

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Aabstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการภาพประกอบ	(12)
รายการตาราง	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	9
2.1 ลักษณะการกำเนิดของหินเพอร์ไลต์	9
2.2 ธรณีวิทยาแหล่งหินเพอร์ไลต์ในประเทศไทย	9
2.3 สมบัติจุลภาคและทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์	10
2.3.1 ลักษณะหินเพอร์ไลต์ทางศิลาวรรณนา	10
2.3.2 สมบัติทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์	11
2.3.3 สมบัติทางเคมีของหินเพอร์ไลต์	11
2.4 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุมวลรวม	13
2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเชิงกลมวลรวม	13
2.4.2 ขนาดของมวลรวมที่มีผลต่ออมอร์ตาร์	13
2.5 น้ำที่ใช้ผสม	14
2.6 น้ำยาเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Adimixture)	14
2.6.1 สารกักกระจายฟองอากาศ	14
2.6.2 สารลดปริมาณน้ำ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และหลักการของปฏิกิริยาไฮเดรชัน	
2.7.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	15
2.7.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S)	17
2.7.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไดรแคลเซียมซัลเฟต (C_2S)	18
2.7.4 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)	18
2.8 วัสดุมวลรวมผสมในงานคอนกรีตเบา	19
2.8.1 คอนกรีตเบาที่ใช้มวลรวมผสมเบา	19
2.8.2 คอนกรีตเบาที่ได้จากฟองอากาศ	20
2.9 คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีมวลรวมละเอียดเป็นส่วนผสม	21
2.10 สมบัติของคอนกรีตเบาทั่วไป	22
2.11 ประเภทของคอนกรีตเบา	23
2.12 เส้นโค้งความเค้นกับความเครียด	25
2.13 รูปแบบของการวิบัติ	25
2.14 การควบคุมและการประเมินผลการวิจัยโดยใช้หลักสถิติเบื้องต้น	27
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	28
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจลักษณะทางจุลภาค	29
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ	29
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้หล่อตัวอย่างมอร์ตาร์	29
3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล	30
3.2 วัสดุที่ใช้ในการผสม	31
3.2.1 วัสดุมวลรวมละเอียด	31
3.2.2 วัสดุเนื้อประสาน	31
3.2.3 สารเคมีผสมเพิ่ม	32
3.2.4 น้ำที่ใช้ผสม	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบส่วนผสม	33
3.4 การสร้างก้อนตัวอย่าง	33
3.5 การบ่มก้อนตัวอย่าง	35
3.6 การทดสอบสมบัติของมวลรวมเพอร์ไลต์	37
3.6.1 การตรวจลักษณะเชิงจุลภาค	37
3.6.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	37
3.7 การทดสอบสมบัติของมอร์ตาร์	39
3.7.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	39
3.7.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์	41
บทที่ 4 ผลการวิจัย	45
4.1 สมบัติทางกายภาพของหินเพอร์ไลต์	45
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเชิงจุลภาค	45
4.1.2 ขนาดคละของเพอร์ไลต์	47
4.1.3 ค่าความหนาแน่นของหินเพอร์ไลต์สุก	48
4.1.4 ค่าการดูดซึมน้ำ	49
4.2 สมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์	49
4.2.1 อัตราการไหล	49
4.2.2 ความหนาแน่นรวม	51
4.2.3 ค่าความคงตัวของมอร์ตาร์	53
4.2.4 การดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์	55
4.2.5 ค่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์	57
4.3 สมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์	59
4.3.1 กำลังอัด	59
4.3.2 กำลังดัด	64
4.3.3 กำลังดึง	65
4.4 สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและกำลังอัด	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังอัด	69
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดซึมน้ำกับกำลังอัด	72
4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดแบบแห้งตัวกับกำลังอัด	75
4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวกับกำลังอัด	77
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังค้ำ	80
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังดึง	82
4.7 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่าง	84
4.8 โครงสร้างจุลภาคของมอร์ตาร์	87
4.9 การวิเคราะห์ผลการวิบัติของก้อนตัวอย่าง	90
4.9.1 การแตกแบบแยกออก (Splitting failure)	90
4.9.2 การแตกแบบรวม (Combination shear and splitting)	90
4.10 พฤติกรรมของมอร์ตาร์ (Mode of Failure)	91
4.11 การวิเคราะห์ต้นทุนเบื้องต้น	93
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	95
5.1 สมบัติทางเคมีและจุลภาค	95
5.2 สมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์สูง	95
5.3 สมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์เพอร์ไลต์สูง	95
5.4 ผลการวิจัยค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	96
5.5 ผลความสัมพันธ์ของสมบัติมอร์ตาร์เพอร์ไลต์	96
5.6 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต	96
5.7 ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	98
ประวัติผู้เขียน	101
บทความที่นำเสนอเผยแพร่ในการประชุม มอ.วิศวกรรมครั้งที่ 1 ปี 2545	102

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 ตัวอย่างหินเพอร์ไลต์จากลำานารายณ์ จังหวัดลพบุรี ก) ลักษณะรอยแตกเป็นกlibหัวหอม ของเนื้อหินเพอร์ไลต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และ ข) ขนาดของเม็ดหินเพอร์ไลต์เมื่อผ่านการเผา (นิคม, 2538)	11
2.2 ขอบเขตความหนาแน่นมวลรวมคละผสมสำหรับงานคอนกรีตเบา (Neville, 1995)	22
2.3 ประเภทพฤติกรรมของเส้นความโค้งความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างหิน (Goodman, 1989)	26
2.4 ประเภทการวิบัติของวัสดุเบาะ ก) แบบเนียนกรวย ข) แบบเนียนระนาบ และ ค) แบบเนียนกรวยและแตกร้าวด้านบน (Davis, 1982)	26
3.1 แผนผังขั้นตอนการศึกษา	28
3.2 ชุดเตรียมและเก็บตัวอย่าง ก) แบบหล่อก้อนมอร์ต้าร์สำหรับทดสอบกำลังอัด ข) แบบหล่อคามมอร์ต้าร์ ค) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรับกำลังดึง และ ง) ชุดทดสอบการไหลมอร์ต้าร์สด	30
3.3 ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบสมบัติเชิงกล ก) เครื่องทดสอบกำลังอัดแบบประสงค์ และ ข) อุปกรณ์ทดสอบกำลังอัด	31
3.4 ขนาดคละของหินเพอร์ไลต์สุกที่ใช้เป็นส่วนผสมในมอร์ต้าร์	32
3.5 การหาสัดส่วนผสมในห้องปฏิบัติการ	33
3.6 ปริมาณมวลรวมรวมในอัตราส่วนเป็นร้อยละของกลุ่มมอร์ต้าร์	35
3.7 ก้อนตัวอย่าง ก) สำหรับการทดสอบกำลังอัด ข) คานตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังดัด ค) ตัวอย่างทดสอบกำลังดึง และ ง) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	36
3.8 การบ่มตัวอย่างก้อนตัวอย่างมอร์ต้าร์ไว้ในถุงพลาสติก	36
3.9 การหาสมบัติ ก) สมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์ และ ข) การดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์ และทราย	38
3.10 การหาขนาดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง	39

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.11 การทดสอบหาค่าความคงตัว	40
3.12 ก้อนมอร์ตาร์ดทดสอบค่าดูดซึมน้ำแช่ใน โดแก้ว	40
3.13 การทดสอบสมบัติเชิงกลของก้อนมอร์ตาร์ด ก) กำลังอัด ข) กำลังคัคคาน คาน ค) กำลังดึง และ ง) มาตรฐานวัดค่าความเค้นและความเครียด	43
4.1 โครงสร้างผลึกของหินเพอร์ไลต์ดิบ โดยวิธี SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)	45
4.2 โครงสร้างผลึกของหินเพอร์ไลต์เผาสุก โดย SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)	46
4.3 ลักษณะกราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของหินเพอร์ไลต์เผาสุก	46
4.4 ขนาดคละของตัวอย่างหินเพอร์ไลต์เผาสุกที่ใช้หลอมมอร์ตาร์ด	48
4.5 ประเภทของมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์กับค่าอัตราการไหล	51
4.6 ค่าความหนาแน่นในของแต่ละกลุ่มมอร์ตาร์ดกับอายุการบ่ม	53
4.7 ค่าความคงตัวกับชุดอายุการบ่มแต่อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ดผสม เพอร์ไลต์	55
4.8 ค่าดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ดทุกกลุ่มกับช่วงอายุการบ่ม	57
4.9 ค่าการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ดกับอายุการบ่ม	59
4.10 กำลังอัดทรงลูกบาศก์กับช่วงอายุการบ่มของมอร์ตาร์ดทุกกลุ่ม	60
4.1 กำลังอัดทรงลูกบาศก์กับช่วงอายุการบ่มของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์	60
4.12 กำลังอัดกับช่วงอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์ด	61
4.13 กำลังอัดกับช่วงอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์	61
4.14 กำลังคัคกับอายุการบ่มของคานมอร์ตาร์ด	64
4.15 กำลังคัคกับอายุการบ่มของคานมอร์ตาร์ด	65
4.16 กำลังดึงกับอายุการบ่มของมอร์ตาร์ด	68
4.17 กำลังดึงกับอายุการบ่มของมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์	68
4.18 กำลังอัดกับความหนาแน่นของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์กลุ่ม HRRM	69
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นของกลุ่มมอร์ตาร์ดเพอร์ไลต์ เพอร์ไลต์ (PM)	

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นของกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (APM)	70
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นแห้งของกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (PM)	72
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าดูดซึมน้ำของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)	73
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าดูดซึมน้ำรวมของกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (HRRM)	73
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าดูดซึมน้ำของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)	74
4.25 กำลังอัดกับค่าการหดตัวแบบแห้งมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM)	75
4.26 กำลังอัดกับค่าการหดตัวของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM)	76
4.27 กำลังอัดกับค่าการหดตัวของกลุ่มมอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)	76
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัวสำหรับกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (PM)	78
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัวสำหรับกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (HRRM)	78
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับค่าความคงตัวสำหรับกลุ่มมอร์ตาร์ เพอร์ไลต์ (APM)	79
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังค้ำของมอร์ตาร์ผสม เพอร์ไลต์ (PM)	80
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังค้ำของมอร์ตาร์ผสม เพอร์ไลต์ (HRRM)	80
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังค้ำของมอร์ตาร์ผสม เพอร์ไลต์ (APM)	81

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดึงของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (PM)	82
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดึงของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (HRRM)	82
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับกำลังดึงของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (APM)	83
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัดกลุ่มมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (PM)	85
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัดกลุ่มมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (HRRM)	85
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังอัดกลุ่มมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์ (APM)	86
4.40 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอัตราส่วนผสม 1:2 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และโพรงเล็กๆ โครงสร้างประสานของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (กำลังขยาย 1000 เท่า)	88
4.41 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอัตราส่วนผสม 1:1:4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และโพรงเล็กเกิดขึ้น ทั่วแคลเซียมอยู่ขอบแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต และเริ่มปรากฏ อิตตริน ใจขึ้นทั่วไป (กำลังขยาย 1000 เท่า)	88
4.42 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอัตราส่วนผสม 1:1.5:4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และอิตตริน ใจขึ้นมากด้านซ้ายของภาพ (กำลังขยาย 1000 เท่า)	89
4.43 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบ SEM ของมอร์ตาร์ดผสมเพอร์ไลต์อัตราส่วนผสมอัตราส่วนผสม 1:2 :4 บ่ม 7 วัน มีรูเข็ม และโพรงกว้าง เกิดอิตตริน ใจน้อย และของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตแผ่นที่บวมขึ้น (กำลังขยาย 1000 เท่า)	89

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.44 การวัดของก้อนมอร์ตาร์หลังการทดสอบแรงอัด ก) การวัดของมอร์ตาร์อัตราส่วนผสม 1:2:4 และ ข) การวัดของมอร์ตาร์อัตราส่วนผสม 1:1:4 และ 1:1.5:4	90
4.45 ตัวอย่างลักษณะความเค้นกับความเครียด อายุการบ่ม 28 วัน แต่ละประเภท ก) มอร์ตาร์ควบคุม (OPM) ข) มอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (HRRM) ค) มอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (PM) และ ง) มอร์ตาร์เพอร์ไลต์ (APM)	92
4.46 การเปรียบเทียบต้นทุนด้านวัสดุการผลิตมอร์ตาร์	94
4.47 การเปรียบเทียบแนวโน้มของต้นทุนด้านวัสดุการผลิตมอร์ตาร์เพอร์ไลต์	94

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบเคมีของหินเพอร์ไลต์จากแหล่งต่างๆ และค่าพิสัยของหินเพอร์ไลต์ทั่วโลก (นิคม, 2539)	12
2.2 สารประกอบออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล, 2540)	16
2.3 สารประกอบเคมีในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Mindess and Young, 1981)	17
2.4 สมบัติโดยทั่วไปของคอนกรีตเบาของมวลรวมแต่ละประเภท (Neville, 1981)	24
3.1 อัตราส่วนผสมของมวลรวมในมอร์ตาร์ศึกษา	34
3.2 จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ	34
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในตัวอย่างหินเพอร์ไลต์เผาสุก	47
4.2 ขนาดผลึกของเม็ดหินเพอร์ไลต์สุก	47
4.3 ผลการหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินเพอร์ไลต์สุก	49
4.4 ผลการทดสอบค่าดูดซึมน้ำของหินเพอร์ไลต์และทรายละเอียด	49
4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้ของมอร์ตาร์สด	50
4.6 ผลการทดสอบความหนาแน่นรวมมอร์ตาร์ควบคุม และกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์	52
4.7 ผลการทดสอบความคงตัวของมอร์ตาร์ทุกกลุ่มและทุกอายุการบ่ม	54
4.8 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำมอร์ตาร์ควบคุม และกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์	56
4.9 ผลการทดสอบค่าการหดแบบแห้งของมอร์ตาร์ควบคุม และกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์	58
4.10 ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ควบคุม กลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์	62
4.11 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุมและกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์เปรียบเทียบกับแห้งตัวอย่างรูปทรงกระบอก	63
4.12 ผลการทดสอบกำลังคัด มอร์ตาร์ควบคุมและกลุ่มมอร์ตาร์ผสมหินเพอร์ไลต์	66
4.13 ผลการทดสอบกำลังดึงของมอร์ตาร์ทุกกลุ่มและทุกอายุการบ่ม	67
4.14 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กำลังอัดกับ ความหนาแน่นมอร์ตาร์	71
4.15 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กำลังอัดกับค่าดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์	75
4.16 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับค่าการหดตัวของมอร์ตาร์	77

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.17 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของกำลังอัดกับค่าความคงตัว	79
4.18 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กำลังอัดกับกำลังค้ำของมอร์ตาร์	81
4.19 ค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์กำลังอัดกับกำลังดึงของมอร์ตาร์	83
4.20 ค่าเฉลี่ยผลการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย	84
4.21 ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในแต่ละกลุ่ม	87
4.22 การเปรียบเทียบต้นทุนการสร้างผลิตภัณฑ์ของตัวอย่าง	93