ผลของการคัดแยกมูลฝอยของเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ที่มีต่อการทำเถ้าลอยให้เป็นก้อน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายปราโมทย์ พรหมทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3642-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21233068

EFFECTS OF SOLID WASTE SORTING OF PHUKET MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION PLANT ON SOLIDIFICATION OF FLY ASH

Mr. Pramote Promthong

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

Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2003
ISBN 974-17-3642-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการคัดแยกมูลฝอยของเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ที่มีต่อการทำเถ้าลอยให้เป็นก้อน
โดย	นายปราโมทย์ พรหมทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

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

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

ปราโมทย์ พรหมทอง : ผลของการคัดแยกมูลฝอยของเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตที่มีต่อการทำเถ้าลอยให้เป็นก้อน .(EFFECTS OF SOLID WASTE SORTING OF PHUKET MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION PLANT ON SOLIDIFICATION OF FLY ASH) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. มนัสกร ราชากรกิจ ; 135 หน้า. ISBN 974-17-3642-8

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการทำลายฤทธิ์และใช้ประโยชน์ของเถ้าลอย ที่ผ่านกระบวนการเผามูลฝอยของโรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ทั้งที่มีการคัดแยกมูลฝอยและไม่มีการคัดแยกมูลฝอยก่อนการเผา โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอย อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนโดยใช้เถ้าลอยผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยในการนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อเป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อก และประมาณการค่าใช้จ่ายในการทำคอนกรีตบล็อก ซึ่งการวิจัยทำการทดสอบความหนาแน่น กำลังต้านแรงอัด ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) พีเอชและปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอย สรุปได้ว่าเถ้าลอยจากโรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตทั้งที่มีการคัดแยกมูลฝอยและไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C 618 ขนาดอนุภาคเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยมีขนาดใหญ่กว่าเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยแต่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบกว่า ซึ่งผลจากการคัดแยกมูลฝอยทำให้คลอไรด์(Cl) ในเถ้าลอยลดลง โดยที่ปริมาณโลหะหนัก Ag Ba Cd Cr และ Pb ในน้ำชะละลายของเถ้าลอยทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ปริมาณตะกั่ว (Pb) มีค่าสูงควรมีการทำลายฤทธิ์ไม่ให้ไปกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อทำการหล่อก้อนมอร์ตาโดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และใช้เถ้าลอยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าลอย โดยก้อนมอร์ตาที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยที่คัดแยกมูลฝอยมีค่าสูงกว่าก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งที่อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 เป็นอัตราส่วนการแทนที่สูงสุดที่ให้ค่ากำลังต้านแรงอัดผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน พบว่าก้อนมอร์ตาที่ให้กำลังต้านแรงอัดสูงสุดมีอัตราส่วนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ทั้งนี้ก้อนมอร์ตาที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมมีการพัฒนากำลังต้านแรงอัดที่ระยะบ่มต่างๆ ค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับมอร์ตาที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน และเมื่อทำการหล่อก้อนคอนกรีตบล็อกซึ่งใช้หินฝุ่นแทนทราย ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่าลดลง คิดเป็นร้อยละ 51 และ 58 เมื่อเทียบกับก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย โดยที่ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนตัวตัวอย่างลดลงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ภาควิชา ....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.......... ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา ......วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม........ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..

ปีการศึกษา.............2546..................

##4370381021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : SOLID WASTES / INCINERATION PLANT / SORTING / FLY ASH / SOLIDIFICATION

PRAMOTE PROMTHONG : EFFECTS OF SOLID WASTE SORTING OF PHUKET MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION PLANT ON SOLIDIFICATION OF FLY ASH. THESIS ADVISOR : MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., 135 pp. ISBN 974-17-3642-8.

This research aimed to study the changes in properties of fly ash before and after sorting of incoming municipal solid waste streams at the incineration facility in Phuket. The parameters being studied were physical and chemical characteristics of fly ash, ratio of fly ash to cement, ratio of water to binder, and curing time of specimens. Optimal recipe and conditions found were then used in production of concrete masonry using both types of fly ash to partially replace cement and the cost of product was also estimated. Density, unconfined compressive strength, pH value and leached heavy metal concentrations of the product specimens were tested according to the Notification of Ministry of Industry No.6 (1997) as well as compared against the standard specifications for hollow load-bearing concrete masonry (TISI 57-1987).

The results indicated that due to the physical and chemical characteristics of both sorted and unsorted fly ash, they could not be classified as a pozzolanic material according to ASTM C618. This also revealed that unsorted fly ash particles were larger in size while the size distribution was narrower than that of the sorted fly ash. For the sorting, the chloride (Cl) in the fly ash decreased. The heavy metal concentrations of the leachates of both types of fly ash were well within the standards. Nonetheless, the quantity of lead (Pb) was significant and should be of some concern. Both types of fly ash were then used to partially replace cement in fly ash-cement mortars with a binder-to-sand ratio of 1:2.75. As the amount of fly ash was increased, the density and the unconfined compressive strength decreased. The highest unconfined compressive strength of fly ash-cement mortars was found at the cement replacement percentage of 30 and the water-to-binder ratio of 0.50, which met the standard specifications for hollow load-bearing concrete masonry. The fly ash-cement mortars had relatively lower compressive strength at any curing age compared with the control mortars. The 28-day unconfined compressive strengths of hollow load-bearing fly ash-concrete masonry using sorted and unsorted fly ash, which used crushed stone instead of sand, were 58 and 51 percent of the control, respectively. Finally, the amount of all heavy metals in leachates of both fly ash-concrete bricks met the regulatory limits.

Department ....Environmental Engineering...... Student's signature Pramote Promthong

Field of study .....Environmental Engineering...... Advisor's signature ....

Academic year ....2003.....................

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมูลนิธิพระบรมราชานุสรณ์พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี กองทุนส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณ อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากในงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วง

ขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

ขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับอุปกรณ์บางส่วนและสถานที่ในการทำงานวิจัย โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่เทศบาลเมืองภูเก็ต โรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตและโรงคัดแยกมูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและเถ้าลอยที่นำมาใช้ในการวิจัย

ขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด วรวิทย์วัสดุก่อสร้าง และห้างหุ้นส่วนจำกัด สมกมลโรจนะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่อนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ทดลองทำคอนกรีตบล็อก

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและผู้ร่วมงานกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ให้การสนับสนุนและให้โอกาสในศึกษาและทำงานวิจัย

ขอบคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ ทั้งในขณะศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ญ
สารบัญรูป		ฑ
สัญลักษณ์และคำย่อ		ด
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1 ศัพท์และความหมาย	5
	2.2 การแยกองค์ประกอบมูลฝอย	5
	2.3 การกำจัดมูลฝอยในเตาเผา	8
	2.4 เถ้าจากเตาเผามูลฝอย	14
	2.5 โลหะหนัก	16
	2.6 ปูนซีเมนต์	16
	2.7 การทำเสถียรของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	19
	2.8 การประเมินคุณภาพของเสียที่ผ่านการทำเป็นก้อน	28
	2.9 เกณฑ์มาตรฐานการในการระบุของเสียอันตราย	28
	2.10 การศึกษาที่ผ่านมา	32
บทที่ 3	แผนการดำเนินการวิจัย	40
	3.1 การเตรียมการวิจัย	40
	3.2 การดำเนินการวิจัย	45
	การทดลองที่ 1 ทดสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทดลองที่ 2 การศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน..... 46
การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน 47
การทดลองที่ 4 การศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง 48
การทดลองที่ 5 การศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก 49

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล........ 50
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ 50
4.2 ผลการศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน........ 62
4.3 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน........ 68
4.4 ผลการศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง 74
4.5 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก 82

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ........ 88
5.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ........ 88
5.2 อัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน........ 89
5.3 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน........ 90
5.4 ผลของระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง........ 90
5.5 การใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก........ 90
5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต........ 91

รายการอ้างอิง........ 92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ................ 97

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองหล่อก้อนมอร์ตา และคอนกรีตบล็อก........................ 105

ภาคผนวก ค ข้อมูลปริมาณมูลฝอยและวัสดุที่คัดแยก.. 116

ภาคผนวก ง รายละเอียดการทดลอง... 120

ภาคผนวก จ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 124

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 135

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1เทคนิคในการแยกมูลฝอย และการประยุกต์ใช้... 7

2.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่ปล่อยจากเตาเผามูลฝอย.. 13

2.3 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C168 – 85 14

2.4 ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ และสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 17

2.5 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน.................................... 21

2.6 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ 22

2.7 ประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสม ในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อน 25

2.8 ค่ามาตรฐานของสารพิษต่าง ๆ จากการทดสอบด้วยวิธี TCLP 29

2.9 แสดงช่วงของของเสียอันตราย และของเสียเฉื่อย 31

3.1 ผลการศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก
ในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน 46

3.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน 47

3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง.. 48

3.4 ผลการศึกการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วน
ของคอนกรีตบล็อก 49

4.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยลิกไนต์...................................... 50

4.2 ขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย 53

4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์
เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.................... 60

4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยที่ไม่มี
การคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย (ASTM C618-96) 61

4.5 ปริมาณโลหะหนักและพีเอช(pH) ในน้ำชะเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและ
เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.. 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ ของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน 63

4.7 กำลังต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ ของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน 64

4.8 พีเอช (pH) ในน้ำชะก้อนตัวอย่างของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่อัตราส่วนต่างๆ 66

4.9 ปริมาณโลหะหนักในก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนการแทนที่ต่างๆ 67

4.10 ปริมาณโลหะหนักในก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนการแทนที่ต่างๆ 68

4.11 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 69

4.12 กำลังต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 71

4.13 พีเอช (pH) ในน้ำชะก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 73

4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 73

4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 74

4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ 74

4.17 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ 75

4.18 กำลังต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ 77

4.19 พีเอช (pH) ของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ 80

4.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.. 81

4.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ 81

4.22 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ 81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.23 น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ.. 83
4.24 กำลังต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ.. 84
4.25 พีเอช (pH) ของคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ.. 84
4.26 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ.. 85
4.27 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตชนิดต่างๆ.. 86
4.28 ราคาวัสดุเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน............................ 86
4.29 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน เมื่อใช้เถ้าลอยแทนที่
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.......................... 87

ภาคผนวก

ผ-1 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยก
มูลฝอยแทนที่ปูนซีเมนต์อัตราการส่วนต่างๆ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน 106
ผ-2 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีเถ้าลอยที่มีการคัดแยกซีเมนต์
มูลฝอยแทนที่อัตราการส่วนต่างๆ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.................................... 107
ผ-3 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อ
วัสดุประสานต่างๆ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.. 108
ผ-4 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.................................. 109
ผ-5 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.................................... 110
ผ-6 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีเถ้าลอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.... 111
ผ-7 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.. 112
ผ-8 ความหนาแน่นและกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่
ระยะเวลาบ่มต่างๆ.. 113
ผ-9 น้ำหนักและกำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีเถ้าลอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ... 114
ผ-10 น้ำหนักและกำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.. 114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ผ-11 น้ำหนักและกำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.. 115
ผ-12 ปริมาณมูลฝอยและเถ้า ณ โรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2546................ 117
ผ-13 น้ำหนักวัสดุจากการคัดแยก ณ โรงคัดแยกมูลฝอยจังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2546............ 118
ผ-14 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติมูลฝอยเฉลี่ยรายเดือน ณ โรงเผามูลฝอยจังหวัดภูเก็ต... 119

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนการทำงานของเตาเผามูลฝอยชุมชน 12
2.2 การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน 19
2.3 กราฟแสดงพีเอชและความเป็นด่างสะสมจากการสกัด 15 ครั้ง 26
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายความเป็นด่างถูกชะละลาย และซิลิกอนถูกชะละลาย จากการสกัด 15 ครั้ง 27
2.5 แผนภาพ pC-pH สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว 27
3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย. 41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ................ 42
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทำก้อนและทดสอบกำลังต้านแรงอัด.. 43
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักโดยการสกัดสาร............................ 44
4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.................. 51
4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของเถ้าลอยที่ไม่มีการคักแยกมูลฝอย......... 52
4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.......... 52
4.4 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.......... 53
4.5 การเปรียบเทียบการกระจายตัวสะสมของขนาดอนุภาคสะสมโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย 53
4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 55
4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยและไม่กระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ 56
4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย.. 57
4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.. 58
4.10 เปรียบเทียบความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ กับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	กำลังต้านแรงอัดของ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ.....	65
4.12	กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ เทียบกับกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย........	65
4.13	ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย........	70
4.14	กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย	71
4.15	กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย........	72
4.16	ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ	76
4.17	กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ........	77
4.18	รับแรงอัดของก้อนก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆเทียบกับกำลังต้านแรงอัดที่ 28 วัน........	78
4.19	กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เทียบกับก้อนก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ........	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ภาคผนวก

ผ-1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.................... 98

ผ-2 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย....... 99

ผ-3 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย......... 100

ผ-4 เปรียบเทียบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย.......................... 101

ผ-5 เปรียบเทียบการกระจายตัวสะสมของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย........ 102

ผ-7 แสดงขั้นตอนการหล่อก้อนตัวอย่าง 121

ผ-8 ขั้นตอนการทดสอบการชะละลาย 123

สัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
C_2S	=	$2CaO.SiO_2$, ไดคัลเซียมซิลิเกต
C_3A	=	$3CaO.Al_2O_3$, ไตรคัลเซียมอลูมิเนต
C_3S	=	$3CaO.SiO_2$, ไตรคัลเซียมซิลิเกต
CH	=	คัลเซียมไฮดรอกไซด์
C-S-H	=	คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท
$d_{10\%}$	=	ขนาดอนุภาคที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 10
ICP	=	Inductively Couple Plasma
kg/cu.m.	=	kilogram per cubic meter
ksc.	=	kilogram per square centimeter
LOI	=	Loss on Ignition
mg/l	=	milligram per litre
NIMBY	=	Not In My Back Yard Syndrome
NS-FA XX	=	มอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
SEM	=	Scanning Electron Microscope
S-FA XX	=	มอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย
TCLP	=	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TISI	=	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
W/B	=	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
XRF	=	X-Ray Fluorescence Spectroscopy