การพัฒนาอุปกรณ์บดย่อยสำหรับการกำจัดปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์

นาย วรวิทย์ อินทร์ชม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-53-2144-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

481951

DEVELOPMENT OF THE FLUORESCENT LAMP CRUSHING UNIT FOR MERCURY REMOVAL

Mr. Worawit Intrchom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Management (Inter-Department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-53-2144-3

Copyright of Chulalongkorn University

I22173092

Thesis Title	Development of the Fluorescent Lamp Crushing Unit for Mercury Removal
By	Mr. Worawit Intrchom
Field of study	Environmental Management
Thesis Advisor	Somsak Pitaksanurat, Dr. Techn.
Thesis Co-advisor	Associate Professor Wanpen Wirojanagud, Ph.D.

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

..... Dean of the Graduate School
(Assistant Professor M.R. Kalaya Tingsabadh, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Somsak Pitaksanurat, Dr. Techn.)

..... Thesis Co-advisor
(Associate Professor Wanpen Wirojanagud, Ph.D.)

..... Member
(Assistant Professor Sompop Sanongraj, Ph.D.)

..... Member
(Assistant Professor Wipada Sanongraj, Ph.D.)

วรวิทย์ อินทร์ชม : การพัฒนาอุปกรณ์บดย่อยสำหรับการกำจัดปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์ (DEVELOPMENT OF THE FLUORESCENT LAMP CRUSHING UNIT FOR MERCURY REMOVAL) อ. ที่ปรึกษา: อาจารย์ดร.สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร. วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ 97 หน้า. ISBN 974-53-2144-3.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วจัดเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่ง เนื่องจากหลอดเหล่านี้มีสารปรอทตกค้างอยู่ สารปรอทในหลอดฟลูออเรส-เซนต์สามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอ และ/หรือถูกชะออกมาจากกากหลอด เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์แตกหรือถูกบดย่อย การควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอททำโดยฉีดพรมโซเดียมซัลไฟด์ลงบนหลอดที่ได้ทำการบดย่อย จากนั้นทำการปรับเสถียรกากหลอดให้เป็นก้อนแข็งด้วยซิเมนต์ สำหรับเครื่องต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นประกอบด้วยถังขนาด 230 ลิตร และชุดบดย่อยที่มีใบมีดและช่องสำหรับใส่หลอดติดตั้งอยู่ด้านบนของถัง เครื่องบดย่อยดังกล่าวนี้สามารถรองรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วได้ทั้งสิ้น 1,300- 1,400 หลอด ด้วยอัตราการบดย่อย 4-6 หลอดต่อนาที การทดลองเริ่มต้นโดยทำการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในเครื่องบดย่อยและหาปริมาณสารปรอทที่อยู่ในรูปของไอและในกากหลอดที่ยังไม่ได้ทำการฉีดพรมด้วยโซเดียมซัลไฟด์ การบดย่อยทำให้ปริมาตรของหลอดแต่ละหลอดลดลงร้อยละ 80 โดยประมาณ ความเข้มข้นของไอปรอทจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายหลังการบดย่อยอยู่ในช่วง 1.26 ถึง 8.22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับความเข้มข้นของปรอทในกากหลอดมีค่าเฉลี่ยประมาณ 26 ไมโครกรัมต่อกรัมของกากหลอด และจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณปรอทต่อหนึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 5.1 มิลลิกรัม ส่วนความเข้มข้นของปรอทที่ถูกชะออกจากกากหลอดมีค่าอยู่ระหว่าง 18-78 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับการทดลองเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอทโดยการฉีดพรมโซเดียมซัลไฟด์ ผลปรากฏว่าสามารถลดไอปรอทได้ร้อยละ 77.4-97.3 ส่วนผลการทดลองการชะปรอทออกจากกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง บ่งชี้ได้ว่าก้อนแข็งกากหลอดฟลูออ-เรสเซนต์ ในทุกอัตราส่วนผสมระหว่างซิเมนต์และของเสีย (0.5, 0.75 , และ1.00) ผ่านเกณฑ์การทดสอบว่าของเสียได้ผ่านการปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้ว

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4689478820 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
KEY WORD: MERCURY/ FLUORESCENT LAMP /CRUSHING UNIT

WORAWIT INTRCHOM: DEVELOPMENT OF THE FLUORESCENT LAMP CRUSHING UNIT FOR MERCURY REMOVAL. THESIS ADVISOR: SOMSAK PITAKSANURAT, Dr.Techn., THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. WANPEN WIROJANAGUD, Ph.D., 97 pp. ISBN 974-53-2144-3.

This research aimed to develop a prototype of the fluorescent lamp crushing unit with mercury emission control. The used fluorescent lamp has been classified as hazardous waste containing mercury which is a persistent and bioaccumulative toxin. Mercury vapor could be released into the atmosphere and other forms of mercury in the lamp residue could be leached into environments when a fluorescent lamp is broken or crushed. Mercury emission control was made by spraying sodium sulfide on the crushed lamp and stabilizing/solidifying with cement of the mercury containing lamp residue. The crushing unit was constructed as the drum of 230 liters equipped with the auger blade crusher and the feeder chute on the top. This crushing unit could accommodate for a total number of 1,300-1,400 tubes with the crushing rate at 4-6 of 4-ft lamps per minute. Firstly, the mercury content of the vapor, lamp residue were determined by crushing the lamp without sodium sulfide spraying. Averagely, the volume of each fluorescent lamp after crushing could be decreased to approximately 80 percent. The concentrations of mercury vapor emitted from the crushed lamp were in the range of 1.26 to 8.22 mg/m^3. The average mercury concentration of lamp residue was 26 μg/g of lamp residue. Then, the average mercury content could be calculated as 5.1 mg per lamp of 1-inch diameter size. The mercury concentrations leached from lamp residue were in range of 18-78 μg/l. The experiments were set up for emission control by spraying with sodium sulfide after crushing the lamps. The results revealed that the amount of mercury vapor could be reduced by 77.4-97.3 percent. With the leachability tests, the results indicated that the mercury from the solidified lamp residues with all studied ratios of waste/cement (0.5, 0.75, and 1.00) met the criterion for leachate extraction procedure.

Field of study Environmental Management Student's signature.....

(Inter-Department) Advisor's signature.....

Academic year 2005 Co-advisor's signature.....

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my sincere gratitude to my thesis advisor, Dr. Somsak Pitaksanurat and my co-thesis advisor, Assoc. Prof. Dr. Wanpen Wirojanagud, who always give me their invaluable advice, guidance, and encouragement. They also intently provided me the technical knowledge and paid attention to every step of my research.

My gratitude would be highly extended to the chairman of the committee, Dr. Manaskorn Rachakornkij for giving invaluable suggestions and examining my final thesis. My acknowledgments are deeply given to Assist. Prof. Dr. Sompop and Assist. Prof. Dr. Wipada Sanongraj for their useful advice and kindness, and for contributing their invaluable time to be on my thesis committee.

My thanks are also expressed to the Mayor of Khon Kaen City Municipality for the used lamp samples and the Director of the Northeastern Industrial Environmental Research and Development Center for the air flow calibrator

My experiments could not have been completed without the helps of all staff of the Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, especially the laboratory staff for providing equipments and facilities as well as assisting in the application of the laboratory instruments throughout the experiments.

I gratefully acknowledge the National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHWM) and the Research Center for Environmental and Hazardous Substance Management (EHSM) at Khon Kaen University for the financial support.

I am thankful to all the staff and my friends at the NRC-EHWM, especially my friends at the EHSM Khon Kaen Center for their friendship and encouragement.

Finally, I would like to express my special gratitude to my parents, my sisters and Miss Jantiya Isanapong for their love, support, encouragement, and patience throughout my study.

TABLE OF CONTENTS

Page

ABSTRACT IN THAI.....iv

ABSTRACT IN ENGLISH.....v

ACKNOWLEDGMENTS..... vi

TABLE OF CONTENTS..... vii

LIST OF TABLES.....xi

LIST OF FIGURES..... xii

NOMENCLATURES..... xiii

CHAPTER I INTRODUCTION.....1

1.1 Background and motivation.....1

1.2 Objectives..... 2

1.3 Hypothesis.....3

1.4 Scope of study.....3

1.5 Expected results..... 3

CHAPTER II LITERATURE REVIEW.....4

2.1 Fluorescent lamp.....4

2.1.1 Definition of fluorescent lamp 4

2.1.2 Composition of fluorescent lamp.....5

2.1.3 Fluorescent lamp operation.....8

2.2 Hazardous waste..... 9

2.2.1 Definition of hazardous waste..... 9

2.2.2 Hazardous waste identification..... 10

2.2.3 Fluorescent lamp identification.....12

Page

2.3 Mercury.....13
2.3.1 Properties of mercury.....13
2.3.2 Mercury poisoning 16
2.3.3 Mercury in the fluorescent lamps 19
2.3.4 Mercury released from fluorescent lamps.....20
2.4 Used fluorescent lamp management.....21
2.4.1 Used fluorescent lamp waste stream.....21
2.4.2 Stabilization/ Solidification of the used fluorescent lamp residue.....22
2.4.3 Fluorescent lamp crushing unit.....23

CHAPTER III MATERIALS AND METHODS.....26
3.1 Materials.....26
3.1.1 Fluorescent lamp samples 26
3.1.2 Air sampling devices 26
3.1.3 Crushing unit 26
3.1.4 Chemical spraying device 27
3.1.5 Instruments 27
3.1.5.1 Microwave digester 27
3.1.5.2 Rotary agitator 28
3.1.5.3 Atomic absorption spectrophotometer.....28
3.2 Concept for the used fluorescent lamps management.....28
3.3 Experimental Procedures.....30
3.3.1 Developing a fluorescent lamp crushing unit.....30
3.3.1.1 Criteria for constructing a crushing unit.....30
3.3.1.2 Testing a crushing unit.....30
3.3.2 Release of mercury from the crushed lamp.....30
3.3.2.1 Mercury vapor sampling and preparation 30
3.3.2.2 Sample preparation of mercury in lamp residue.....31
3.3.2.3 Leachate extraction procedure 31

Page

3.3.3 Sodium sulfide spraying 32
3.3.4 Stabilization/solidification of mercury-containing lamp residue.....32
3.4 Analysis of mercury.....33

CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSIONS.....34
4.1 Developing a fluorescent lamp crushing unit..... 34
4.1.1 Constructing a crushing unit..... 34
4.1.1.1 A drum-mounted crusher..... 34
4.1.1.2 A drum container..... 35
4.1.1.3 A chemical spraying device..... 35
4.1.2 Testing of the crushing unit.....38
4.1.2.1 The used fluorescent lamp samples..... 38
4.1.2.2 Crushing the fluorescent lamps..... 40
4.2 Release of mercury from the crushed lamps 41
4.2.1 Mercury vapor released from a crushed fluorescent lamp.....41
4.2.2 Total mercury in the lamp residue 43
4.2.3 Mercury leachability from the lamp residue 44
4.3 Mercury removal..... 47
4.3.1 Mercury vapor control..... 47
4.3.2 Stabilization/solidification of the mercury-containing lamp residue..... 50
4.4 Cost estimation of a fluorescent lamp crushing unit 57

CHAPTER V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS..... 58
5.1 Conclusions 58
5.2 Recommendations.....59

Page

REFERENCES.....61
APPENDICES.....66
APPENDIX A.....67
APPENDIX B.....79
BIOGRAPHY.....97

LIST OF TABLES

Table **Page**

2.1 Composition of a fluorescent lamp..... 6
2.2 Typical chemical composition of glass 6
2.3 Approximated chemical composition of phosphor powder 7
2.4 Total mercury content of T12 and T8 lamps 19
2.5 Amount of discarded fluorescent lamps in 2005-2007..... 22
4.1 Mass of lamp samples..... 39
4.2 Masses of the pieces of glass and the white powder and the volumes of lamp residue..... 41
4.3 Mercury vapor released from a crushed fluorescent lamp.....42
4.4 Total mercury concentrations and amounts in the lamps.....43
4.5 Mercury leached from lamp residue..... 45
4.6 pH of the lamp residue and the extraction fluid.....46
4.7 Amounts of mercury vapor remained in the crushing unit..... 48
4.8 Mercury concentrations leached from stabilized/solidified wastes..... 51
4.9 pH of extraction fluid before and after rotating..... 55

LIST OF FIGURES

Figure **Page**

2.1 Composition of a fluorescent lamp 5

2.2 Schematic drawing of fluorescent lamp operation 8

2.3 Commercial lamp crushing units: a) LC-55FDA-E and RULC-55DA-E lamp disposer, b) Bulb Eater Model 55-VRS, c) Electric and Manual lamp crushers..... 25

3.1 Air sampling devices 27

3.2 Atomic absorption spectrophotometer.....28

3.3 Diagram of the used fluorescent lamp management 29

4.1 Detail of the drum-mounted crusher 36

4.2 Detail of the drum container..... 37

4.3 Detail of the chemical spraying device.....38

4.4 Crushed material.....40

4.5 Amount of mercury vapor after chemical spraying..... 49

4.6 Crushed material after chemical spraying 50

4.7 Mercury concentrations leached from stabilized/solidified wastes 52

4.8 Mercury concentrations of solidified waste with different w/c ratios..... 55

4.9 pH of extraction fluid after rotating 56

4.10 pH of extraction fluid of solidified waste with different w/c ratios 57

NOMENCLATURES

ACGIH	=	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CGHW	=	Community Generated Hazardous Waste
CNS	=	Central nervous system
DI	=	Deionized
DIW	=	Department of Industrial Work
GENCO	=	General Environmental Conservation Public Co., Ltd
HEPA	=	High Efficiency Particulate Air
IDPH	=	Iowa Department of Public Health
NEMA	=	National Electric Manufacturers Association
NIOSH	=	National Institute for Occupational Safety and Health
ONEB	=	Office of National Environmental Board
OSHA	=	Occupational Safety and Health Administration
PCD	=	Pollution Control Department
PEL	=	Permissible exposure limit
RCRA	=	Resource Conservation and Recovery Act
S/S	=	Stabilization/ solidification
TCLP	=	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TDAAS	=	Thermo-desorption/atomic absorption spectrometry
TLV	=	Threshold limit value
TWA	=	Time weight average
U.S.	=	The United States
UK	=	The United Kingdom
UNEP	=	United Nations Environment Programme
US.EPA	=	United States Environmental Protection Agency
UV	=	Ultraviolet
W/C	=	Waste/cement
WHO	=	World Health Organization
T8	=	A tubular lamp with a 1-inch diameter
T12	=	A tubular lamp with a 1.5-inch diameter