สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ทบทวนเอกสาร	4
2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	63
2.2 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ	63
2.3 การทดสอบดินเหนียวปากพนังกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงคุณภาพ	68
2.4 การทดสอบเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	69
2.5 การทดสอบดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	71
3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	
3.1 การทดสอบหาค่าสมบัติของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ยังมิได้ปรับปรุงคุณภาพ	74
3.2 การทดสอบหาค่าสมบัติของเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	80
3.3 การทดสอบหาค่าสมบัติของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	86
4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการศึกษา	137
4.2 ข้อเสนอแนะ	138

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	139
ภาคผนวก	
ก. ความสัมพันธ์ระหว่าง Axial Stress กับ Axial Strain ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	147
ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Penetration ของการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)	163
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	165
ประวัติผู้เขียน	181

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	วิธีปรับปรุงคุณภาพของดินที่ต่างชนิดกัน	15
1.2	วิธีปรับปรุงคุณภาพของดินที่แปรผันตามขนาดเม็ดดิน	18
1.3	แนวทางเลือกใช้สารผสมเพิ่มกับวัสดุแต่ละชนิด	18
1.4	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภท จำแนกตามระบบ Unified	31
1.5	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภท จำแนกตามระบบ AASHTO	31
1.6	ปริมาณปูนซีเมนต์โดยเฉลี่ยที่ใช้ผสม สำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ	32
1.7	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อความคงทนของดิน	42
1.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Optimum Moisture Content และ Maximum Dry Density ของ Soil - Cement เปรียบเทียบกับดินเดิม	48
1.9	ปริมาณความชื้นในดินโดยเฉลี่ย (%) กลุ่ม A และ B ต่อวัน	52
1.10	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าใยปาล์มน้ำมัน, เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	61
2.1	พลังงานที่ใช้ในการบดอัดโดยวิธีบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) และการบดอัดโดยใช้ Mini Compactor	64
2.2	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษาของทุกอัตราส่วน	65
3.1	การศึกษาสมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางวิศวกรรมและสมบัติทางเคมีของดินเหนียวปากพนัง	76
3.2	องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวปากพนัง, เถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	79
3.3	การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	81
3.4	การแบ่งประเภทของสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 ของเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	83
3.5	สมบัติทางกายภาพของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	88

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.6	ผลการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	92
3.7	ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา	97
3.8	ผลการทดสอบ California Bearing Ratio ของดินเหนียวปากพนังและกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	112
3.9	ผลการทดสอบ Consolidation Test ของดินเหนียวปากพนังและกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	115
3.10	องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราที่อายุการบ่ม 28 วัน	118
3.11	องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 56 วัน	120
3.12	ความสัมพันธ์ของค่า UCS กับค่าต่างๆ (วิเคราะห์ภาครวมทุกอัตราส่วน)	131
3.13	ความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ (วิเคราะห์ภาครวมทุกอัตราส่วน)	132
3.14	ความสัมพันธ์ของค่า ε_f กับค่าต่างๆ (วิเคราะห์ภาครวมทุกอัตราส่วน)	133
3.15	ความสัมพันธ์ของค่า UCS กับค่าต่างๆ ของแต่ละอัตราส่วน	134
3.16	ความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของแต่ละอัตราส่วน	135
3.17	ความสัมพันธ์ของค่า ε_f กับค่าต่างๆ ของแต่ละอัตราส่วน	136

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้เมื่อ 6000 ปีที่แล้ว เทียบกับปัจจุบัน	6
1.2	แผนที่ลักษณะทางธรณีวิทยาลุ่มน้ำปากพนัง	8
1.3	ชั้นดินบริเวณชายฝั่งตะวันออก จังหวัดนครศรีธรรมราช	9
1.4	ชั้นดินบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา	10
1.5	การทรุดตัวของโครงสร้างอาคาร (ก) อาคารทางด้านขวาเกิดการเอียงประมาณ 2 องศา และ (ข) โบสถ์เกิดการเอียงประมาณ 1 องศา	12
1.6	การทรุดตัวของโครงสร้างถนน (ก) ถนนภายในอำเภอปากพนัง และ (ข) ถนนทางหลวงหมายเลข 4013 ตอน อำเภอปากพนัง - ตำบลแหลมตะลุมพุก	13
1.7	การเกาะตัวของสาร CSH ในโครงสร้างดินเหนียวผสมปูนขาว	20
1.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับปริมาณสารประสาน	21
1.9	โครงสร้างของดินซีเมนต์	28
1.10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 กับค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์	33
1.11	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินเหนียวกับค่า Modulus of Elasticity	33
1.12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับพื้นที่ผิวเม็ดดิน	34
1.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plasticity กับปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธี CBR	36
1.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plastic Index กับเวลา	36
1.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plasticity กับปริมาณปูนซีเมนต์	37
1.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plasticity กับปริมาณปูนซีเมนต์	37
1.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับปริมาณปูนซีเมนต์ ของดิน Loamy Sand	40
1.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับปริมาณปูนซีเมนต์ ของดิน Medium Clay	41
1.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับปริมาณปูนซีเมนต์ ของดิน Silty Clay Loam	41
1.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับเวลา	43
1.21	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการผสมกับค่ากำลังอัด ของดิน CL	45

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
1.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอในการผสมดินซีเมนต์กับค่ากำลังอัด ของปูนซีเมนต์ Class A 4 - 5 %	47
1.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความสม่ำเสมอในการผสมดินซีเมนต์กับค่ากำลังอัด ของปูนซีเมนต์ Class C 2 %	47
1.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าในการบดอัดกับปริมาณความชื้นต่อค่ากำลังอัด	48
1.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับระยะเวลาในการผสม	49
1.26	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับระยะเวลาในการผสม ของดิน Losses Soil	50
1.27	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการบ่ม	51
1.28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับระยะเวลาในการบ่ม การทดลองในห้องปฏิบัติการ	54
1.29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับระยะเวลา การทดสอบในสนาม	54
1.30	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการผสมปูนขาวกับการทดสอบ Wet - Dry Test	56
1.31	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับปริมาณปูนขาว	56
2.1	อุปกรณ์ Mini Compactor สำหรับการเตรียมตัวอย่าง (ก) ชิ้นส่วน Mini Compactor (ข) การประกอบ Mini Compactor (ค) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว	66
2.2	การบ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (ก) ตัวอย่างหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับถนอมอาหารและแผ่นอลูมิเนียม (ข) เก็บตัวอย่างบรรจุในถุงพลาสติก (ค) การบ่มตัวอย่างในลังโฟมเพื่อควบคุมอุณหภูมิ	67
3.1	การกระจายตัวของดินเหนียวปากพนัง, เถ้าใยปาล์มน้ำมัน, เถ้าไม้ยางพาราและกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	77
3.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ (ก) ดินเหนียวปากพนัง (ข) เถ้าใยปาล์มน้ำมัน (ค) เถ้าไม้ยางพารา	78
3.3	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าใยปาล์มน้ำมัน (ก) กำลังขยาย 50 เท่า (ข) กำลังขยาย 100 เท่า (ค) กำลังขยาย 300 เท่า	84

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	โครงสร้างจุลภาคของเถ้าไม้ยางพารา (ก) กำลังขยาย 50 เท่า (ข) กำลังขยาย 100 เท่า (ค) กำลังขยาย 300 เท่า	85
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific Gravity กับอัตราส่วน (ก) เถ้าใยปาล์มน้ำมันและ (ข) เถ้าไม้ยางพารา	89
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Atterberg Limits กับอัตราส่วน (ก) เถ้าใยปาล์มน้ำมัน และ (ข) เถ้าไม้ยางพารา	90
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Dry Density กับอัตราส่วน (ก) เถ้าใยปาล์มน้ำมันและ (ข) เถ้าไม้ยางพารา	93
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optimum Moisture Content กับอัตราส่วน (ก) เถ้าใยปาล์มน้ำมันและ (ข) เถ้าไม้ยางพารา	94
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนเถ้าใยปาล์มน้ำมันและ เถ้าไม้ยางพาราที่อายุการบ่ม (ก) 0 วัน, (ข) 7 วัน, (ค) 14 วัน, (ง) 28 วัน และ (จ) 56 วัน	101
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับอัตราส่วนเถ้าใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าไม้ยางพาราที่อายุการบ่ม (ก) 0 วัน, (ข) 7 วัน, (ค) 14 วัน, (ง) 28 วัน และ (จ) 56 วัน	104
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับอัตราส่วนเถ้าใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าไม้ยางพาราที่อายุการบ่ม (ก) 0 วัน, (ข) 7 วัน, (ค) 14 วัน, (ง) 28 วัน และ (จ) 56 วัน	107
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอายุการบ่มของทุกอัตราส่วน	109
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity กับอายุการบ่มของ ทุกอัตราส่วน	110
3.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at Failure กับอายุการบ่มของทุกอัตราส่วน	111
3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับอายุการบ่มของดินเหนียวปากพนังและ กรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	113
3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Void Ratio กับ Pressure ของดินเหนียวปากพนังและ กรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	115

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Coefficient of Consolidation กับ Pressure ของดินเหนียวปากพนังและกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	116
3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Coefficient of Permeability กับ Pressure ของดินเหนียวปากพนังและกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 %	116
3.19	การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ก) OPF5:RW5 (ข) OPF5:RW10 (ก) OPF5:RW15	121
3.20	การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ก) OPF10:RW5 (ข) OPF10:RW10 (ก) OPF10:RW15	122
3.21	การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพารา ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ก) OPF15:RW5 (ข) OPF15:RW10 (ก) OPF15:RW15	123
3.22	การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม (ก) 7 วัน, (ข) 14 วัน, (ค) 28 วัน และ (ง) 56 วัน	124
3.23	โครงสร้างจุลภาคของของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม 7 วัน (ก) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า	126
3.24	โครงสร้างจุลภาคของของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม 14 วัน (ก) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า	127
3.25	โครงสร้างจุลภาคของของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม 28 วัน (ก) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า	128

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.26 โครงสร้างจุลภาคของของดินเหนียวปากพนังกรณีที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย เถ้าใยปาล์มน้ำมัน 10 % และเถ้าไม้ยางพารา 10 % ที่อายุการบ่ม 56 วัน (ก) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า 129