การประเมินสัดส่วนของฝุ่นขนาด 10 ไมครอน จากภายในและภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณการสัมผัสฝุ่นรวมโดยบุคคล ของกลุ่มประชากรที่พักอาศัยในอาคารพาณิชย์ในกรุงเทพมหานคร

นางเพ็ญศรี วัจฉละญาณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6508-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ASSESSMENT OF CONTRIBUTIONS OF INDOOR AND OUTDOOR SOURCES TO TOTAL PM-10 EXPOSURE: PEOPLE LIVING IN SHOP HOUSES IN BANGKOK

Pensri Watchalayann

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Management (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6508-8

Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title	Assessment of Contributions of Indoor and Outdoor Sources to Total PM-10 Exposure: People Living in Shop Houses in Bangkok
By	Pensri Watchalayann
Field of study	Environmental Management
Thesis Advisor	Associate Professor Thares Srisatit, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Daniel J. Watts, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Pichaya Rachadawong, Ph.D.

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

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

THESIS COMMITTEE

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

..... Thesis Advisor
(Associate Professor Thares Srisatit, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Daniel J. Watts, Ph.D.)

..... Thesis-Co-advisor
(Pichaya Rachadawong, Ph.D.)

..... Member
(Supat Wangwongwatana, Ph.D.)

..... Member
(Associate Professor Wanpen Wirojanagud, Ph.D.)

เพ็ญศรี วัจฉละญาณ : การประเมินสัดส่วนของฝุ่นขนาด 10 ไมครอน จากภายในและภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณการสัมผัสฝุ่นรวมโดยบุคคล ของกลุ่มประชากรที่พักอาศัยในอาคารพาณิชย์ในกรุงเทพมหานคร. (ASSESSMENT OF CONTRIBUTIONS OF INDOOR AND OUTDOOR SOURCES TO TOTAL PM-10 EXPOSURE: PEOPLE LIVING IN SHOP HOUSES IN BANGKOK) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : Daniel J. Watts, Ph.D. และ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ จำนวนหน้า 121 หน้า. ISBN 974-17-6508-8.

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นขนาด 10 ไมครอน ในบรรยากาศภายนอกอาคาร ภายในอาคารและปริมาณการสัมผัสฝุ่นของกลุ่มประชากรที่อาศัยอยู่ในอาคารพาณิชย์ริมถนนนั้น จึงได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองซ้ำรวมจำนวน 9 วัน ครอบคลุมทั้ง 3 ฤดูกาล บุคคลที่เข้าร่วมเป็นผู้ที่ไม่สูบบุหรี่มีจำนวน 28 คน อาศัยอยู่ในอาคารพาณิชย์ริมถนนสุขุมวิท จำนวน 14 หลัง พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณการสัมผัสฝุ่นขนาด 10 ไมครอนของบุคคลมีค่าเท่ากับ 81.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ และค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารมีค่าเท่ากับ 74.6 และ 130.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นขนาด 10 ไมครอนภายนอกอาคารมีค่ามากกว่าทั้งของภายในอาคารและความเข้มข้นที่คนได้รับสัมผัส อีกทั้งความเข้มข้นของฝุ่นจะมีค่าในฤดูหนาวสูงกว่าในฤดูร้อนและฝนตามลำดับ ปริมาณฝุ่น10 ไมครอนในแต่ละชั้นภายในอาคารมีความแปรปรวนแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นที่ 1 อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่คนสัมผัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นภายนอกอาคาร โดยพิสัยของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน มีค่าเท่ากับ 0.706 และเมื่อคัดข้อมูลของบ้านที่มีการจอดรถภายในอาคารออกพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 0.760 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่น 10 ไมครอนที่คนได้สัมผัสนอกจากจะขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นฝุ่นภายนอกอาคารแล้ว ยังพบว่าขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้ การจุดธูป การสัมผัสควันบุหรี่ การเปิด/ปิดประตู และฤดูกาล อย่างไรก็ตามการติดเครื่องปรับอากาศในห้องนอนทำให้ปริมาณฝุ่นที่คนสัมผัสมีค่าลดลง ผลจากการศึกษาครั้งนี้ยืนยันว่า ความเข้มข้นฝุ่นภายนอกอาคารสามารถใช้เป็นดัชนีแทนค่าการสัมผัสฝุ่นละอองโดยบุคคลสำหรับการศึกษาด้านระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรที่มีลักษณะการดำรงชีวิตดังกล่าว

ผลจากการวิเคราะห์ตัวประกอบร่วม พบว่ามี ตัวประกอบจำนวน 5 ตัวที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่ส่งผลต่อการได้รับสัมผัสในบุคคล อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ พบว่ามีแหล่งกำเนิดฝุ่นเพียง 2 แหล่งที่ส่งผลต่อปริมาณการสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ดิน/ ฝุ่นดิน ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 40%-50% และ จากอุตสาหกรรมเหล็ก ซึ่งมีสัดส่วน ประมาณ 3%-5% ของฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาร่วม.....
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาร่วม.....

4389661020 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

KEY WORD: Particulate Matter / PM-10 / Exposure Relationship / Shop Houses / Source Contribution

PENSRI WATCHALAYANN : ASSESSMENT OF CONTRIBUTIONS OF INDOOR AND OUTDOOR SOURCES TO TOTAL PM-10 EXPOSURE: PEOPLE LIVING IN SHOP HOUSES IN BANGKOK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF THARES SRISATIT, Ph.D., THESIS COADVISER : DANIEL J. WATTS, Ph.D., AND PICHAYA RACHADAWONG, Ph.D. 121 pp. ISBN 974-17-6508-8.

The relationship between personal, indoor and outdoor PM-10 concentrations to which individual subjects were exposed, over a number of days was investigated for people living in roadside buildings. Nine repeated measurements covering 3 seasons were conducted among 28 non-smoking participants, living in 14 shop houses on Sukhumvit road, Bangkok. The averages of the means of personal, indoor and outdoor PM-10 concentrations were 81.6, 74.6 and 130.7 $\mu g/m^3$ respectively. The overall mean of outdoor concentrations exceeded both indoor and personal PM-10 concentrations and the levels were higher in winter rather than in summer or the rainy season. Variations of indoor PM-10 concentrations were found from floor to floor, and were especially notable at the first floor of the shop house. Nonetheless, the result showed that personal PM-10 exposure levels were correlated with the outdoor concentrations. The relationship between personal and outdoor PM-10 concentration was moderate, with a median Pearson's R correlations of 0.706. Excluding one house with car parking inside, the median Pearson's R correlation was increased to 0.760. Aside from the outdoor PM-10 concentrations, personal PM-10 concentrations tended to be higher under conditions of incense burning, exposure to tobacco smoke from non-residents, door opening, and winter season. However, sleeping in bedrooms with an air conditioning system tended to lower the personal PM-10 concentrations. This finding supported a conclusion that outdoor PM-10 concentration could be used as a conservative exposure surrogate in the health impact epidemiological studies for this life-style group of people.

The results from factor analysis showed that there were probably five major sources contributing to personal exposure PM-10 concentrations. Moreover, multiple regression analysis revealed that there were two significant attributable sources of personal PM-10 mass which showed elemental compositions frequently attributed to soil/crustal and steel industry sources. The estimated source contributions to personal PM-10 concentrations were 40%-50% for soil/crustal type and 3%-5% for steel industry type.

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

Academic year 2004 Advisor's signature

Co-advisor's signature

Co-advisor's signature

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deepest respect and gratitude to my advisor, Associate Professor Thares Srisatit, for his guidance and encouragement during this study. I want to express my sincere thanks to my Co-advisors, Dr. Daniel J. Watts and Dr. Pichaya Rachadawong, for their remarkable comments and supports.

I also would like to express much gratitude to all the committee members, Dr. Manasakorn Rachakornkij, Dr Supat Wangwongwatana and Associate Professor Wanpen Wirojanagud for their expert reviews and comments. A special thanks to Dr. Supol Durongwatana of Chulalongkorn University and Dr. Nares Chuersuwan of Suranaree University of Technology, for sharing their expertise.

I will always be indebted to all the participants and the shop house owners for their invaluable cooperation. Without their great participation, this dissertation would not be accomplished. Many thanks to Pollution Control Department, Electric Generating Authority of Thailand and Bureau of Occupational and Environmental Disease; Ministry of Public Health for their support and for providing the instruments.

Sincerely thanks to the National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management Program and the Rachadapisek Sompoch Endowment of Chulalongkorn University for their financial support.

Special thanks to the scientists and technicians at the PCD and MOPH laboratories for their support. I have been lucky to work among my good friends. Without their generous help and encouragement, this study would not have been completed.

I owe my deep thanks to my husband and our sons for their understanding, love, and empathy throughout the years. I owe my life to my parents for their love and their continuing support. My warmest thanks are also extended to my sisters and brothers for their helping hands and their love.

CONTENTS

Page

ABSTRACT (THAI)..... iv

ABSTRACT (ENGLISH)..... v

ACKNOWLEDGEMENTS..... vi

CONTENTS..... vii

LIST OF TABLES..... x

LIST OF FIGURES..... xii

LIST OF ABBREVIATIONS..... xiii

CHAPTER I INTRODUCTION..... 1

1.1 Introduction..... 1

1.2 Research Hypothesis..... 3

1.3 Research Objectives..... 3

1.4 Scope of the Study..... 4

1.5 Overview..... 4

CHAPTER II LITERATURES REVIEW..... 6

2.1 Particulate Matter Air Pollution..... 6

2.2 Particulate Matter and Health effects..... 8

2.3 Exposure Measurement..... 9

2.4 Personal, Indoor and Outdoor PM-10 Measurement Studies..... 11

2.5 Source Identification Techniques..... 14

CHAPTER III RESEARCH METHODOLOGY..... 18

3.1 Study Design..... 18

3.2 Sampling Site..... 18

3.3 Measurements of PM-10..... 19

3.4 Elemental Compositions of PM-10 Analysis by ICP-MS..... 24

3.5 Factor Analysis and Multiple Regression Analysis..... 27

3.6 Data Analysis..... 27

CHAPTER IV RESULTS..... 29

4.1 Performance of the Method..... 29

4.2 Personal, Indoor, Outdoor and Roadside PM-10 Concentrations..... 38

4.3 The Relationships among Personal, Indoor, and Outdoor PM-10 Concentrations and the Factors Affecting Their Relationships..... 44

4.4 Identification of the Possible Relationships of Personal Exposure PM-10 Materials with Other PM-10 Materials Based on the Trace Element Composition..... 48

CHAPTER V DISCUSSION..... 64

5.1 Sample Collection..... 64

5.2 PM-10 Concentrations..... 67

5.3 The Relationships among Personal, Indoor, Outdoor and Ambient Roadside PM-10 Concentrations..... 72

5.4 Factors Affecting Personal Exposure to PM-10..... 74

5.5 Source Identifications..... 75

CHAPTER VI CONCLUSIONS..... 78

6.1 Conclusions..... 78

6.2 Potential Biases and Limitations..... 80

6.3 Recommendations for Future Works..... 81

REFERENCES..... 83

APPENDICES

APPENDIX A PM-10 High-Volume Air Sampler..... 90

APPENDIX B Distributions of the PM-10 Concentrations for H1-H14..... 92

APPENDIX C Correlation Coefficients between Outdoor and Ambient PM-10 Concentrations..... 100

APPENDIX D Multiple Regression Analysis on Factors Affecting Personal Exposure..... 101

APPENDIX E Detection Limit and Percent Recovery of Elemental Compositions..... 104

APPENDIX F Summary Results of FA/MR for Personal PM-10 Data..... 105

APPENDIX G Summary Results of FA/MR for indoor PM-10 Data..... 110

APPENDIX H Summary Results of FA/MR for outdoor PM-10 Data..... 115

BIOGRAPHY..... 121

LISTS OF TABLES

TABLES pages

4.1. The characteristics of the participating shop houses..... 30

4.2. Distribution of pre-sampling, post-sampling and average flow rate..... 33

4.3. Relative standard deviations of the method..... 34

4.4. Standard deviation of weighing..... 35

4.5. Descriptive Statistics of reweighing of PM-10 sampled filters..... 36

4.6. The distribution of mass increase on field blank (μg)..... 36

4.7. Descriptive statistics of the overall means of indoor, 1^{st} floor, 2^{nd} floor and 4^{th} floor, outdoor, ambient roadside and personal PM-10 concentrations... 40

4.8. Comparison indoor PM-10 concentrations between the 1^{st}, 2^{nd} and 4^{th} floor PM-10 concentrations of each house..... 42

4.9. Comparison of personal PM-10 concentrations of the two participants in the same shop house..... 43

4.10. Correlation and regression models between outdoor and ambient roadside PM-10 concentrations..... 44

4.11. Correlation and regression models among personal, indoor and outdoor PM-10 concentrations..... 45

4.12. Categorized variables examined in multiple step-wise regression analysis..... 47

4.13. Estimation of factors affecting personal concentrations..... 48

4.14. Average concentration of elemental compositions..... 49

4.15. Average elemental ratios among outdoor, indoor and personal PM-10..... 51

4.16. Correlations of elements among outdoor, indoor and personal PM-10..... 52

4.17. Component Matrix with varimax rotation of personal PM-10..... 54

4.18. Result of multiple regression analysis of personal PM-10 concentrations.... 56

4.19. Component Matrix with varimax rotation of indoor PM-10..... 58

4.20. Results of multiple regression analysis for indoor PM-10..... 59

4.21. Component Matrix with varimax rotation of outdoor PM-10..... 61

4.22. Results of multiple regression analysis for outdoor PM-10..... 62

5.1. Personal, indoor and outdoor PM-10 concentrations in each season..... 68

5.2. Indoor PM-10 levels of the shop houses at the left and right side of the road..... 70
5.3. Outdoor PM-10 levels of the shop houses at the left and right side of the road..... 70
5.4. Comparison of cross-sectional correlation coefficients (pooled data) with individual correlation coefficients for three models..... 73
5.5. Distributions of the differences among personal, indoor and outdoor PM-10 concentrations..... 74
5.6. Identification of source types for personal, indoor and outdoor PM-10..... 76

LISTS OF FIGURES

FIGURES		pages
3.1	Location of the 14 shop houses and the On-Nuch roadside station	19
3.2	Types of sampling conducted in a shop house during a measurement day	20
3.3	Pump and schematic diagram of Personal Environmental Monitor (PEM)	22
3.4	ICP/MS instrument	25
3.5	Hot acid digestions of filter samples	26
4.1	Example of floor plan of the participating houses	31
4.2	PEM and battery of the air sampler instrument	32
4.3	Samplers lining with acoustic material	33
4.4	Correlation of PM-10 concentrations obtained by PEM and High Volume air sampler at On-Nuch roadside station	37
4.5	Correlation between PM-10 concentration by High Volume air sampler of PCD and of our study	38
4.6	Roadside PM-10 concentrations monitored at ON-Nuch Station during in winter, hot and rainy season	39
4.7	Average concentrations of elements in personal, indoor and outdoor PM-10 samples	50
4.8	Average indoor to outdoor ratios of the elemental composition	51
4.9	Scree plot of each component (factor) for personal data set	53
4.10	Estimated source type contributions to personal PM-10	56
4.11	Scree plot of each component for indoor PM-10 data set	57
4.12	Estimated source type contributions to indoor PM-10	60
4.13	Scree plot of each component for outdoor PM-10 data set	60
4.14	Estimated source type contributions to outdoor PM-10	63

LISTS OF ABBREVIATIONS

μ	Micrometer/ Micron
μg	Microgram
ANOVA	Analysis of Variance
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
d_{ae}	Aerodynamic equivalent diameter
df	degree of freedom
ETS	Environmental Tobacco Smoke / Expose to tobacco smoke
F	Statistic F-test
FA/MR	Factor analysis and Multiple regression analysis
Hi-Vol	High Volume Air Sampler
ICP/MS	Inductively coupled plasma-mass spectrometry
m^3	Cubic meter
NAAQS	the National Ambient Air Quality Standards
PCA	Principal component analysis
PCD	Pollution control Department
PEM	Personal Exposure Monitor
PM	Particulate Matter in air
PM-10	Particulate Matter with a 50% cut-off aerodynamic diameter of 10 micron
PTEAM	the Particle Total Exposure Assessment Methodology Study
PTFE filter	Polytetrafluoroethylene / Teflon filter
R	Correlation Coefficient
SD	Standard Deviation
Sig.	Significance
THEES	the Total Human Environmental Exposure Study
US.EPA	the United State Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization