

กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห่งของมอร์ต้าแบบมีฟองอากาศ  
ผสมแก้วลอยลิกไนต์และแก้วลอยเส้นใยปาล์ม



นายสุภากร หนูเกื้อ

ศูนย์วิทยพัทยาการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

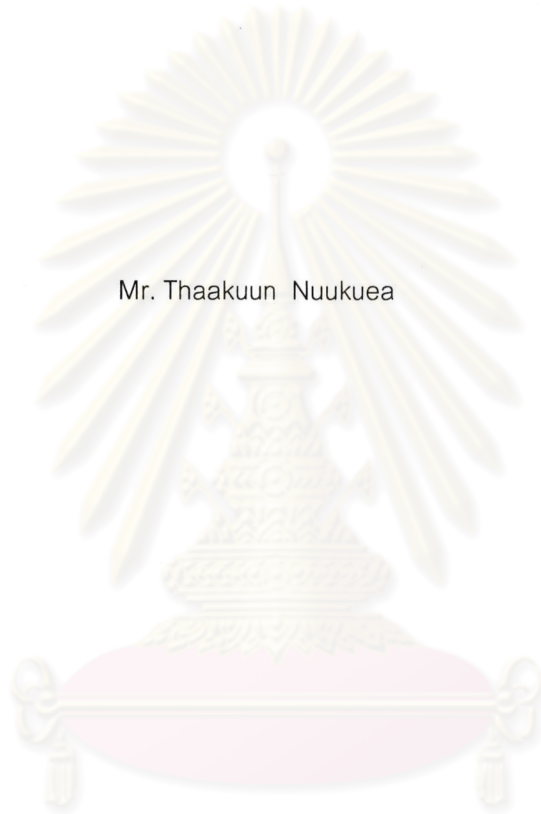
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4497-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPRESSIVE STRENGTH AND DRY DENSITY OF AIR ENTRAINED MORTAR  
INCORPORATING LIGNITE FLY ASH AND OIL PALM FIBER FLY ASH

Mr. Thaakuun Nuukuea



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2005

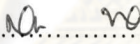
ISBN 974-17-4497-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์	กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าแบบมีฟองอากาศ ผสมถั่วงอกลิคไนต์และถั่วงอกเส้นใยปาล์ม
โดย	นาย ฐาภกร หนูเกื้อ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์)

ฐากร หนูเกื้อ : กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าแบบมีฟองอากาศผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม. (COMPRESSIVE STRENGTH AND DRY DENSITY OF AIR ENTRAINED MORTAR INCORPORATING LIGNITE FLY ASH AND OIL PALM FIBER FLY ASH)

อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. มนัสกร ราชากรกิจ , อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ 134 หน้า.

ISBN 974-17-4497-8.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุทดแทน โดยการนำมาใช้เป็นมวลรวมแทนที่ทราย เนื่องจากเมื่อผลผลิตปาล์มผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันแล้วจะทำให้เกิดของเสียที่เป็นของแข็ง และหลังจากผ่านการเผาแล้วก็จะเกิดเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเป็นจำนวนมาก โดยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่เกิดขึ้นนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาการฟุ้งกระจาย ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์โดยนำมาแทนที่ทรายซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการศึกษสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความละเอียด พื้นที่ผิวจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ ส่วนประกอบทางเคมี และส่วนประกอบทางแร่ นอกจากนี้ยังได้ศึกษา กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าขนาด 50 มิลลิเมตรทำการหล่อขึ้นโดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ เถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 และจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มโดยการแทนที่ทรายนั้นจะมีกำลังรับแรงอัดลดต่ำลง และมีความหนาแน่นต่ำด้วย โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเส้นใยปาล์มลงไปในส่วนผสมมอร์ต้ามากขึ้นกำลังรับแรงอัดยิ่งลดต่ำลง ความหนาแน่นแห้งก็ลดลง การใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ทรายในปริมาณน้อย (ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) นั้นจะไม่ทำให้เกิดผลเสียหายแก่มอร์ต้า ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์นั้นเมื่อนำไปผสมเพื่อหล่อมอร์ต้าช่วยให้ส่วนผสมมีการไหลลื่น และการทำงานที่ดี กำลังรับแรงอัดก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ ส่วนความหนาแน่นแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ฐากร หนูเกื้อ  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อ.ดร.  
ปีการศึกษา..... 2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... อ.ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

## 4670625421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : OIL PALM FIBER FLY ASH / AERATED CONCRETE / FLY ASH / COMPRESSIVE STRENGTH / LIGHT WEIGHT AGGREGATE

THAAKOON NUUKUEA : COMPRESSIVE STRENGTH AND DRY DENSITY OF AIR ENTRAINED MORTAR INCOPORATING LIGNITE FLY ASH AND OIL PALM FIBER FLY ASH. THESIS ADVISOR : MANASKORN RACHAKORNKIJ , Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 134 pp. ISBN 974-17-4497-8.

This research was conducted to examine the feasibility of using oil palm fiber fly ash as aggregate replacement material. The production of oil palm creates large quantity of solid waste by product. After combustion , substantial amount of oil palm fiber fly ash is produced which could create problems of disposal. A comparative study has also been conducted on experimental mortar using lignite fly ash as sand replacement material. Lignite fly ash and oil palm fiber fly ash were used for economical and environmental concerns. The properties of lignite fly ash and oil palm fiber fly ash namely fineness, specific surface area, specific gravity, chemical composition and mineralogical composition were determined. This study investigated the compressive strength and dry density of 50X50X50 mm mortar cubes made from mixture containing ordinary Portland cement, sand, water, lignite fly ash and oil palm fiber fly ash. The cement to sand ratio was 1:2.75 varying sand replacement sand with fly ash or oil palm fiber fly ash to 0% 5% 10% 15% and 20% were used.

Experimental results showed that the mortars containing oil palm fiber fly ash possessed unsatisfactory compressive strengths and low densities. The compressive strengths of mortars decreased with the oil palm fiber fly ash content in the mortars. The results suggested that the oil palm fiber fly ash could possibility be used in small amount (less than 20%) with ordinary Portland cement for production of mortar without detrimental effect. Workability of mortar incorporating the fly ash was categorized as good. The compressive strengths of the mortar cubes increased with increasing replacement percentage of sand with lignite fly ash.

Department Environmental Engineering Student's signature.....Thaa kuan.....  
Field of study Environmental Engineering Advisor's signature .....  
Academic year..... 2005 .....Co-Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความเมตตา และให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ยังให้ความกรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ในด้านต่างๆ รวมทั้งให้แง่คิดในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และแนะนำให้คำปรึกษาในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อการแก้ไข และปรับปรุงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์จันทวรรณ ตันเจริญ และคุณพิทยา ตั้งอนุรัตน์ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขื่อนแม่เมาะ ที่อนุเคราะห์ให้ถ้ำลอยลึกในตีในการทำวิจัย และขอขอบคุณบริษัททักซิณปาล์ม (2521) จำกัด ที่อนุเคราะห์ให้ถ้ำลอยเส้นใยปาล์มในการทำวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ถ้ำลอยลิกไนต์.....	4
2.2 ถ้ำลอยเส้นใยปาล์ม.....	8
2.3 ถ้ำลอยเส้นใยปาล์ม.....	14
2.4 การเร่งปฏิกิริยาของถ้ำลอยผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	20
2.5 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	32
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	34
3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี ส่วนประกอบเชิงแร่.....	34
3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้ง ของมอร์ต้าผสมถ้ำลอยลิกไนต์ และถ้ำลอยเส้นใยปาล์ม.....	35

3.2.3	ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของ มอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ.....	37
3.3	การวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	38
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	39
4.1	สมบัติพื้นฐานของวัสดุ.....	39
4.2	การศึกษาการแทนที่ทรายของเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์ในมอร์ต้า..	50
4.3	การศึกษามอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม และเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ..	73
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	88
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	90
	รายการอ้างอิง.....	91
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และมอร์ต้า ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา.....	96
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ.....	106
	ภาคผนวก ค. ค่าความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอย เส้นใยปาล์มบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา เถ้าลอยลิกไนต์ และแบบมีฟองอากาศ.....	112
	ภาคผนวก ง. ข้อมูลการวิเคราะห์โดย X-Ray Diffraction.....	119
	ภาคผนวก จ. มาตรฐาน มอก.1505-2541 .....	123
	ภาคผนวก ฉ. การเตรียมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม.....	131
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	134



ตารางที่ 2.1	การแบ่งชั้นคุณภาพของเก้าอลอยลิกไนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C618-96.....	5
ตารางที่ 2.2	ข้อกำหนดทางกายภาพมาตรฐาน ASTM C618-96.....	7
ตารางที่ 2.3	ปริมาณวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....	12
ตารางที่ 2.4	สัดส่วนออกไซด์ของธาตุต่างๆ ในปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	16
ตารางที่ 2.5	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	16
ตารางที่ 2.6	คุณสมบัติขององค์ประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	17
ตารางที่ 2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตที่ผ่านมา.....	28
ตารางที่ 2.8	ตารางสรุปอัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตที่ผ่านมา.....	31
ตารางที่ 3.1	สัดส่วนในการผสมเพื่อหลอมอร์ตตามสมเก้าอลอยลิกไนต์.....	36
ตารางที่ 3.2	สัดส่วนในการผสมเพื่อหลอมอร์ตตามสมเก้าอลอยเส้นใยปาล์ม.....	36
ตารางที่ 3.3	สัดส่วนในการผสมเพื่อหลอมอร์ตตามสมเก้าอลอยเส้นใยปาล์มบด.....	36
ตารางที่ 3.4	สัดส่วนในการผสมเพื่อหลอมอร์ตตามสมเก้าอลอยเส้นใยปาล์มเผา.....	37
ตารางที่ 3.5	ส่วนผสมมอร์ตตามสมเก้าอลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ.....	37
ตารางที่ 3.6	ส่วนผสมมอร์ตตามสมเก้าอลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ.....	38
ตารางที่ 4.1	ขนาดอนุภาคของเก้าอลอยลิกไนต์ เก้าอลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์.....	41
ตารางที่ 4.2	พื้นที่ผิวจำเพาะของเก้าอลอยลิกไนต์ เก้าอลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์.....	42
ตารางที่ 4.3	ความถ่วงจำเพาะของทราย เก้าอลอยลิกไนต์ เก้าอลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	43
ตารางที่ 4.4	ส่วนประกอบทางเคมีของเก้าอลอยลิกไนต์เก้าอลอยเส้นใยปาล์ม และปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์.....	46
ตารางที่ 4.5	การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเก้าอลอยลิกไนต์ และเก้าอลอย เส้นใยปาล์มกับมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์.....	47
ตารางที่ 4.6	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตเมื่อแทนที่ทรายด้วยเก้าอลอยเส้นใยปาล์ม ในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	51
ตารางที่ 4.7	ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ตเมื่อแทนที่ทรายด้วยเก้าอลอย เส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตธรรมดา.....	54

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม ในปริมาณต่างๆ.....	55
ตารางที่ 4.9 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมบด ในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	56
ตารางที่ 4.10 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มมบดในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา.....	58
ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมบด ในปริมาณต่างๆ.....	59
ตารางที่ 4.12 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา ในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	60
ตารางที่ 4.13 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอย เส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา.....	62
ตารางที่ 4.14 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา ในปริมาณต่างๆ.....	63
ตารางที่ 4.15 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณต่างๆ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	65
ตารางที่ 4.16 ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ เปรียบเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา.....	67
ตารางที่ 4.17 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์.....	68
ตารางที่ 4.18 แสดงค่ากำลังรับ และร้อยละกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าลอย เส้นใยปาล์ม เถ้าลอยเส้นใยปาล์มมบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์...72	72
ตารางที่ 4.19 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม เถ้าลอย เส้นใยปาล์มมบด เถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา และเถ้าลอยลิกไนต์.....	73
ตารางที่ 4.20 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	75
ตารางที่ 4.21 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ.....	77
ตารางที่ 4.22 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ ที่อายุการบ่มต่างๆ กัน.....	78
ตารางที่ 4.23 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ.....	80

ตารางที่ 4.24	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตตามสมแก้วลอยลิกไนต์ และแก้วลอยเส้นใย ปาล์มแบบมีฟองอากาศ.....	82
ตารางที่ 4.25	กำลังรับแรงอัดของมอร์ตตามสมทรายและแก้วลอย เมื่อปรมด้วยน้ำ และปรม ด้วยวิธีอบไอน้ำอุณหภูมิ และความดันสูง.....	83
ตารางที่ 4.26	กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตตามสมแก้วลอยลิกไนต์ และแก้วลอยเส้นใยปาล์มแบบมีฟองอากาศ.....	84
ตารางที่ 4.27	ค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	85
ตารางที่ 4.28	รายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อนเมื่อใช้แก้วลอย ลิกไนต์แทนที่ทรายร้อยละ 20 และใช้แก้วลอยเส้นใยปาล์มแทนที่ทรายที่อัตราร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ.....	87
ตารางที่ ๕1	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตมาตรฐาน OPC.....	97
ตารางที่ ๕2	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์ม OPA 5.....	97
ตารางที่ ๕3	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์ม OPA 10.....	98
ตารางที่ ๕4	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์ม OPA 15.....	98
ตารางที่ ๕5	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์ม OPA 20.....	99
ตารางที่ ๕6	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มบด OPM 5....	100
ตารางที่ ๕7	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มบด OPM 10...	100
ตารางที่ ๕8	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มบด OPM 15...	101
ตารางที่ ๕9	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มบด OPM 20 ..	101
ตารางที่ ๕10	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 5...	102
ตารางที่ ๕11	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 10.	102
ตารางที่ ๕12	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 15.	103
ตารางที่ ๕13	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 20.	103
ตารางที่ ๕14	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยลิกไนต์ FA 5.....	104
ตารางที่ ๕15	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยลิกไนต์ FA 10 .....	104
ตารางที่ ๕16	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยลิกไนต์ FA 15.....	105
ตารางที่ ๕17	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตตาแทนที่ทรายด้วยแก้วลอยลิกไนต์ FA 20 .....	105
ตารางที่ ๕18	ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตมาตรฐาน OPC แบบมีฟองอากาศ .....	107

ตารางที่ ผ19 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 5 แบบมีฟองอากาศ.....	107
ตารางที่ ผ20 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 10 แบบมีฟองอากาศ.....	108
ตารางที่ ผ21 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 15 แบบมีฟองอากาศ.....	108
ตารางที่ ผ22 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา OPB 20 แบบมีฟองอากาศ.....	109
ตารางที่ ผ23 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ FA 5 แบบมีฟองอากาศ.....	110
ตารางที่ ผ24 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ธรรมชาติ FA 10 แบบมีฟองอากาศ.....	110
ตารางที่ ผ25 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ธรรมชาติ FA 15 แบบมีฟองอากาศ.....	111
ตารางที่ ผ26 ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ธรรมชาติ FA 20 แบบมีฟองอากาศ.....	111
ตารางที่ ผ27 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม.....	113
ตารางที่ ผ28 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบด.....	114
ตารางที่ ผ29 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา.....	115
ตารางที่ ผ30 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์.....	116
ตารางที่ ผ31 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ...	117
ตารางที่ ผ32 ความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ.....	118
ตารางที่ ผ33 ผลการวิเคราะห์โดย X-Ray Diffraction ของตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์.....	120
ตารางที่ ผ34 ผลการวิเคราะห์โดย X-Ray Diffraction ของตัวอย่างเถ้าลอยเส้นใยปาล์ม.....	121
ตารางที่ ผ35 ผลการวิเคราะห์โดย X-Ray Diffraction ของตัวอย่างเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา....	122
ตารางที่ ผ36 ชั้นคุณภาพ และชนิดของคอนกรีตมวลเบา มอก.1505-2541.....	124
ตารางที่ ผ37 อัตราเพิ่มแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา มอก.1505-2541.....	129

รูปที่ 2.1	กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง decanter.....	10
รูปที่ 2.2	กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง separator.....	11
รูปที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบของเส้นโค้งการกระจายขนาดอนุภาคของถั่วลอยเส้นใยปาล์ม ถั่วลอยเส้นใยปาล์มบด ถั่วลอยเส้นใยปาล์มเผา ถั่วลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และทราย.....	40
รูปที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของถั่วลอยลิกไนต์.....	48
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของถั่วลอย เส้นใยปาล์ม.....	49
รูปที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์โดย X-ray Diffraction Spectrometry (XRD) ของถั่วลอย เส้นใยปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส.....	49
รูปที่ 4.5	มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ.....	51
รูปที่ 4.6	การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์ม ในปริมาณต่างๆ.....	52
รูปที่ 4.7	การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทราย และแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ.....	53
รูปที่ 4.8	กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอย เส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ.....	55
รูปที่ 4.9	มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์มบดในปริมาณต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.10	การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์มบด ในปริมาณต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.11	กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอย เส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆ.....	59
รูปที่ 4.12	มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยเส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.13	การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอย เส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ.....	62
รูปที่ 4.14	กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอย เส้นใยปาล์มเผาในปริมาณต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.15	มอร์ตาเมื่อแทนที่ทรายด้วยถั่วลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ.....	66

รูปที่ 4.16 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.17 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าเมื่อแทนที่ทราย ด้วยเถ้าลอยลิกไนต์.....	69
รูปที่ 4.18 กำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอย เส้นใยปาล์ม ที่อายุการบ่ม 3 วัน.....	70
รูปที่ 4.19 กำลังรับแรงอัด และร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอย เส้นใยปาล์ม ที่อายุการบ่ม 28 วัน.....	71
รูปที่ 4.20 มอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มในปริมาณต่างๆแบบมีฟองอากาศ.....	75
รูปที่ 4.21 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาแบบมีฟองอากาศ	76
รูปที่ 4.22 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผา แบบมีฟองอากาศ.....	77
รูปที่ 4.23 มอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณต่างๆ แบบมีฟองอากาศ.....	79
รูปที่ 4.24 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์แบบมีฟองอากาศ.....	79
รูปที่ 4.25 กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้งของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยลิกไนต์ แบบมีฟองอากาศ.....	81
รูปที่ ผ1 ตำแหน่งวัดความกว้างและความยาว (มอก.1505-2541).....	125
รูปที่ ผ2 ตำแหน่งวัดความหนา (มอก.1505-2541).....	125
รูปที่ ผ3 การวัดความได้ฉาก (มอก.1505-2541).....	126
รูปที่ ผ4 เถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ได้รับจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....	132
รูปที่ ผ5 การตัดเศษผงถ่านที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ออก.....	132
รูปที่ ผ6 เศษถ่านที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ตัดแยกออกมา.....	132
รูปที่ ผ7 เถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่อบแห้ง.....	133
รูปที่ ผ8 เศษถ่านที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่แยกออกหลังจากอบแห้ง.....	133
รูปที่ ผ9 เศษถ่านขนาดเล็กที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่แยกออก.....	133

## สัญลักษณ์และคำย่อ

C-A-H	=	แคลเซียมออกไซด์ไฮดรอกไซด์
C-S-H	=	แคลเซียมซัลไฟด์ไฮดรอกไซด์
FAX	=	มอร์ตาร์แทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ X โดยน้ำหนัก
LOI	=	Loss on Ignition ค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผา
OPC	=	มอร์ตาร์ธรรมดา
OPAX	=	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มที่ปริมาณร้อยละ X โดยน้ำหนัก
OPMX	=	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มบดร้อยละ X โดยน้ำหนัก
OPBX	=	มอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเผาร้อยละ X โดยน้ำหนัก
PX	=	มอร์ตาร์โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอยเส้นใยปาล์มเท่ากับร้อยละ X โดยน้ำหนัก
XRF	=	X-Ray Fluorescence Spectrometry
XRD	=	X-Ray Diffraction Spectroscopy

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย