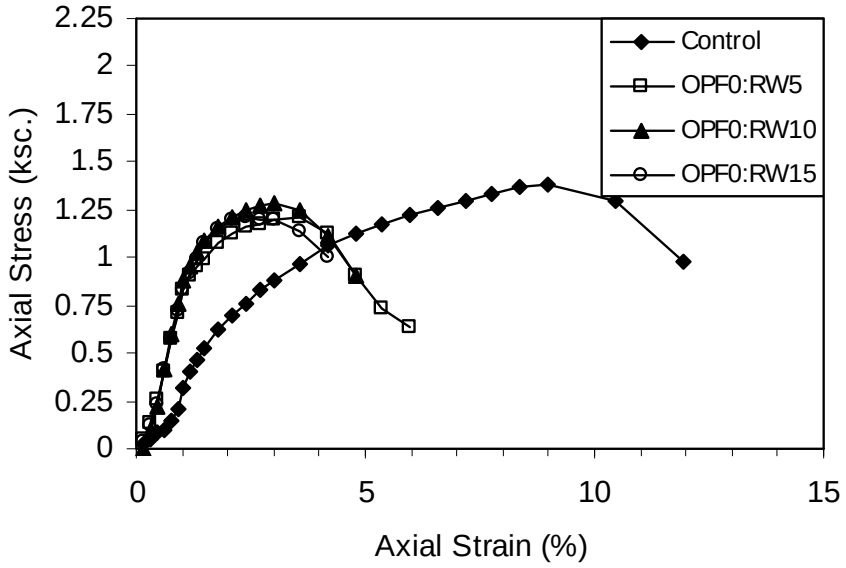
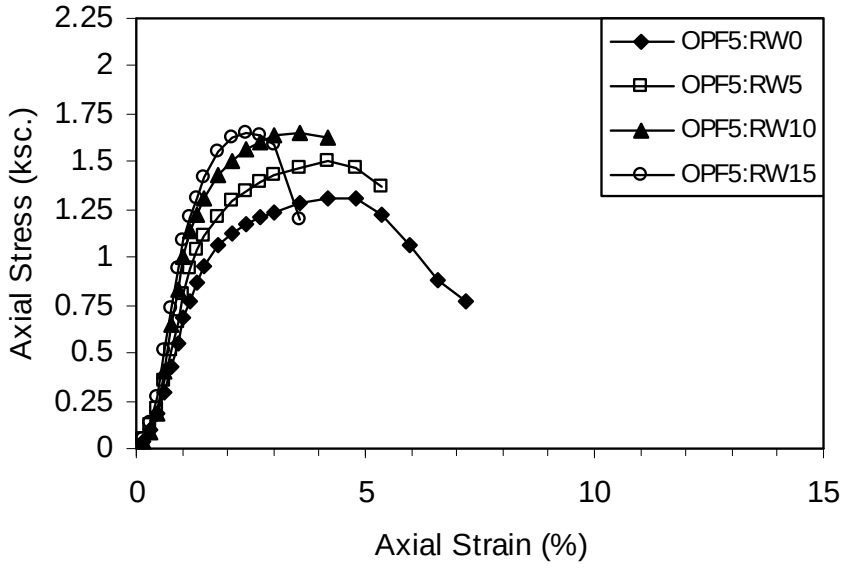
ภาคผนวก ก.

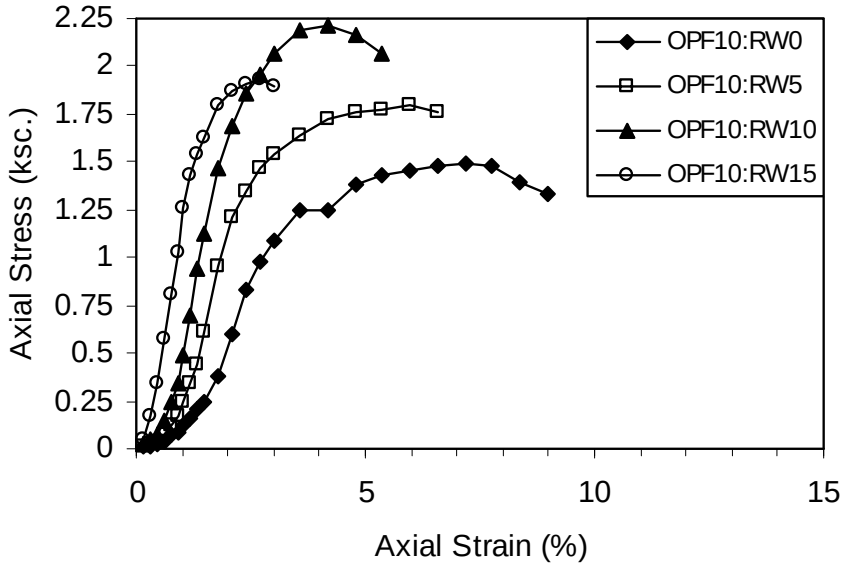
ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา



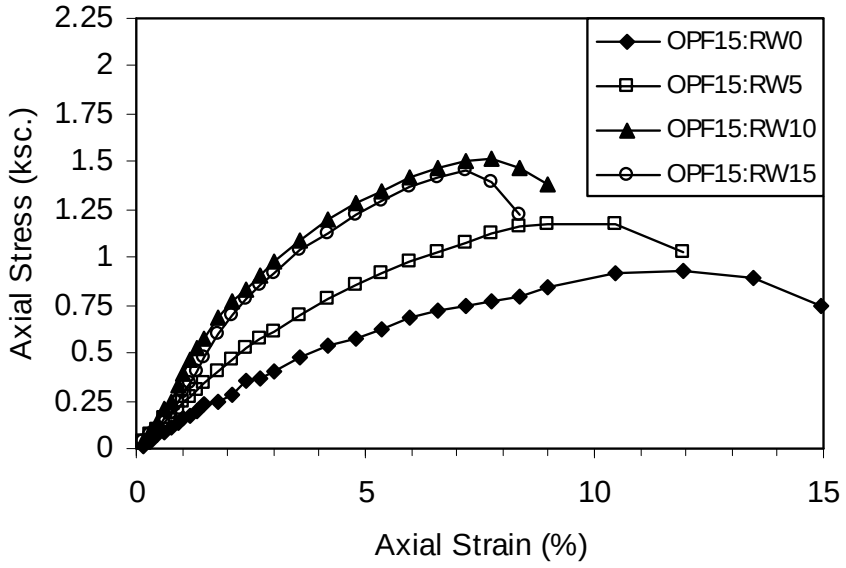
รูปที่ ก - 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 0 วัน



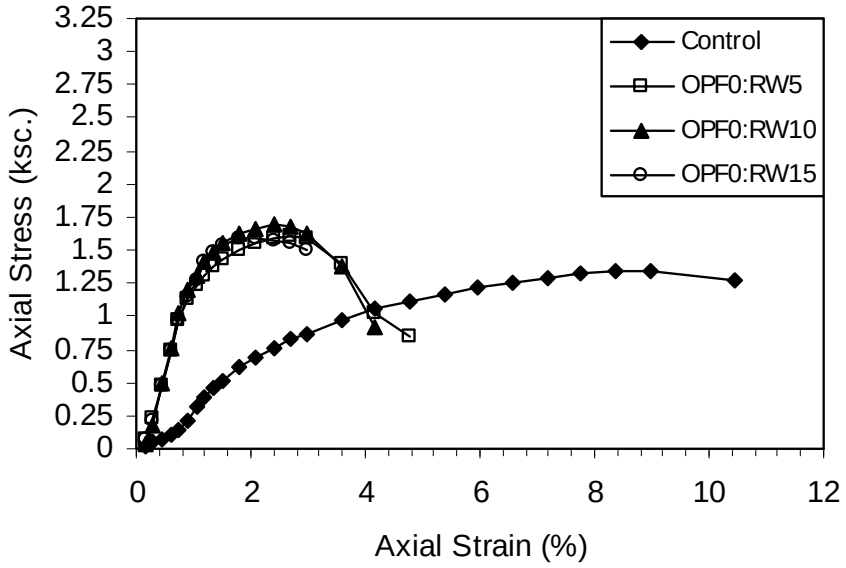
รูปที่ ก - 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 0 วัน



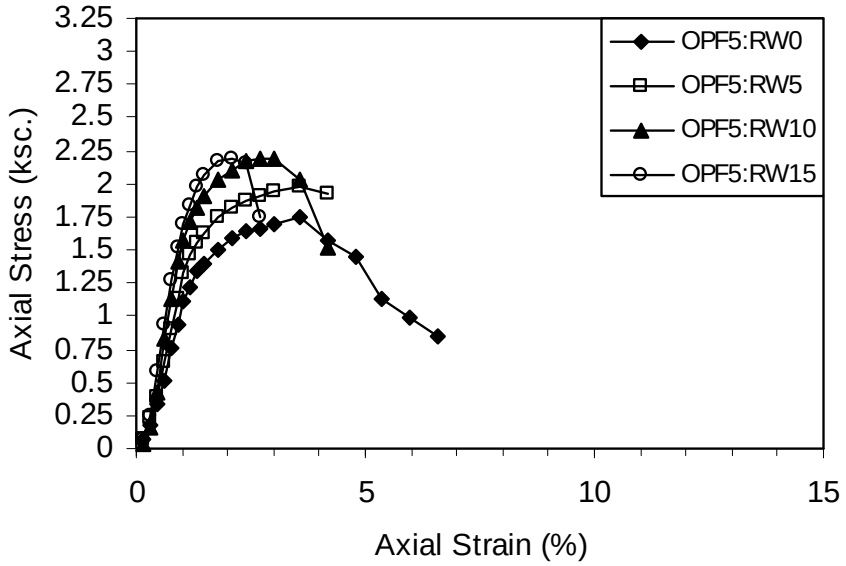
รูปที่ ก - 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 0 วัน



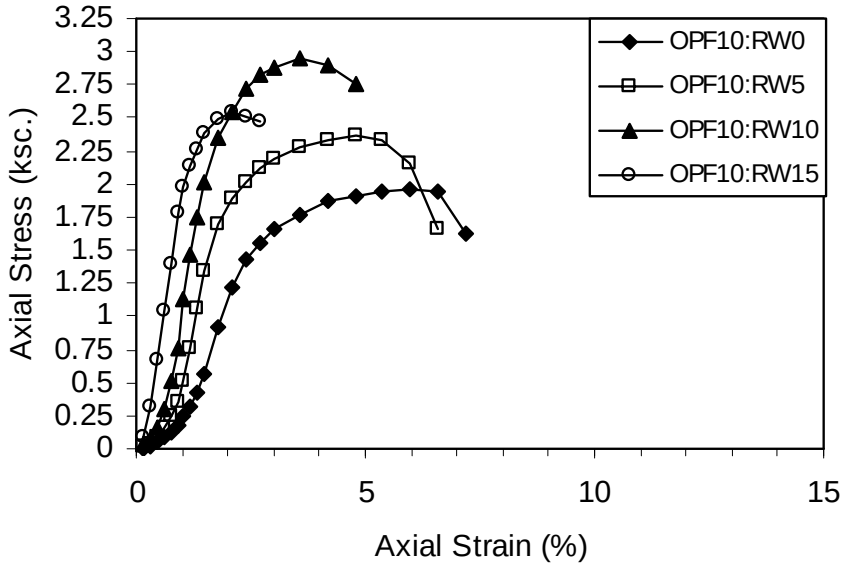
รูปที่ ก - 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 0 วัน



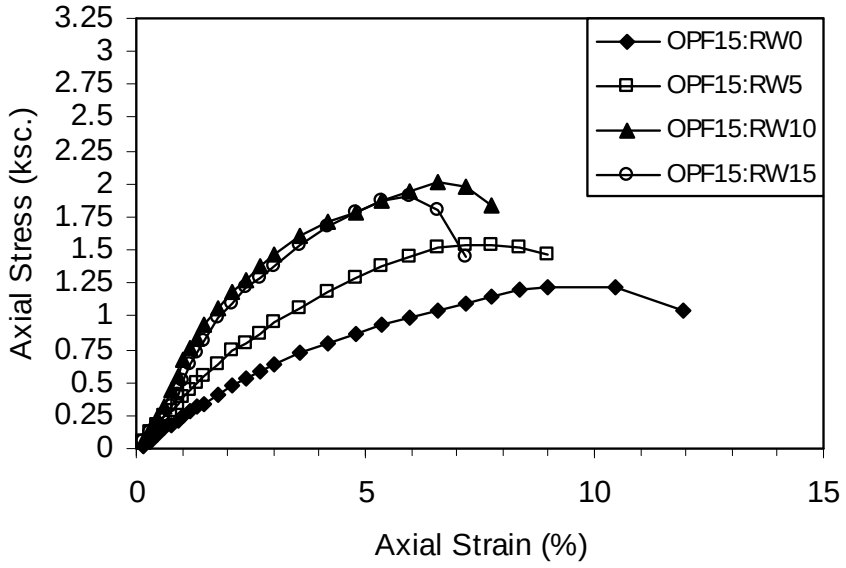
รูปที่ ก - 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 7 วัน



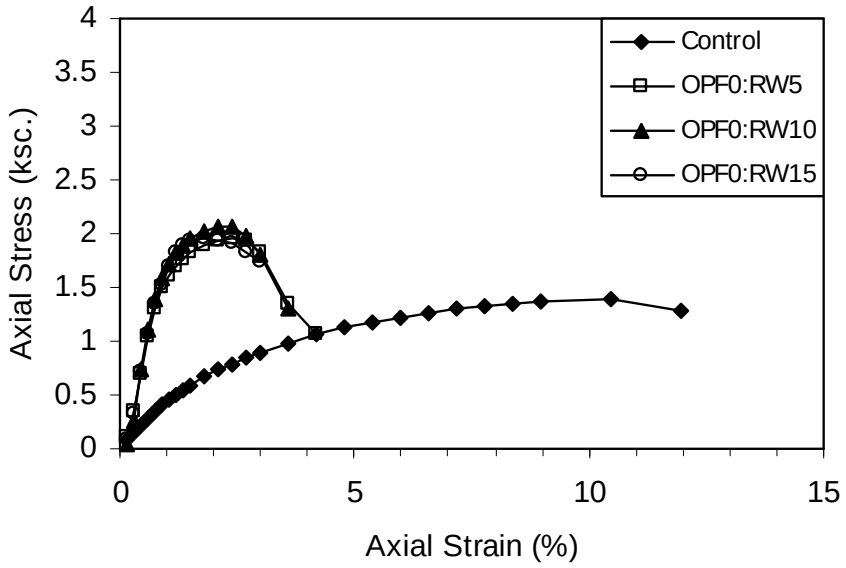
รูปที่ ก - 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 7 วัน



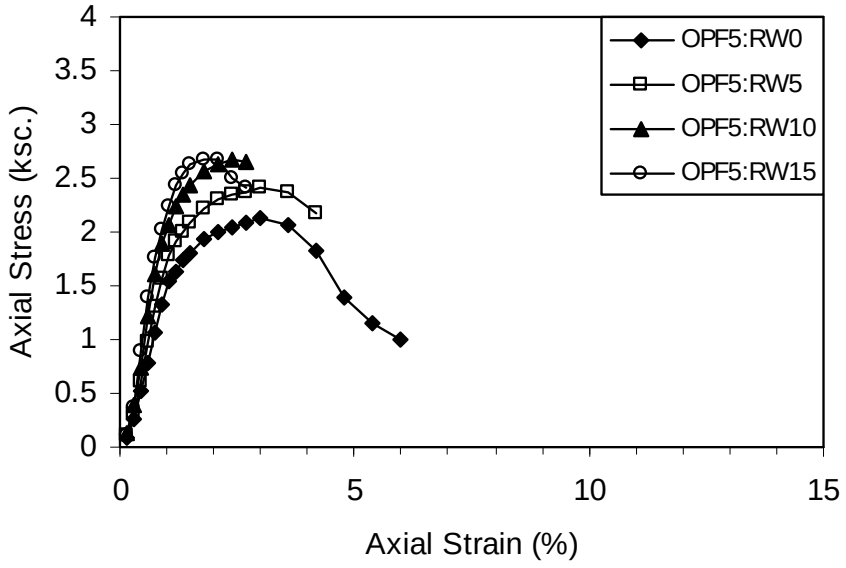
รูปที่ ก - 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 7 วัน



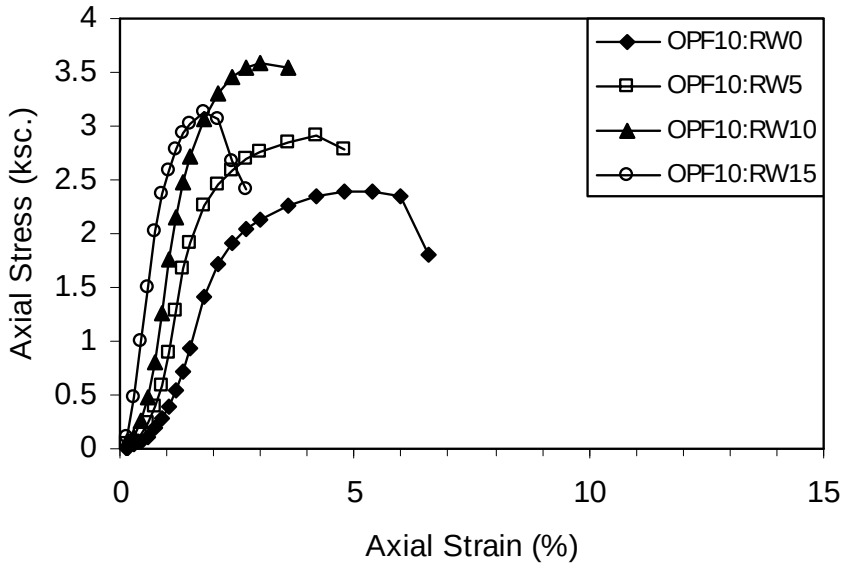
รูปที่ ก - 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 7 วัน



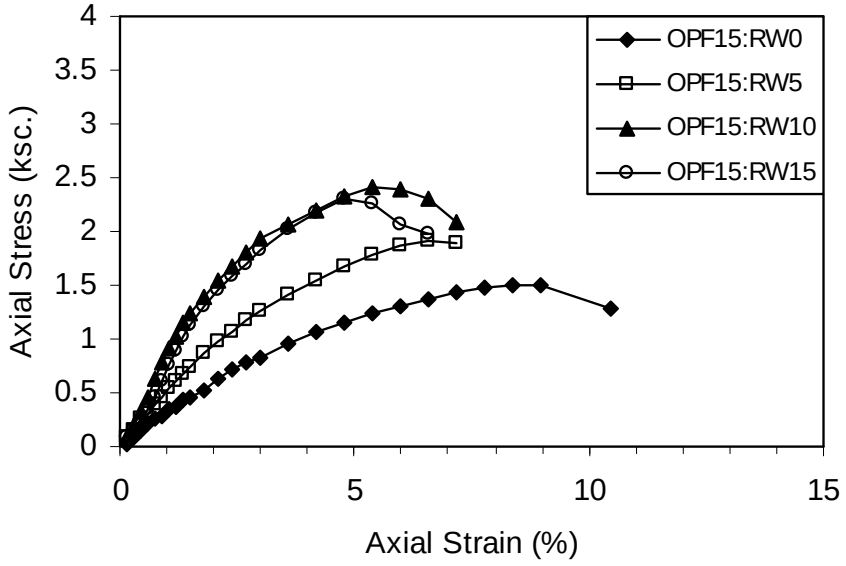
รูปที่ ก - 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 14 วัน



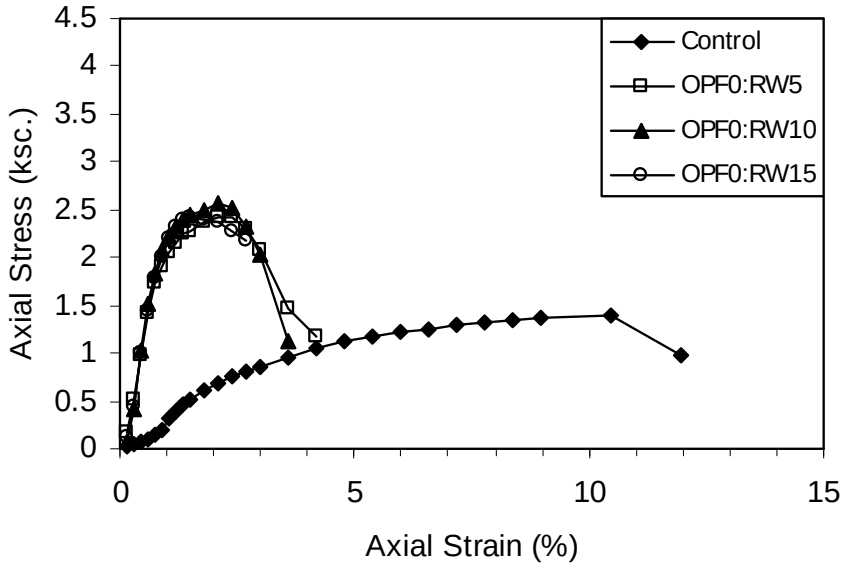
รูปที่ ก - 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 14 วัน



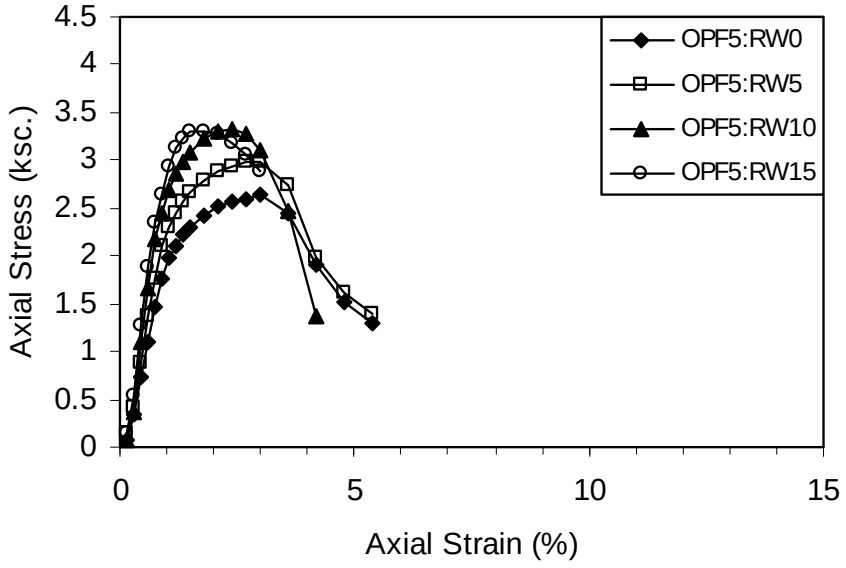
รูปที่ ก - 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 14 วัน



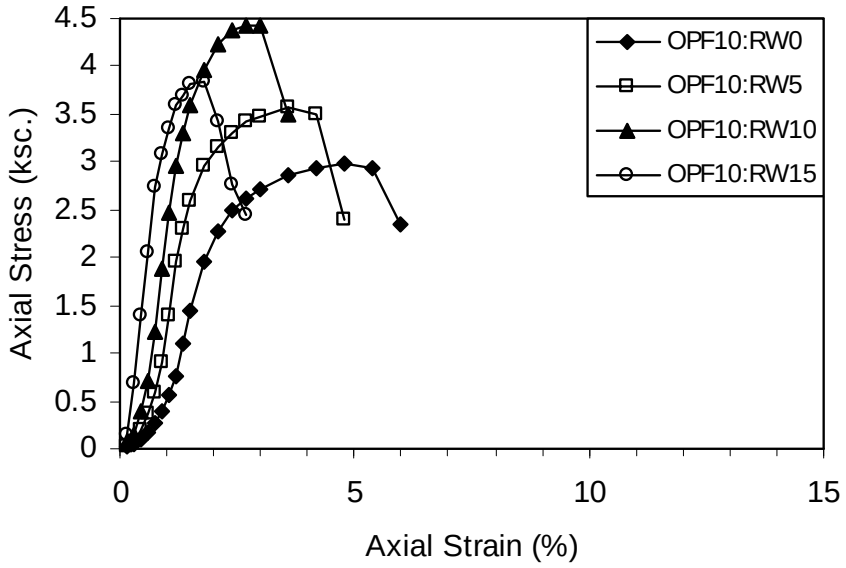
รูปที่ ก - 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 14 วัน



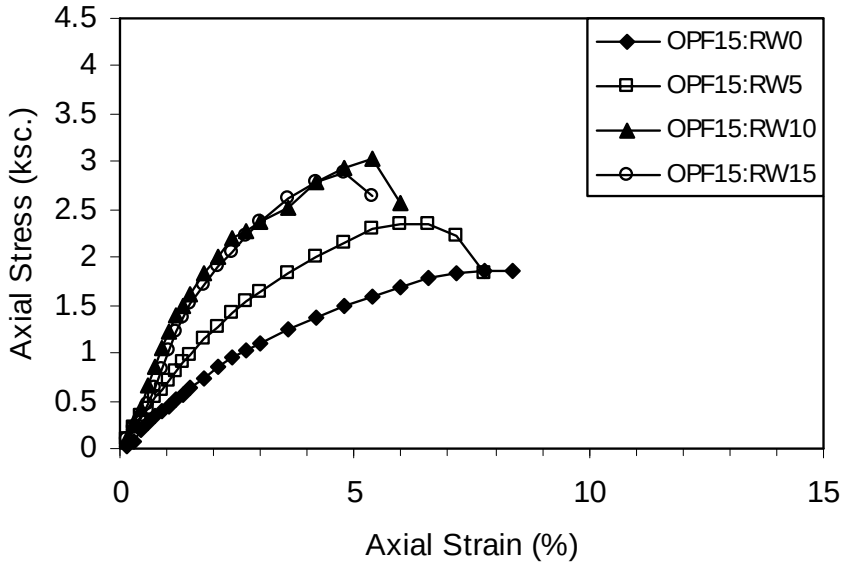
รูปที่ ก - 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 28 วัน



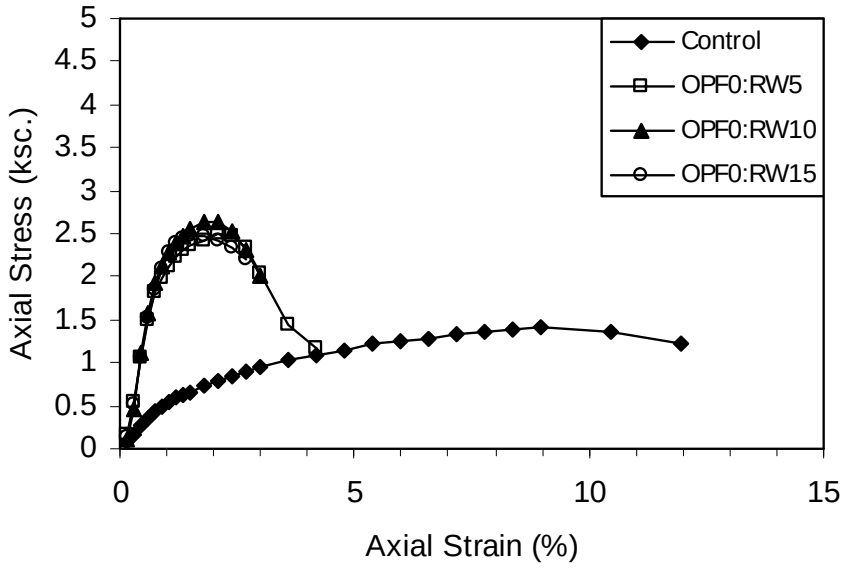
รูปที่ ก - 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 28 วัน



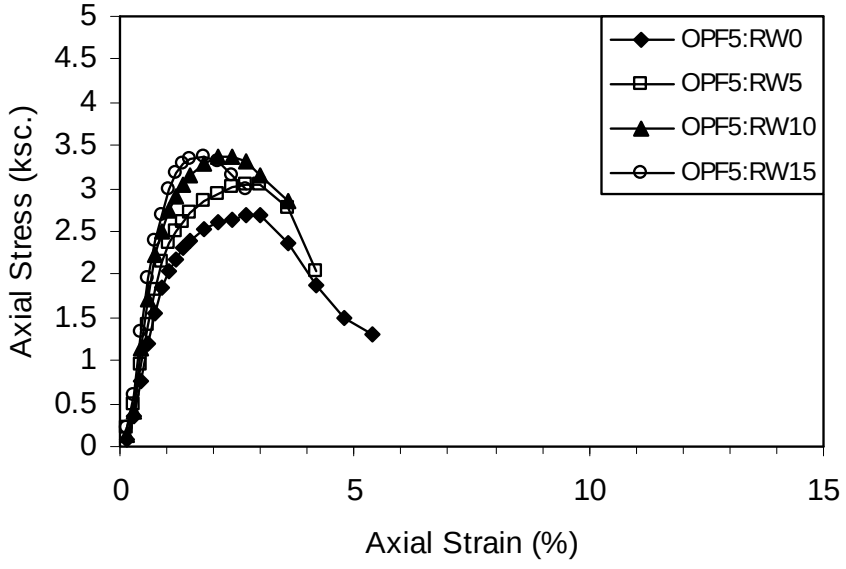
รูปที่ ก - 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 28 วัน



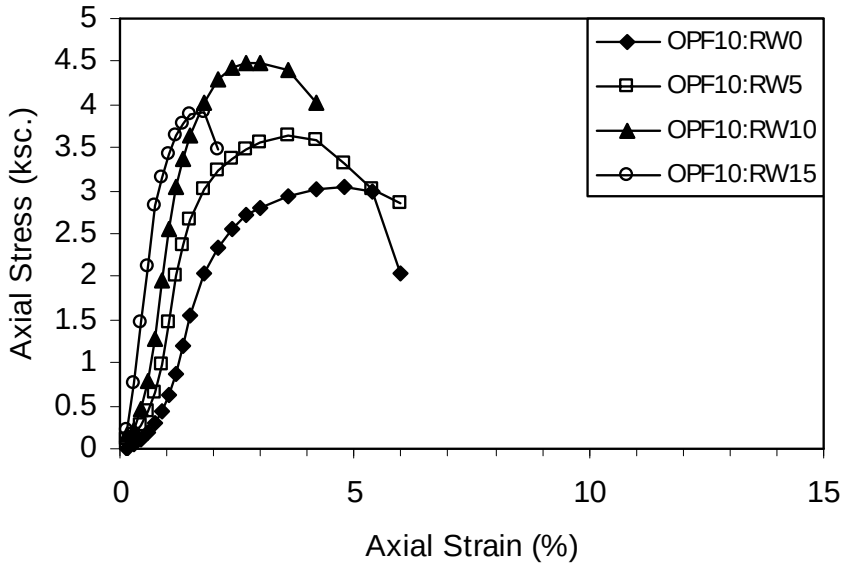
รูปที่ ก - 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 28 วัน



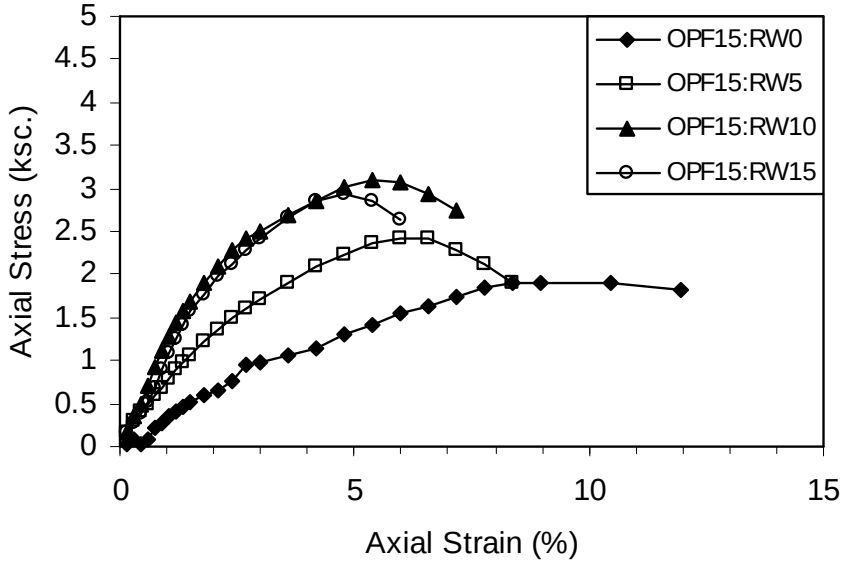
รูปที่ ก - 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 56 วัน



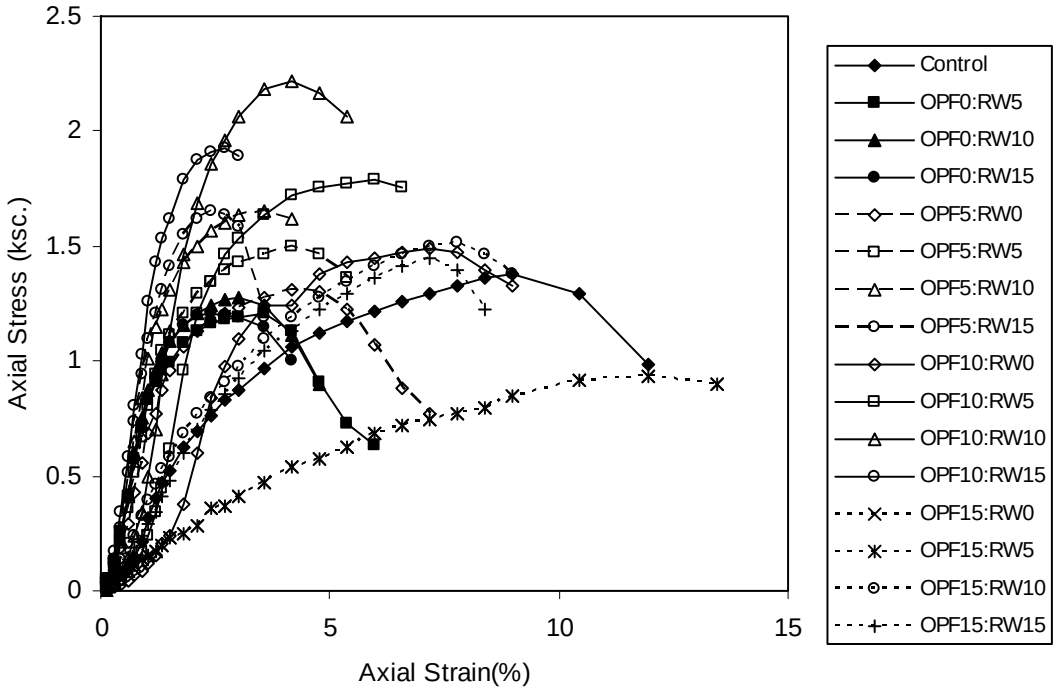
รูปที่ ก - 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 56 วัน



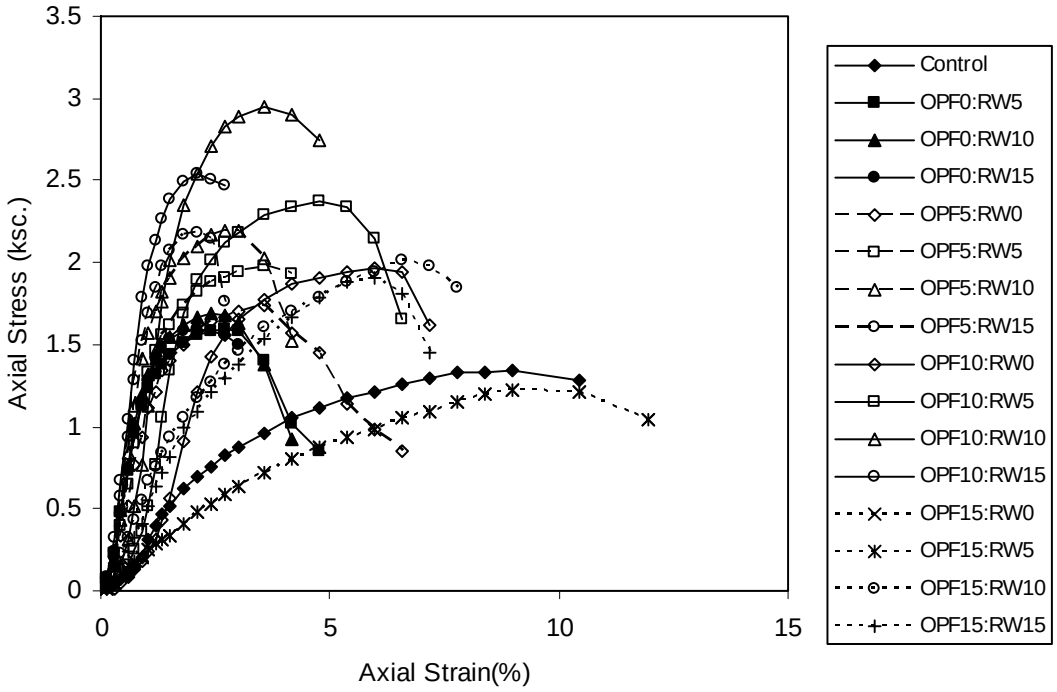
รูปที่ ก - 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 56 วัน



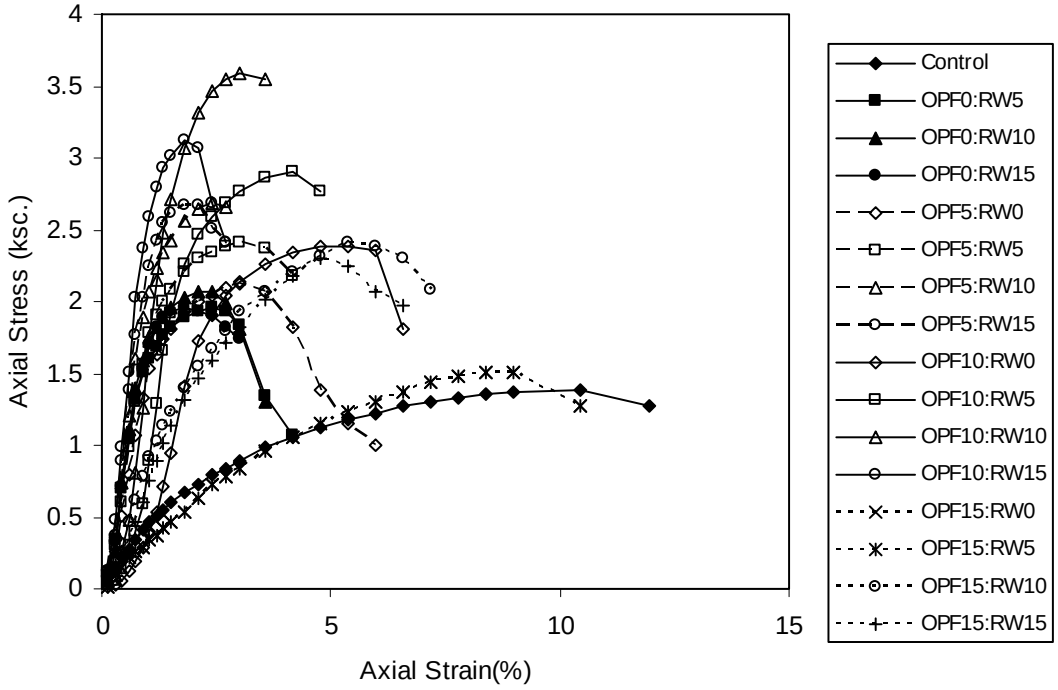
รูปที่ ก - 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 56 วัน



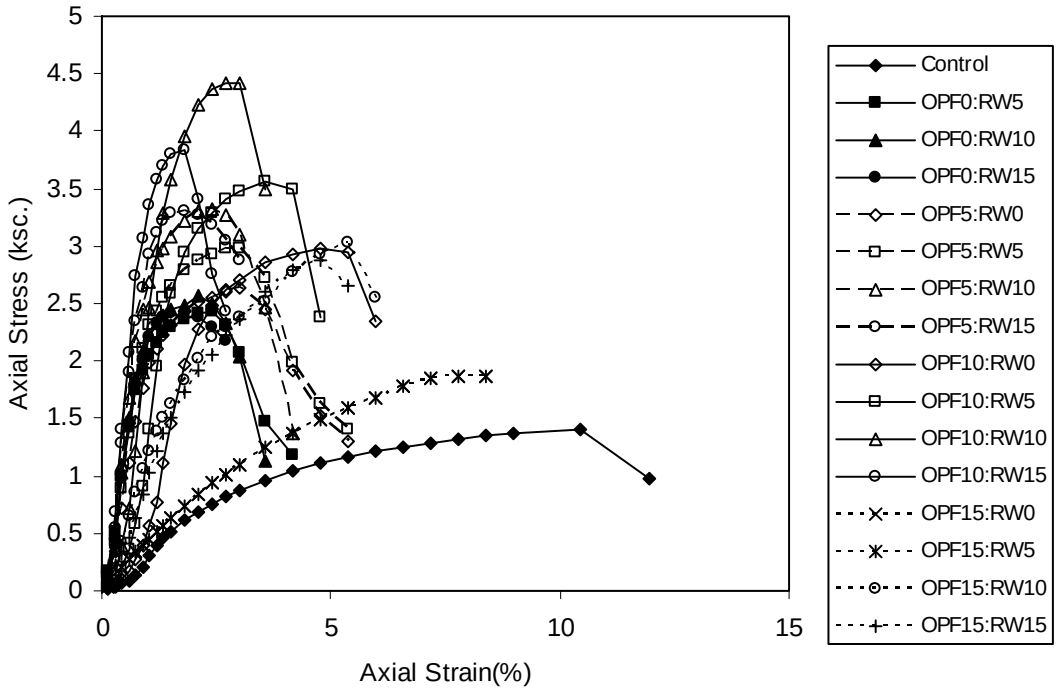
รูปที่ ก - 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 0 วัน ของทุกอัตราส่วน



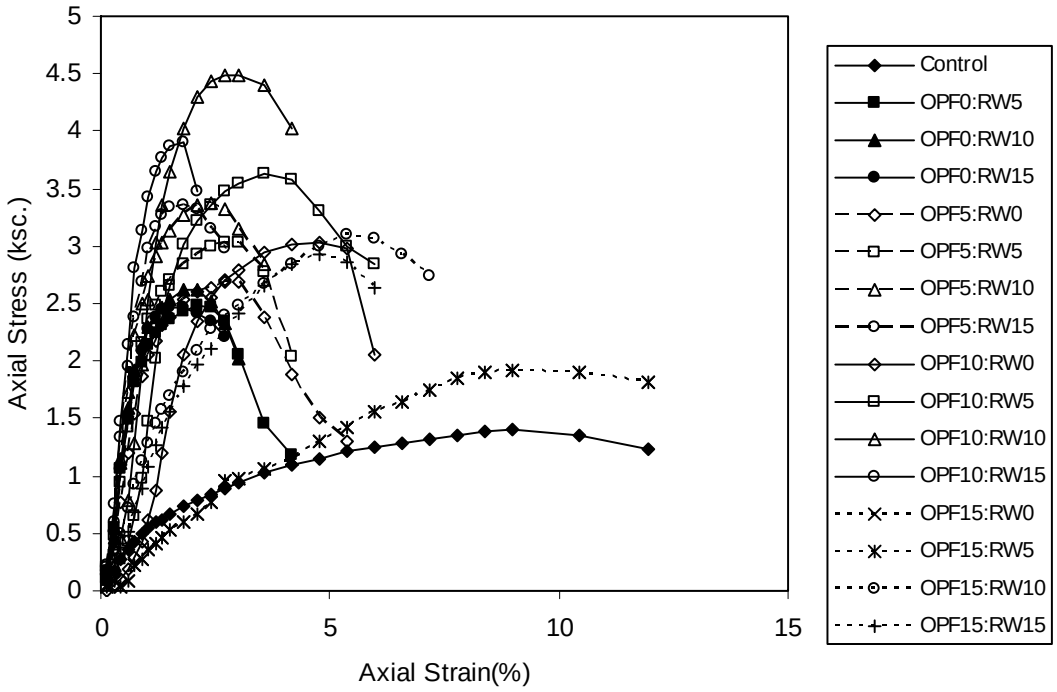
รูปที่ ก - 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 7 วัน ของทุกอัตราส่วน



รูปที่ ก - 23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 14 วัน ของทุกอัตราส่วน



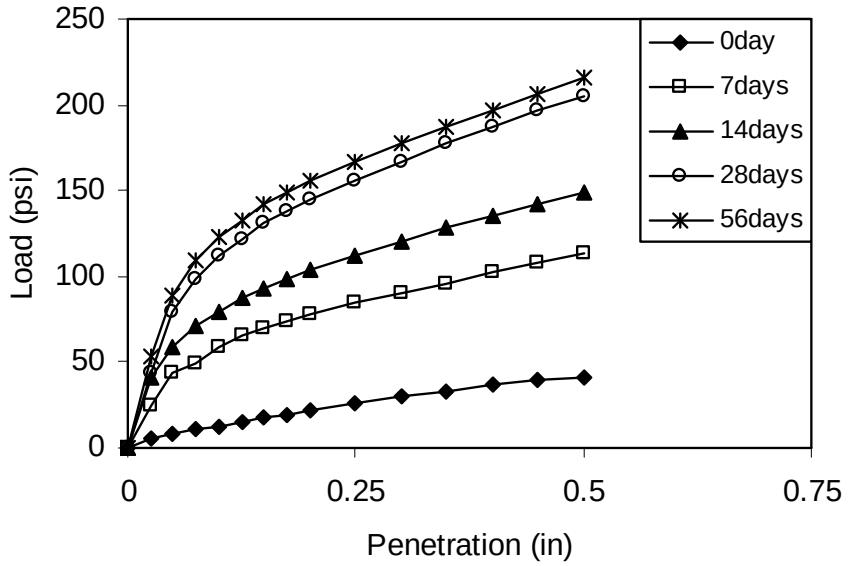
รูปที่ ก - 24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของทุกอัตราส่วน



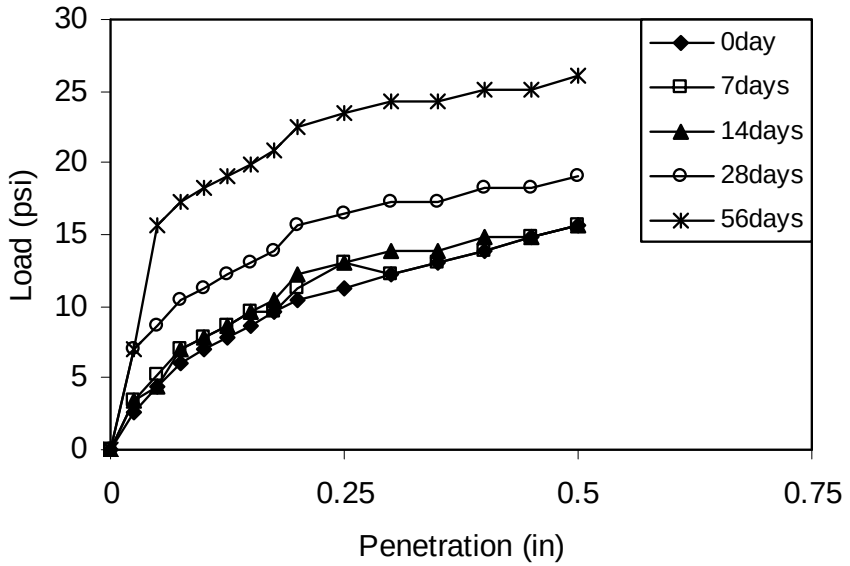
รูปที่ ก - 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ที่อายุการบ่ม 56 วัน ของทุกอัตราส่วน

ภาคผนวก ข.

ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Penetration ของการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)



รูปที่ ข - 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Penetration ที่อายุการบ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา



รูปที่ ข - 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Penetration ที่อายุการบ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงคุณภาพ

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ก.

การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 28 - 29 มกราคม 2551

การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
28-29 มกราคม 2551

คุณประโยชน์ของเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราสำหรับปรับปรุงดินเหนียวปากพนัง

Utilization of Oil Palm Fiber Ash and Rubber Wood Ash for Improvement of Pakphanang Clay

ดิษฐพร แก้วมุนีโชค[1] ดนุพล ตันนโยภาส[2] พิพัฒน์ ทองฉิม[3]
[1]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ dk_geoeng@hotmail.com
[2]รองศาสตราจารย์ หน่วยวิจัยธรณีเทคนิค ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Danupon.t@psu.ac.th
[3]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ pipat_thongchim@yahoo.com

บทคัดย่อ

ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา โดยการผสมแต่ละชนิดในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 % ของน้ำหนักดินแห้ง และทดสอบค่า Atterberg Limits เตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีการบดอัดตัวอย่างแบบมาตรฐานจากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) และบ่มที่อายุ 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) รวมถึงตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) พบว่า ดินที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % มีค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 4.23 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง อันเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ช่องว่างของโครงสร้างเนื้อดินลดลง ค่า CBR เท่ากับร้อยละ 9.5 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำพบว่าสามารถเพิ่มค่าหน่วยแรงในอดีต 2.90 ksc ซึ่งช่วยลดอัตราการทรุดตัวของดิน

คำสำคัญ ดินปากพนัง, เถ้าใยปาล์มน้ำมัน, เถ้าไม้ยางพารา, การปรับปรุงดิน

Abstract

Stabilization characteristics of Pakphanang clay blended with oil palm fiber ash (OPF) and rubber wood ash (RW) and combinations were investigated. Chemical and physical properties of the untreated clay OPF and RW were determined. The clay was mixed with OPF and RW at 5, 10 and 15% by dry weight of soil at 0, 7, 14, 28 and 56 days of curing. The influence of stabilizers and their combinations is evaluated through Atterberg limits, standard Proctor compaction, unconfined compressive strength (UCS), modulus of elasticity, California bearing ratio (CBR), consolidation test, x-ray diffraction and scanning electron microscope analysis. It was found that the addition of 10% OPF and 10% RW obtained the maximum unconfined compression strength of 4.23 ksc at 28 days but decrease maximum dry density. While the optimum treated clay specimen increase CBR value about 9.5% and pre-consolidation load up to 2.9 ksc.

Keywords Pakphanang Clay, Oil Palm Fiber Ash, Rubber Wood Ash, Improvement

1. บทนำ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปนั้นดินมักก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคแก่วิศวกรมากกว่าสิ่งอื่น เพราะดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่และลักษณะการกำเนิด บางครั้งอาจจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโดยการเปลี่ยนสถานที่ก่อสร้าง แต่หากไม่สามารถใช้วิธีดังกล่าวได้และจำเป็นจะต้องแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินแล้ววิศวกรอาจใช้เทคนิคการปรับปรุงสมบัติของดินตามความเหมาะสม

สภาพธรณีวิทยาพื้นที่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช พบว่าประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวชายทะเล (Mangrove Deposits, Qm) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยน้ำทะเล พบบริเวณที่เป็นป่าชายเลน และป่าพรุที่มีน้ำท่วมถึง หรือ

เรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang Clay)

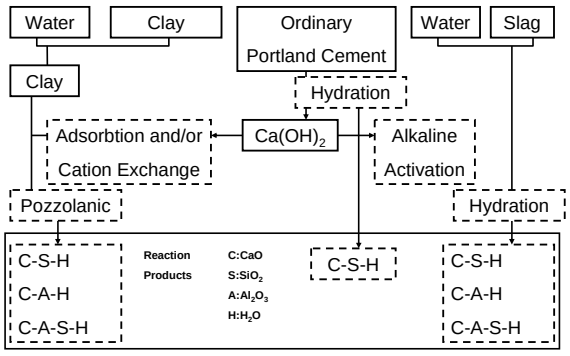
จากสภาพดินที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของดินที่เหมาะสมกับดินเหนียวปากพนัง ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากสารประสานสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่มากในดินได้ดี ซึ่งเมื่อผสมสารเคมีในปริมาณและชนิดที่เหมาะกับจุดมุ่งหมายของการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ดินเหนียวจะมีสมบัติทางวิศวกรรมดีขึ้น เช่น มีกำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น อัตราการทรุดตัวที่ต่ำลง สารประสานที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียว ได้แก่ ซีเมนต์ ปูนขาว ของเสียจากอุตสาหกรรม เช่น เถ้า กากแร่ เป็นต้น

เชาวนีย์ [1] กล่าวว่า ในการปรับปรุงดินด้วยการผสมเถ้าแกลบเพียงอย่างเดียว จะมีผลต่อกำลังของดินเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีในรูปของ Silica จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับดินได้สมบูรณ์

ดนุพลและจิระชาติ [2] ได้ศึกษาเถ้าไม้ยางพาราผสมในปูนซีเมนต์ พบว่าเถ้าดังกล่าวมีปริมาณ CaO สูงถึง 58.17 % ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีกำลังของปูนสูงสุด แต่หากนำเถ้าลอยและไม้ยางพาราผสมด้วยกันแทนที่ในปูนซีเมนต์ พบว่าให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น ดนุพลและคณะ [3] กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดเป็นผลจากปฏิกิริยา Pozzolanic ของ Silica ในเถ้าลอยกับ CaO ที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ที่เกิดหลังจากปฏิกิริยา Hydration

วิจิตอัจฉราและคณะ [4] กล่าวว่า เถ้าลอยสามารถเกิดปฏิกิริยา Pozzolanic Reaction และปฏิกิริยา Hydration ซึ่งคล้ายกับการผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

Saito et al. [5] ได้จำแนกปฏิกิริยาระหว่าง ดิน ปูนซีเมนต์ และสาร Pozzolana ดังรูปที่ 1.



รูปที่ 1. Chemical Reaction between Soil and Hardening Agents

จากที่กล่าวมาข้างต้นเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารามีสมบัติที่สามารถจะพัฒนาเพื่อใช้ในงานปรับปรุงสมบัติของดิน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทางสมบัติพื้นฐาน การทดสอบกำลัง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและทางเคมี ซึ่งหากได้ผลที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้งานได้จะเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศและยังเป็นการจัดการปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ดินเหนียวปากพนัง (เรียกว่า Control) จากการเก็บตัวอย่างบริเวณโครงการประตูระบายน้ำปากพนัง ที่ความลึก 1 – 2 เมตร จากผิวดินเดิม โดยเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

เถ้าใยปาล์มน้ำมัน จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งใน จ.กระบี่ โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า OPF)

เถ้าไม้ยางพารา ได้โรงงานที่ใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในการอบไม้แห่งหนึ่งใน จ.นครศรีธรรมราช โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า RW)

2.2 อัตราส่วนการผสม

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้แยกออกเป็นหลายประเภท โดยผสมต่อน้ำหนักดินแห้ง ดังนั้นจึงกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อความชัดเจนดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา

OPF (% by wt.)	RW (% by wt.)	สัญลักษณ์
0	0	Control
	5	OPF0:RW5
	10	OPF0:RW10
	15	OPF0:RW15
5	0	OPF5:RW0
	5	OPF5:RW5
	10	OPF5:RW10
	15	OPF5:RW15
10	0	OPF10:RW0
	5	OPF10:RW5
	10	OPF10:RW10
	15	OPF10:RW15
15	0	OPF15:RW0
	5	OPF15:RW5
	10	OPF15:RW10
	15	OPF15:RW15

2.3 วิธีการวิจัย

การทดสอบสมบัติพื้นฐานในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนัง OPF และ RW ประกอบด้วยการตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) และตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดปฏิกิริยา

การทดสอบในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดินด้วย OPF และ RW ประกอบด้วยการหาสมบัติพื้นฐานของทุกอัตราส่วนการผสม

การทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ตามมาตรฐาน ASTM D 698 เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 ทดสอบทุกอัตราส่วนการผสม โดยเตรียมตัวอย่างที่ค่า OMC ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกและเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้น บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

การทดสอบ XRD ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของทุกอัตราส่วนการผสมที่ประกอบด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราสำหรับทดสอบ XRD ร่วมกับการตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แบบ Unsoaked CBR Test ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่อายุการบ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ Consolidation Test ตามมาตรฐาน ASTM D 2435 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่ 28 วัน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 สมบัติเบื้องต้นในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติ

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีค่า UCS ค่อนข้างต่ำและค่า NWC ค่อนข้างสูง ดินเหนียวปากพนังเกิดจากตะกอนดินใกล้ทะเล จึงพบว่าจะมีปริมาณ Chloride, Organic Matter และ Sulphate ปนอยู่สูง ซึ่งจะมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อกำลังของดินที่ปรับปรุงสมบัติลดลง การจำแนกชนิดของดินตามระบบ Unified Soil Classification จัดอยู่ในกลุ่ม CH โดยมีสมบัติทางวิศวกรรมดังตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปากพนัง

สมบัติ	ค่า
Unit Weight, t/m^3	1.50
Natural Water Content (NWC), %	76.32
Liquid Limit (LL), %	55.18
Plastic Limit (PL), %	27.36
Plastic Index (PI), %	27.82
Gs	2.69
Unconfined Compressive Strength, t/m^2	1.64
pH	7.37
Chloride, g/kg	7.7
Organic Matter, %	5.81
Sulphate, g/kg	247

3.2 สารประกอบทางเคมี

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีสารประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกัน 70.75 % เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความเหมาะสมกับการปรับปรุงสมบัติทางเคมี

OPF มีสารประกอบของ SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกัน 62.84 % มีปริมาณ SO_3 เพียง 1.86 % และไม่พบ Na_2O ค่า LOI มีค่าเพียง 3.73 % เมื่อพิจารณาสารประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าสามารถจัดเป็นสาร Pozzolana Class C ได้

สารประกอบของ RW ไม่สามารถจัดให้เป็นสาร Pozzolana ได้ แต่เนื่องจากมีปริมาณของ CaO มากถึง 43.14 % จึงมีความสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydration แต่ค่า LOI สูงถึง 23.7 % เนื่องจากมีการเผาในระบบเปิดจึงยังคงมี Organic Matter อยู่อีกมากดังตารางที่ 3.

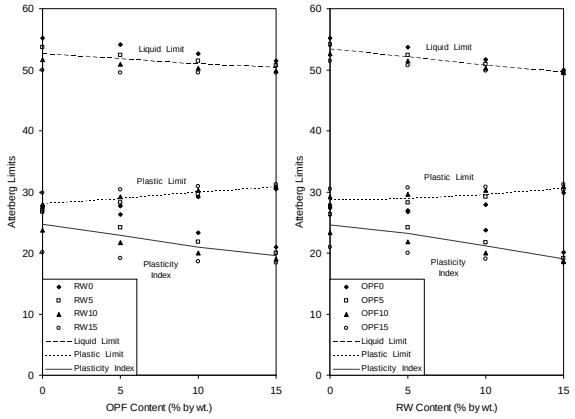
ตารางที่ 3. สารประกอบทางเคมี

สารประกอบ	Control (%)	OPF (%)	RW (%)
MgO	1.52	3.22	3.82
Al_2O_3	19.15	1.54	0.33
SiO_2	51.60	58.14	3.29
P_2O_5	-	3.32	2.53
SO_3	0.85	1.86	1.02
Cl	1.07	0.93	0.07
K_2O	3.21	11.49	20.12
CaO	0.86	12.04	43.14
TiO_2	1.61	0.26	-
MnO_2	-	0.23	1.35
Fe_2O_3	10.71	3.16	0.51
SrO	-	-	0.08
CuO	-	0.08	-
Na_2O	1.70	-	-
LOI	7.72	3.73	23.74

3.3 ค่า Atterberg Limits ในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดิน

พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่า LL ลดลง และเพิ่มค่า PL ซึ่งส่งผลให้ค่า PI ลดต่ำลง การลดลงของค่า PI ดังรูปที่ 2. ซึ่งสอดคล้องกับที่ Redus [6] และ Awal [7] โดย Redus ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาดินซีเมนต์ที่เป็นชั้น Base Course ของสนามบินต่าง ๆ มาทำการหาค่า Atterberg Limits

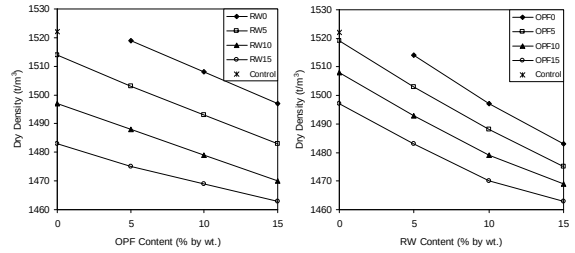
Terrel et al. [8] กล่าวว่า การผสมปูนขาวช่วยให้ค่า PI ของดินลดลง แต่จะช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการผสมเข้ากัน (Workability)



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Atterberg Limits กับสัดส่วนของ OPF และ RW

3.4 การบดอัด

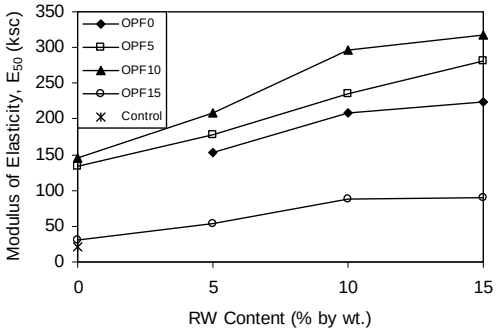
พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของ OPF และ RW กลับเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3. ซึ่งสอดคล้องกับ Felt [9] ได้ทดลองการบดอัดดินซีเมนต์



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dry Density กับสัดส่วนของ OPF และ RW

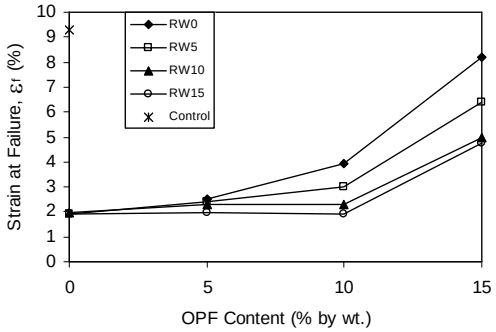
3.5 กำลังอัดแกนเดียว

จากการพิจารณาค่า Modulus of Elasticity (E_{50}) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม RW มีผลต่อการเพิ่มค่า E_{50} อย่างชัดเจนและสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมาก โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับสัดส่วนของ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า Strain at Failure (ε_f) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม OPF เป็นปัจจัยหลักมีผลต่อการเพิ่มค่า ε_f และลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นโดยจะส่งผลให้วัสดุมีความเหนียวมากขึ้น ดังรูปที่ 5.

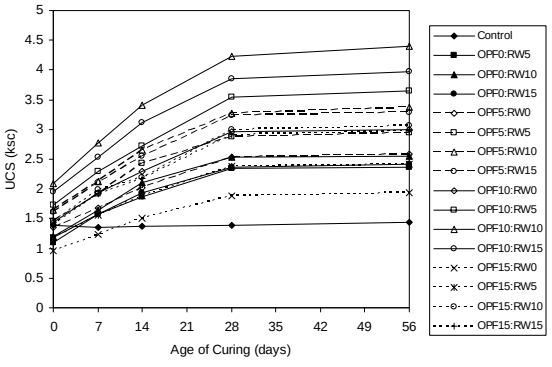


รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับสัดส่วนของ OPF ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า UCS ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า OPF10:RW10 จะให้ค่ากำลังสูงสุดและแนวโน้มการเพิ่มของค่า UCS ทุกสัดส่วนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน การผสม OPF และ RW มากเกินไปจะส่งผลให้ค่า UCS ลดลง ดังรูปที่ 6.

Mitchell [10] กล่าวว่าปฏิกิริยา Pozzolanic ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ค่า UCS เพิ่มขึ้น แต่จาก Soil Silica ที่มีอยู่จำกัดค่าหนึ่งและถ้ามีปริมาณ CaO มากกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยากับ Soil Silica จะทำให้ค่า UCS ไม่เพิ่มขึ้นและอาจทำให้กำลังลดลง

Sherwood [11] ได้ทำการทดสอบ USC ของดินซีเมนต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ Oganic Matter พบว่าทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวช้าและส่งผลให้ค่ากำลังลดต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน



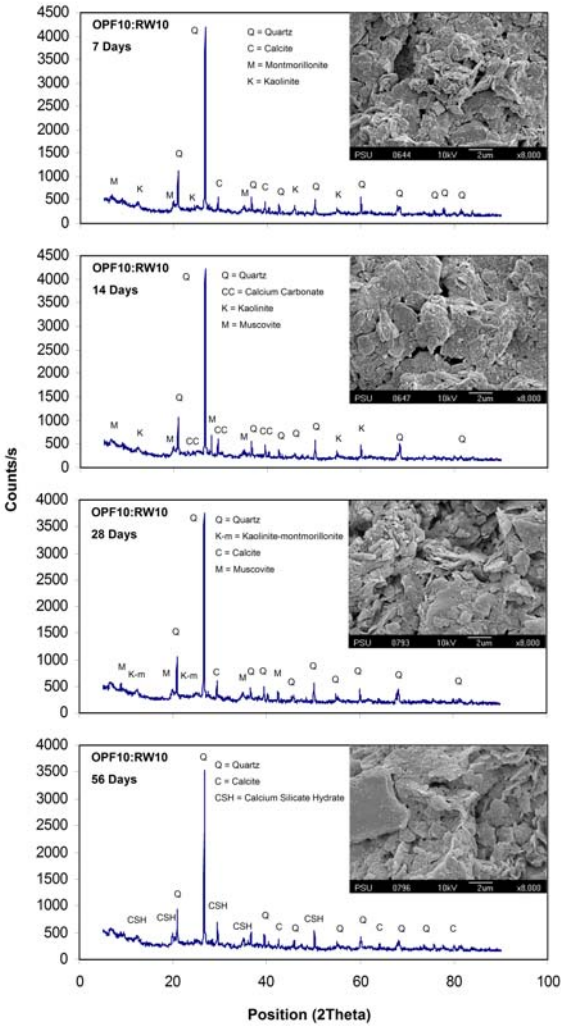
รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับอายุการบ่ม

3.6 องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาค

พบว่าการเกิด CSH ล่าช้า ซึ่งพบในอายุการบ่มที่ 56 วัน โดยทั่วไปมักพบการเกิด CSH ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ปริมาณการเกิด CSH ถึง 41.25 % การทดสอบ SEM พบว่าโครงสร้างมีความแน่นเพิ่มขึ้นอัตราส่วนช่องว่างลดลงตามอายุการบ่ม ดังรูปที่

7.

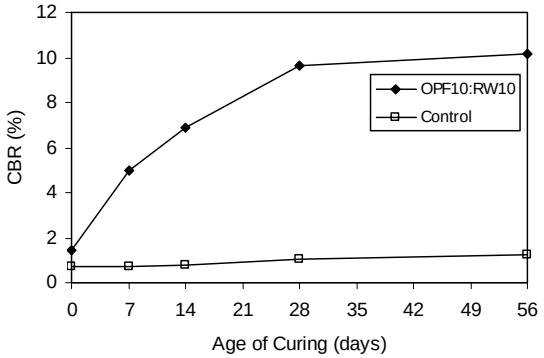
Terrel et al. [12] กล่าวถึงผลของ Organic Matter พบว่า Organic จะดูดซับ Calcium Ions จากปฏิกิริยา Hydration เป็นผลให้ pH ลดลงและยังไปยับยั้งกระบวนการแข็งตัว



รูปที่ 7. องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาคของอัตราส่วน OPF10:RW10 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

3.7 ค่า California Bearing Ratio

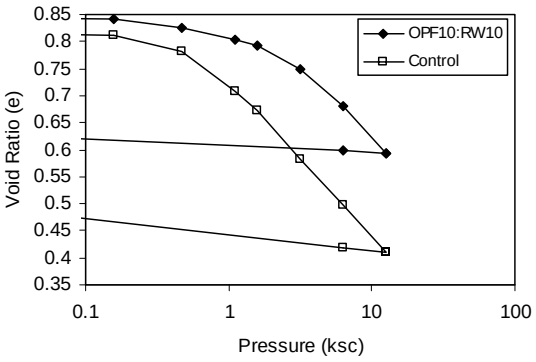
พบว่า OPF10:RW10 มีค่า CBR ถึง 9.5 % ที่ 28 วัน ซึ่งมากกว่า Control ที่มีค่า CBR เพียงแค่ 1% ดังรูปที่ 8. จากเดิมงานก่อสร้างถนนบริเวณ อ.ปากพนัง จะต้องทำการลอกดินเดิมออกแล้วนำวัสดุจากแหล่งอื่นมาใช้งาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงสมบัติของดินเดิม



รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับอายุการบ่ม

3.8 การอัดตัวคายน้ำ

พบว่าการผสม OPF และ RW สามารถช่วยลดอัตราการเกิด Consolidation ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 9. โดยค่าคงตัวของการอัดตัว (Compressibility Parameter) ดังตารางที่ 4.



รูปที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโพรงกับค่าความดันที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 4. ค่า Compressibility Parameter ที่อายุการบ่ม 28 วัน

Compressibility Parameter	OPF10:RW10	Control
Pc (ksc)	2.900	0.700
Cc	0.2956	0.2901
Cr	0.0128	0.0266

หมายเหตุ Pc = Preconsolidation Pressure
Cc = Compression Index
Cr = Recompression Index

4. สรุปผลการวิจัย

ดินเหนียวปากพนังจัดอยู่ในกลุ่ม CH ซึ่งเป็นดินที่บดอัดยากและมีค่า UCS ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากจุดที่ค่า NWC มากกว่าค่า LL เป็นช่วงที่ดินมีความแข็งแรงต่ำเนื่องดินอยู่ในสภาวะเหลว จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่ามีปริมาณ Chloride, Organic Matter และ

Sulphate ปนอยู่สูงซึ่งจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยา Pozzolanic ล่าช้า แต่จากการศึกษาการปรับปรุงดินด้วย OPF และ RW พบว่าดินมีค่า UCS สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า OPF และ RW มีศักยภาพในการปรับปรุงดินแม้ว่าเป็นดินตะกอนทะเล เนื่องจาก OPF มีสมบัติเป็นสาร Pozzolana Class C และ RW มีปริมาณ CaO สูง โดยจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้การผสมและการบดอัดได้ง่ายขึ้นโดยเฉพาะลดสภาพพลาสติก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการผสมซีเมนต์

2. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง ซึ่งจะช่วยลดภาระน้ำหนักบรรทุก

3. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันส่งผลให้ดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนการผสมเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ดินมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังของดินมากขึ้น

4. การปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดแกนเดียวให้สูงขึ้น แต่ไม่ควรเกินชนิดละ 10 % ซึ่งการผสมเกินจะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลง

5. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic Reaction ได้ซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบ CSH แม้ว่าสภาพดินปนเปื้อนน้ำทะเลก็ตาม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และงบประมาณแผ่นดินปี 2548

เอกสารอ้างอิง

[1] เชวนีย์ ชีวชูกียรติ. 2544. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยซีเมนต์และเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. หน้า 116.

[2] ดนุพล ตันนโยภาส และ จิรชาติ เจ้าสินเจริญ. 2543. ปูนผสมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22. หน้า 489 – 500.

[3] ดนุพล ตันนโยภาส, ชัดเจน ฤติวรุพห์ และ อำพล กิติโชติ. 2546. ผลกระทบจากการเติมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีต่อมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. การประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 14 – 16 พ.ค. 2546 เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี หน้าที่ 199 – 204.

[4] วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจำนง, ธนศักดิ์ ใฝ่กระโทก และ บุญเลิศ พัดฉวี. 2536. เถ้าลอยในงานทาง, รายงานฉบับที่ วพ. 131 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง. กรมทางหลวง. หน้า 11.

[5] Saito, S., Y. Suzuki and K. Shirai. 1985. Hardening of Soil Improve by Deep Mixing Method. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[6] Redus, J.F. 1958. Study of Soil – Cement Base Courses on Military Airfields. Highway Research Board, Bulletin.

[7] Awal, abdul A.S.M. 1979. Effect of Portland Cement Mixing on Soil Properties. Master of Engineering Thesis, Geotechnical Engineering Program, Asian Institute of Technology.

[8] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

[9] Felt, E.J. 1955. Factors Influencing Physical Properties of Soil – Cement Mixtures. Highway Research Board, Bulletin 108.

[10] Mitchell, L.J. 1976. Properties of Cement – Stabilized Soils. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[11] Sherwood, P.T. 1968. The Properties of Cement Stabilized Materials. Road Research, No. 205.

[12] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ข.

การประกวดบทความ มุมมองใหม่กับการพัฒนางานทางสู่สากล
โดยสมาคมทางหลวงแห่งประเทศไทย 1 เมษายน 2551

รางวัล บทความรองชนะเลิศลำดับที่ 1

คุณลักษณะพฤติภาพของดินเหนียวปากพนังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราบดอัด

PERFORMANCE CHARACTERISTIES OF COMPACTED OIL PALM FIBER ASH AND RUBBER WOOD ASH – STABILISED PAKPHANANG CLAY

ดิษฐพร แก้วมุนีโชค (Dittaporn Kaewmuneechoke)[1]

ดนุพล ตันนโยภาส (Danupon Tonnayopas)[2]

พิพัฒน์ ทองฉิม (Pipat Tongchim)[3]

[1] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ dk_geoeng@hotmail.com

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Danupon.t@psu.ac.th

[3]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ pipat_thongchim@yahoo.com

บทคัดย่อ : ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา โดยการผสมแต่ละชนิดในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 % ของน้ำหนักดินแห้ง และทำการทดสอบค่า Atterberg Limits เตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีการบดอัดตัวอย่างแบบมาตรฐาน จากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) และบ่มที่อายุ 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) รวมถึงตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) พบว่า ดินที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % มีค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 4.23 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง อันเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน โครงสร้างเนื้อดินมีช่องว่างลดลง ค่า CBR เท่ากับร้อยละ 9.5 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำพบว่าสามารถเพิ่มค่าหน่วยแรงในอดีต 2.90 ksc ซึ่งช่วยลดอัตราการทรุดตัวของดิน

ABSTRACT : Stabilization characteristics of Pakphanang clay blended with oil palm fiber ash (OPF) and rubber wood ash (RW) and combinations were investigated. Chemical and physical properties of the untreated clay OPF and RW were determined. The clay was mixed with OPF and RW at 5, 10 and 15% by dry weight of soil at 0, 7, 14, 28 and 56 days of curing. The influence of stabilizers and their combinations is evaluated through Atterberg limits, standard Proctor compaction, unconfined compressive strength (UCS), modulus of elasticity, California bearing ratio (CBR), consolidation test, x-ray diffraction and scanning electron microscope analysis. It was found that the addition of 10% OPF and 10% RW obtained the maximum unconfined compression strength of 4.23 ksc at 28 days but decrease maximum dry density. While the optimum treated clay specimen increase CBR value about 9.5% and pre-consolidation load up to 2.9 ksc.

KEYWORDS : Pakphanang Clay, Compact, Oil Palm Fiber Ash, Rubber Wood Ash

1. บทนำ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปนั้นดินมักก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคแก่วิศวกรมากกว่าสิ่งอื่น เพราะดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่และลักษณะการกำเนิด บางครั้งอาจจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโดยการเปลี่ยนสถานที่ก่อสร้าง แต่หากไม่สามารถใช้วิธีดังกล่าวได้และจำเป็นจะต้องแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินแล้ววิศวกรอาจใช้เทคนิคการปรับปรุงสมบัติของดินตามความเหมาะสม

สภาพธรณีวิทยาพื้นที่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช พบว่าประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวชายทะเล (Mangrove Deposits, Qm) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยน้ำทะเลพบบริเวณที่เป็นป่าชายเลน และป่าพรุที่มีน้ำท่วมถึง หรือเรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang Clay)

จากสภาพดินที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของดินที่เหมาะสมกับดินเหนียวปากพนัง ได้แก่ การปรังปรุงดินด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากสารประสานสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่มากในดินเหนียว ซึ่งสารประสานที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียว ได้แก่ ซีเมนต์ ปูนขาว ของเสียจากอุตสาหกรรม เช่น เถ้า กากแร่ เป็นต้น

ดนุพลและจิระชาติ [1] ได้ศึกษาเถ้าไม้ยางพาราผสมในปูนซีเมนต์ พบว่าเถ้าดังกล่าวมีปริมาณ CaO สูงถึง 58.17 % ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีกำลังของปูนสูงสุด แต่หากนำเถ้าลอยและไม้ยางพาราผสมด้วยกันแทนที่ในปูนซีเมนต์ พบว่าให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น ดนุพลและคณะ [2] กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดเป็นผลจากปฏิกิริยา Pozzolanic ของ Silica ในเถ้าลอยกับ CaO ที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ที่เกิดหลังจากปฏิกิริยา Hydration

จากที่กล่าวมาข้างต้นเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา มีสมบัติที่สามารถจะพัฒนาเพื่อใช้ในงานปรับปรุงสมบัติของดิน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทางสมบัติพื้นฐาน การทดสอบกำลัง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและทางเคมี ซึ่งหากได้ผลที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้งานได้จะเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศและยังเป็นการจัดการปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ดินเหนียวปากพนัง (เรียกว่า Control) จากการเก็บตัวอย่างบริเวณโครงการประตูระบายน้ำปากพนัง ที่ความลึก 1 – 2 เมตร จากผิวดินเดิม โดยเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

เถ้าใยปาล์มน้ำมัน จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งใน จ.กระบี่ โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า OPF)

เถ้าไม้ยางพารา จากโรงงานที่ใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในการอบไม้แห่งหนึ่งใน จ.นครศรีธรรมราช โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า RW)

2.2 อัตราส่วนการผสม

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้แยกออกเป็นหลายประเภท โดยผสมต่อน้ำหนักดินแห้ง ดังนั้นจึงกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อความชัดเจน ดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา

OPF (% by wt.)	RW (% by wt.)	สัญลักษณ์
0	0	Control
	5	OPF0:RW5
	10	OPF0:RW10
	15	OPF0:RW15
5	0	OPF5:RW0
	5	OPF5:RW5
	10	OPF5:RW10
	15	OPF5:RW15
10	0	OPF10:RW0
	5	OPF10:RW5
	10	OPF10:RW10
	15	OPF10:RW15
15	0	OPF15:RW0
	5	OPF15:RW5
	10	OPF15:RW10
	15	OPF15:RW15

2.3 วิธีการวิจัย

การทดสอบสมบัติพื้นฐานในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนัง, OPF และ RW ประกอบด้วยการตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) และตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดปฏิกิริยา

การทดสอบในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดินด้วย OPF และ RW ประกอบด้วยการหาสมบัติพื้นฐานของทุกอัตราส่วนการผสม

การทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 698 เพื่อหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 ทดสอบทุกอัตราส่วนการผสม โดยเตรียมตัวอย่างที่ค่า OMC ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกและเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้น บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

การทดสอบ XRD ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของทุกอัตราส่วนการผสมที่ประกอบด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สำหรับทดสอบ XRD ร่วมกับการตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แบบ Unsoaked CBR Test ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่อายุการบ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ Consolidation Test ตามมาตรฐาน ASTM D 2435 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่ 28 วัน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 สมบัติเบื้องต้นในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติ

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีสีเทาถึงเนื้อสีดำ ค่า UCS ค่อนข้างต่ำและค่า NWC สูงดังตารางที่ 2. ซึ่งเป็นช่วงที่ดินมีความแข็งแรงต่ำเนื่องดินอยู่ในสภาวะเหลว

ดินเหนียวปากพนังเกิดจากตะกอนดินใกล้ทะเลจึงพบว่าจะมีปริมาณ Chloride, Organic Matter และ Sulphate ปนอยู่สูง ซึ่งจะมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อกำลังของดินที่ปรับปรุงสมบัติลดลง

ตารางที่ 2. สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปากพนัง

สมบัติของดินเหนียวปากพนัง	ค่าแสดงหรือปริมาณ
1) สมบัติทางกายภาพ	
Natural Water Content (NWC)	76.32 %
Liquid Limit (LL)	55.18 %
Plastic Limit (PL)	27.36 %
Plastic Index (PI)	27.82 %
Specific Gravity (Gs)	2.69
Grain Size Distribution (ตามระบบ MIT)	
ทราย (Sand) ขนาด 0.06 - 2 mm.	12.97 %
ดินตะกอน (Silt) ขนาด 0.002 - 0.06 mm.	83.63 %
ดินเหนียว (Clay) ขนาด < 0.002 mm.	3.40 %
Unified Soil Classification	CH
2) สมบัติทางวิศวกรรม	
Total Unit Weight (γt)	1.50 t/m3
Unconfined Compressive Strength (qu)	0.16 ksc
Sensitivity	1.68
Modulus of Elasticity (E50)	2.22 ksc
Strain at Failure (εf)	11.86 %
3) สมบัติทางเคมี	
pH	7.37
Chloride	7.7 g/kg
Organic Matter	5.81 %
Sulphate,	247 g/kg

3.2 สารประกอบทางเคมี

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีสารประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกัน 70.75 % เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความเหมาะสมกับการปรับปรุงสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 3.

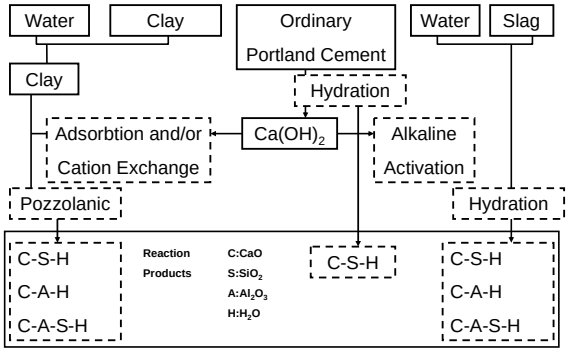
OPF มีสารประกอบของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกัน 62.84 % มีปริมาณ SO_3 เพียง 1.86 % และไม่พบ Na_2O ค่า LOI มีค่าเพียง 3.73 % เมื่อพิจารณาสารประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าสามารถจัดเป็นสาร Pozzolana Class C ได้ดังตารางที่ 4.

เชาวนีย์ [3] กล่าวว่า ในการปรับปรุงดินด้วยการผสมสาร Pozzolana ที่มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเพียงอย่างเดียว จะมีผลต่อกำลังของดินเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีในรูปของ Silica จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับดินได้อย่างสมบูรณ์

สารประกอบของ RW ไม่สามารถจัดให้เป็นสาร Pozzolana ได้ดังตารางที่ 4. แต่เนื่องจากมีปริมาณของ CaO มากถึง 43.14 % จึงมีความสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydration เช่นเดียวกับการผสมปูนซีเมนต์ แต่ค่า LOI สูงถึง 23.7 % เนื่องจากมีการเผาในระบบเปิดจึงยังคงมี Organic Matter อยู่อีกมากดังตารางที่ 3.

การผสม OPF และ RW ช่วยให้เกิดปฏิกิริยา Pozzolanic และปฏิกิริยา Hydration อย่างสมบูรณ์ คล้ายกับการผสมปูนซีเมนต์ร่วมกับสารPozzolana ได้

Saito et al. [4] ได้จำแนกปฏิกิริยาระหว่าง ดิน ปูนซีเมนต์และสาร Pozzolana ดังภาพที่ 1.



ภาพที่ 1. ปฏิกิริยาระหว่าง ดิน, ปูนซีเมนต์และสาร Pozzolana

ตารางที่ 3. สารประกอบทางเคมี

สารประกอบ	Control (%)	OPF (%)	RW (%)
MgO	1.52	3.22	3.82
Al_2O_3	19.15	1.54	0.33
SiO_2	51.60	58.14	3.29
P_2O_5	-	3.32	2.53
SO_3	0.85	1.86	1.02
Cl	1.07	0.93	0.07
K_2O	3.21	11.49	20.12
CaO	0.86	12.04	43.14
TiO_2	1.61	0.26	-
MnO_2	-	0.23	1.35
Fe_2O_3	10.71	3.16	0.51
SrO	-	-	0.08
CuO	-	0.08	-
Na_2O	1.70	-	-
LOI	7.72	3.73	23.74

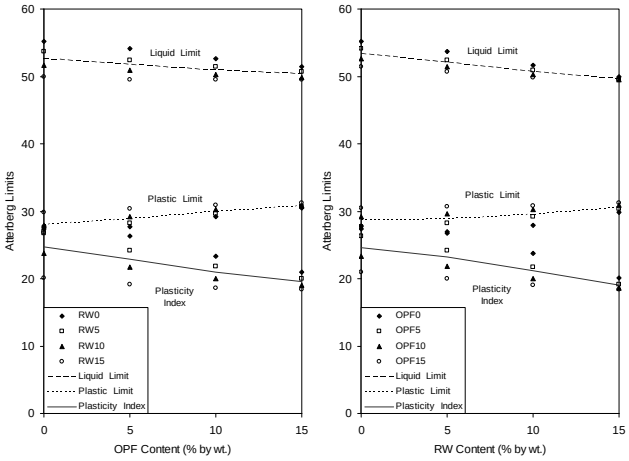
ตารางที่ 4. การแบ่งชั้นคุณภาพของสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618

สารประกอบ	Class C	Class F	OPF	RW
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ไม่น้อยกว่า, %	50	70	62.84	4.13
SO_3 ไม่เกิน, %	5.0	5.0	1.86	1.02
Na_2O ไม่เกิน, %	1.5	1.5	-	-
LOI ไม่เกิน, %	6.0	6.0	3.73	23.74

3.3 ค่า Atterberg Limits ในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดิน

พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่า LL ลดลง และเพิ่มค่า PL ซึ่งส่งผลให้ค่า PI ลดต่ำลง การลดลงของค่า PI ดังภาพที่ 2. ซึ่งสอดคล้องกับที่ Redus [5] และ Awal [6] โดย Redus ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาดินซีเมนต์ที่เป็นชั้น Base Course ของสนามบินต่าง ๆ มาทำการหาค่า Atterberg Limits

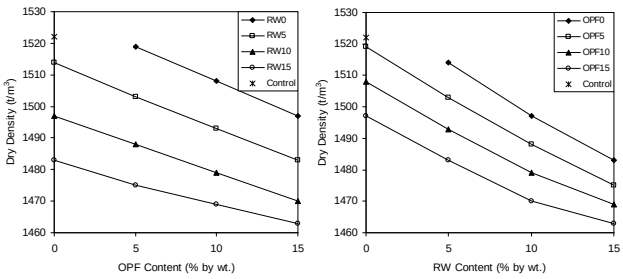
Terrel et al. [7] กล่าวว่า การผสมปูนขาวช่วยให้ค่า PI ของดินลดลง แต่จะช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการผสมเข้ากัน (Workability)



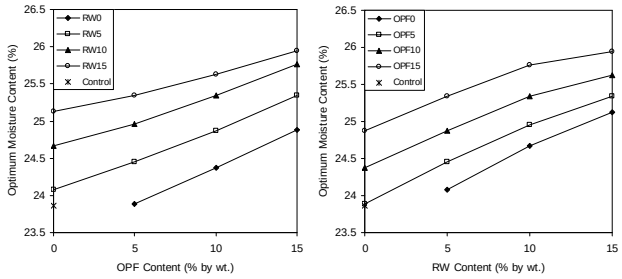
ภาพที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Atterberg Limits กับสัดส่วนของ OPF และ RW

3.4 การบดอัด

พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของ OPF และ RW กลับเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3. เมื่อพิจาณาค่า OMC กลับพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ OPF และ RW ดังภาพที่ 4. ซึ่งจะช่วยในการลดปริมาณ NWC ของดินเดิมโดยผลการทดลองสอดคล้องกับ Felt [8] ได้ทดลองการบดอัดดินซีเมนต์



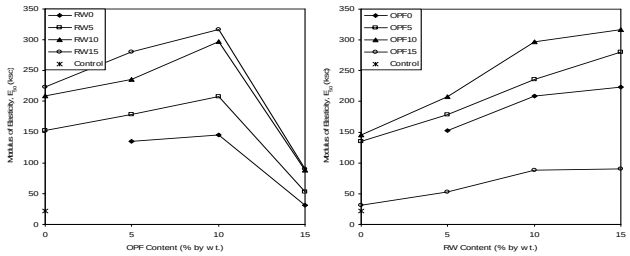
ภาพที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dry Density กับสัดส่วนของ OPF และ RW



ภาพที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optimum Moisture Content กับสัดส่วนของ OPF และ RW

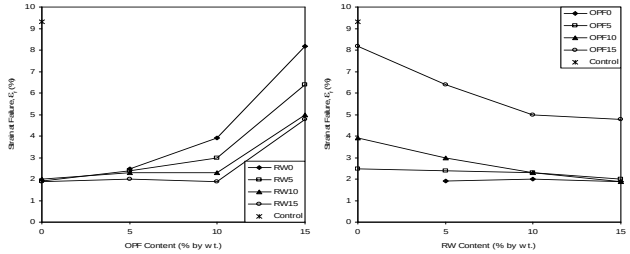
3.5 กำลังอัดแกนเดียว

จากการพิจารณาค่า Modulus of Elasticity (E_{50}) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม RW มีผลต่อการเพิ่มค่า E_{50} อย่างชัดเจนและสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมาก โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5.



ภาพที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับสัดส่วนของ OPF และ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า Strain at Failure (ε_f) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม OPF เป็นปัจจัยหลักมีผลต่อการเพิ่มค่า ε_f และลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความเหนียวมากขึ้น ดังภาพที่ 6.

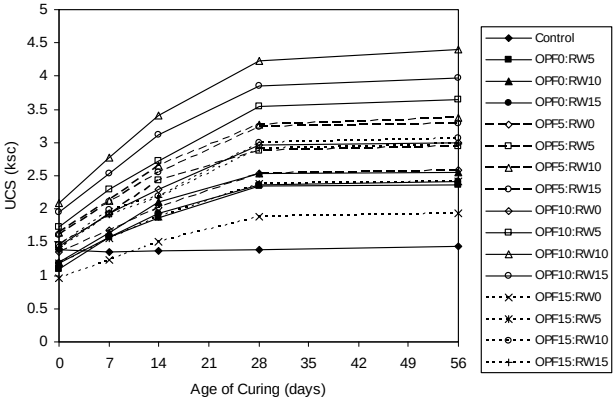


ภาพที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับสัดส่วนของ OPF และ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า UCS ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า OPF10:RW10 จะให้ค่ากำลังสูงสุดถึง 4.23 ksc และแนวโน้มการเพิ่มของค่า UCS ทุกสัดส่วนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน การผสม OPF และ RW มากเกินไปจะส่งผลให้ค่า UCS ลดลง ดังภาพที่ 7.

Mitchell [9] กล่าวว่าปฏิกิริยา Pozzolanic ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ค่า UCS เพิ่มขึ้น แต่จาก SiO_2 ที่มีอยู่จำกัดค่าหนึ่งและถ้ามีปริมาณ CaO มากกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยา จะทำให้ค่า UCS ไม่เพิ่มขึ้นและอาจทำให้กำลังลดลง

Sherwood [10] ได้ทำการทดสอบ USC ของดินซีเมนต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ Oganic Matter พบว่าทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวช้าและส่งผลให้ค่ากำลังลดต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน

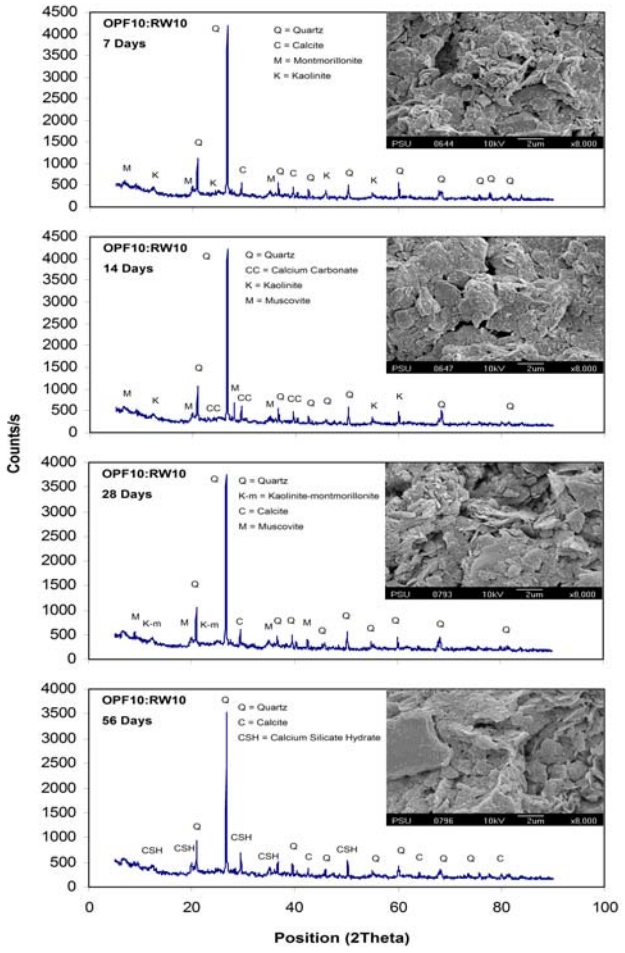


ภาพที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับอายุการบ่ม

3.6 องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาค

พบว่าการเกิด CSH ล่าช้า ซึ่งพบในอายุการบ่มที่ 56 วัน โดยทั่วไปมักพบการเกิด CSH ที่อายุการบ่ม 28 วัน ปริมาณการเกิด CSH เท่ากับ 41.25 % การทดสอบ SEM พบว่าโครงสร้างมีอัตราส่วนช่องว่างลดลงตามอายุการบ่ม ดังภาพที่ 8.

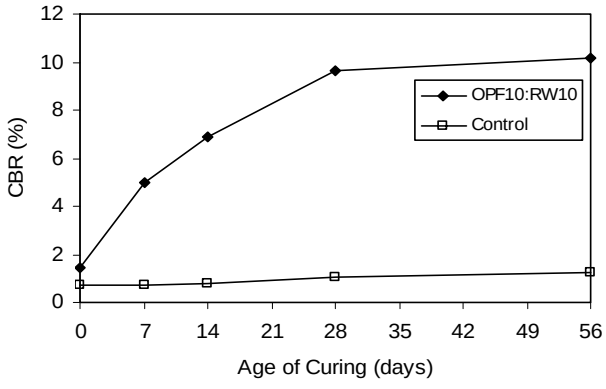
Terrel et al. [11] กล่าวถึงผลของ Organic Matter พบว่า Organic จะดูดซับ Calcium Ions จากปฏิกิริยา Hydration เป็นผลให้ pH ลดลง และยังไปยับยั้งกระบวนการแข็งตัว



ภาพที่ 8. องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาคของอัตราส่วน OPF10:RW10 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

3.7 ค่า California Bearing Ratio

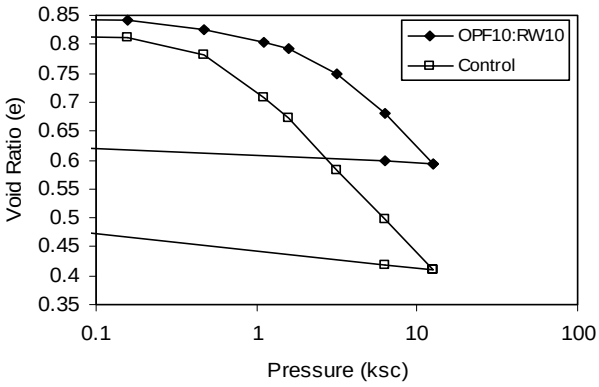
พบว่า OPF10:RW10 มีค่า CBR ถึง 9.5 % ที่ 28 วัน ซึ่งมากกว่า Control ที่มีค่า CBR เพียงแค่ 1% ดังภาพที่ 9. จากเดิมงานก่อสร้างถนนบริเวณ อ.ปากพนัง จะต้องทำการลอกดินเดิมออกแล้วนำวัสดุจากแหล่งอื่นมาใช้งาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงสมบัติของดินเดิม



ภาพที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับอายุการบ่ม

3.8 การอัดตัวคายน้ำ

พบว่าการผสม OPF และ RW สามารถช่วยลดอัตราการเกิด Consolidation ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 10. โดยค่าคงตัวของการอัดตัว (Compressibility Parameter) ดังตารางที่ 5.



ภาพที่ 10. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโพรงกับค่าความดันที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 5. ค่า Compressibility Parameter ที่อายุการบ่ม 28 วัน

Compressibility Parameter	OPF10:RW10	Control
Pc (ksc)	2.900	0.700
Cc	0.2956	0.2901
Cr	0.0128	0.0266

Pc = Preconsolidation Pressure

Cc = Compression Index

Cr = Recompression Index

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้การผสมและการบดอัดได้ง่ายขึ้นโดยเฉพาะลดสภาพพลาสติก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการผสมซีเมนต์

2. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง ซึ่งจะช่วยลดภาระน้ำหนักบรรทุก

3. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันส่งผลให้ดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนการผสมเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ดินมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังของดินมากขึ้น

4. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดแกนเดียวและค่า CBR ให้สูงขึ้น แต่ไม่ควรเกินชนิดละ 10 % ซึ่งการผสมเกินจะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลง

5. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic Reaction ได้แม้ว่าสภาพดินปนเปื้อนน้ำทะเลก็ตาม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และงบประมาณแผ่นดินปี 2548

บรรณานุกรม

[1] ดนุพล ตันนโยภาส และ จิรชาติ เจ้าสินเจริญ. 2543. ปูนผสมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22. หน้า 489 – 500.

[2] ดนุพล ตันนโยภาส, ชัดเจน ฤติวรุพห์ และ อำพล กิติโชติ. 2546. ผลกระทบจากการเติมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีต่อมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. การประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 14 – 16 พ.ค. 2546 เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี หน้าที่ 199 – 204.

[3] เชวนีย์ ชีวชูกียรติ. 2544. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยซีเมนต์และเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. หน้า 116.

[4] Saito, S., Y. Suzuki and K. Shirai. 1985. Hardening of Soil Improve by Deep Mixing Method. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[5] Redus, J.F. 1958. Study of Soil – Cement Base Courses on Military Airfields. Highway Research Board, Bulletin.

[6] Awal, abdul A.S.M. 1979. Effect of Portland Cement Mixing on Soil Properties. Master of Engineering Thesis, Geotechnical Engineering Program, Asian Institute of Technology.

[7] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

[8] Felt, E.J. 1955. Factors Influencing Physical Properties of Soil – Cement Mixtures. Highway Research Board, Bulletin 108.

[9] Mitchell, L.J. 1976. Properties of Cement – Stabilized Soils. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[10] Sherwood, P.T. 1968. The Properties of Cement Stabilized Materials. Road Research, No. 205.

[11] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ค.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8 - 9 พฤษภาคม 2551

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6
8-9 พฤษภาคม 2551

การปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร

Stabilization of Pakphanang Clay with Ashes from Industrial Waste

ดิษฐพร แก้วมุนีโชค[1*] ดนุพล ตันนโยภาส[2] พิพัฒน์ ทองฉิม[3]
[1,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: dk_geoeng@hotmail.com*

Dittaporn Kaewmuneechoke[1*] Danupon Tonnayopas[2] Pipat Tongchim[3]
[1,3]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
[2]Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
E-mail: dk_geoeng@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา โดยการผสมแต่ละชนิดในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 % ของน้ำหนักดินแห้ง และทำการทดสอบค่า Atterberg Limits เตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีการบดอัดตัวอย่างแบบมาตรฐาน จากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) และบ่มที่อายุ 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) รวมถึงตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) ดินที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % มีค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 4.23 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง อันเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน โครงสร้างเนื้อดินมีช่องว่างลดลง ค่า CBR เท่ากับร้อยละ 9.5 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำพบว่าสามารถเพิ่มค่าหน่วยแรงในอดีต 2.90 ksc ซึ่งช่วยลดอัตราการทรุดตัวของดิน

คำสำคัญ ดินเหนียวปากพนัง, เถ้าใยปาล์มน้ำมัน, เถ้าไม้ยางพารา , การปรับปรุงสมบัติ

Abstract

Stabilization characteristics of Pakphanang clay blended with oil palm fiber ash (OPF) and rubber wood ash (RW) and combinations were investigated. Chemical and physical properties of the untreated clay OPF and RW were determined. The clay was mixed with OPF and RW at 5, 10 and 15% by dry weight of soil at 0, 7, 14, 28 and 56 days of curing. The influence of stabilizers and their combinations is evaluated through Atterberg limits, standard Proctor compaction, unconfined compressive strength (UCS), modulus of elasticity, California bearing ratio (CBR), consolidation test, x-ray diffraction and scanning electron microscope analysis. It was found that the addition of 10% OPF and 10% RW obtained the maximum unconfined compression strength of 4.23 ksc at 28 days but decrease maximum dry density. While the optimum treated clay specimen increase CBR value about 9.5% and pre-consolidation load up to 2.9 ksc.

Keywords Pakphanang Clay, Oil Palm Fiber Ash, Rubber Wood Ash, Stabilization

1. บทนำ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปนั้นดินมักก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคแก่วิศวกรมากกว่าสิ่งอื่น เพราะดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่และลักษณะการกำเนิด บางครั้งอาจจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโดยการเปลี่ยนสถานที่ก่อสร้าง แต่หากไม่สามารถใช้วิธีดังกล่าวได้และจำเป็นจะต้องแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินแล้ววิศวกรอาจใช้

เทคนิคการปรับปรุงสมบัติของดินตามความเหมาะสม

สภาพธรณีวิทยาพื้นที่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวชายทะเล (Mangrove Deposits, Qm) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยน้ำทะเล พบบริเวณที่เป็นป่าชายเลน และป่าพรุที่มีน้ำท่วมถึง หรือเรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang Clay)

จากสภาพดินที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของดินที่เหมาะสมกับดินเหนียวปากพนัง ได้แก่ การปรับปรุงดินด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากสารประสานสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่มากในดินได้ดี ซึ่งสารประสานที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียว ได้แก่ ซีเมนต์ ปูนขาว ของเสียจากอุตสาหกรรม เช่น เถ้า กากแร่ เป็นต้น

ดนุพลและจิระชาติ [1] ได้ศึกษาเถ้าไม้ยางพาราผสมในปูนซีเมนต์ โดยเถ้าดังกล่าวมีปริมาณ CaO สูงถึง 58.17 % ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีกำลังของปูนสูงสุด แต่หากนำเถ้าลอยและไม้ยางพาราผสมด้วยกันแทนที่ในปูนซีเมนต์ พบว่าให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น ดนุพลและคณะ [2] กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดเป็นผลจากปฏิกิริยา Pozzolanic ของ Silica ในเถ้าลอยกับ CaO ที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ที่เกิดหลังจากปฏิกิริยา Hydration

จากที่กล่าวมาข้างต้นเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารามีสมบัติที่สามารถจะพัฒนาเพื่อใช้ในงานปรับปรุงสมบัติของดิน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทางสมบัติพื้นฐาน การทดสอบกำลัง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและทางเคมี ซึ่งหากได้ผลที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้งานได้จะเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศและยังเป็นการจัดการปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ดินเหนียวปากพนัง (เรียกว่า Control) จากการเก็บตัวอย่างบริเวณโครงการประตูระบายน้ำปากพนัง ที่ความลึก 1 – 2 เมตร จากผิวดินเดิม โดยเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

เถ้าใยปาล์มน้ำมัน จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งใน จ.กระบี่ โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า OPF)

เถ้าไม้ยางพารา จากโรงงานที่ใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในการอบไม้แห่งหนึ่งใน จ.นครศรีธรรมราช โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า RW)

2.2 อัตราส่วนการผสม

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้แยกออกเป็นหลายประเภท โดยผสมต่อน้ำหนักดินแห้ง ดังนั้นจึงกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อความชัดเจนดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา

OPF (% by wt.)	RW (% by wt.)	สัญลักษณ์
0	0	Control
	5	OPF0:RW5
	10	OPF0:RW10
	15	OPF0:RW15
5	0	OPF5:RW0
	5	OPF5:RW5
	10	OPF5:RW10
	15	OPF5:RW15
10	0	OPF10:RW0
	5	OPF10:RW5
	10	OPF10:RW10
	15	OPF10:RW15
15	0	OPF15:RW0
	5	OPF15:RW5
	10	OPF15:RW10
	15	OPF15:RW15

2.3 วิธีการวิจัย

การทดสอบสมบัติพื้นฐานในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนัง, OPF และ RW ประกอบด้วยการตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) และตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดปฏิกิริยา

การทดสอบในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดินด้วย OPF และ RW ประกอบด้วยการหาสมบัติพื้นฐานของทุกอัตราส่วนการผสม

การทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 698 เพื่อหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 ทดสอบทุกอัตราส่วนการผสม โดยเตรียมตัวอย่างที่ค่า OMC ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกและเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้น บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

การทดสอบ XRD ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของทุกอัตราส่วนการผสมที่ประกอบด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สำหรับทดสอบ XRD ร่วมกับการตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แบบ Unsoaked CBR Test ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่อายุการ

บ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ Consolidation Test ตามมาตรฐาน ASTM D 2435 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่ 28 วัน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 สมบัติเบื้องต้นในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติ

ดินเหนียวปากพนังมีค่า UCS ค่อนข้างต่ำและค่า NWC ค่อนข้างสูงซึ่งสอดคล้อง อภิชัย [3] ได้ทำการเจาะสำรวจดินบริเวณ อ.ปากพนัง จนถึงความลึก 25 เมตร พบว่าดินปากพนังมีสีเทาถึงเนื้อสีดำและมีสมบัติที่ใกล้เคียงกันตลอดความลึกจนถึง 15 เมตร

ดินเหนียวปากพนังเกิดจากตะกอนดินใกล้ทะเลจึงมีปริมาณ Chloride, Organic Matter และ Sulphate ปนอยู่สูงซึ่งจะมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อกำลังของดินที่ปรับปรุงสมบัติลดลง การจำแนกชนิดของดินตามระบบ Unified Soil Classification จัดอยู่ในกลุ่ม CH โดยมีสมบัติทางวิศวกรรมดังตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปากพนัง

Properties	ค่า
Unit Weight, t/m^3	1.50
Natural Water Content (NWC), %	76.32
Liquid Limit (LL), %	55.18
Plastic Limit (PL), %	27.36
Plastic Index (PI), %	27.82
Gs	2.69
Unconfined Compressive Strength, t/m^2	1.64
pH	7.37
Chloride, g/kg	7.7
Organic Matter, %	5.81
Sulphate, g/kg	247

3.2 สารประกอบทางเคมี

ดินเหนียวปากพนังมีสารประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกัน 70.75 % เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความเหมาะสมกับการปรับปรุงสมบัติทางเคมี

OPF มีสารประกอบของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกัน 62.84 % มีปริมาณ SO_3 เพียง 1.86 % และไม่พบ Na_2O ค่า LOI มีค่าเพียง 3.73 % เมื่อพิจารณาสารประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 สามารถจัดเป็นสาร Pozzolana Class C ได้ดังตารางที่ 4.

สารประกอบของ RW ไม่สามารถจัดให้เป็นสาร Pozzolana ได้ดังตารางที่ 4. แต่เนื่องจากมีปริมาณของ CaO มากถึง 43.14 % จึงมีความสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydration แต่ค่า LOI สูงถึง 23.7 % เนื่องจากมีการเผาในระบบเปิดจึงยังคงมี Organic Matter อยู่อีกมากดังตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. สารประกอบทางเคมี

สารประกอบ	Control (%)	OPF (%)	RW (%)
MgO	1.52	3.22	3.82
Al_2O_3	19.15	1.54	0.33
SiO_2	51.60	58.14	3.29
P_2O_5	-	3.32	2.53
SO_3	0.85	1.86	1.02
Cl	1.07	0.93	0.07
K_2O	3.21	11.49	20.12
CaO	0.86	12.04	43.14
TiO_2	1.61	0.26	-
MnO_2	-	0.23	1.35
Fe_2O_3	10.71	3.16	0.51
SrO	-	-	0.08
CuO	-	0.08	-
Na_2O	1.70	-	-
LOI	7.72	3.73	23.74

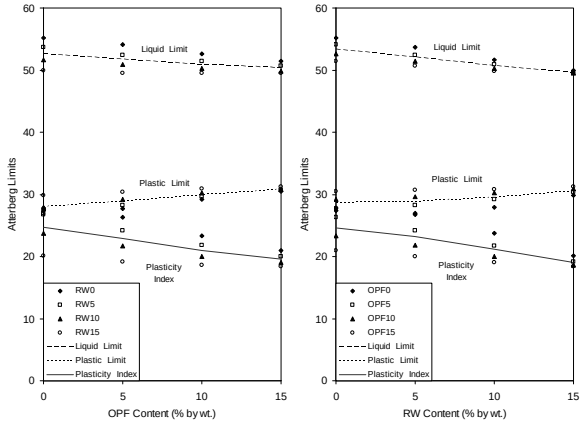
ตารางที่ 4. การแบ่งชั้นคุณภาพของสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618

สารประกอบ	Class C	Class F	OPF	RW
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ไม่น้อยกว่า, %	50	70	62.84	4.13
SO_3 ไม่เกิน, %	5.0	5.0	1.86	1.02
Na_2O ไม่เกิน, %	1.5	1.5	-	-
LOI ไม่เกิน, %	6.0	6.0	3.73	23.74

3.3 ค่า Atterberg Limits ในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดิน

การผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่า LL ลดลง และเพิ่มค่า PL ซึ่งส่งผลให้ค่า PI ลดต่ำลง การลดลงของค่า PI ดังรูปที่ 1. ซึ่งสอดคล้องกับที่ Redus [4] และ Awal [5] โดย Redus ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาดินซีเมนต์ที่เป็นชั้น Base Course ของสนามบินต่าง ๆ มาทำการหาค่า Atterberg Limits

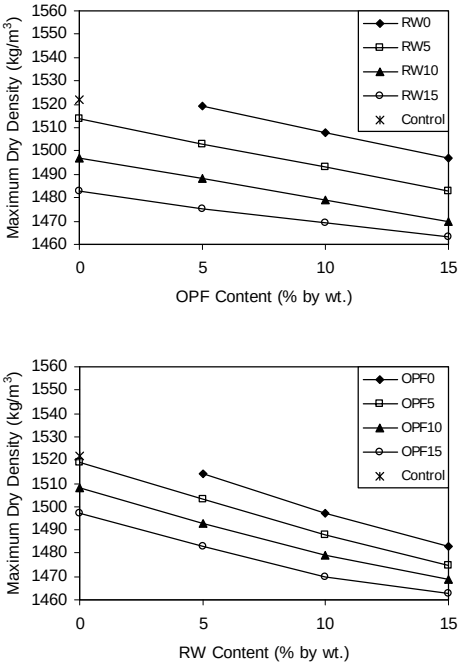
Terrel et al. [6] กล่าวว่า การผสมปูนขาวช่วยให้ค่า PI ของดินลดลง แต่จะช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการผสมเข้ากัน (Workability)



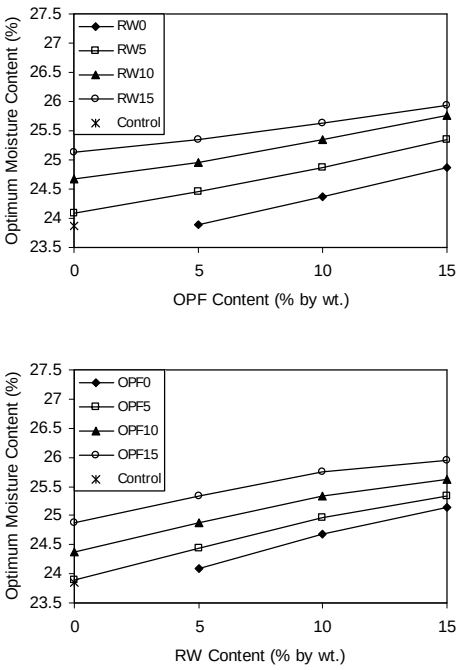
รูปที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Atterberg Limits กับสัดส่วนของ OPF และ RW

3.4 การบดอัด

การผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของ OPF และ RW กลับเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2. เมื่อพิจาณาค่า OMC กลับพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ OPF และ RW ดังรูปที่ 3. ซึ่งจะช่วยในการลดปริมาณ NWC ของดินเดิมโดยผลการทดลองสอดคล้องกับ Felt [7] ได้ทดลองการบดอัดดินซีเมนต์



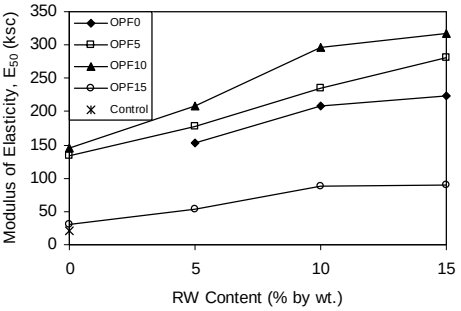
รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dry Density กับสัดส่วนของ OPF และ RW



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optimum Moisture Content กับสัดส่วนของ OPF และ RW

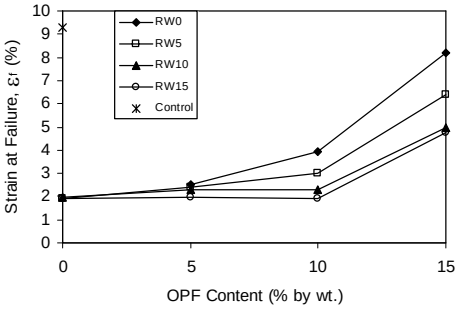
3.5 กำลังอัดแกนเดียว

จากการพิจารณาค่า Modulus of Elasticity (E_{50}) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม RW มีผลต่อการเพิ่มค่า E_{50} อย่างชัดเจนและสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมาก โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับสัดส่วนของ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า Strain at Failure (ε_f) ที่อายุการบ่ม 28 วัน การผสม OPF เป็นปัจจัยหลักมีผลต่อการเพิ่มค่า ε_f และลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นโดยจะส่งผลให้วัสดุมีความเหนียวมากขึ้น ดังรูปที่ 5.

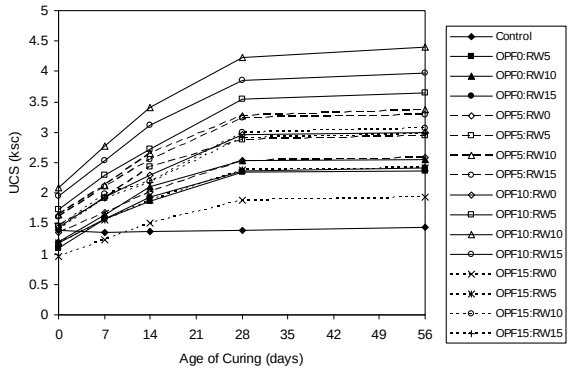


รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับสัดส่วนของ OPF ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า UCS ที่อายุการบ่ม 28 วัน อัตราส่วน OPF10:RW10 จะให้ค่ากำลังสูงสุดถึง 4.23 ksc และแนวโน้มการเพิ่มของค่า UCS ทุกสัดส่วนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน การผสม OPF และ RW มากเกินไปจะส่งผลให้ค่า UCS ลดลง ดังรูปที่ 6.

Mitchell [8] กล่าวว่าปฏิกิริยา Pozzolanic ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ค่า UCS เพิ่มขึ้น แต่จาก Soil Silica ที่มีอยู่จำกัดค่าหนึ่งและถ้ามีปริมาณ CaO มากกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยากับ Soil Silica จะทำให้ค่า UCS ไม่เพิ่มขึ้นและอาจทำให้กำลังลดลง

Sherwood [9] ได้ทำการทดสอบ USC ของดินซีเมนต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ Oganic Matter พบว่าทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวช้าและส่งผลให้ค่ากำลังลดต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน

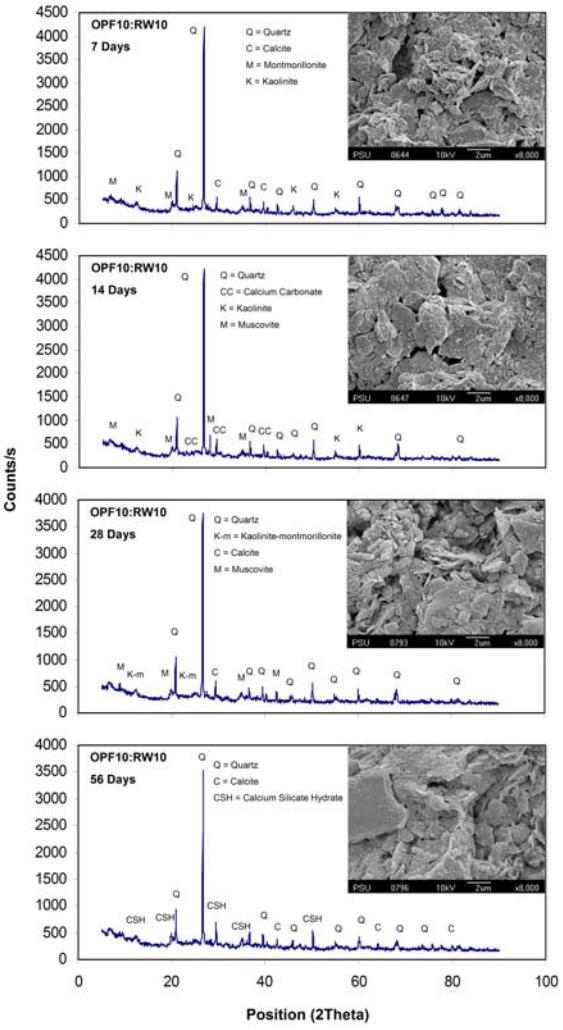


รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับอายุการบ่ม

3.6 องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาค

การเกิด CSH ล่าช้า ซึ่งพบในอายุการบ่มที่ 56 วัน โดยทั่วไปมักพบการเกิด CSH ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ปริมาณการเกิด CSH ถึง 41.25 % การทดสอบ SEM โครงสร้างดินมีอัตราส่วนช่องว่างลดลงตามอายุการบ่ม ดังรูปที่ 7.

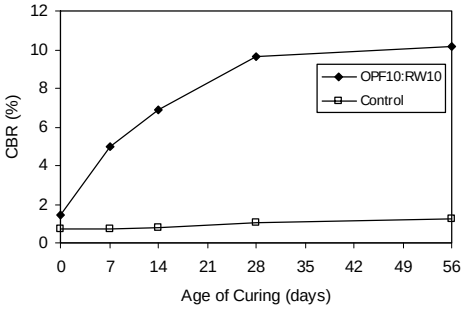
Terrel et al. [10] กล่าวถึงผลของ Organic Matter พบว่า Organic จะดูดซับ Calcium Ions จากปฏิกิริยา Hydration เป็นผลให้ pH ลดลงและยังไปยับยั้งกระบวนการแข็งตัว



รูปที่ 7. องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาคของอัตราส่วน OPF10:RW10 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

3.7 ค่า California Bearing Ratio

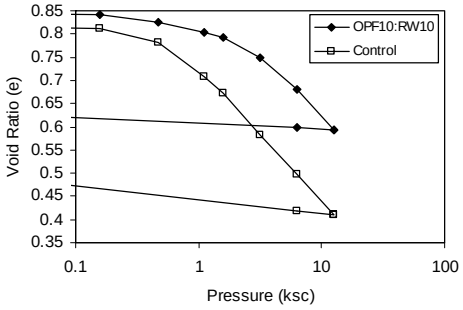
อัตราส่วน OPF10:RW10 มีค่า CBR ถึง 9.5 % ที่ 28 วัน ซึ่งมากกว่า Control ที่มีค่า CBR เพียงแค่ 1% ดังรูปที่ 8. จากเดิมงานก่อสร้างถนนบริเวณ อ.ปากพนัง จะต้องทำการลอกดินเดิมออกแล้วนำวัสดุจากแหล่งอื่นมาใช้งาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงสมบัติของดินเดิม



รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับอายุการบ่ม

3.8 การอัดตัวคายน้ำ

การผสม OPF และ RW สามารถช่วยลดอัตราการเกิด Consolidation ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 9. โดยค่าคงตัวของการอัดตัว (Compressibility Parameter) ดังตารางที่ 5.



รูปที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโพรงกับค่าความดันที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 5. ค่า Compressibility Parameter ที่อายุการบ่ม 28 วัน

Compressibility Parameter	OPF10:RW10	Control
Pc (ksc)	2.900	0.700
Cc	0.2956	0.2901
Cr	0.0128	0.0266

หมายเหตุ Pc = Preconsolidation Pressure
Cc = Compression Index
Cr = Recompression Index

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้การผสมและการบดอัดได้ง่ายขึ้นโดยเฉพาะลดสภาพพลาสติก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการผสมซีเมนต์

2. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง ซึ่งจะช่วยลดภาระน้ำหนักบรรทุก

3. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันส่งผลให้ดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนการผสมเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ดินมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังของดินมากขึ้น

4. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดแกนเดียวและค่า CBR ให้สูงขึ้น แต่ไม่ควรเกินชนิดละ 10 % ซึ่งการผสมเกินจะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลง

5. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic Reaction ได้ซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบ CSH แม้ว่าสภาพดินปนเปื้อนน้ำทะเลก็ตาม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และงบประมาณแผ่นดินปี 2548

เอกสารอ้างอิง

[1] ดนุพล ตันนโยภาส และ จิรชาติ เจ้าสินเจริญ. 2543. ปูนผสมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22. หน้า 489 – 500.

[2] ดนุพล ตันนโยภาส, ชัดเจน ฤติวรุพห์ และ อำพล กิติโชติ. 2546. ผลกระทบจากการเติมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีต่อมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. การประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 14 – 16 พ.ค. 2546 เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี หน้าที่ 199 – 204.

[3] อภิชัย จุฑาศิริวงศ์. 2544. รายงานการทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้างเสา Self Support อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช

[4] Redus, J.F. 1958. Study of Soil – Cement Base Courses on Military Airfields. Highway Research Board, Bulletin.

[5] Awal, abdul A.S.M. 1979. Effect of Portland Cement Mixing on Soil Properties. Master of Engineering Thesis, Geotechnical Engineering Program, Asian Institute of Technology.

[6] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

[7] Felt, E.J. 1955. Factors Influencing Physical Properties of Soil – Cement Mixtures. Highway Research Board, Bulletin 108.

[8] Mitchell, L.J. 1976. Properties of Cement – Stabilized Soils. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[9] Sherwood, P.T. 1968. The Properties of Cement Stabilized Materials. Road Research, No. 205.

[10] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ง.

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13
14 - 16 พฤษภาคม 2551 โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีช พัทยา จังหวัดชลบุรี

พฤติกรรมทางกายภาพ – เชิงกลของส่วนผสมดินเหนียวปากพนังกับเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราที่ยึดประสานด้วยตนเอง

PHYSICO – MECHANICAL BEHAVIER OF SELF – CEMENTING OIL PALM ASH AND RUBBERWOOD ASH – PAKPHANANG CLAY MIXTURE

ดิษฐพร แก้วมุนีโชค (Dittaporn Kaewmuneechoke)[1]

ดนุพล ตันนโยภาส (Danupon Tonnayopas)[2]

พิพัฒน์ ทองฉิม (Pipat Tongchim)[3]

[1] นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ dk_geoeng@hotmail.com

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Danupon.t@psu.ac.th

[3] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ pipat_thongchim@yahoo.com

บทคัดย่อ : ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนังด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา โดยการผสมแต่ละชนิดในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 % ของน้ำหนักดินแห้ง และทำการทดสอบค่า Atterberg Limits เตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีการบดอัดตัวอย่างแบบมาตรฐาน จากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) และบ่มที่อายุ 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) รวมถึงตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) พบว่า ดินที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % มีค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 4.23 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน แต่ความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง อันเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน โครงสร้างเนื้อดินมีช่องว่างลดลง ค่า CBR เท่ากับร้อยละ 9.5 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำพบว่าสามารถเพิ่มค่าหน่วยแรงในอดีต 2.90 ksc ซึ่งช่วยลดอัตราการทรุดตัวของดิน

ABSTRACT : Stabilization characteristics of Pakphanang clay blended with oil palm fiber ash (OPF) and rubber wood ash (RW) and combinations were investigated. Chemical and physical properties of the untreated clay OPF and RW were determined. The clay was mixed with OPF and RW at 5, 10 and 15% by dry weight of soil at 0, 7, 14, 28 and 56 days of curing. The influence of stabilizers and their combinations is evaluated through Atterberg limits, standard Proctor compaction, unconfined compressive strength (UCS), modulus of elasticity, California bearing ratio (CBR), consolidation test, x-ray diffraction and scanning electron microscope analysis. It was found that the addition of 10% OPF and 10% RW obtained the maximum unconfined compression strength of 4.23 ksc at 28 days but decrease maximum dry density. While the optimum treated clay specimen increase CBR value about 9.5% and pre-consolidation load up to 2.9 ksc.

KEYWORDS : Pakphanang Clay, Oil Palm Fiber Ash, Rubber Wood Ash, Stabilization

1. บทนำ

งานก่อสร้างโดยทั่วไปนั้นดินมักก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคแก่วิศวกรมากกว่าสิ่งอื่น เพราะดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่และลักษณะการกำเนิด บางครั้งอาจจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโดยการเปลี่ยนสถานที่ก่อสร้าง แต่หากไม่สามารถใช้วิธีดังกล่าวได้และจำเป็นจะต้องแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินแล้ววิศวกรอาจใช้เทคนิคการปรับปรุงสมบัติของดินตามความเหมาะสม

สภาพธรณีวิทยาพื้นที่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช พบว่าประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวชายทะเล (Mangrove Deposits, Qm) เป็นชั้นตะกอนดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพามาสะสมตัวโดยน้ำทะเล พบบริเวณที่เป็นป่าชายเลน และป่าพรุที่มีน้ำท่วมถึง หรือเรียกว่า ดินเหนียวปากพนัง (Pakphanang Clay)

จากสภาพดินที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของดินที่เหมาะสมกับดินเหนียวปากพนัง ได้แก่ การปรับปรุงดินด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากสารประสานสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่มากในดินเหนียว ซึ่งสารประสานที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียว ได้แก่ ซีเมนต์ปูนขาว ของเสียจากอุตสาหกรรม เช่น เถ้า กากแร่ เป็นต้น

ดนุพลและจิระชาติ [1] ได้ศึกษาเถ้าไม้ยางพาราผสมในปูนซีเมนต์ พบว่าเถ้าดังกล่าวมีปริมาณ CaO สูงถึง 58.17 % ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีกำลังของปูนสูงสุด แต่หากนำเถ้าลอยและไม้ยางพาราผสมด้วยกันแทนที่ในปูนซีเมนต์ พบว่าให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น ดนุพลและคณะ [2] กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดเป็นผลจากปฏิกิริยา Pozzolanic ของ Silica ในเถ้าลอยกับ CaO ที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ที่เกิดหลังจากปฏิกิริยา Hydration

จากที่กล่าวมาข้างต้นเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา มีสมบัติที่สามารถจะพัฒนาเพื่อใช้ในงานปรับปรุงสมบัติของดิน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทางสมบัติพื้นฐาน การทดสอบกำลัง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและทางเคมี ซึ่งหากได้ผลที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้งานได้จะเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศและยังเป็นการจัดการปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ดินเหนียวปากพนัง (เรียกว่า Control) จากการเก็บตัวอย่างบริเวณโครงการประตูระบายน้ำปากพนัง ที่ความลึก 1 – 2 เมตร จากผิวดินเดิม โดยเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

เถ้าใยปาล์มน้ำมัน จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งใน จ.กระบี่ โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า OPF)

เถ้าไม้ยางพารา จากโรงงานที่ใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในการอบไม้แห่งหนึ่งใน จ.นครศรีธรรมราช โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (เรียกว่า RW)

2.2 อัตราส่วนการผสม

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบในการศึกษานี้แยกออกเป็นหลายประเภท โดยผสมต่อน้ำหนักดินแห้ง ดังนั้นจึงกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อความชัดเจน ดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา

OPF (% by wt.)	RW (% by wt.)	สัญลักษณ์
0	0	Control
	5	OPF0:RW5
	10	OPF0:RW10
	15	OPF0:RW15
5	0	OPF5:RW0
	5	OPF5:RW5
	10	OPF5:RW10
	15	OPF5:RW15
10	0	OPF10:RW0
	5	OPF10:RW5
	10	OPF10:RW10
	15	OPF10:RW15
15	0	OPF15:RW0
	5	OPF15:RW5
	10	OPF15:RW10
	15	OPF15:RW15

2.3 วิธีการวิจัย

การทดสอบสมบัติพื้นฐานในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติของดินเหนียวปากพนัง, OPF และ RW ประกอบด้วยการตรวจสารประกอบทางเคมีด้วยวิธี X – Ray Fluorescence (XRF) และ

ตรวจหาองค์ประกอบของแร่ด้วยวิธี X – Ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดปฏิกิริยา

การทดสอบในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดินด้วย OPF และ RW ประกอบด้วยการหาสมบัติพื้นฐานของทุกอัตราส่วนการผสม

การทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 698 เพื่อหาค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166 ทดสอบทุกอัตราส่วนการผสม โดยเตรียมตัวอย่างที่ค่า OMC ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกและเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้น บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

การทดสอบ XRD ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของทุกอัตราส่วนการผสมที่ประกอบด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สำหรับทดสอบ XRD ร่วมกับการตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แบบ Unsoaked CBR Test ตามมาตรฐาน ASTM D 1883 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่อายุการบ่ม 0, 7, 14, 28 และ 56 วัน

การทดสอบ Consolidation Test ตามมาตรฐาน ASTM D 2435 ทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ให้ค่า UCS สูงสุดและตัวอย่าง Control ที่ 28 วัน

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 สมบัติเบื้องต้นในกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงสมบัติ

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีสีเทาถึงเนื้อสีดำ ค่า UCS ค่อนข้างต่ำและค่า NWC สูงดังตารางที่ 2. ซึ่งเป็นช่วงที่ดินมีความแข็งแรงต่ำเนื่องดินอยู่ในสภาวะเหลว

ดินเหนียวปากพนังเกิดจากตะกอนดินใกล้ทะเลจึงพบว่าจะมีปริมาณ Chloride, Organic Matter และ Sulphate ปนอยู่สูง ซึ่งจะมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อกำลังของดินที่ปรับปรุงสมบัติลดลง

ตารางที่ 2. สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวปากพนัง

สมบัติของดินเหนียวปากพนัง	ค่าแสดงหรือปริมาณ
1) สมบัติทางกายภาพ	
Natural Water Content (NWC)	76.32 %
Liquid Limit (LL)	55.18 %
Plastic Limit (PL)	27.36 %
Plastic Index (PI)	27.82 %
Specific Gravity (Gs)	2.69
Grain Size Distribution (ตามระบบ MIT)	
ทราย (Sand) ขนาด 0.06 - 2 mm.	12.97 %
ดินตะกอน (Silt) ขนาด 0.002 - 0.06 mm.	83.63 %
ดินเหนียว (Clay) ขนาด < 0.002 mm.	3.40 %
Unified Soil Classification	CH
2) สมบัติทางวิศวกรรม	
Total Unit Weight (γt)	1.50 t/m3
Unconfined Compressive Strength (qu)	0.16 ksc
Sensitivity	1.68
Modulus of Elasticity (E50)	2.22 ksc
Strain at Failure (εf)	11.86 %
3) สมบัติทางเคมี	
pH	7.37
Chloride	7.7 g/kg
Organic Matter	5.81 %
Sulphate,	247 g/kg

3.2 สารประกอบทางเคมี

พบว่าดินเหนียวปากพนังมีสารประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกัน 70.75 % เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความเหมาะสมกับการปรับปรุงสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 3.

OPF มีสารประกอบของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกัน 62.84 % มีปริมาณ SO_3 เพียง 1.86 % และไม่พบ Na_2O ค่า LOI มีค่าเพียง 3.73 % เมื่อพิจารณาสารประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าสามารถจัดเป็นสาร Pozzolana Class C ได้ดังตารางที่ 4.

สารประกอบของ RW ไม่สามารถจัดให้เป็นสาร Pozzolana ได้ดังตารางที่ 4. แต่เนื่องจากมีปริมาณของ CaO มากถึง 43.14 % จึงมีความสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydration แต่ค่า LOI สูงถึง 23.7 % เนื่องจากมีการเผาในระบบเปิดจึงยังคงมี Organic Matter อยู่อีกมากดังตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. สารประกอบทางเคมี

สารประกอบ	Control (%)	OPF (%)	RW (%)
MgO	1.52	3.22	3.82
Al_2O_3	19.15	1.54	0.33
SiO_2	51.60	58.14	3.29
P_2O_5	-	3.32	2.53
SO_3	0.85	1.86	1.02
Cl	1.07	0.93	0.07
K_2O	3.21	11.49	20.12
CaO	0.86	12.04	43.14
TiO_2	1.61	0.26	-
MnO_2	-	0.23	1.35
Fe_2O_3	10.71	3.16	0.51
SrO	-	-	0.08
CuO	-	0.08	-
Na_2O	1.70	-	-
LOI	7.72	3.73	23.74

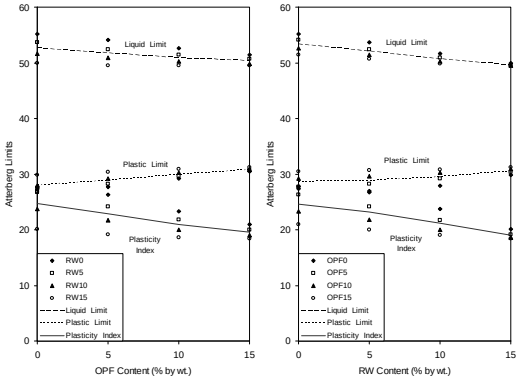
ตารางที่ 4. การแบ่งชั้นคุณภาพของสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618

สารประกอบ	Class C	Class F	OPF	RW
SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 ไม่น้อยกว่า, %	50	70	62.84	4.13
SO_3 ไม่เกิน, %	5.0	5.0	1.86	1.02
Na_2O ไม่เกิน, %	1.5	1.5	-	-
LOI ไม่เกิน, %	6.0	6.0	3.73	23.74

3.3 ค่า Atterberg Limits ในกรณีที่ปรับปรุงสมบัติดิน

พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่า LL ลดลง และเพิ่มค่า PL ซึ่งส่งผลให้ค่า PI ลดต่ำลง การลดลงของค่า PI ดังภาพที่ 1. ซึ่งสอดคล้องกับที่ Redus [3] และ Awal [4] โดย Redus ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาดินซีเมนต์ที่เป็นชั้น Base Course ของสนามบินต่าง ๆ มาทำการหาค่า Atterberg Limits

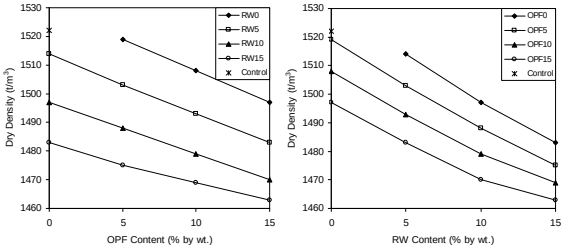
Terrel et al. [5] กล่าวว่า การผสมปูนขาวช่วยให้ค่า PI ของดินลดลง แต่จะช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการผสมเข้ากัน (Workability)



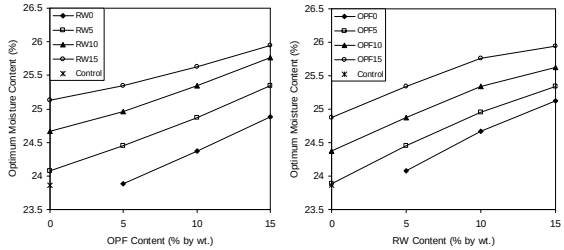
ภาพที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Atterberg Limits กับสัดส่วนของ OPF และ RW

3.4 การบดอัด

พบว่าการผสม OPF และ RW ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของ OPF และ RW กลับเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2. เมื่อพิจาณาค่า OMC กลับพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ OPF และ RW ดังภาพที่ 3. ซึ่งจะช่วยในการลดปริมาณ NWC ของดินเดิมโดยผลการทดลองสอดคล้องกับ Felt [6] ได้ทดลองการบดอัดดินซีเมนต์



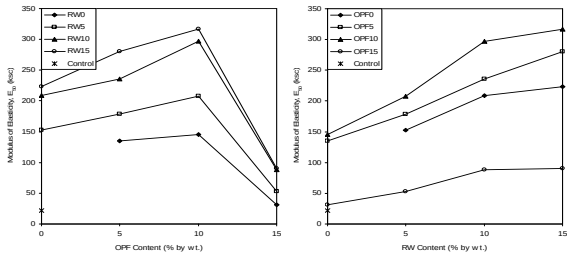
ภาพที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dry Density กับสัดส่วนของ OPF และ RW



ภาพที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optimum Moisture Content กับสัดส่วนของ OPF และ RW

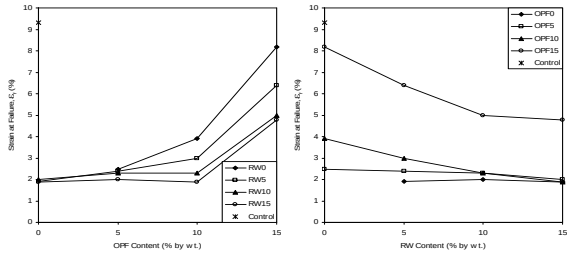
3.5 กำลังอัดแกนเดียว

จากการพิจารณาค่า Modulus of Elasticity (E_{50}) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม RW มีผลต่อการเพิ่มค่า E_{50} อย่างชัดเจนและสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมาก โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.



ภาพที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับสัดส่วนของ OPF และ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า Strain at Failure (ε_f) ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการผสม OPF เป็นปัจจัยหลักมีผลต่อการเพิ่มค่า ε_f และลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น โดยจะส่งผลให้วัสดุมีความเหนียวมากขึ้น ดังภาพที่ 5.

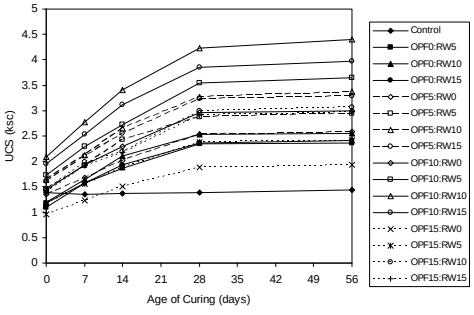


ภาพที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับสัดส่วนของ OPF และ RW ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากการพิจารณาค่า UCS ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า OPF10:RW10 จะให้ค่ากำลังสูงสุดถึง 4.23 ksc และแนวโน้มการเพิ่มของค่า UCS ทุกสัดส่วนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน การผสม OPF และ RW มากเกินไปจะส่งผลให้ค่า UCS ลดลง ดังภาพที่ 6.

Mitchell [7] กล่าวว่าปฏิกิริยา Pozzolanic ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ค่า UCS เพิ่มขึ้น แต่จาก SiO_2 ที่มีอยู่จำกัดค่าหนึ่ง และถ้ามีปริมาณ CaO มากกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่า UCS ไม่เพิ่มขึ้นและอาจทำให้กำลังลดลง

Sherwood [8] ได้ทำการทดสอบ USC ของดินซีเมนต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ Oganic Matter พบว่าทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวช้าและส่งผลให้ค่ากำลังลดต่ำลงเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน

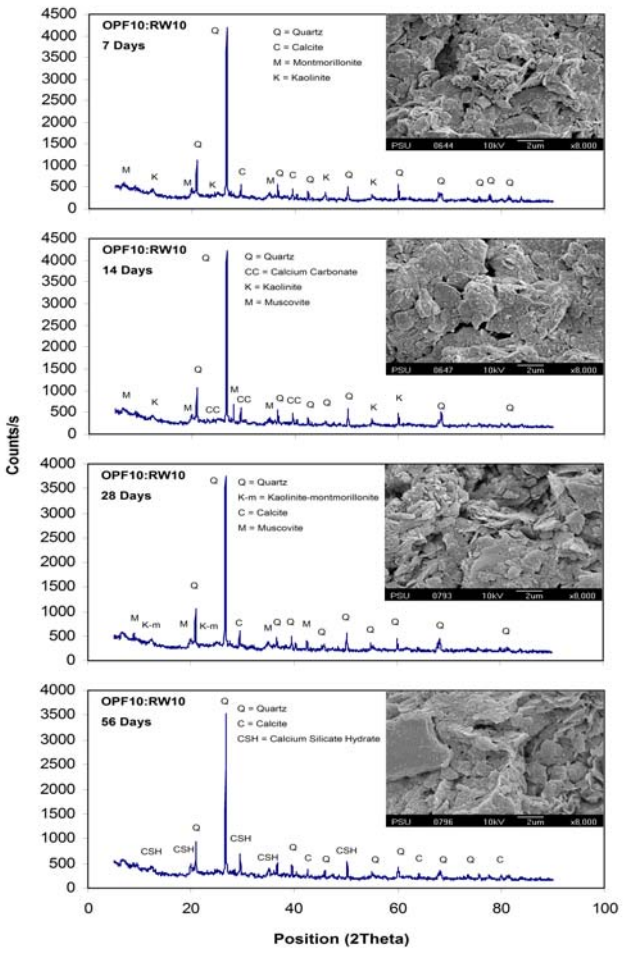


ภาพที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับอายุการบ่ม

3.6 องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาค

พบว่าการเกิด CSH ล่าช้า ซึ่งพบในอายุการบ่มที่ 56 วัน โดยทั่วไปมักพบการเกิด CSH ที่อายุการบ่ม 28 วัน ปริมาณการเกิด CSH เท่ากับ 41.25 % การทดสอบ SEM พบว่าโครงสร้างมีอัตราส่วนช่องว่างลดลงตามอายุการบ่ม ดังภาพที่ 7.

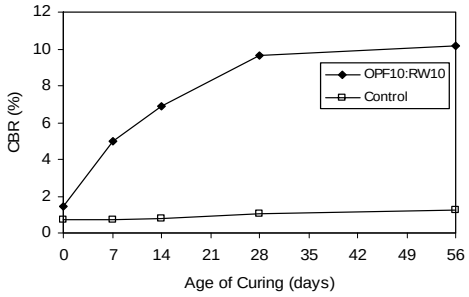
Terrel et al. [9] กล่าวถึงผลของ Organic Matter พบว่า Organic จะดูดซับ Calcium Ions จากปฏิกิริยา Hydration เป็นผลให้ pH ลดลงและยังไปยับยั้งกระบวนการแข็งตัว



ภาพที่ 7. องค์ประกอบของแร่และโครงสร้างจุลภาคของอัตราส่วน OPF10:RW10 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน

3.7 ค่า California Bearing Ratio

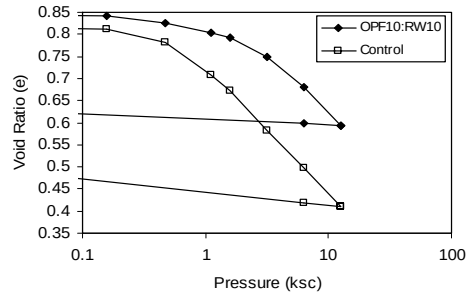
พบว่า OPF10:RW10 มีค่า CBR ถึง 9.5 % ที่ 28 วัน ซึ่งมากกว่า Control ที่มีค่า CBR เพียงแค่ 1% ดังภาพที่ 8. จากเดิมงานก่อสร้างถนนบริเวณ อ.ปากพนัง จะต้องทำการลอกดินเดิมออกแล้วนำวัสดุจากแหล่งอื่นมาใช้งาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงสมบัติของดินเดิม



ภาพที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับอายุการบ่ม

3.8 การอัดตัวคายน้ำ

พบว่าการผสม OPF และ RW สามารถช่วยลดอัตราการเกิด Consolidation ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 9. โดยค่าคงตัวของการอัดตัว (Compressibility Parameter) ดังตารางที่ 5.



ภาพที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโพรงกับค่าความดันที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 5. ค่า Compressibility Parameter ที่อายุการบ่ม 28 วัน

Compressibility Parameter	OPF10:RW10	Control
Pc (ksc)	2.900	0.700
Cc	0.2956	0.2901
Cr	0.0128	0.0266

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้การผสมและการบดอัดได้ง่ายขึ้นโดยเฉพาะลดสภาพพลาสติก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการผสมซีเมนต์

2. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง ซึ่งจะช่วยลดภาระน้ำหนักบรรทุก

3. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันส่งผลให้ดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนการผสมเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ดินมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้กำลังของดินมากขึ้น

4. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดแกนเดียวและค่า CBR ให้สูงขึ้น แต่ไม่ควรเกินชนิดละ 10 % ซึ่งการผสมเกินจะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลง

5. การผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic Reaction ได้แม้ว่าสภาพดินปนเปื้อนน้ำทะเลก็ตาม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และงบประมาณแผ่นดินปี 2548

บรรณานุกรม

[1] ดนุพล ตันนโยภาส และ จิรชาติ เจ้าสินเจริญ. 2543. ปูนผสมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22. หน้า 489 – 500.

[2] ดนุพล ตันนโยภาส, ชัดเจน ฤติวรุฬห์ และ อำพล กิติโชติ. 2546. ผลกระทบจากการเติมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีต่อมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. การประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 14 – 16 พ.ค. 2546 เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี หน้าที่ 199 – 204.

[3] Redus, J.F. 1958. Study of Soil – Cement Base Courses on Military Airfields. Highway Research Board, Bulletin.

[4] Awal, abdul A.S.M. 1979. Effect of Portland Cement Mixing on Soil Properties. Master of Engineering Thesis, Geotechnical Engineering Program, Asian Institute of Technology.

[5] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.

[6] Felt, E.J. 1955. Factors Influencing Physical Properties of Soil – Cement Mixtures. Highway Research Board, Bulletin 108.

[7] Mitchell, L.J. 1976. Properties of Cement – Stabilized Soils. Cite by Housman, M.R. 1990. Engineering Principles of Ground Modification. McGraw – Hill Publ. Co., Sydney.

[8] Sherwood, P.T. 1968. The Properties of Cement Stabilized Materials. Road Research, No. 205.

[9] Terrel, R.L., Barenberg, E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual Mixture Design Consideration, Vol. 2, Washington, D.C., US Government Printing Offices.