

การนำถั่วลยจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน

นางสาวพจนีย์ อินทสโร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0949-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR
FLY ASH AS A PARTIAL CEMENT REPLACEMENT



Miss Podjane Inthasaro

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Inter-Departmental Program in Environmental Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0949-8

I 20477417

ธ.บ. 2548

Thesis Title Utilization of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash
as a Partial Cement Replacement
By Miss Pcdjane Inthasaro
Field of Study Environmental Management
Thesis Advisor Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.
Thesis Co-advisor Professor Methi Wecharatana, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master 's Degree

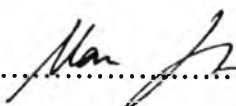


..... Dean of Graduate School
(Professor Suchada Kiranandana, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE



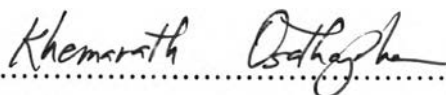
..... Chairman
(Assistant Professor Sutha Khaodhiar, Ph.D.)



..... Thesis Advisor
(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)



..... Member
(Associate Professor Chai Jaturapitakkul, Ph.D.)



..... Member
(Khemarath Osathaphan, Ph.D.)

พจนีย์ อินทสโร : การนำเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน.
(UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR FLY ASH AS A
PARTIAL CEMENT REPLACEMENT) อ. ที่ปรึกษา : ดร. มนัสกร ราชากรกิจ, อ. ที่
ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. เมธี เวชารัตนา 76 หน้า. ISBN 974-17-0949-8.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ของเถ้า
ลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน จังหวัดภูเก็ต เพื่อนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ตาร์
คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยเตาเผาขยะที่ทำการทดสอบประกอบ
ด้วยความต้องการน้ำ ระยะเวลาก่อตัว และการพัฒนากำลังรับแรงอัด หลักการเลี้ยวเบนโดยรังสี
เอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เฟสผสมเถ้าลอยเตา
เผาขยะ นอกจากนั้นยังได้ทำการทดสอบลักษณะของน้ำชะจากก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอย
เตาเผาขยะตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 เพื่อศึกษา
ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมในการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์

ผลการทดสอบคุณสมบัติของเถ้าลอยเตาเผาขยะสรุปได้ว่าเถ้าลอยชนิดนี้ไม่สามารถจัด
เป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C618 และเมื่อนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์พบว่า
กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ลดลง ความต้องการน้ำและระยะเวลาก่อตัวเมื่อเปรียบเทียบกับ
ซีเมนต์มอร์ตาร์ธรรมดาเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้เถ้าลอยเตาเผาขยะสามารถนำมาใช้ทดแทนปูน
ซีเมนต์ในส่วนผสมได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยสัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย 1
ต่อ 2.75 และปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน 0.485 ต่อ 1 ซึ่งจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน
ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ตาร์ธรรมดา ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
ในน้ำชะทั้งจากเถ้าลอยเตาเผาขยะและจากก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยชนิดนี้พบว่ามีความต่ำ
กว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวง

สหสาขาวิชา...การจัดการสิ่งแวดล้อม...ลายมือชื่อนิสิต..... พจนีย์ อินทสโร.....
สาขาวิชา.....การจัดการสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ดร.
ปีการศึกษา.....2545.....

4389419520 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

KEY WORD: FLY ASH / MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW) / INCINERATOR / MORTAR / LEACHATE

PODJANEE INTHASARO : UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR FLY ASH AS A PARTIAL CEMENT REPLACEMENT. THESIS ADVISOR : MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. METHI WECHARATANA, Ph.D., 76 pp. ISBN 974-17-0949-8.

The research was conducted to investigate the physical properties, chemical and mineralogical compositions of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash collected from mass-burn incinerator in Phuket, Thailand. MSWI fly ash was used to replace cement for making fly ash-cement mortars. Mechanical properties of MSWI fly ash mortar under investigation included water requirement, setting time, and compressive strength. The development of hydration and pozzolanic reactions of fly ash-cement pastes was also conducted using X-ray diffraction (XRD) analysis. Solidified fly ash products were evaluated for their environmental safety by performing the leachate extraction procedure described in the Notification of Ministry of Industry No. 6 (1997).

The experimental results indicated that MSWI fly ash could not be classified as a pozzolanic material according to ASTM C618 requirements. MSWI fly ash mortars showed slightly lower compressive strengths and longer setting times as well as required more water to obtain normal consistency than the control. MSWI fly ash can be used to directly replace Portland cement up to 15 percent by weight with a 1 : 2.75 ratio of binder to sand and a water to binder ratio of 0.485. The 28-day unconfined compressive strength of this optimum mortar mix possessed satisfactory strength of about 90% of the control. Finally, the amounts of all heavy metals in leachates of both MSWI fly ash and solidified MSWI fly ash products met the regulatory limits.

Inter-department..Environmental Management..Student's signature.....*P. Inthasaro*.....

Field of study...Environmental Management...Advisor's signature.....*M. Wecharatana*.....

Academic year.....2002.....

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my sincere gratitude to my thesis advisor, Dr. Manaskorn Rachakornkij for his encouragement, invaluable support, and kindness guidance throughout my work. His comments and suggestions not merely provide valuable knowledge but broaden perspective in practical applications as well. I am grateful to Prof. Methi Wecharatana, my thesis co-advisor, Assist. Prof. Sutha Khaodhiar, Chairman of the committee, Assoc. Prof. Chai Jaturapitakkul and Dr. Khemarath Osathaphan, members of thesis committee for many valuable comments.

I am grateful to the Environmental Research Institute of Chulalongkorn University (ERIC), all staff and students in the National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHWM) Program. Special thanks to Concrete and Material Laboratories, Department of Civil Engineering, for lab instrument supporting. Moreover, I would like to express gratitude to Department of Geology, Faculty of Science, especially Mrs. Jirapapa Niempan who gives many helpful suggestions.

Finally I feel proud to dedicate this thesis with due respect to my beloved parents and brothers for their wholehearted understanding, encouragement, and patient support throughout my entire study.

CONTENTS

	Pages
ABSTRACT IN THAI.....	iv
ABSTRACT IN ENGLISH.....	v
ACKNOWLEDGMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF FIGURES.....	x
LIST OF TABLES.....	xii
NOMENCLATURES.....	xiii
CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 General.....	1
1.2 Objectives.....	3
1.3 Scopes of the Study.....	4
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW.....	5
2.1 Characterization of MSWI Fly Ash.....	5
2.2 Properties of MSWI Fly Ash as a Cement Replacement.....	10
2.3 Hydration and Pozzolanic Reactions of MSWI Fly Ash-Cement Pastes.....	13
2.4 Leaching and Extraction Procedures.....	18
CHAPTER 3 METHODOLOGY.....	22
3.1 Materials.....	22
3.1.1 MSWI Fly Ash Sample.....	22
3.1.2 Portland Cement.....	22
3.1.3 Sand.....	23
3.1.4 Water.....	23

CONTENTS (Cont.)

	Pages
3.2 Experimental Programs.....	23
3.2.1 Characterization of MSWI Fly Ash.....	23
3.2.1.1 Sieve analysis.....	23
3.2.1.2 Particle Size and Specific Surface.....	23
3.2.1.3 Bulk Specific Gravity.....	24
3.2.1.4 Moisture Content and Loss on Ignition (LOI)....	24
3.2.1.5 pH and Conductivity.....	25
3.2.1.6 Morphology.....	25
3.2.1.7 Bulk Chemical Compositions.....	25
3.2.1.8 Mineralogical Compositions.....	26
3.2.2 Properties of Portland Cement with MSWI Fly Ash.....	27
3.2.2.1 Normal Consistency and Setting Time.....	27
3.2.2.2 Compressive Strength Development of MSWI Fly Ash-Cement Mortars.....	27
3.2.2.3 Development of Hydration and Pozzolanic Reactions in MSWI Fly Ash-Cement Pastes.....	29
3.2.3 Leachate Characteristics of MSWI Fly Ash-Cement Products.....	29
 CHAPTER 4 RESULTS AND DISCUSSIONS.....	 31
4.1 Characterization of MSWI Fly Ash.....	31
4.1.1 Sieve analysis.....	31
4.1.2 Particle Size and Specific Surface Area.....	33
4.1.3 Bulk Specific Gravity.....	36
4.1.4 Moisture Content and Loss on Ignition (LOI).....	37
4.1.5 pH and Conductivity.....	38
4.1.6 Morphology.....	38

CONTENTS (Cont.)

	Pages
4.1.7 Bulk Chemical Compositions.....	41
4.1.8 Mineralogical Compositions.....	46
4.2 Properties of Portland Cement with MSWI Fly Ash.....	49
4.2.1 Normal Consistency and Setting Time.....	49
4.2.2 Compressive Strength Development of MSWI Fly Ash- Cement Mortars.....	50
4.2.3 Development of Hydration and Pozzolanic Reactions in MSWI Fly Ash-Cement Pastes.....	54
4.3 Leachate Characteristics of MSWI Fly Ash-Cement Products.....	61
 CHAPTER 5 CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS FOR FUTURE WORKS	 63
5.1 Characterization of MSWI Fly Ash.....	63
5.2 Properties of Portland Cement with MSWI Fly Ash.....	64
5.3 Leachate Characteristics of MSWI Fly Ash-Cement Products.....	65
5.4 Suggestions for Future Works.....	65
 REFERENCES.....	 66
APPENDICE.....	71
BIOGRAPHY.....	76

LIST OF FIGURES

	Pages
3.1 Raw MSWI Phuket Fly Ash, Sifted MSWI Fly Ash, and Portland Cement.....	22
3.2 Example of Diffraction Pattern Obtained form XRD Spectrometer.....	26
3.3 Preparation and Testing MSWI Fly Ash-Cement Mortar Specimens.....	28
4.1 Grain Size Distribution Curve of Raw Phuket MSWI Fly Ash.....	31
4.2 Grain Size Distribution Curves of Phuket and NJIT1 MSWI Fly Ashes...	32
4.3 Particle Size Distribution and Cumulative Curves of Sifted MSWI Fly Ash	33
4.4 Comparison of Cumulative Particle Size Distribution Curve of Sifted MSWI Fly Ash, Coal Fly Ash, and Portland Cement.....	34
4.5 SEM Photographs of Phuket MSWI Fly Ash.....	39
4.6 SEM Photographs of Portland Cement and Coal Fly Ash.....	40
4.7 XRD Spectrum of Phuket MSWI Fly Ash.....	47
4.8 XRD Spectrum of Mae Moh Coal Fly Ash.....	47
4.9 XRD Spectrum of Ordinary Portland Cement.....	48
4.10 Compressive Strength Development of MSWI Fly Ash-Cement Mortars at Different Percent Replacements.....	50
4.11 Compressive Strength Development of Cement Mortars with 10% for MSWI and Coal Fly Ash Replacements.....	51
4.12 Compressive Strength Development of Cement Mortars with 15% for MSWI and Coal Fly Ash Replacements	52
4.13 Compressive Strength Development of Cement Mortars with 25% for MSWI Fly Ash Replacement and 20% and 30% for Coal Fly Ash Replacements.....	52
4.14 XRD Patterns of Cement Pastes at Different Ages.....	55
4.15 XRD Patterns of Cement Pastes with 10% Phuket MSWI Fly Ash at Different Ages.....	56

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Pages
4.16 XRD Patterns of Cement Pastes with 15% Phuket MSWI Fly Ash at Different Ages.....	57
4.17 XRD Patterns of Cement Pastes with 25% Phuket MSWI Fly Ash at Different Ages.....	58
4.18 Intensity of C ₃ S at 29.35°2θ of Cement Pastes with Different Percentage of MSWI Fly Ash Replacements.....	59
4.19 Intensity of CH at 18.11°2θ of Cement Pastes with Different Percentage of MSWI Fly Ash Replacements.....	60

LIST OF TABLES

	Pages
3.1 Mix Proportions of MSWI Fly Ash-Cement Mortars for $w/(c+fa) = 0.485$	33
4.1 Specific Surface Area and Particle Sizes of Phuket MSWI Fly Ash.....	35
4.2 Physical Properties of MSWI Fly Ash.....	36
4.3 Chemical Compositions of Phuket MSWI Fly Ashes, Coal Fly Ash, and Portland Cement.....	42
4.4 Percentage of Bulk Chemical Compositions of MSWI Fly Ashes from Various Sources.....	44
4.5 Chemical Compositions of Phuket MSWI Fly Ashes Compared with the ASTM Requirements for Class-C and Class-F Pozzolans.....	46
4.6 Water Requirement and Initial Setting Time of MSWI Fly Ash-Cement Paste.....	49
4.7 Leachate Concentrations of Phuket Fly Ash and Fly Ash Mortar Specimens	64

NOMENCLATURES

APC	=	air pollution control
ASTM	=	American Society for Testing of Materials
C ₂ S	=	2CaO·SiO ₂ , dicalcium silicate
C ₃ A	=	3CaO·Al ₂ O ₃ , tricalcium aluminate
C ₃ S	=	3CaO·SiO ₂ , tricalcium silicate
CH	=	Ca(OH) ₂ , calcium hydroxide
C-S-H	=	calcium silicate hydrate
d _{50%}	=	mean particle size
DI	=	deionized
ESP	=	electrostatic precipitator
Fly Ash	=	particulate matters captured from flue gas by APC systems
ksc	=	kilogram per square inch
LOI	=	loss on ignition (%) defined by ASTM C311 as the weight fraction of material that is lost by heating the oven dried sample at 750°C
MSW	=	municipal solid waste
MSWI	=	municipal solid waste incineration
Phuket Fly Ash	=	fly ash sampled from baghouse downstream of APC system after injected with dry lime for acid gas treatment and then sifted passed through a standard sieve No. 200
SEM	=	scanning electron microscope
TCLP	=	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
w/(c+fa)	=	water-to-binder ratio, the weight ratio of water to cement and fly ash
w/c	=	water-to-cement ratio
XRD	=	X-ray diffraction spectrometer
XRF	=	X-ray fluorescence spectroscopy