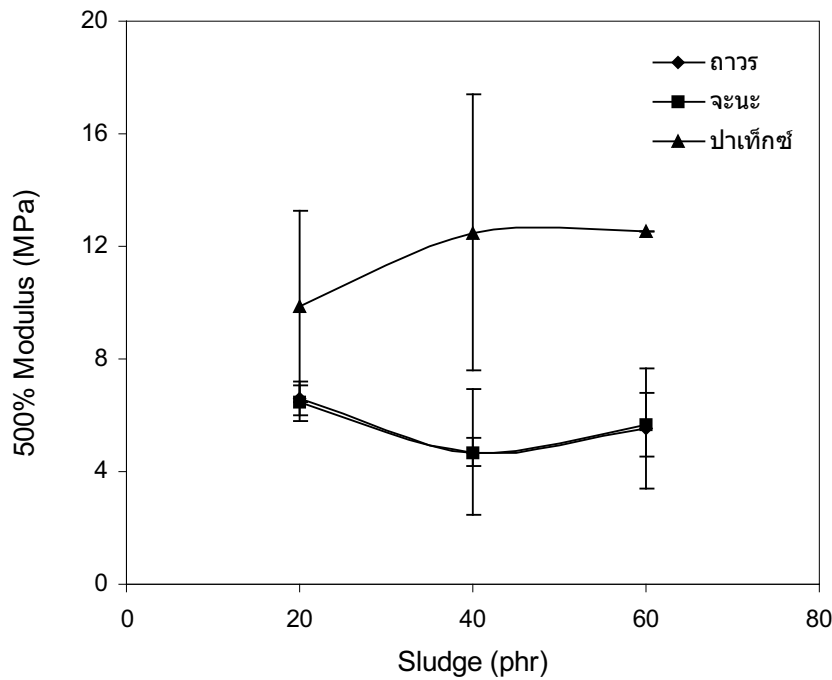
ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาด



รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 100% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

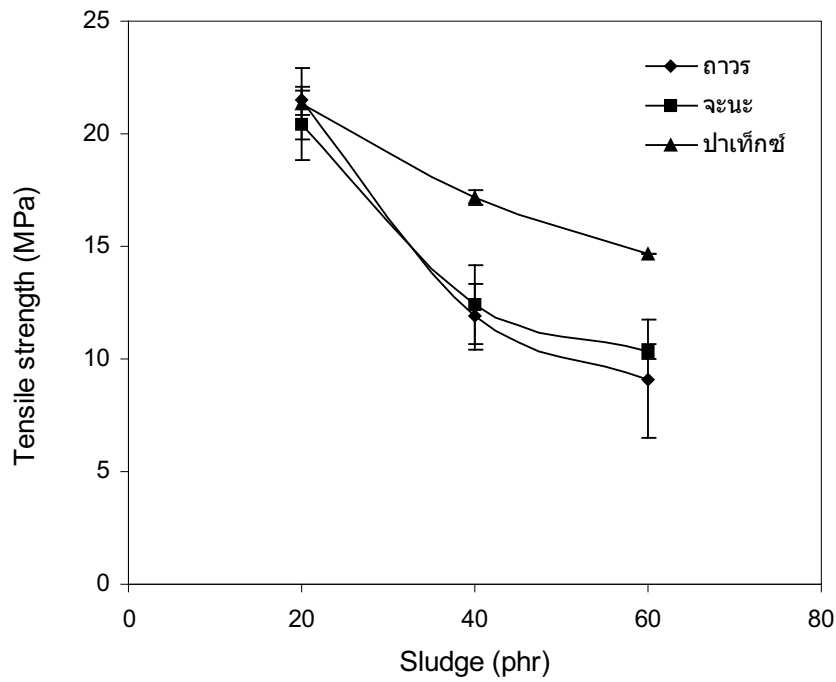


รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

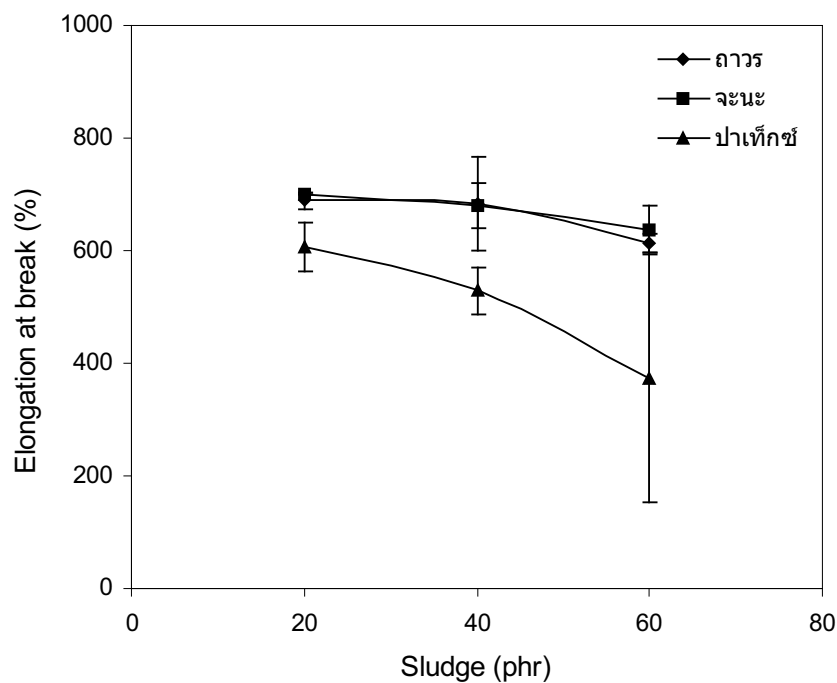


รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณกากจีแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 500% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.13-4.15 จะเห็นว่าค่า 100%, 300% และ 500% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากจีแป้งในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีแนวโน้มลดลงในช่วง 20 – 40 phr และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใส่กากจีแป้งที่ระดับ 60 phr ทั้งนี้เป็นเพราะกากจีแป้งแสดงพฤติกรรมเหมือนเป็นสารตัวเติมที่มีอนุภาคเป็นของแข็ง (rigid) ทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงในระยะยืดต่ำๆ สูงขึ้น ส่งผลให้ค่า 100%, 300% และ 500% โมดูลัส มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะในสูตรของกากจีแป้งที่ได้จากโรงงานปาเท็กซ์ ค่า 100%, 300% และ 500% โมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของกากจีแป้งที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากากจีแป้งของโรงงานปาเท็กซ์นั้นมีลักษณะเป็นของแข็ง เพราะในขั้นตอนการเตรียมกากจีแป้งนั้น มีส่วนที่เป็นน้ำยางเหลืออยู่น้อยมาก เมื่อนำไปอบแห้งแล้วจะทำให้ละอียดนั้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดไม่มีส่วนที่เป็นยางแห้งเหลือติดอยู่ ซึ่งแตกต่างกับกากจีแป้งที่ได้จากโรงงานถาวรและโรงงานจะนะ เพราะว่าเมื่ออบคั่วแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดและมีส่วนที่เป็นยางแห้งเหลืออยู่มาก



รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณกากจีแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ความต้านทานต่อแรงดึง ของยางวัลคาไนซ์

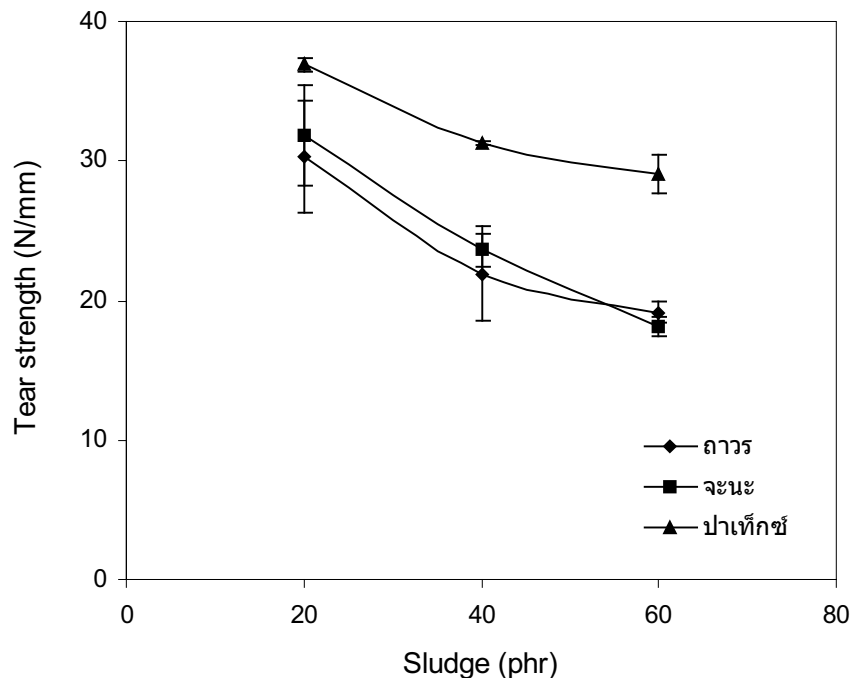


รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณกากจีแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดจนขาด (Elongation at break) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากจี้เป้งในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าต่ำกว่า green strength ของยางธรรมชาติ (T.S = 25-30 MPa , E.B = 700–800%) (พรพรรณ, 2540) และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากจี้เป้งที่เพิ่มขึ้น คาดว่าอาจเนื่องจากกากจี้เป้งที่ใส่ลงไปยางธรรมชาตินั้น ไม่ได้ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของกากจี้เป้งกับโมเลกุลของยาง แต่กากจี้เป้งเพียงแต่ไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลยาง และเนื่องจากกากจี้เป้งมีสารอนินทรีย์และอนุมูลของโลหะหนัก (ธนาธร, 2547) ซึ่งมีผลต่อสมบัติของยาง ทำให้ยางถูกออกซิไดซ์ได้ ส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดลดลง

สำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดจนขาด (Elongation at break) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากจี้เป้งจากแต่ละโรงงาน จะให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากกากจี้เป้งที่ได้มาจากแต่ละโรงงาน มีความแปรปรวน เพราะแหล่งที่มาของวัตถุดิบน้ำยางสด ช่วงเวลาการเก็บ วัตถุดิบน้ำยางสด ตลอดจนขั้นตอนวิธีการปั่นน้ำยางขึ้นและแยกกากจี้เป้งของแต่ละโรงงานต่างกัน

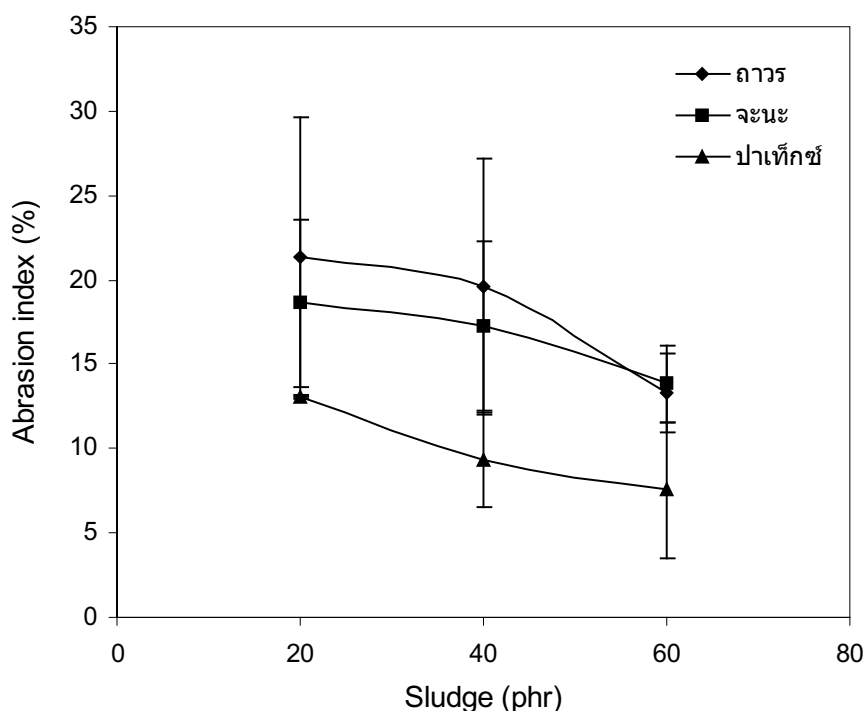
ความต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณกากจี้เป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ Tear strength ของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าต่ำกว่ายางที่ไม่สารตัวเติมใดๆ ของยางธรรมชาติ โดยที่ค่าจะไปอยู่ในช่วง 60 – 85 N/mm (พหุพรม, 2540) และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.18 เนื่องมาจากกากซีเมนต์ที่ใส่ลงไปยางธรรมชาติมีสารพวกอนินทรีย์ และอนุผลของโลหะหนัก ที่ทำให้เกิดการออกซิไดส์ในขณะที่วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงทำให้สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง โดยจะเห็นว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ที่ได้มาจากแต่ละโรงงาน มีค่าแตกต่างกัน โดยความแปรปรวนอยู่ในช่วง 20 – 40 phr ซึ่งกากซีเมนต์จากแต่ละโรงงาน มีความแปรปรวน เพราะแหล่งที่มาของวัตถุดิบน้ำยางสด ช่วงเวลาการเก็บ วัตถุดิบน้ำยางสด ตลอดจนขั้นตอนวิธีการปั่นน้ำยางข้นและแยกกากซีเมนต์ของแต่ละโรงงานต่างกัน

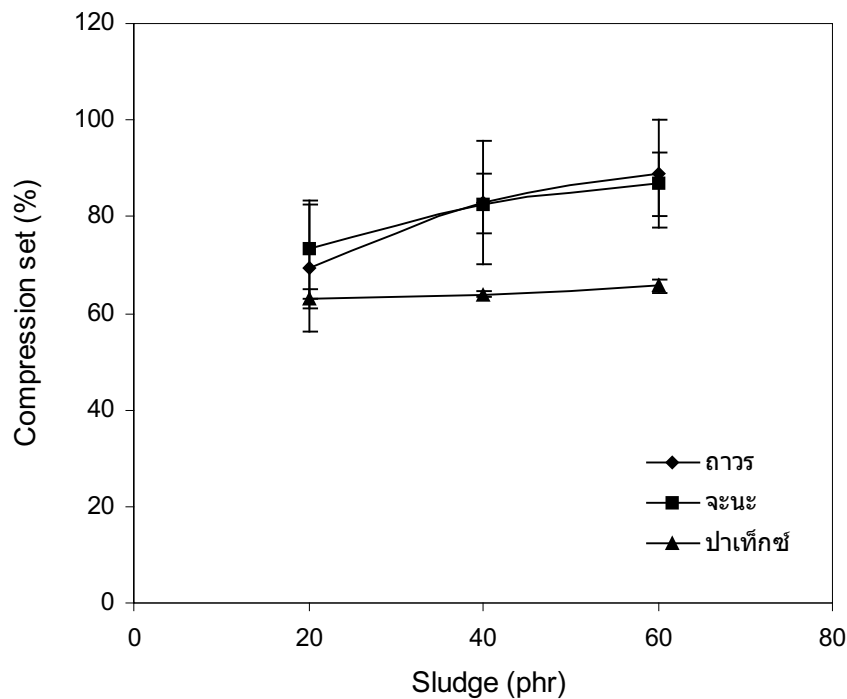
ดัชนีการสึกหรอ



รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณกากซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ดัชนีการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าดัชนีการสึกหรอ (Abrasion index) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เพราะสมบัติการยึดติดของกากซีเมนต์กับยางไม่แข็งแรงเพียงพอต่อการขัดถู ไม่เกิดการเชื่อมโยงหรือพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางกับโมเลกุลของกากซีเมนต์ที่ใส่ลงไป นอกจากนี้ อนุภาคลิเธียมที่มีอยู่ในกากซีเมนต์จะเร่งให้ยางถูกออกซิไดซ์ได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูงช่วงที่วัลคาไนซ์ยาง ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลยางกับโมเลกุลกากซีเมนต์มีค่าน้อยเมื่อเกิดการเสียดสีระหว่างผิวของชิ้นทดสอบกับหินขัด ทำให้โมเลกุลยางหรือโมเลกุลของกากซีเมนต์หลุดออกมาง่าย

การผิดรูปจากการกด 25%



รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณกากซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ การผิดรูปจากการกด 25% ของยางวัลคาไนซ์

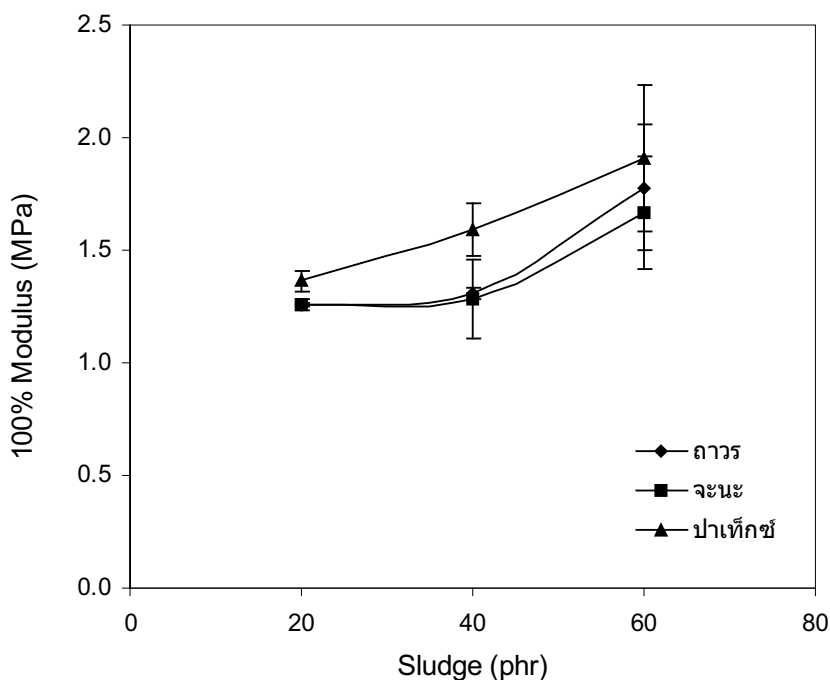
จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าการผิดรูปเนื่องจากการกด (Compression set) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจาก โมเลกุลของยางถูกออกซิไดซ์ช่วงที่วัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ ทำให้เมื่อออกแรงกดชิ้นทดสอบให้เปลี่ยนรูปไป และเอาไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โมเลกุลของยางไม่สามารถคืนตัวสู่สภาพเดิมได้

4.3.2 สมบัติยางวัลคาไนซ์หลังบ่มเร่ง

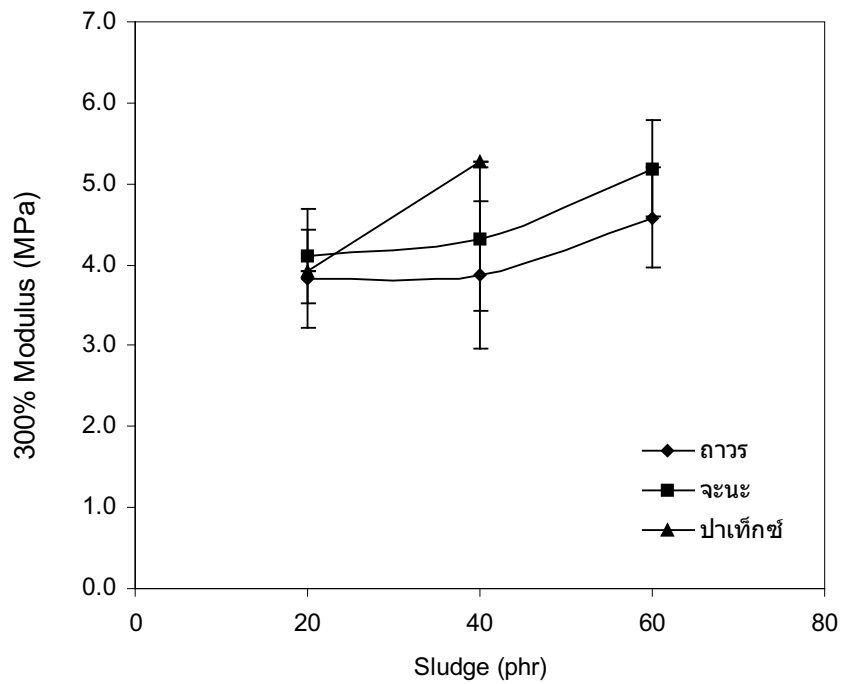
นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดในหัวข้อ 3.6 มาทำการวัลคาไนซ์เพื่อใช้เป็นตัวอย่างขึ้นทดสอบยางปูพื้น ทำการบ่มเร่งแบบเกียร์ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วทดสอบสมบัติ 100%, 300% และ 500% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และ ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด โดยสมบัติต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 – 4.26

ค่า 100%, 300% และ 500% โมดูลัสหลังบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากชีปะ่งในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าสูงกว่าก่อนบ่มเร่ง โดยที่ 100% และ 300% โมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากชีปะ่งที่เพิ่มขึ้น ส่วน 500% โมดูลัสมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากชีปะ่งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการบ่มเร่งยางวัลคาไนซ์ผสมกากชีปะ่งที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชม. ทำให้โมเลกุลเกิดพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้ค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) มีค่าสูงกว่าก่อนบ่มเร่ง แต่กากชีปะ่งเป็นสารตัวเติมใส่ลงไปโดยไม่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงกับโมเลกุลยาง ความเค้นที่ใช้และระยะยืดที่ได้จึงน้อย และเนื่องจากการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C ทำให้พันธะคู่ที่ว่องไวของโมเลกุลยางถูกออกซิไดซ์ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของโมเลกุลยางธรรมชาติลดลง และระยะยืดจนขาดลดลงด้วย (รูปที่ 4.21 – 4.25)

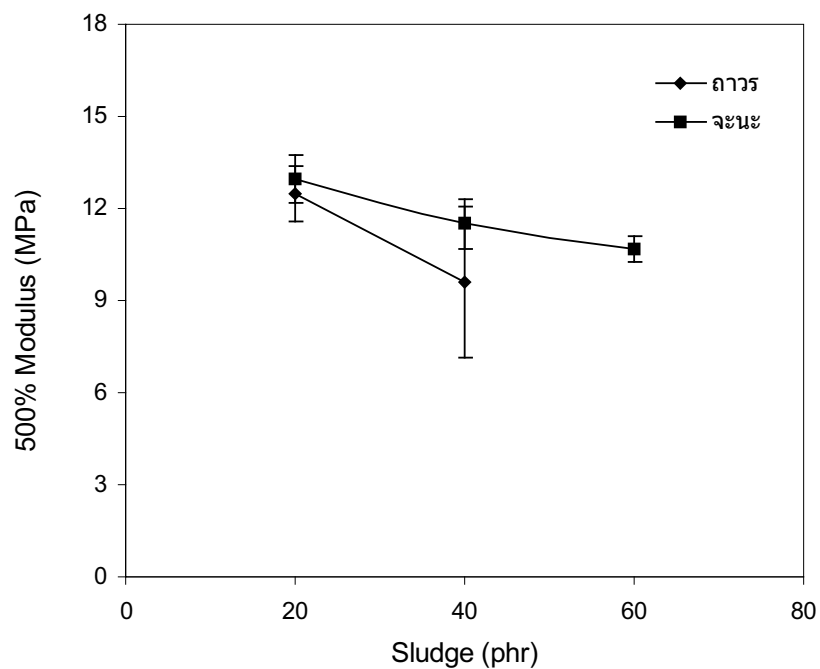
ความต้านทานต่อการดึงและระยะยืดจนขาด



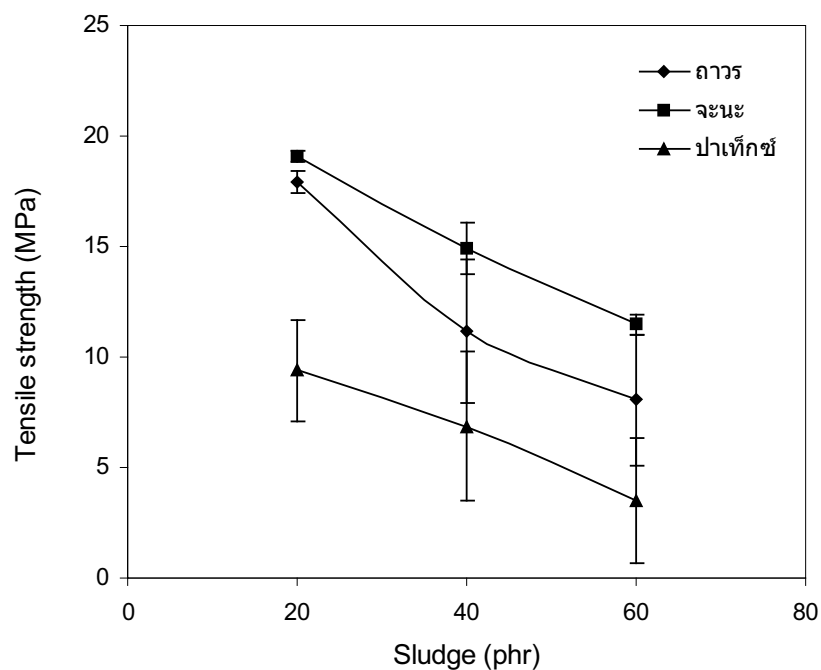
รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 100% modulus หลังบ่มเร่ง



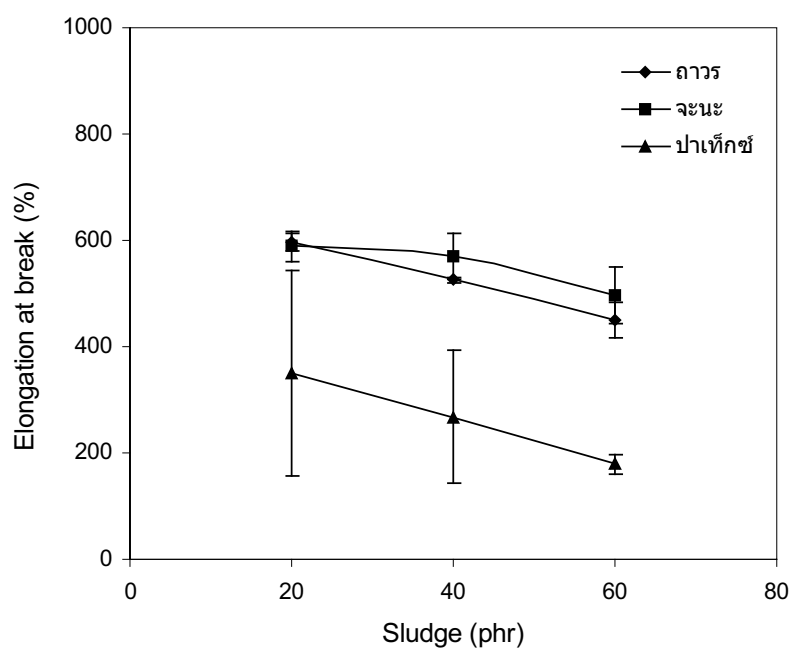
รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 300% modulus หลังบ่มเร่ง



รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณกากชีปะ่งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 500% modulus หลังบ่มเร่ง

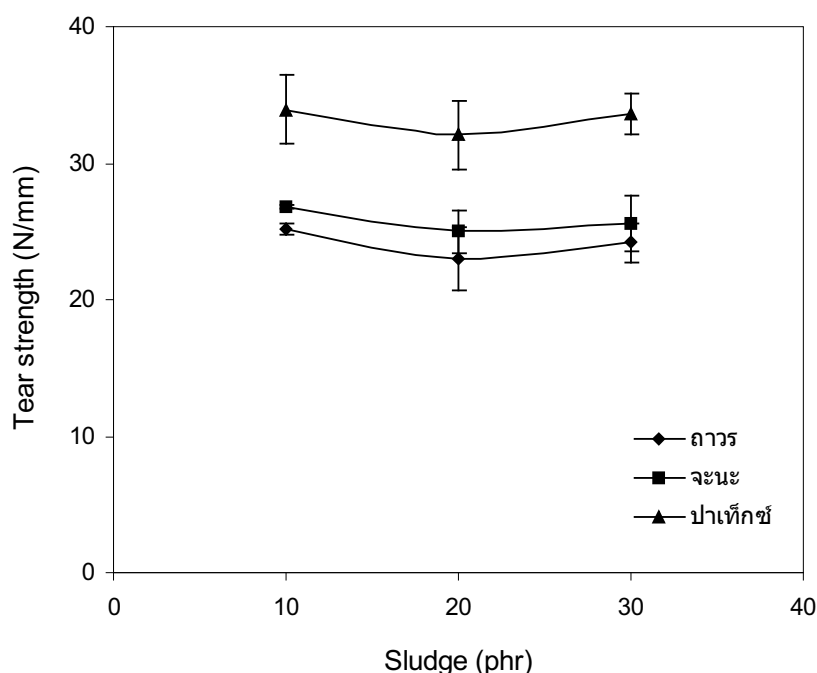


รูปที่ 4.24 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ความต้านทานต่อแรงดึง หลังบ่มเร่ง



รูปที่ 4.25 ผลของปริมาณกากจีแป็งที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ระยะยืดจนขาดหลังบ่มเร่ง

สมบัติการต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.26 ผลของปริมาณกากซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในแต่ละโรงงานของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ Tear strength หลังบ่มเร่ง

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ที่ผสมกากซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ (20, 40 และ 60 phr) มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) หลังบ่มเร่งที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชม. น้อยกว่าก่อนบ่มเร่งและมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการบ่มเร่งยางธรรมชาติที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C ทำให้พันธะคู่ที่ว่องไวของโมเลกุลยางธรรมชาติถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยเฉพาะอนุพลของโลหะหนักที่มีอยู่ในกากซีเมนต์ที่ใส่ลงไปยางธรรมชาติ ทำหน้าที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง และการใส่กากซีเมนต์ในยางคอมปาวด์ไม่ได้เกิดพันธะโมเลกุลกับยาง จึงทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น

4.4 การใช้กากซีเมนต์ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

กากซีเมนต์ร่วมกับปูนซีเมนต์ผสมในยางธรรมชาติ เพื่อซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมในการทำเป็นซีเมนต์ยางปูพื้น เติร์มโดยนำกากซีเมนต์ซึ่งบดละเอียดขนาดเล็กลงกว่า 40 เมช ปริมาณ 20 phr ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับปูนซีเมนต์แปรปริมาณ 10, 20 และ 30 phr โดยใช้สูตรตามตารางที่ 4.5 ผสมด้วยเครื่องสองลูกกลิ้งตามหัวข้อ 3.6 หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150° C ให้เกิดการเชื่อมโยงที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.5 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของการใช้กากซีเมนต์ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

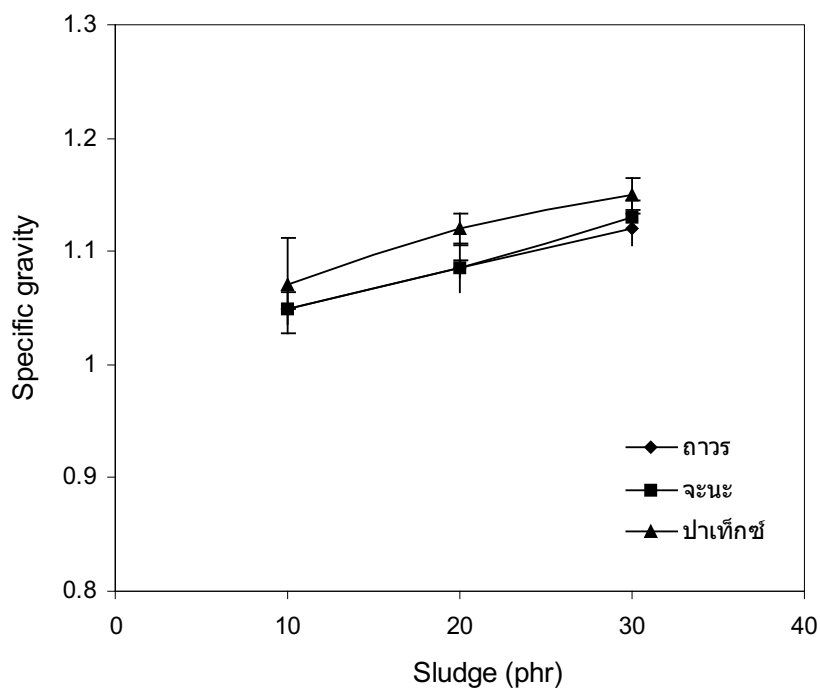
สารเคมี (phr)	ถาวร			จะนะ			ป่าสัก		
	TC1	TC2	TC3	JC1	JC2	JC3	PC1	PC2	PC3
RSS 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MBTS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sludge	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cement (OPC)*	10	20	30	10	20	30	10	20	30
TMQ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulphur	2	2	2	2	2	2	2	2	2

หมายเหตุ * OPC คือ Ordinary Portland Cement

4.4.1 สมบัติยางวัลคาไนซ์ก่อนบ่มเร่ง

นำยางวัลคาไนซ์ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างขึ้นทดสอบสำหรับทำซีเมนต์ยางปูพื้นมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง โมดูลัส (100%, 300% และ 500%) ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด ดัชนีการสึกหรอ และการผิกรูปร่างเนื่องจากการกด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.27 – 4.36

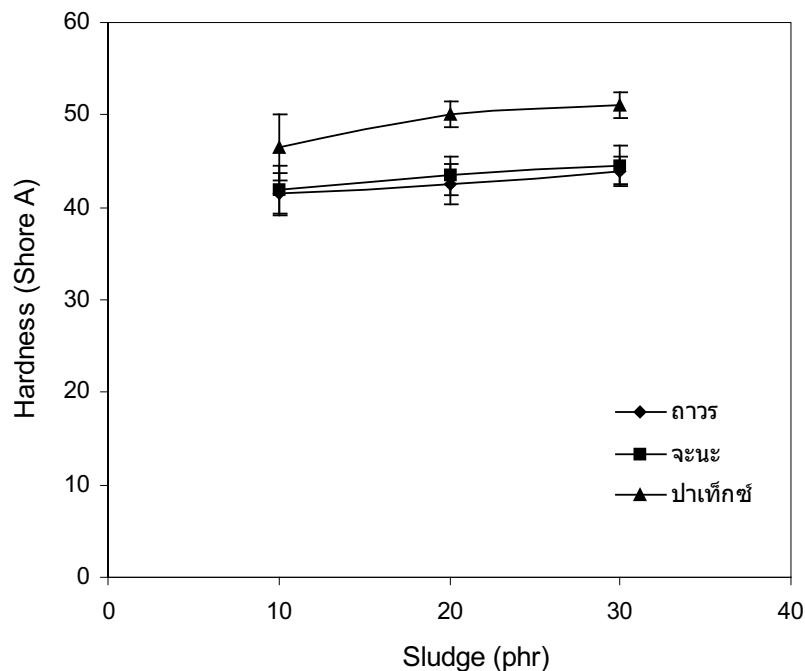
ความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 4.27 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์

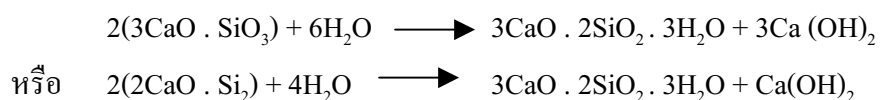
จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเป้งปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ซึ่งมากกว่าสารเคมีอื่นๆ ที่ใส่เข้าไป และถ้าเทียบกับสารเคมีอื่นๆ ในปริมาณที่เท่ากันแล้ว ปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงไป

ความแข็ง



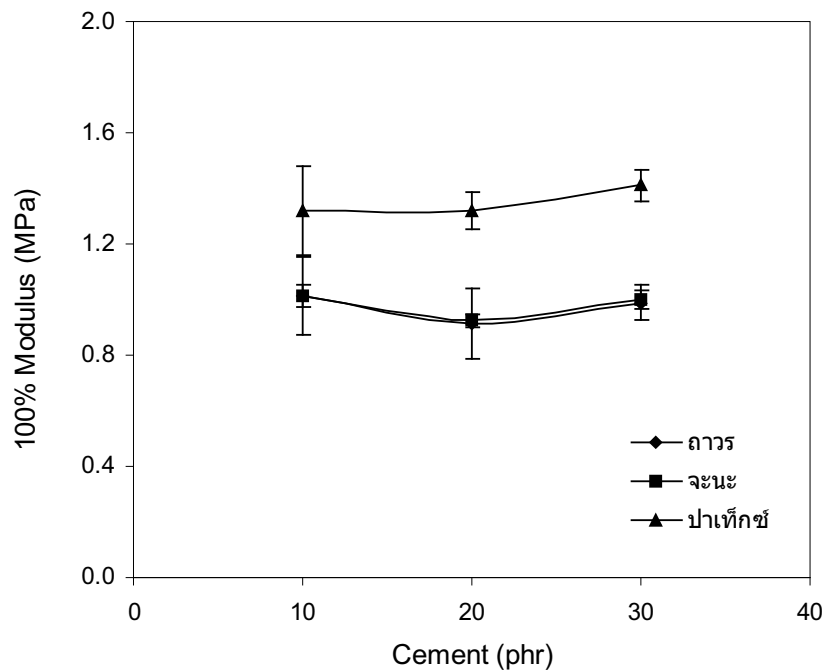
รูปที่ 4.28 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากซีเมนต์มีโมเลกุลของ anhydrous เป็นองค์ประกอบ ทำให้เมื่อซีเมนต์โดนน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศ โมเลกุลของ anhydrous จะเกิดปฏิกิริยา Hydration ทำให้ซีเมนต์ก่อตัวตั้งสมการ (ชัชวาลย์, 2543)

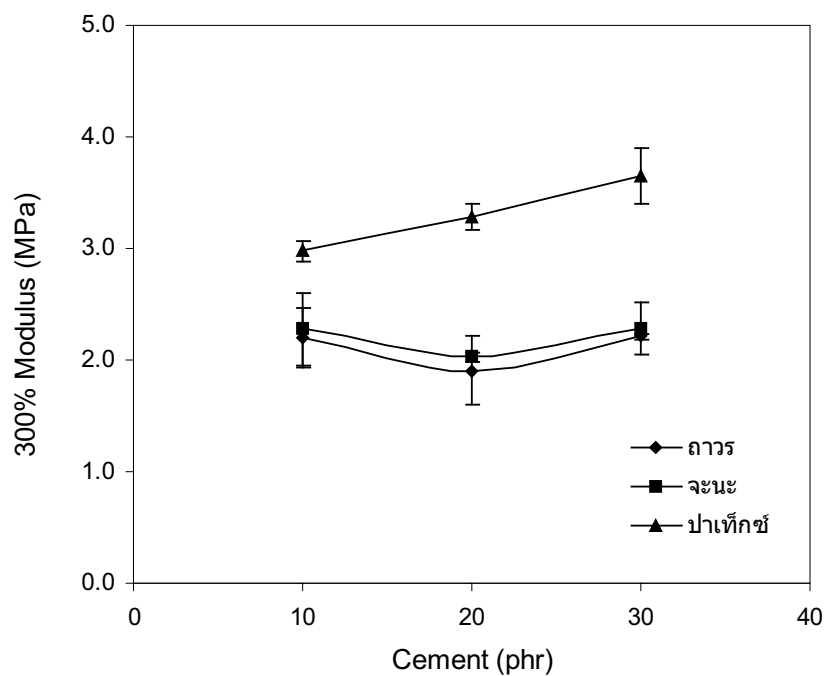


ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเกิดการ Gel และผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ ความแข็งจึงเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใส่ลงไป

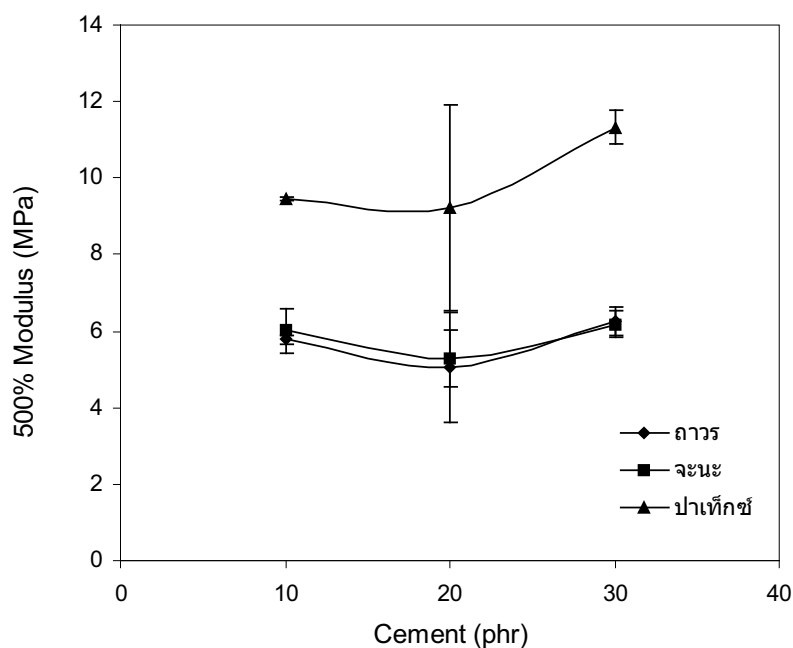
ความต้านทานต่อแรงดึง และการยืดจนขาด



รูปที่ 4.29 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 100% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

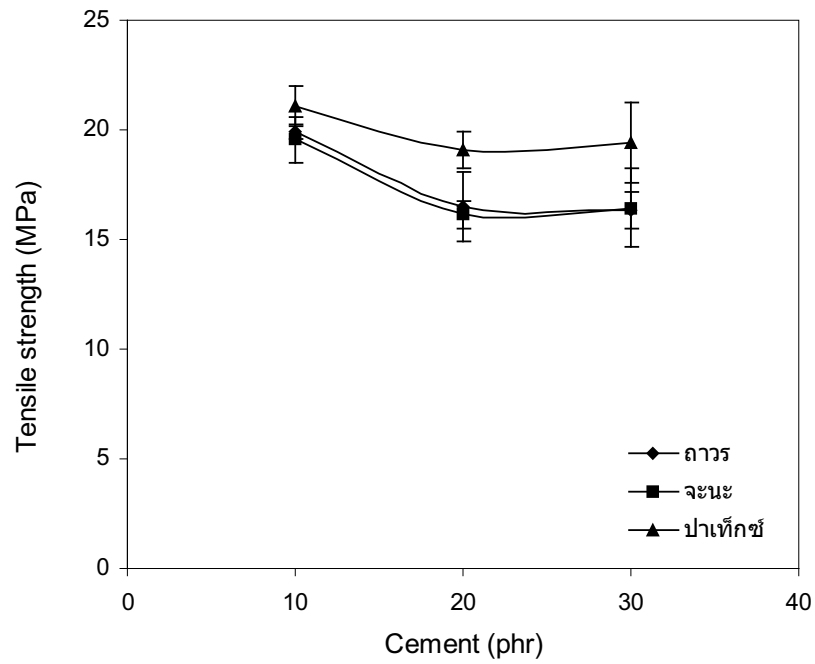


รูปที่ 4.30 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

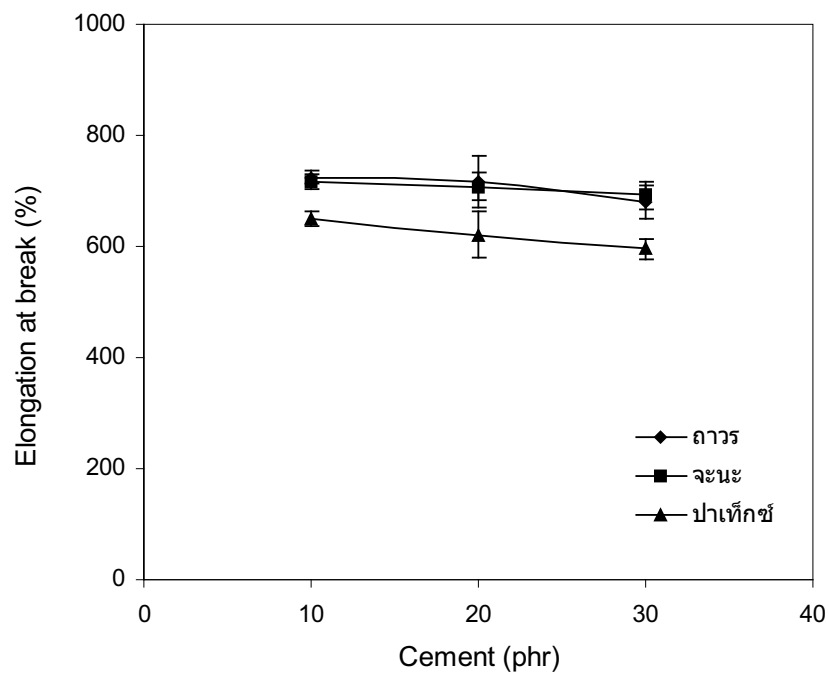


รูปที่ 4.31 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 500% Modulus ของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.29–4.31 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) สมบัติ 100%, 300% และ 500% โมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยกากซีเมนต์จากโรงงานปาเท็กซ์เห็นผลชัดเจนและมีค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) สูงกว่ากากซีเมนต์ที่ได้จากโรงงานจะนะและโรงงานถาวรตามลำดับ อาจเนื่องมาจากกากซีเมนต์ของโรงงานปาเท็กซ์ที่เตรียมได้นั้นคาดว่าปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในช่วงเมื่อโดนน้ำ หรือความชื้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เกิดการเกาะตัวยึดโมเลกุลของยางและกากซีเมนต์ (แต่ไม่ได้เกิดการเชื่อมโยง) ทำให้แรงที่ใช้ดึงเพื่อให้ชิ้นทดสอบยึดเป็นระยะ 100%, 300% และ 500% ของระยะเดิมเพิ่มขึ้น



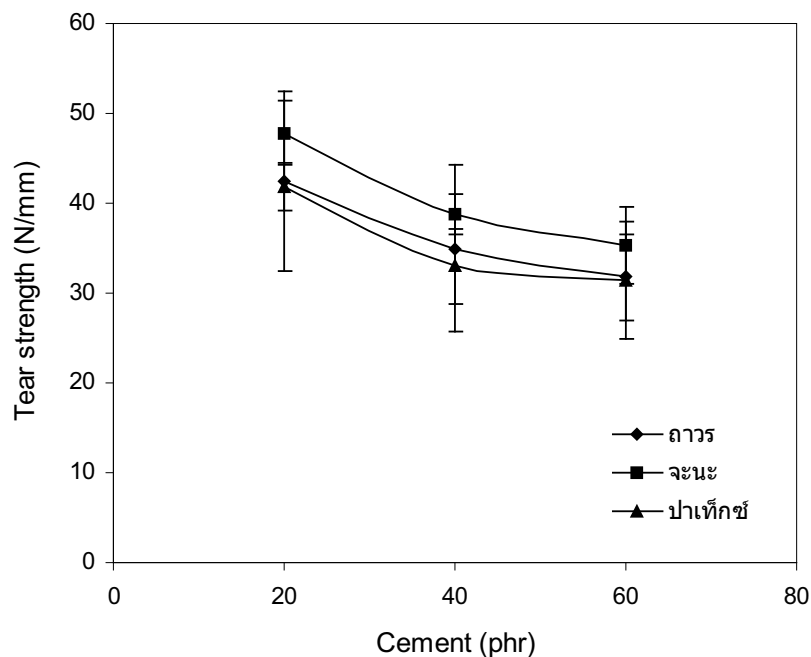
รูปที่ 4.32 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากขี้เป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ความต้านทานต่อแรงดึง ของยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.33 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากขี้เป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.32 – 4.33 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) ค่าสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดจนขาด (Elongation at break) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในยางธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางกับโมเลกุลกากซีเมนต์ หรือกับโมเลกุลของปูนซีเมนต์ โดยที่โมเลกุลของกากซีเมนต์และโมเลกุลของปูนซีเมนต์เพียงไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้เมื่อออกแรงดึงยางให้ยืด ยางเกิดการเรียงตัวกันน้อยลง โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นอิสระตึกน้อยลง ส่งผลให้ยางยืดได้น้อยและแรงที่ใช้ยืดยางให้ยืดจนขาดมีค่าต่ำด้วย

ความต้านทานต่อการฉีกขาด

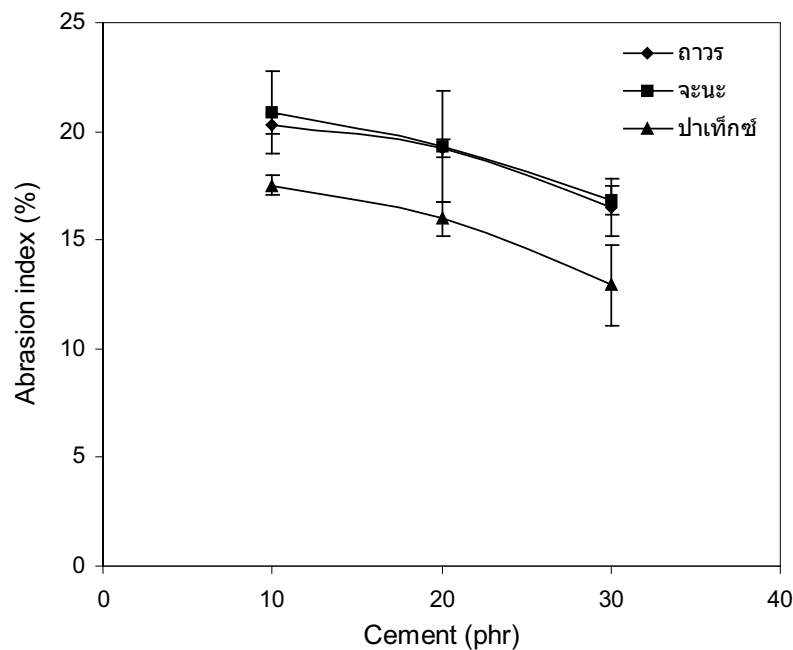


รูปที่ 4.34 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ Tear strength ของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในยางธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางกับโมเลกุลกากซีเมนต์หรือ

โมเลกุลของปูนซีเมนต์ โดยที่โมเลกุลของกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลยาง ทำให้ต้องใช้แรงน้อยลงเวลาดึงยางให้ฉีกขาด ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น

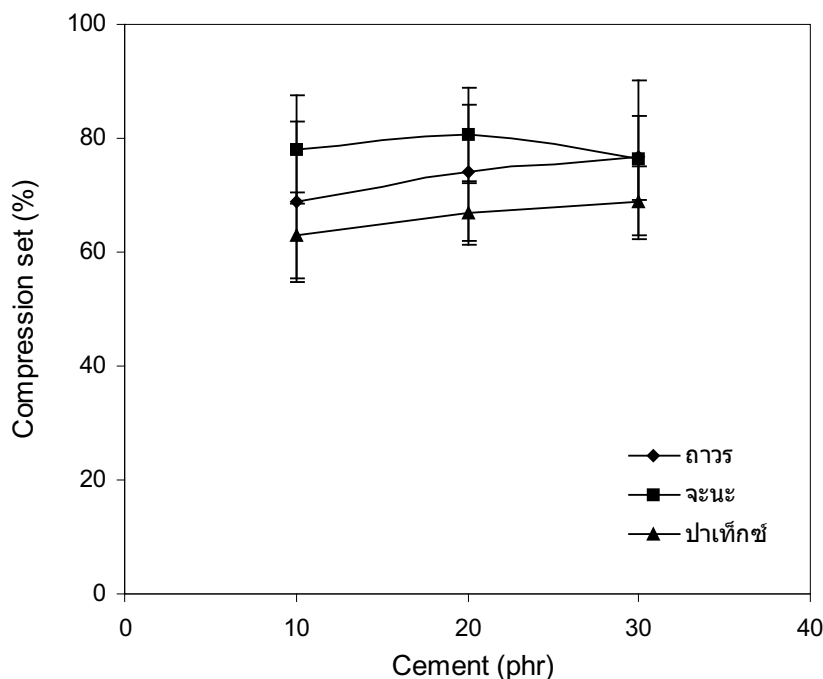
ดัชนีการสึกหรอ



รูปที่ 4.35 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ดัชนีการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.35 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเมนต์ปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) มีค่าดัชนีการสึกหรอ (Abrasion index) ลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกากซีเมนต์และปูนซีเมนต์ ที่ใส่ลงไปยางจะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของยาง โดยที่ไม่ได้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างกัน จึงส่งผลให้เมื่อนำยางไปขัดถูด้วยหินขัด โมเลกุลยางจึงหลุดออกมาได้ง่าย

การผิรุปลหลังการกดให้ยุบตัว 25%



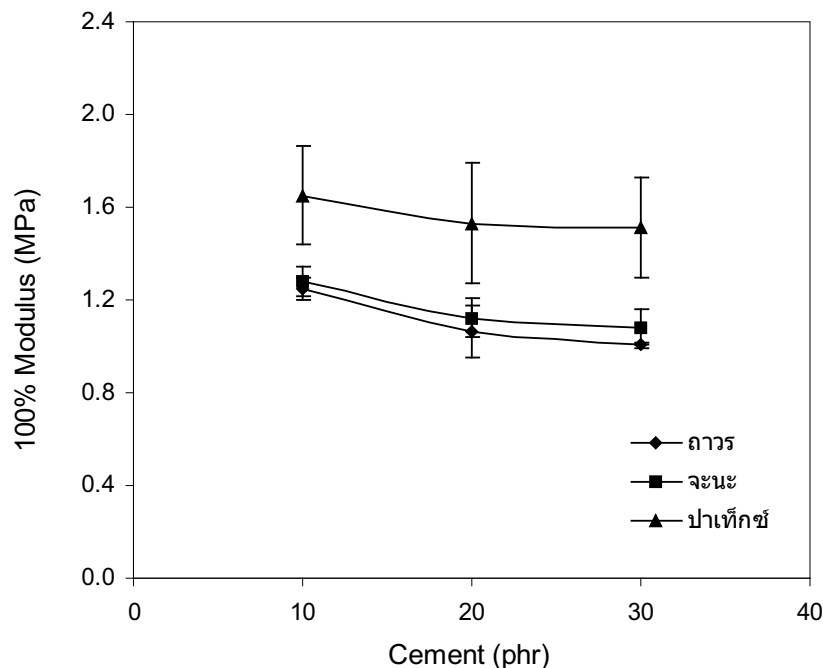
รูปที่ 4.36 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีแพ้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ Compression set ของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.36 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีแพ้งปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) ค่าความต้านทานต่อการผิรุปลเนื่องจากการกด (Compression set) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากกากซีแพ้งและปูนซีเมนต์ที่ใส่ลงไป ไม่เกิดการเชื่อมกับโมเลกุลของยาง ขึ้นทดสอบมีความยืดหยุ่นน้อยลง ทำให้เมื่อออกแรงกดขึ้นทดสอบให้เปลี่ยนรูปไป 25% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากเอาแรงที่กดขึ้นทดสอบออกแล้ว โมเลกุลมีความเป็นอีลาสติกน้อยลง การคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมจึงมีค่าน้อยส่งผลให้ Compression set ที่ได้มีค่าค่อนข้างสูง

4.4.2 สมบัติยางวัลคาไนซ์ หลังบ่มเร่ง

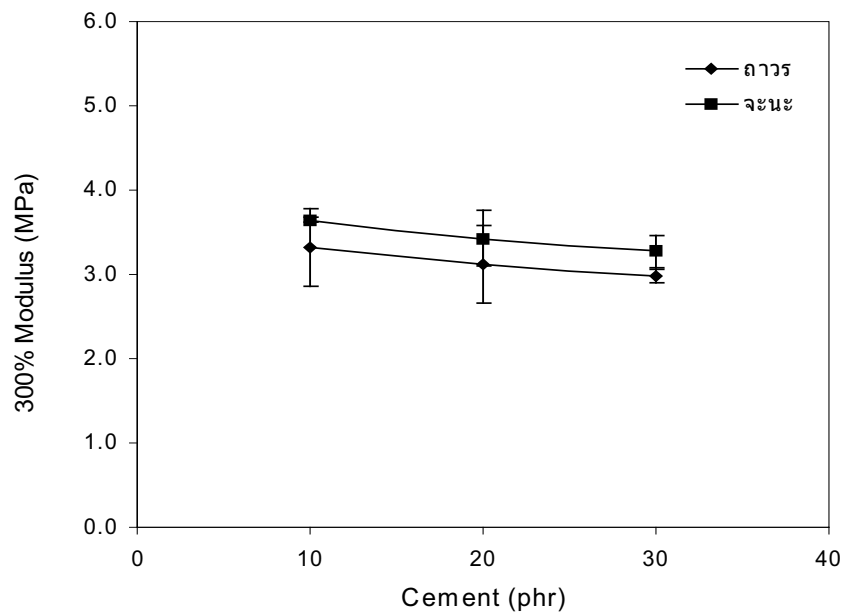
นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดในหัวข้อ 3.6 มาทำการวัลคาไนซ์แล้วทำการบ่มเร่งในตู้อบแบบเกียร์ที่ 100°C เป็นเวลา 72 ชม.แล้วทดสอบสมบัติ 100%, 300% และ 500% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด และ ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.37 – 4.42

ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาด

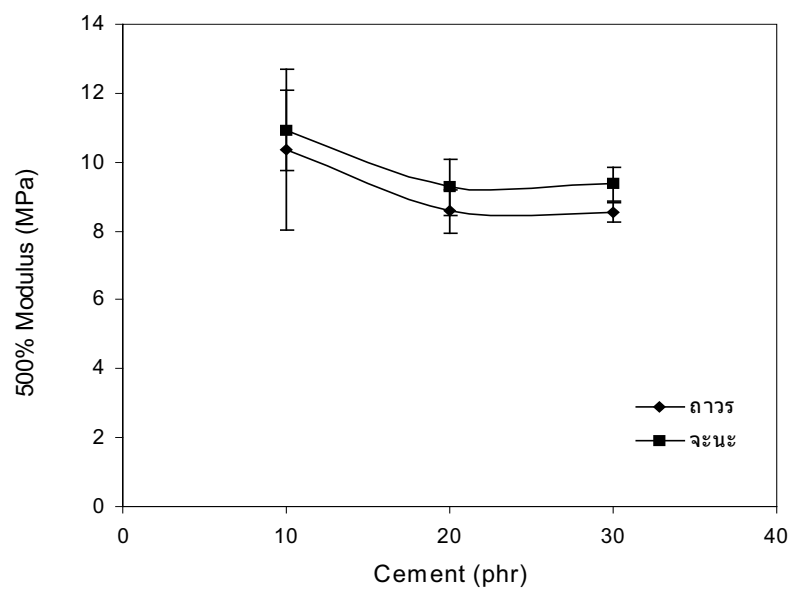


รูปที่ 4.37 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 100% Modulus หลังบ่มเร่ง

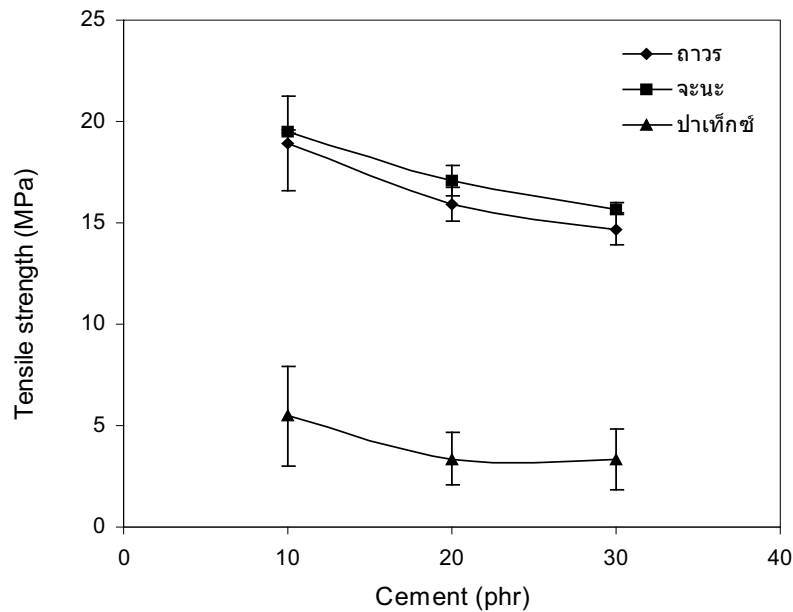
จากรูปที่ 4.37 – 4.41 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากซีเป้งปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) หลังการบ่มเร่ง มีค่าโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในระยะยืดจนขาด (Elongation at break) น้อยกว่าก่อนบ่มเร่ง และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการบ่มเร่งที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยางธรรมชาติมีพันธะคู่ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยา เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อมีอนุมูลอิสระของโลหะที่เจือปนมาในกากซีเป้ง ทำให้เกิดเป็นจุดอ่อนที่ทำให้เกิดการขาดของโมเลกุลได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิที่ใช้เป็น 100°C ทำให้ทำลายพันธะของโมเลกุลยางธรรมชาติได้ง่ายส่งผลให้สมบัติลดลง



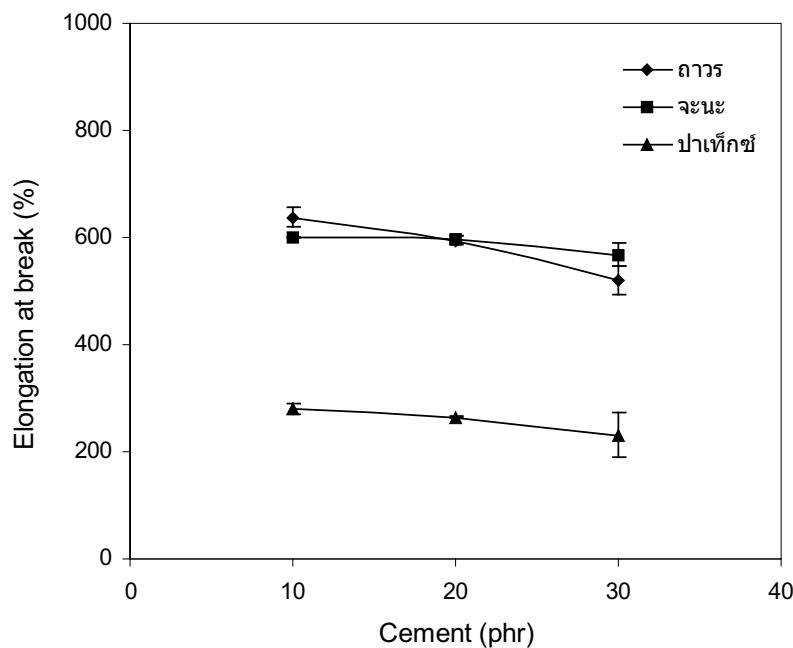
รูปที่ 4.38 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากจีแป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 300% Modulus หลังบ่มเร่ง



รูปที่ 4.39 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากจีแป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ 500% Modulus หลังบ่มเร่ง



รูปที่ 4.40 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ความต้านทานต่อแรงดึง หลังบ่มแรง

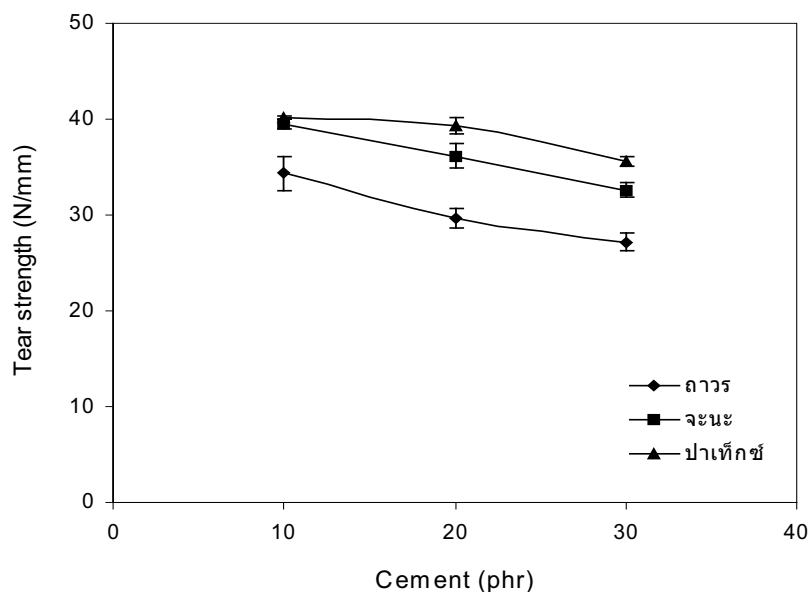


รูปที่ 4.41 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากซีเมนต์ 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ ระยะยืดจนขาดหลังบ่มแรง

รูปที่ 4.40-4.41 จะเห็นว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืดจนขาด (Elongation at break) ของสูตรที่ใช้กากซีเมนต์จากโรงงานป้าเท็กซ์ มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ใช้กากซีเมนต์จากโรงงานถาวรและโรงงานจะนะ อาจเป็นเพราะว่ากากซีเมนต์จากโรงงานป้าเท็กซ์

ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ส่วนมาก (ธนาร, 2547) รวมทั้งมีอนุผลของโลหะไอออนค่อนข้างมาก ทำให้ยางถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง รวมทั้งกากจีเป้งจะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของยางไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง เมื่อพันธะคู่ของยางธรรมชาติถูกทำลายเนื่องจากการบ่มเร่ง ทำให้ความแข็งแรงลดน้อยลงไปอีก ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพลดลงมากอย่างเห็นได้ชัด

ความต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.42 ผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับกากจีเป้ง 20 phr ของแต่ละโรงงานในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งต่อ Tear strength หลังบ่มเร่ง

จากรูปที่ 4.42 จะเห็นว่ายางวัลคาไนซ์ผสมกากจีเป้งปริมาณ 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ระดับต่างๆ (10, 20 และ 30 phr) หลังการบ่มเร่งมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ค่อนข้างต่ำกว่าก่อนบ่มเร่ง และลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อนำยางธรรมชาติไปบ่มเร่งที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชม. ส่งผลให้พันธะคู่ที่ว่องไวของโมเลกุลยางธรรมชาติถูกออกซิไดซ์ ทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย จึงส่งผลให้แรงที่ใช้ดึงทำให้เกิดการล้มนั้นมีค่าต่ำลง

การดูดซับน้ำ

นำชิ้นทดสอบซีเมนต์อ้างอิง (มีอัตราส่วน ทราช : ปูนซีเมนต์ : น้ำ = 6 : 2 : 1.7) ซีเมนต์ยาง (ตารางที่ 4.3) และยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนผสมของกากจีเป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์ 10, 20 และ 30 phr (ตารางที่ 4.5) เลือกใช้กากจีเป้งจากโรงงานดาร์ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน ชั่งน้ำหนักแล้วเอาไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน นำชิ้นทดสอบมาเช็ดแห้ง แล้วทิ้งไว้ 5 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ตามหัวข้อ 3.8.7 ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของซีเมนต์-อ้างอิง ซีเมนต์ยาง และยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของกากจี้แป้งกับซีเมนต์ แช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน

ชั้นทดสอบ	ซีเมนต์ (% -wt.)	เนื้อยางแห้ง (%-wt.)	การดูดซับน้ำ (%)
ซีเมนต์ปูพื้น-อ้างอิง	100	0	10.2
ซีเมนต์ยาง+กากจี้แป้ง 250 phr	1000	100	8.6
ยางปูพื้น (กากจี้แป้ง 20 phr ผสม ซีเมนต์ปริมาณต่างๆ)	10	100	2.8
	20	100	3.3
	30	100	4.2

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า ชั้นทดสอบซีเมนต์ปูพื้น-อ้างอิงมีการดูดซับน้ำสูงสุด เนื่องจากปูนซีเมนต์มีส่วนผสมของโมเลกุลที่ชอบน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่น Tricalcium silicate และ Calcium silicate hydrate จึงทำให้ซีเมนต์สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนี้ยางธรรมชาติมีสมบัติสามารถกั้นการซึมผ่านของโมเลกุลขนาดเล็กเช่นน้ำได้ดี ส่วนซีเมนต์ยางที่มีกากจี้แป้ง 250 phr สามารถดูดซับน้ำได้มากเช่นเดียวกัน ส่วนยางปูพื้นที่มีกากจี้แป้ง 20 phr และมีซีเมนต์ผสมปริมาณไม่มาก 10, 20 และ 30 phr การดูดซับน้ำจะน้อยกว่า 5% โดยอนุภาคยางจะไปปกคลุมอนุภาคของกากจี้แป้งและซีเมนต์ไว้ ดังลักษณะฐานฐานวิทยาที่แสดงในรูปที่ 4.9-4.10 ทำให้โมเลกุลในส่วนผสมซีเมนต์ดูดซับน้ำน้อยลงด้วย

4.5 ราคาต้นทุน

กากจี้แป้งเป็นของเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นที่ขจัดทิ้ง ไม่มีมูลค่า ดังนั้นราคาต้นทุนไม่คิด ปริมาณที่ใช้ถือเป็นส่วนที่ลดราคาทุน กากจี้แป้งสามารถใส่ได้สูงสุด 25% ของซีเมนต์ หรือ 250 phr (ตารางที่ 4.3) ราคาวัตถุดิบปูนซีเมนต์ราคา 3 บาท/กก. เนื้อยางธรรมชาติแห้ง 60 บาท/กก และ Terric N30 ราคา 120 บาท/กก. หากคิดเฉพาะราคาทุนที่มีซีเมนต์ 1000 ส่วนในยาง 100 ส่วนและมีกากจี้แป้ง 25% ของซีเมนต์ คิดราคาต้นทุนเท่ากับ 6.66 บาท/กก. ซึ่งแพงกว่าซีเมนต์ ประมาณ เท่าตัว และการใส่สารเพิ่มความเสถียร (Terric N30) 10% ของยางที่ใช้ จะทำให้ราคาทุนเพิ่มเป็น 7.50 บาท/กก* แสดงว่าการผสมกากจี้แป้งในซีเมนต์ และมีน้ำยางธรรมชาติผสม มีราคาแพงกว่าซีเมนต์ประมาณ 1.5 เท่าตัว

ส่วนการผสมกากจี้แป้งในยางแห้ง (RSS-3) มีผลทำให้ยางวัลคาไนซ์ มีสมบัติทางฟิสิกส์ลดลงอย่างมาก การใช้งานไม่ดี จึงไม่แนะนำ และไม่นำมาคิดราคาทุน

หมายเหตุ * ราคาทุน = $\frac{\text{ราคาวัตถุดิบทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักส่วนผสมที่ใช้ทั้งหมด}}$

$$= \frac{[(100 \times 60) + (1000 \times 3) + (10 \times 120)]}{[250 + 100 + 1000 + 10]}$$

$$= 7.5 \text{ บาท}$$

5. สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สมบัติกากจี้แป้ง

กากจี้แป้งอบแห้งมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.28-8.56 ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย มีส่วนความหนาแน่น 1.16–1.65 กรัม/ลบ.ซม. มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความชื้นอยู่ในช่วง 50.83–77.72% และ 22.27–49.16% ตามลำดับ ส่วนปูนซีเมนต์ (OPC) ที่นำมาใช้ผสมมีค่า pH เท่ากับ 12.5 ซึ่งค่อนข้างเป็นด่าง และมีความหนาแน่นเท่ากับ 3.15 กรัม/ลบ.ซม.

5.1.2 การใช้กากจี้แป้งเป็นส่วนผสมร่วมกับน้ำยาง

กากจี้แป้งที่ใช้ผสมกับซีเมนต์และน้ำยางชั้นปริมาณ 250–1,000 phr มีผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว และเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อแรงกด มีแนวโน้มลดลง มีสัดส่วนที่เหมาะสมคือ ซีเมนต์ 1000 phr กากจี้แป้ง 250 phr และสารเพิ่มความเสถียร (Teric N30) 10 phr ร่วมกับการใส่น้ำ โดยใช้สัดส่วนของซีเมนต์ต่อน้ำ เท่ากับ 1.6 : 1 และสัดส่วนของ กากจี้แป้ง ต่อ น้ำ เท่ากับ 1 : 1

5.1.3 การใช้กากจี้แป้งเป็นส่วนในยางธรรมชาติแห้ง

การใช้กากจี้แป้ง (20-60 phr) เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติแห้ง (RSS 3) พบว่า สมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ของยางมีค่าลดลง และการใช้กากจี้แป้ง (20 phr) ร่วมกับปูนซีเมนต์ (10, 20 และ 30 phr) เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่า สมบัติโมดูลัส (100%, 300% และ 500%) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้กากจี้แป้งเป็นสารตัวเติมในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ และมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นสารตัวเติมผสมในปูนซีเมนต์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ศึกษาการนำกากจี้แป้งมาใช้ประโยชน์ ในรูปที่เป็นสารตัวเติมผสมในปูนซีเมนต์ และมีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางสด หรือน้ำยางข้น โดยมีปูนซีเมนต์ เป็นส่วนผสมหลัก (matrix) มีน้ำยางธรรมชาติเป็นตัวช่วยผสม เพิ่มสมบัติยืดหยุ่น และกากจี้แป้งเป็นสารตัวเติม (composite) แปรสัดส่วนผสมต่างๆ และอาจมีสารเพิ่มความเข้ากันได้ หรือสารปรับผิวของกากจี้แป้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เตรียมเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต แล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางฟิสิกส์

เอกสารอ้างอิง

คู่มือการทดสอบ หิน ทรายและคอนกรีต. 2543. (ออนไลน์). สืบค้นจาก:

[http://: www.cpac.co.th](http://www.cpac.co.th) . (31 มกราคม 2548)

ัชชาวลัย เศรษฐบุตร. 2543. คอนกรีตเทคโนโลยี. (ออนไลน์). สืบค้นจาก:

[http://: www.cpac.co.th](http://www.cpac.co.th) . (3 พฤษภาคม 2548)

ธนธรณ์ นวลปาน. 2546. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปฏิกิริยาของกากซีเมนต์น้ำยาง

ชั้น. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและ

พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย . 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรพรรณ นิธิอุทัย . 2535. เทคนิคการออกสูตรยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : 4-1 ถึง 11-9

วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการ

ทำเป็นวัสดุบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

ล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และคณะ. 2547. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปฏิกิริยาของกากซีเมนต์น้ำยางชั้น. ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). สัญญาเลขที่ RDG4750017.

Asthana, K.K. and Lakhani,Rajni. 2004, Development of polymer modified cementitious

(polycem) tiles for flooring. India:Central Building Research Institute.

ASTM D 395-98. Standard Test Methods for Rubber Property –

Compression set, Section 9, Volume 9.01

ASTM D 412-98. Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic

Elastomer- Tension, Section 9, Volume 9.01

ASTM D 624-98. Standard Test Methods for Tear Strength of Conventional Vulcanized

Rubber and Thermoplastic Elastomer Section 9, Volume 9.01

ASTM D 2240-97. Standard Test Methods for Rubber Property – Durometer Hardness,

Section 9, Volume 9.01

Blackley,D.C. 1997. Polymer Latices Science and Technology Vol.2.Latex Foam Rubber,

Second Edition,London : Chapman&Hall

Flexsys compounds handbook. 2004. Reliance Thenochem Co.Ltd.; 79 – 80

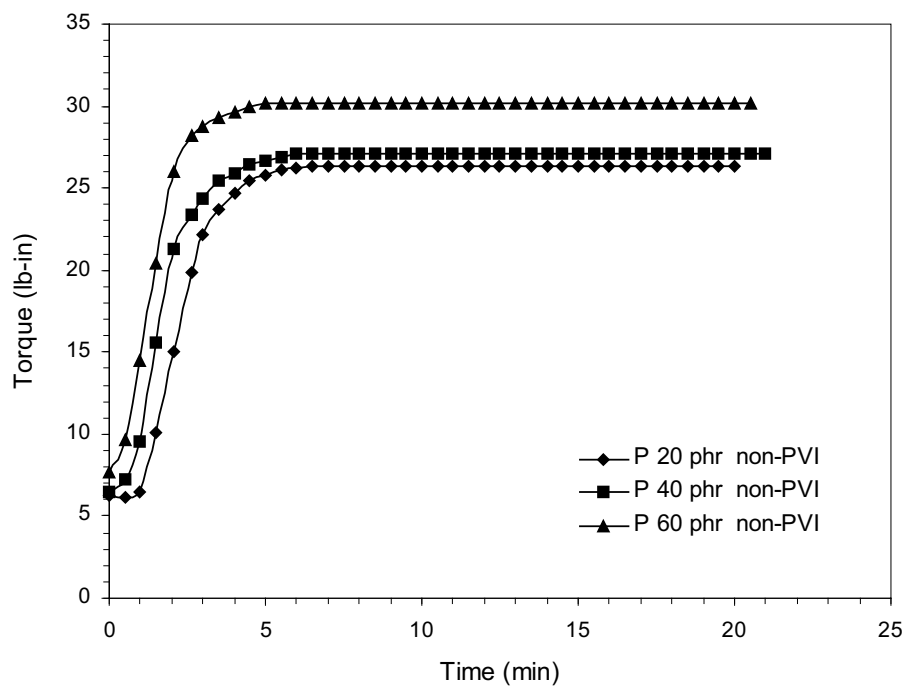
Gonzalez,-A. G. and Castro-M.A.J., 1998, Use of automotive paint sludge as filler in asphaltic mixtures, *Journal-of-Solid-Waste-Technology-and-Management*. v 25 n 3 p 193-196 .

Ratnasamy, M., 2002, Asphalt composition [GB2366567](#) , Aug 15.

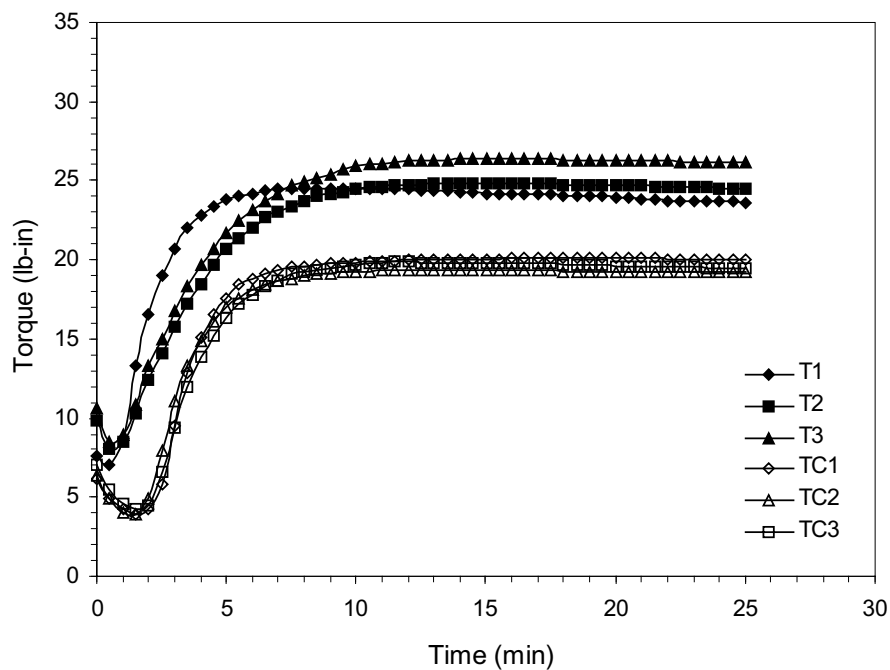
Rene B., 1983, Products for facings, insulation and packaging based on industrial wastes, and particularly paper sludge, and method for their manufacture. CA1195053, Oct 19.

Vinypal s A, 1967, Production of thermoplastic granulates. GB 1075241, July 12.

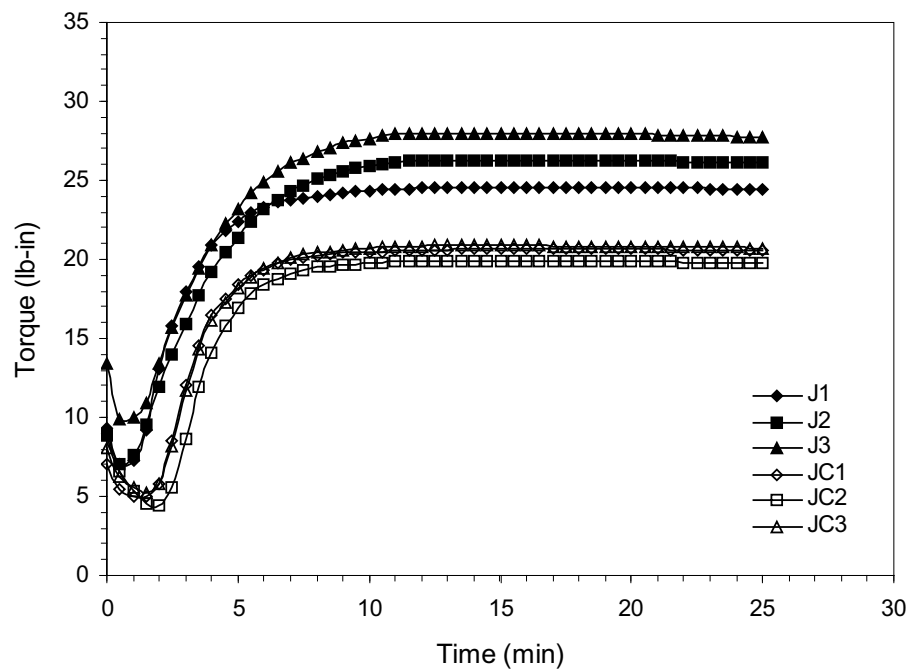
ภาคผนวก ก
ลักษณะการวัดคาบในซ์ของยาง



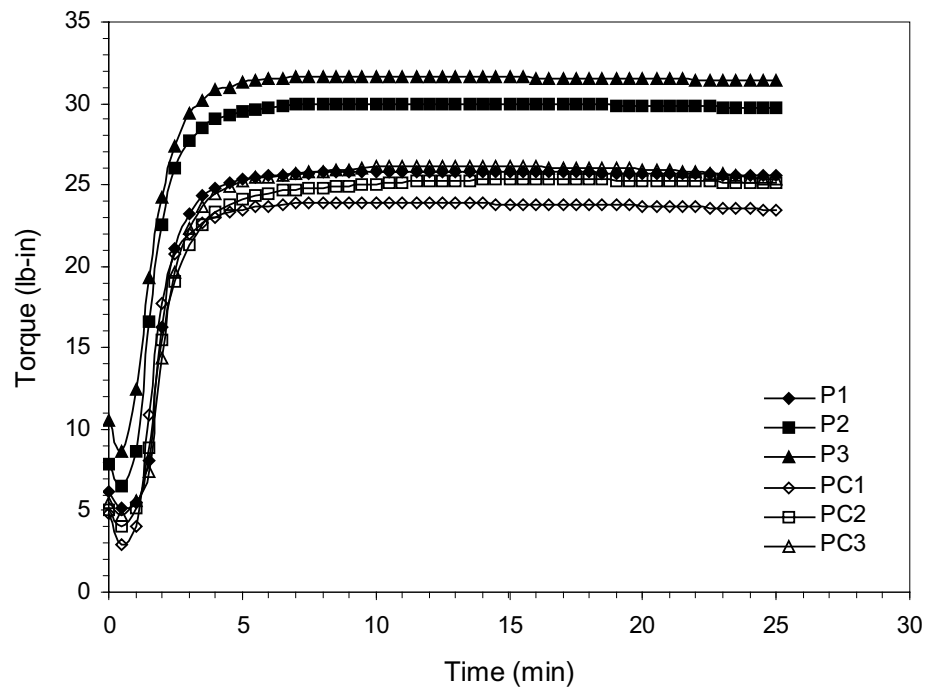
รูปประกอบผนวก 1 ลักษณะการวัดคาบในซ์ของยางที่ใช้กากจีแป้งโรงงานปาเท็กซ์เป็นสารตัวเติม เมื่อไม่ใช้สารหน่วง (PVI) ที่อุณหภูมิ 150°C



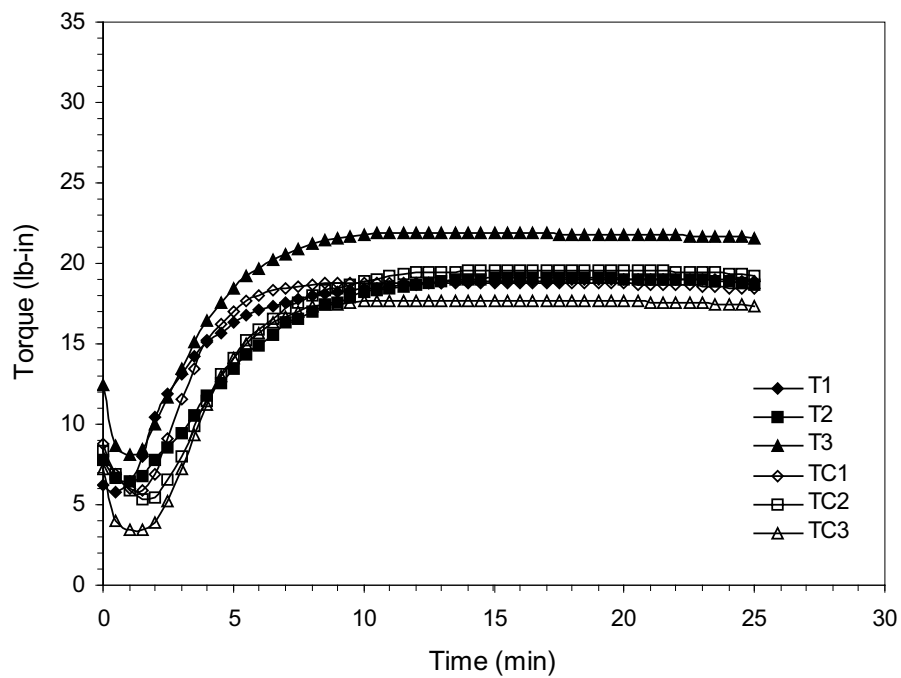
รูปประกอบผนวก 2 ลักษณะการวัดคาบในซ์ของกากจีแป้งโรงงานถาวรและกากจีแป้งร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป้งครั้งที่ 1



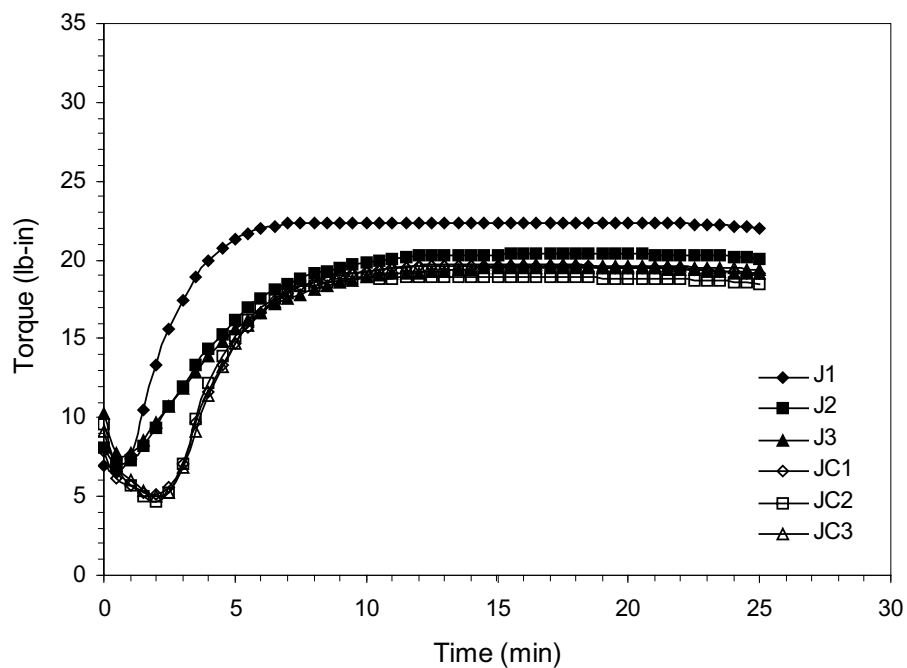
รูปประกอบผนวก 3 ลักษณะการวัดคาบไชน์ของกากจีแป้งโรงงานจะนะและกากจีแป้งร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป้งครั้งที่ 1



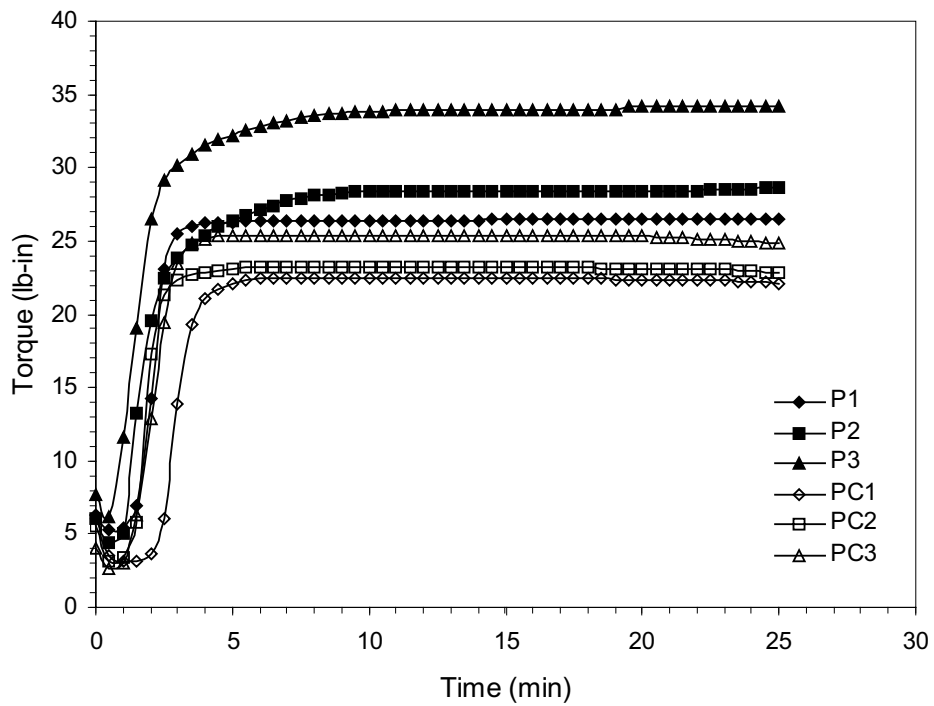
รูปประกอบผนวก 4 ลักษณะการวัดคาบไชน์ของกากจีแป้งโรงงานปาเท็กซ์และกากจีแป้งร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป้งครั้งที่ 1



รูปประกอบผนวก 5 ลักษณะการวัดคาบไชน์ของกากจีแป้งโรงงานถาวรและกากจีแป้งร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป้งครั้งที่ 2



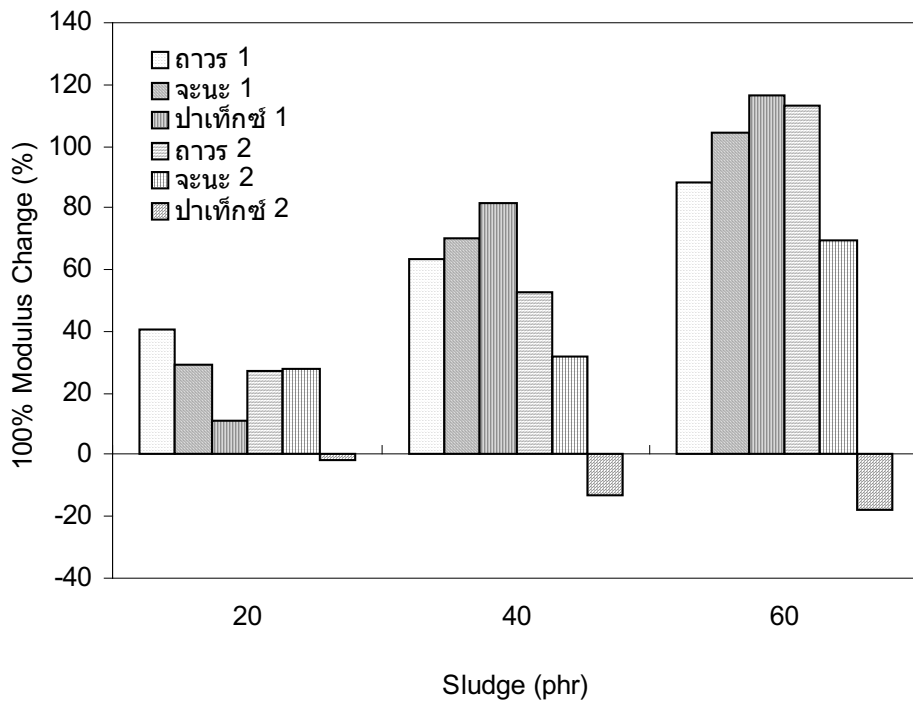
รูปประกอบผนวก 6 ลักษณะการวัดคาบไชน์ของกากจีแป้งโรงงานจะนะและกากจีแป้งร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป้งครั้งที่ 2



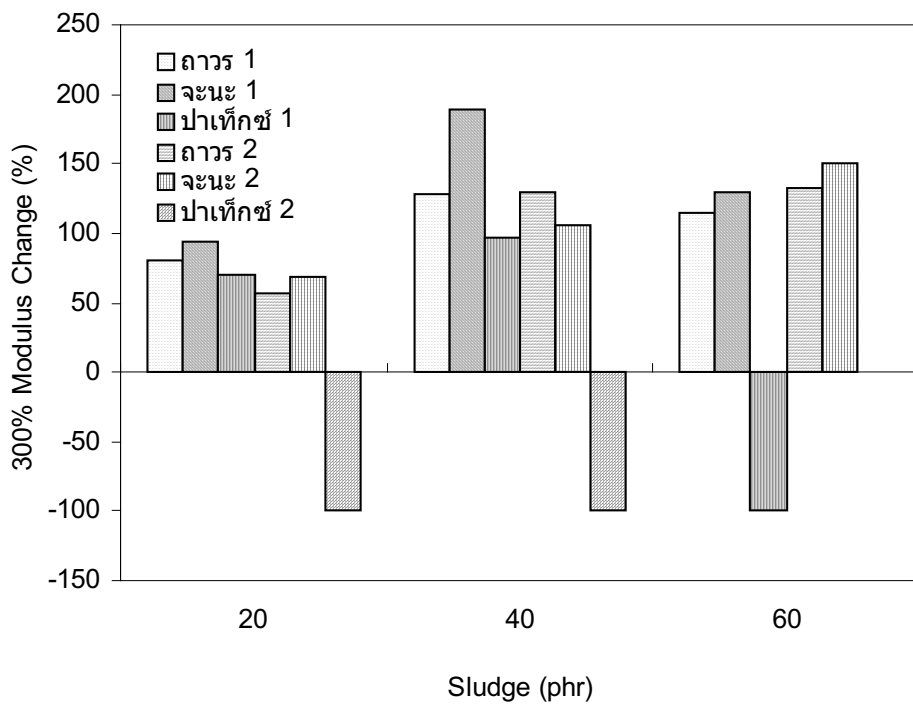
รูปประกอบผนวก 7 ลักษณะการวัดค่าโมเมนต์ของกากจีแป่งโรงงานป่าเทือกซ์และกากจีแป่งร่วมกับ ปูนซีเมนต์ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 150°C ในการเก็บตัวอย่างกากจีแป่งครั้งที่ 2

ภาคผนวก ข

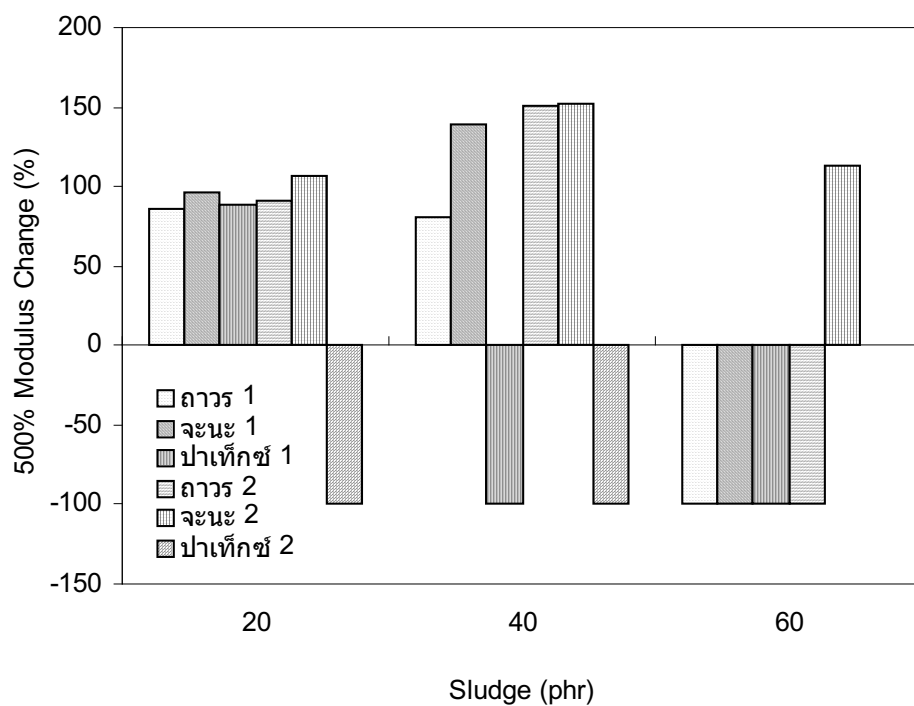
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติยางหลังบ่มเร่ง



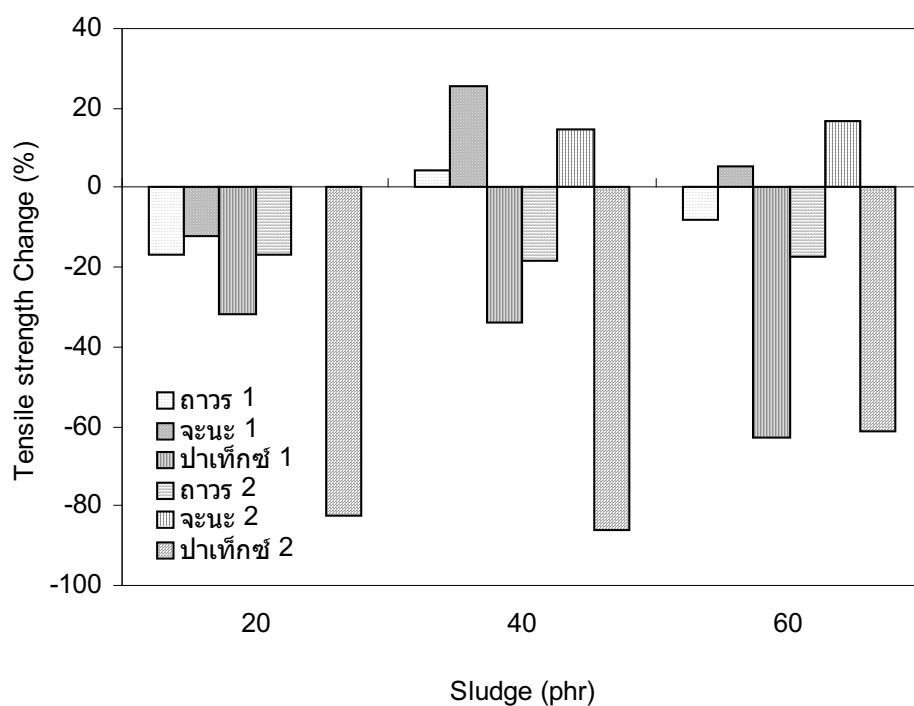
รูปประกอบผนวก 8 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 100% โมดูลัสหลังบ่มเร่งที่ 100°C 24 ชม.
ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจี้แป้งเป็นสารตัวเติม



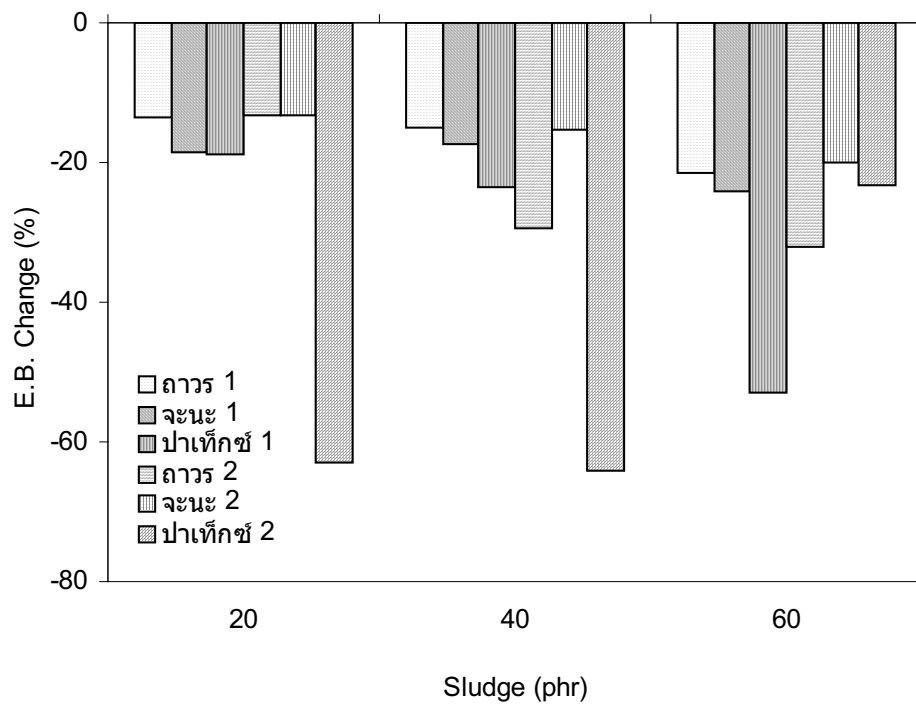
รูปประกอบผนวก 9 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 300% โมดูลัสหลังบ่มเร่งที่ 100°C 24 ชม.
ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจี้แป้งเป็นสารตัวเติม



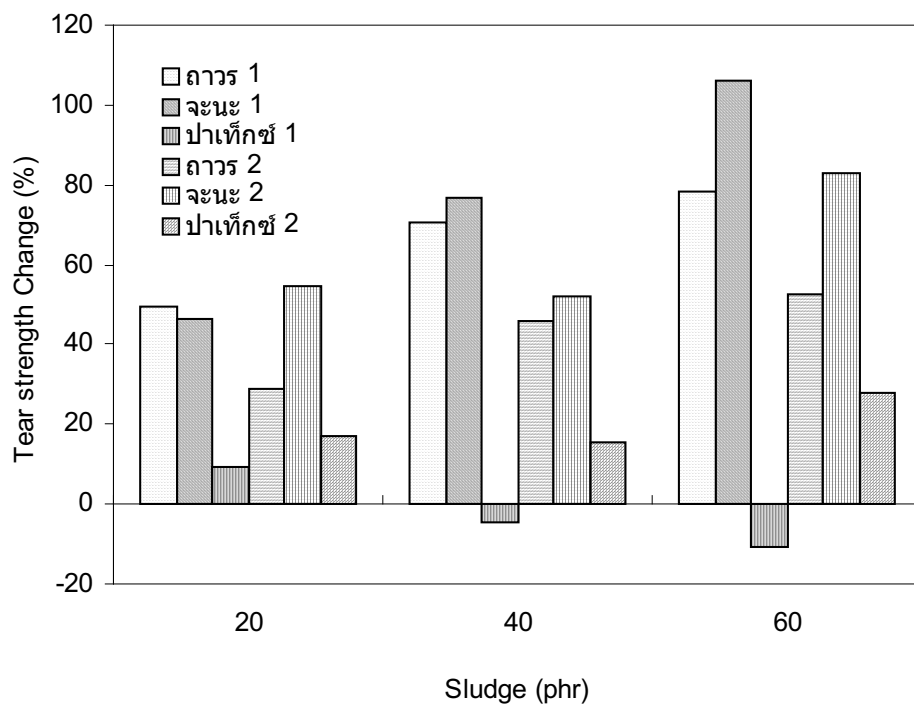
รูปประกอบผนวก 10 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 500% โมดูลัสหลังบ่มเร่งที่ 100°C 24 ชม.
ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจี้เป้งเป็นสารตัวเติม



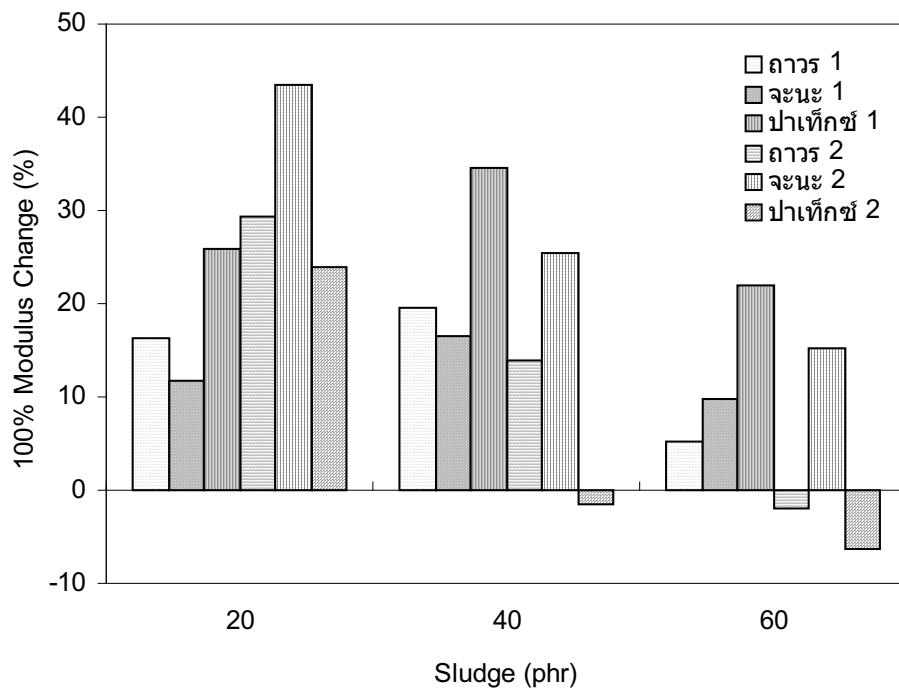
รูปประกอบผนวก 11 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Tensile strength หลังบ่มเร่งที่ 100°C นาน
24 ชม.ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจี้เป้งเป็นสารตัวเติม



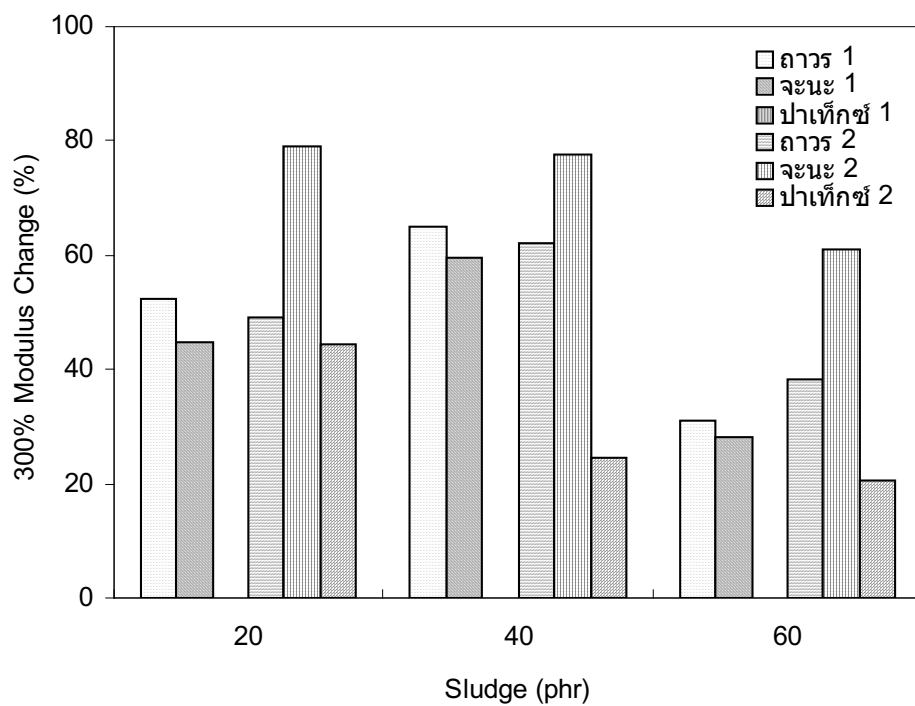
รูปประกอบผนวก 12 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Elongation at break หลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจีแป้งเป็นสารตัวเติม



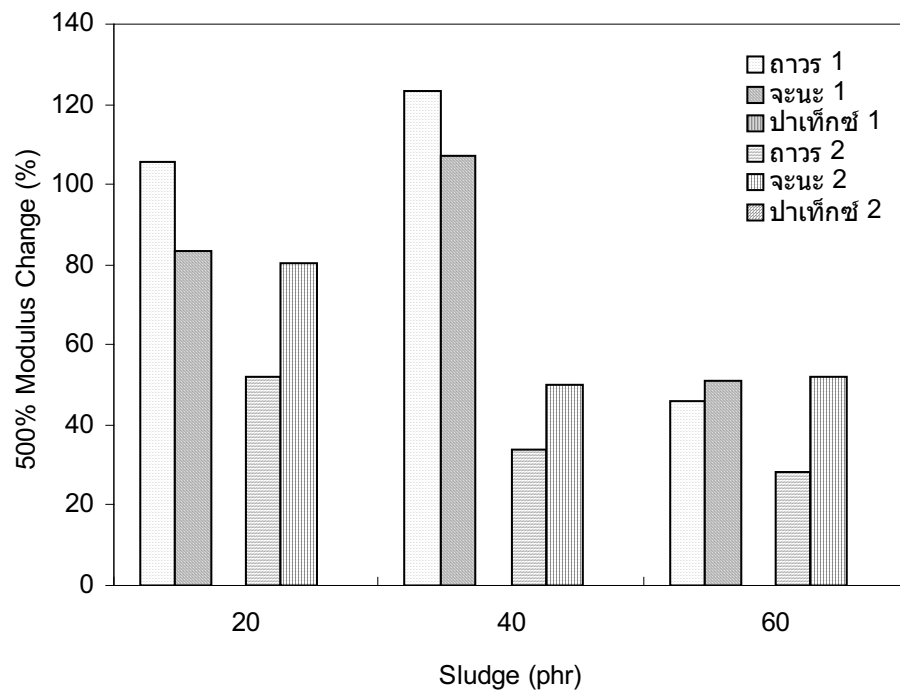
รูปประกอบผนวก 13 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Tear strength หลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.ของยางธรรมชาติที่ใช้กากจีแป้งเป็นสารตัวเติม



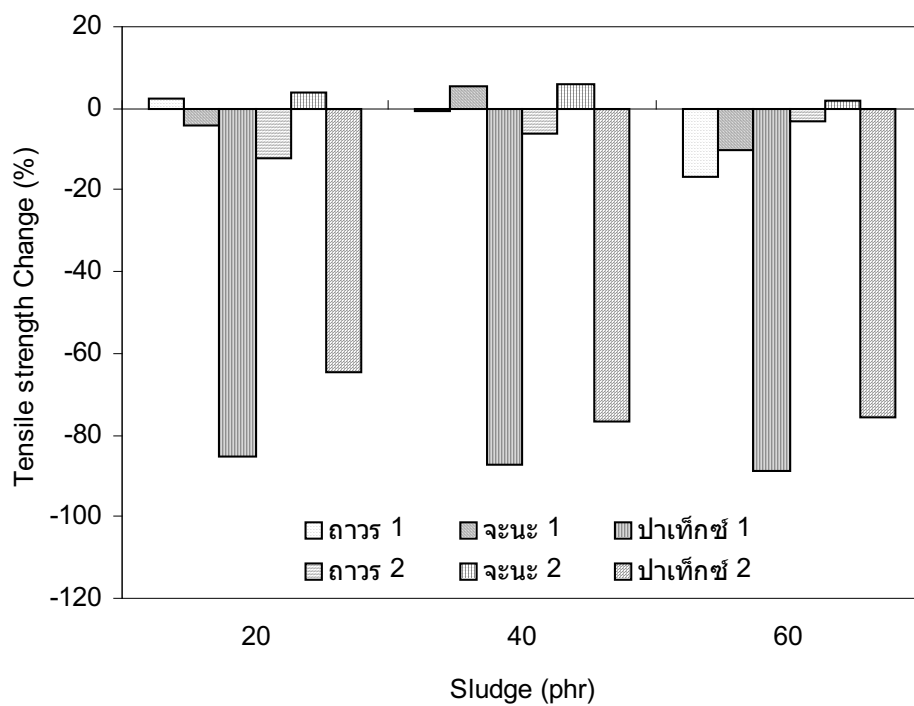
รูปประกอบผนวก 14 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 100% โมดูลัสหลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.
ของยางที่ใช้กากจี้แป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม



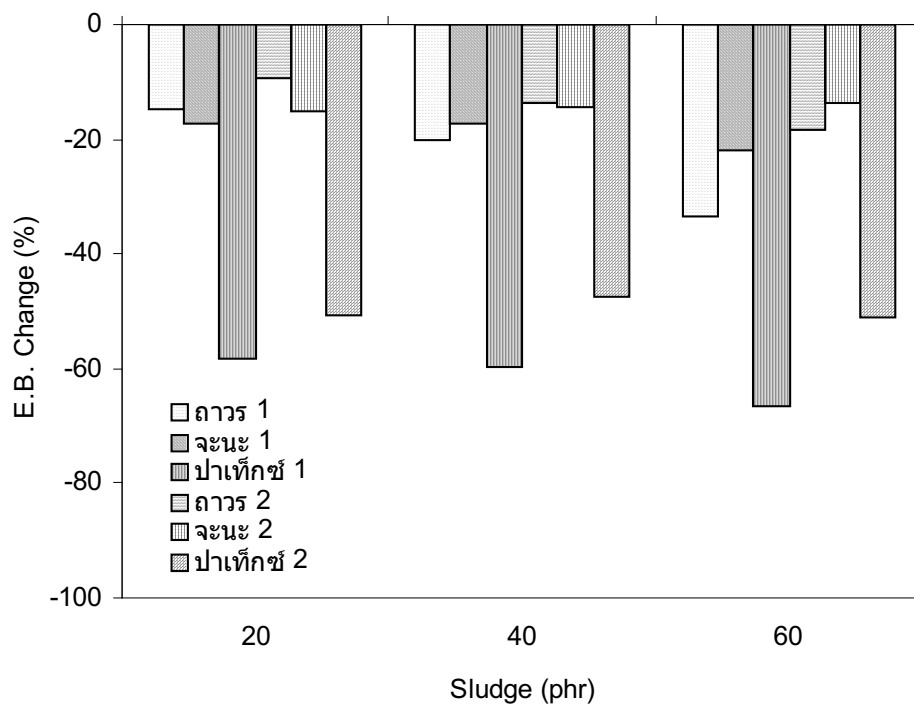
รูปประกอบผนวก 15 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 300% โมดูลัสหลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.
ของยางที่ใช้กากจี้แป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม



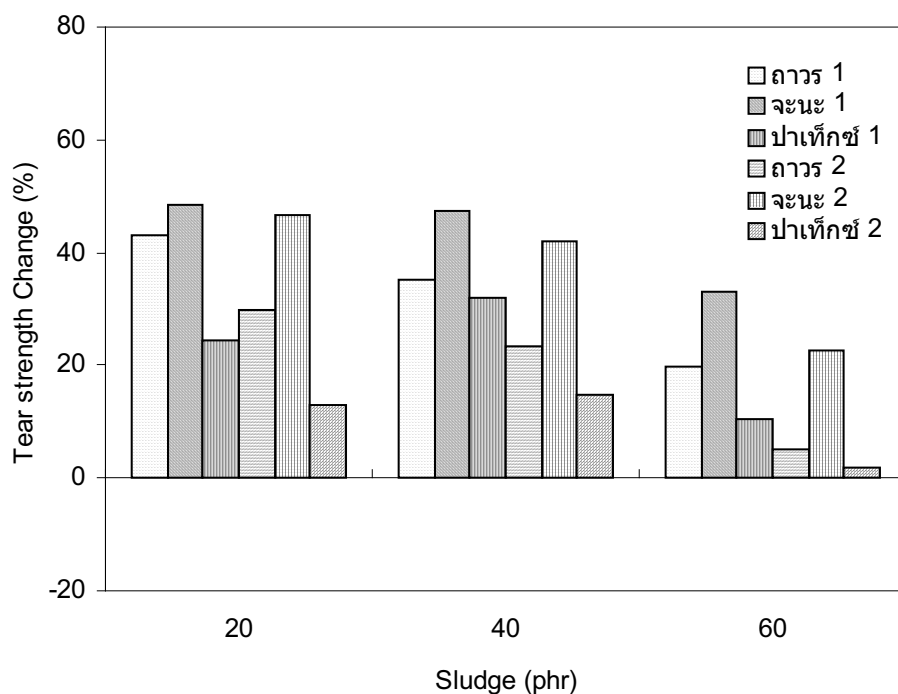
รูปประกอบผนวก 16 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง 500% โมดูลัสหลังบ่มเร่งที่ 100°C 24 ชม.
ของยางที่ใช้กากจี้แป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม



รูปประกอบผนวก 17 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Tensile strength หลังบ่มเร่งที่ 100°C 24 ชม.
ของยางที่ใช้กากจี้แป้ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม



รูปประกอบผนวก 18 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Elongation at break หลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.ของยางที่ใช้กากจี้แบ่ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม



รูปประกอบผนวก 19 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง Tear strength หลังบ่มแรงที่ 100°C 24 ชม.ของยางที่ใช้กากจี้แบ่ง 20 phr ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติม

ภาคผนวก ก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษาแนวทางการผสมกากชี แป้ง ยางธรรมชาติ และปูน ซีเมนต์	1) ศึกษาสมบัติกายภาพบางประการ ของกากชีแป้ง นำยาง ปูนซีเมนต์ และแนวทางการผสม	- เก็บตัวอย่างกากชีแป้งจากโรงงานนำ ยางขึ้น 3 แห่ง ในเขตจังหวัดสงขลา และปัตตานี - ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของ กากชีแป้ง เช่น ความชื้น ปริมาณของ แข็งที่คงอยู่ ความเป็นกรด-ด่าง ความ หนาแน่น และขนาดอนุภาคของแข็ง ในกากชีแป้ง - ตรวจสอบสมบัติทั่วไปของน้ำยาง เช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณ เนื้อยางแห้ง ปริมาณแอมโมเนีย ความเป็นกรด-ด่าง ความหนืด และ ความตึงผิว - ตรวจสอบสมบัติทั่วไปของปูน ซีเมนต์ เช่น ความเป็นกรดด่าง	- เก็บตัวอย่างกากชีแป้งจากโรงงาน นำยางขึ้น 3 แห่ง จำนวน 2 ครั้ง (25 ธค 48 และ 28 กพ 48) - ทราบลักษณะทางกายภาพและ สมบัติของกากชีแป้งที่ใช้ผสมเป็น สารตัวเติมในซีเมนต์ และยวกรรม ชาติ - ทราบสมบัติทั่วไปของน้ำยาง ที่ใช้ ผสมเป็นสารตัวเติมในซีเมนต์ - ทราบสมบัติทั่วไปของปูนซีเมนต์

2. เพื่อศึกษาการใช้กากซีเป้ง เป็น สารตัวเติมในการทำซีเมนต์อย่าง ปูพื้น	2) ศึกษาการเตรียมแผ่นซีเมนต์ยางปู พื้น และสมบัติทั่วไป	- หาแนวทางการผสมกากซีเป้ง ยาง ธรรมชาติ (นำยางและยางแห้ง) และ ปูนซีเมนต์สัดส่วนต่างๆ - ออกสูตรส่วนผสมที่แปรปริมาณกาก ซีเป้งเป็นสารตัวเติม นำยางธรรมชาติ และ ปูนซีเมนต์ - ตรวจสอบความสามารถในการผสม - ออกสูตรและผลสมยงที่ใช้กากซีเป้ง เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ - ออกสูตรและผลสมยงที่ใช้กากซีเป้ง ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมใน ยางธรรมชาติ	- ทราบแนวทางและสัดส่วนการผสม กากซีเป้ง ยางธรรมชาติ (นำยางและยาง แห้ง) และปูนซีเมนต์ต่างๆ - ได้สูตรการผสมกากซีเป้ง ซีเมนต์ นำยางธรรมชาติ - สามารถผสมนำยางธรรมชาติ กาก ซีเป้ง ในซีเมนต์ได้ - ได้สูตรยงวัลคาไนซ์ที่มีส่วนผสม ของกากซีเป้ง ปูนซีเมนต์ เป็นสาร ตัวเติมในยางธรรมชาติ เพื่อใช้ ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์
---	---	---	--

3. เพื่อศึกษาสมบัติของซีเมนต์ยางปูพื้น	3) ศึกษาสมบัติทั่วไปของแผ่นซีเมนต์ยางปูพื้น - การใช้กากซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ - การใช้กากซีเมนต์ร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ	- ตรวจสอบลักษณะกายภาพ และสมบัติทั่วไป - ตรวจสอบสมบัติการเซตตัว - ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกาว (SEM) - เปรียบเทียบสมบัติยางปูพื้นที่ทดลองกับพื้นที่ปกติ และ/หรือกับพื้นที่ผสมน้ำยางธรรมชาติโดยไม่ใช้กากซีเมนต์	- ทราบลักษณะกายภาพ และสมบัติทั่วไป เช่น เวลาการเซตตัว การหดตัว ความต้านทานต่อแรงกด และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ใช้ทำซีเมนต์ยางปูพื้น - ทราบสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง เช่น ความทนทานต่อแรงดึง และการยืดจนขาด ความทนทานต่อการฉีกขาด ดัชนีการสึกหรอ - ทราบสมบัติการดูดซับน้ำของตัวอย่างซีเมนต์อ้างอิงเปรียบเทียบกับแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์ และซีเมนต์ที่ใช้ทำซีเมนต์ยางปูพื้น
---	--	---	---