AIR POLLUTION PREVENTION APPLICATIONS FROM TRANSPORT SECTOR BY INTEGRATION OF TRANSPORT AND VEHICLE EMISSION MODEL IN URBAN AREA: CASE STUDY BANGKOK, THAILAND

MR.PADET PRADITPHET

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Environmental Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

การประยุกต์ใช้การป้องกันมลพิษทางอากาศจากภาคการขนส่ง โดยบูรณาการแบบจำลองด้านการขนส่ง และการระบายมลพิษจากรถยนต์ ในชุมชนเมือง: กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

นายเผด็จ ประดิษฐเพชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

510840

Thesis Title	Air Pollution Prevention Applications from Transport Sector by Integration of Transport and Vehicle Emission Model in Urban Area: Case Study Bangkok, Thailand.
By	Mr.Padet Praditphet
Field of Study	Environmental Management
Advisor	Associate Professor Wanpen Wirojnakul, Ph.D.
Co-Advisor	Associate Professor Sorawit Narupiti, Ph.D.
Co-Advisor	Professor Daniel J Watt, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

..... Dean of the Graduate School
(Associate Professor Pornpote Piumsomboon, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

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

..... Advisor
(Associate Professor Wanpen Wirojnakul, Ph.D.)

..... Co-Advisor
(Associate Professor Sorawit Narupitil, Ph.D.)

..... Co-Advisor
(Professor Daniel J Watt, Ph.D.)

..... Examiner
(Assistant Professor Pongrid Klungboonkrong, Ph.D.)

..... Examiner
(Chantra Tongcumpou, Ph.D.)

..... External Examiner
(Sompong Paksarsawan, Ph.D.)

เผด็จ ประดิษฐเพชร : การประยุกต์ใช้การป้องกันมลพิษทางอากาศจากภาคการขนส่ง โดยบูรณาการแบบจำลองด้านการขนส่ง และการระบายมลพิษจากรถยนต์ ในชุมชนเมือง: กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. (Air Pollution Prevention Applications from Transport Sector by Integration of Transport and Vehicle Emission Model in Urban Area: Case Study Bangkok, Thailand) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ และศาสตราจารย์ เตเนียล เจ วัตต์ 180 หน้า.

มลพิษทางอากาศที่เกิดจากภาคขนส่ง เป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ การนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการป้องกันการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคขนส่งในพื้นที่เมืองกรุงเทพมหานคร เพื่อที่จะหาแนวทางลดปัญหามลพิษและเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้ ร่วมกับการบูรณาการแบบจำลองการขนส่งและการระบายมลพิษจากยานพาหนะ ในการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอกลยุทธ์หรือวิธีการการป้องกันมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง การศึกษานี้ได้ทำการบูรณาการระหว่างเทคนิคการป้องกันมลพิษ แบบจำลองด้านการขนส่งและการระบายมลพิษจากยานพาหนะ รวมทั้งระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อที่จะหาแนวทางและนำเสนอวิธีการป้องกันมลพิษทางอากาศที่ดีที่สุด กิจกรรมของมนุษย์ในภาคขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญ และส่งผลอย่างกว้างขวางต่อการเพิ่มขึ้นของระดับมลพิษทางอากาศในพื้นที่เมือง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง ควบคู่ไปกับการเพิ่มขึ้นของรูปแบบการเดินทางต่างๆ ซึ่งเป็นเหตุผลที่จะต้องมีการลดระดับอัตราการระบายมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่งลง การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการหาสาเหตุหรือปัญหาหลักที่ทำให้มลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง ซึ่งผลลัพธ์คือการนำเสนอวิธีการที่เป็นไปได้ในการลดการระบายมลพิษจากภาคขนส่งลง โดยเป็นการลดจากแหล่งกำเนิดหรือเป็นการลดจากแรงผลักดันที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจากภาคขนส่ง ท้ายสุด, การศึกษานี้ได้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่มีศักยภาพรวม 4 แนวทาง หลังจากที่ใช้การประยุกต์เทคนิคต่างๆ ดังกล่าว เพื่อทำการประเมินแล้ว พบว่าแนวทางที่ดีที่สุด คือ การส่งเสริมการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถโดยสารประจำทางและปรับปรุงเส้นทางการเดินรถใหม่ ซึ่งเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งยังเป็นมาตรการที่มีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวิธีการป้องกันมลพิษ จากภาคขนส่งอื่นๆ ในประเทศไทย ทั้งนี้การศึกษานี้สามารถที่จะนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวกับปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคขนส่งในระดับมหภาค ตามที่การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นประเด็นในการศึกษาในระดับ มหภาค

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

4789704720 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
KEYWORDS : AIR POLLUTION PREVENTION APPLICATIONS / PREVENTION STRATEGIES

PADET PRADITPHET: AIR POLLUTION PREVENTION APPLICATIONS FROM TRANSPORT SECTOR BY INTEGRATION OF TRANSPORT AND VEHICLE EMISSION MODEL IN URBAN AREA: CASE STUDY BANGKOK, THAILAND. ADVISOR: ASSOC. PROF. WANPEN WIROJANAGUD, Ph.D. CO-ADVISOR: ASSOC.PROF. SORAWIT NARUPITI, Ph.D, CO-ADVISOR: PROF. DANIEL J WATT, Ph.D. 180 pp.

Air emissions from transportation are a major contributor for greenhouse gases and are directly linked to fuel consumption. Poorly maintained vehicles lead to reduced fuel efficiency than those well maintained counterparts. This inefficient use of fuel can result in unnecessary air emissions. The main objective of this study is to propose air pollution prevention applications for the transport sector in an urban area in order to minimize the pollution and to meet ambient air quality standards by using transport and vehicle emissions models, which take into account air emission changes resulting from prevention strategies. This study combines pollution prevention, transport, vehicle emissions and geographic information system (GIS) techniques to deal with air pollution prevention in an urban conglomeration. Anthropogenic activities in transport sector are significant and wide-range at generating high levels of emissions. The trends of air emissions from transportation continue to rise in large scale along with the increase in travel patterns. These are the reasons for the need for reducing levels of air emissions from transportation sector. The study aims to probe the major root cause for the raise in air pollutants in the transport sector in Bangkok. The results of the study propose feasible ideas to reduce and control levels of air emissions from transportation sector. The driving force of this research is to use source reduction for reducing air emissions from transportation sector. Finally, the paper proposes possible solutions such as 4 high potential solutions viz., promoting use of NGV buses and rerouting existing services as the most effective countermeasure to minimize air emissions, and potentially least expensive, when compared with other solutions for prevention of pollutants from transportation sector in Thailand. The current study can be used in formulating policies related to air pollution at a macro level, as the study was focussed on that level.

Field of Study : Environmental Management Student's Signature P. Praditphet

Academic Year : 2008 Advisor's Signature W. Wirojanagud

Co-Advisor's Signature Sorawit Narupiti

Co-Advisor's Signature Daniel J Watt

ACKNOWLEDGEMENTS

The success of this study and my educational accomplishments were supported by a numerous number of people whom I sincerely thank and I am grateful for their continual support. I would firstly like to thank Assoc. Prof. Dr. Wanpen Wirojanagud, who had been my major advisor and also philosopher. I would like to thank her very much indeed for her advice in every step of work and for her plenty of time spent on my dissertation. My thanks and gratitude also extends to my co-advisor Assoc. Prof. Dr. Sorawit Narupiti and Prof. Dr. Daniel J. WATTS for helping at scoping my conceptual idea. I would also like to thank Assist. Prof. Dr. Pongrid Klungboonkrong and Dr. Chantra Tongcumpou, for their valuable comments and for their kindness by sparing time to be my external examiner and Dr.Sompong Paksarsawan, for inspiring me in my educational endeavours. I would specially like to thank Assist. Prof. Dr. Manasakorn Rachakornkij Director of International Postgraduate Programs in Environmental Management (Hazardous Waste Management) , Chulalongkorn University for his time to be the chair of my thesis defence committee.

My sincere respect and thanks for my parent: Mr. Thavee and Ms. Juree Praditphet for encouraging and supporting me in everything and always believing in me and my wife: Ms. Chutinthorn Praditphet (Ruk) for her encouragement, opinionated my ideas and always stand by my side in every situation. My dearest daughter Napat Praditphet (Mind), she is the willpower for me to fight with all obstructs I am facing with.

CONTENTS

Page

ABSTRACT (THAI) iv

ABSTRACT (ENGLISH) v

ACNOWLEDGEMENTS vi

CNNTENT vii

LIST OF TABLES x

LIST OF FIGURES xii

CHAPTERS

1. INTRODUCTION 1
   - 1.1 Background and rationale 1
   - 1.2 Objectives 3
   - 1.3 Scope of the study 4
   - 1.4 Hypotheses 6
   - 1.5 Expected outcomes 6

2. LITERATURE REVIEW 7
   - 2.1 Preamble 7
   - 2.2 Air pollution prevention (P2) 7
   - 2.3 Vehicle emissions model 10
   - 2.4 Transport model 14
   - 2.5 Relationship between the traffic conditions and pollution emissions levels 18
   - 2.6 Multi-criteria analysis techniques 18
   - 2.7 The Analytical Hierarchy Process 20
   - 2.8 The Fuzzy system 22
   - 2.9 Air pollution estimation 25
   - 2.10 Air quality monitoring in Bangkok 26
   - 2.11 Air pollution effects 27

CHAPTERS (Continued) Page

2.12 Major air pollutants..... 28
2.13 Air pollution standards in Thailand..... 31
2.14 Developed emissions model in Thailand..... 34
2.15 Emission factor model components..... 35
2.16 Component of emissions pollution..... 39
2.17 Motor vehicle emission – exhaust emissions..... 40
2.18 Motor vehicle emission – evaporative emissions..... 41
2.19 Sources of air pollutions..... 42
2.20 Proposed actions for air pollution prevention..... 44

3. METHODOLOGY..... 48
3.1 Preamble..... 48
3.2 Phase 1: Developing air pollution prevention techniques.... 48
3.2.1 First step: Process mapping..... 50
3.2.2 Step 2: Root cause analysis..... 51
3.2.3 Step 3: Developing alternatives 58
3.2.4 Step 4: Selecting an alternative..... 58
3.2.4 Step 5: Present the results..... 63
3.3 Phase 2: Integration of transport and vehicle emission 63
3.3.1 Modifying the transport model..... 63
3.3.2 Modifying the vehicle emission model..... 70
3.3.3 Integrated transport model (BUAM) and vehicle emission model (IVE-BUAM)..... 70
3.4 Phase 3: Present the results by GIS 79

4. RESULTS AND DISCUSSION..... 80
4.1 Applied process characterization with hierarchical process mapping. 80
4.2 Root – cause analysis..... 83

CHAPTERS (Continued) Page

4.3 Generation and selection of alternative solutions..... 89
4.4 Selecting of alternative solutions..... 93
4.5 Present outputs of P2 alternative solutions..... 112

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS..... 114
5.1 Preamble..... 114
5.2 Study results..... 114
5.3 Recommendations of the study..... 116
5.4 Limitations of the study..... 117
5.5 Further study..... 118
5.6 Conclusion..... 119

REFERENCES..... 120
APPENDICES
APPENDIX A..... 126
APPENDIX B..... 139
APPENDIX C..... 153
APPENDIX D..... 167
BIOGRAPHY..... 180

LIST OF TABLES

TABLES		Page
Table 2.1	Maximum acceptable error of travel model improvement	17
Table 2.2	Summary of linguistic terms used in each conversion system	24
Table 2.3	Total PM emission by type of vehicle in Bangkok	31
Table 2.4	Ambient air quality standard in Thailand (1995)	32
Table 2.5	Emission standard for motor vehicles in Thailand: gasoline engine vehicles	32
Table 2.6	Emission standard for motor vehicles in Thailand: light duty diesel engine	33
Table 2.7	Emission Standard for Motor Vehicles in Thailand: heavy duty diesel engine	34
Table 2.8	Emission standard for motor vehicles in Thailand: motorcycle	34
Table 2.9	Emission of air pollutants by sources in Bangkok: 2003	43
Table 2.10	Ratio of emission of air pollutants by sources in Bangkok: 2003	43
Table 3.1	40 Samples of focus group related to the environmental and transportation sectors	53
Table 3.2	20 Samples of experts related to the environmental and transportation sectors	54
Table 3.3	The Definition of factors and qualitative criteria for root cause analysis.	57
Table 3.4	The Definition of factors and qualitative criteria for select alternative solutions	59
Table 3.5	Planning data for transport model (BUAM)	68
Table 3.6	Summary of Road Network Characteristics in Bangkok, 2005	69
Table 3.7	Capacity Index (CI) to classification with link types	74
Table 3.8	Properties of fuel used in IVE-BUAM	76
Table 3.9	General characteristics of vehicles in Bangkok	77

TABLES (Continued) Page

Table 3.10	Technology fractions of the gasoline vehicles	78
Table 3.11	Size and use characteristics of the vehicles in Bangkok	78
Table 4.1	Results obtained all the perceived causes for air pollutions of transportation sector from the 40 participants	83
Table 4.2	Results obtained all the perceived causes for air pollution of transportation sector from the 20 experts	86
Table 4.3	Results of priority problem or main root cause of air emissions from transportation sector	88
Table 4.4	Results obtained all alternative solutions for poor public transportation from the 20 experts	90
Table 4.5	Results of 4 alternative solutions for poor public transport	91
Table 4.6	Results of Integrated transport model and vehicle emission model (Base case: Daily)	98
Table 4.7	Results of Integrated transport model and vehicle emission model (Base case: A.M. Peak)	98
Table 4.8	Results of highway network (Base case: Daily)	99
Table 4.9	Results of public transport network (Base case: Daily)	99
Table 4.10	Validation of transport model: BUAM (Base case: A.M. Peak)	100
Table 4.11	Validation of vehicle emission model: IVE-BUAM (Base case: A.M. Peak)	101
Table 4.12	Analysis of 4 high-potential alternative solutions	102
Table 4.13	Comparison between existing and new bus network	103
Table 4.14	Summaries of mass rapid transit network	105
Table 4.15	Details of NGV Bus Rapid Transit corridors	106
Table 4.16	Results of Integrated transport model and vehicle emission model (Base case: with 4 high-potential alternative solutions: Daily)	109
Table 4.17	Results of Integrated transport model and vehicle emission model (Base case: with 4 high-potential alternative solutions: A.M. peak)	110

LIST OF FIGURES

FIGURE		Page
Figure 1	Network and traffic zones of Bangkok, Thailand 2005	4
Figure 2.1	IVE-Model core architectures	12
Figure 2.2	Structure of transport four stages model	14
Figure 2.3	A scale for five linguistic terms	24
Figure 2.4	Motor vehicle emission sources	40
Figure 2.5	Motor vehicle emissions – exhaust emissions	40
Figure 2.6	Evaporative emissions	41
Figure 3.1	Framework of Methodology	49
Figure 3.2	Principal and applied pollution prevention technique	50
Figure 3.3	Process map of all activities of transportation sector in the Bangkok urban area	51
Figure 3.4	Hierarchy structure of selection the priority problem	56
Figure 3.5	Hierarchy structure of selection the alternative solutions	58
Figure 3.6	Structure of transport four stage model	64
Figure 3.7	Structure of trip generation model used in BUAM	65
Figure 3.8	Structure of trip distribution model used in BUAM	66
Figure 3.9	Structure of modal split in highway network model used in BUAM	66
Figure 3.10	Structure of integrated modal split in highway and public transport	67
Figure 3.11	Structure of trip assignment model for highway used in BUAM	67
Figure 3.12	Structure of trip assignment model for public transport used in BUAM	68
Figure 3.13	Structure of modified IVE model for estimate vehicle emission	70
Figure 3.14	Bangkok driving cycles data	71
Figure 3.15	Fleet file templates in IVE-BUAM	71
Figure 3.16	Technology types of each vehicle in IVE-BUAM	72
Figure 3.17	Integrated transport model (BUAM) and emission model (IVE-BUAM)	73

FIGURE (Continued) Page

Figure 3.18 Outputs present on GIS format..... 79
Figure 4.1 Process map of travel by private vehicle..... 81
Figure 4.2 Process map of freight transport..... 81
Figure 4.3 Process map of public transport..... 82
Figure 4.4 Cause-and-effect diagram of priority problem (poor public transport) of air emissions from transportation sector..... 89
Figure 4.5 Application project master loop of BUAM..... 94
Figure 4.6 Traffic zones of BUAM..... 94
Figure 4.7 Highway and transit network of BUAM..... 95
Figure 4.8 Main page of Bangkok Urban Model (BUAM)..... 95
Figure 4.9 Main page of IVE model (IVE-BUAM)..... 96
Figure 4.10 Scrip files for imported the input data from BUAM to IVE-BUAM..... 97
Figure 4.11 Converted results to the GIS format..... 1102