

การศึกษาเชิงสถิติแคสติกของความเข้มข้นฝุ่นปลิวจากโรงไม้หินบริเวณหน้าพระลาน
โดยการจำลองแบบมอนติ-คาร์โลของแบบจำลอง ISCST3



นางสาว กนิษฐา ผจญอรพ่าย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1407-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2-8 ๓๓ 254๖

I20388408

STOCHASTIC STUDY OF FUGITIVE DUST CONCENTRATION
FROM STONE-PROCESSING PLANTS AT NAH PRA LAAN
USING MONTE-CARLO SIMULATION OF ISCST3 MODEL

Miss Khanitta Phajon-aripai

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1407-4

Thesis Title Stochastic Study of Fugitive Dust Concentration from
Stone-Processing Plants at Nah Pra Laan Using Monte-
Carlo Simulation of ISCST3 Model

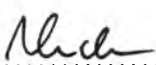
By Miss Khanitta Phajon-aripai

Field of Study Chemical Engineering

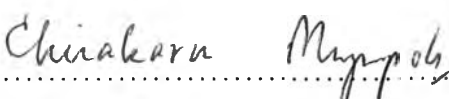
Thesis Advisor Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.


Thesis Co-advisor Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.

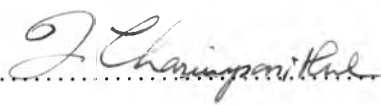
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master 's Degree

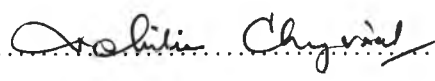
.....Dean of Faculty of Engineering
(Professor Somsak Panyakeow, D.Eng.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Associate Professor Chirakarn Muangnapoh, D.Eng.)

..... Thesis Advisor
(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.)

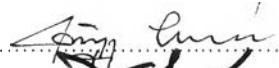


..... Member
(Assistant Professor Vichitra Chongvisal, Ph.D.)

กนิษฐา ผจญอุไรพ่าย : การศึกษาเชิงสโตแคสติกของความเข้มข้นฝุ่นปลิวจากโรงโม่หินบริเวณหน้าพระลาน
โดยการจำลองแบบมอนติ-คาร์โลของแบบจำลอง ISCST3 (STOCHASTIC STUDY OF FUGITIVE DUST
CONCENTRATION FROM STONE-PROCESSING PLANTS AT NAH PRA LAAN USING
MONTE-CARLO SIMULATION OF ISCST3 MODEL) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ศ. ดร. วิวัฒน์
ตันตะพานิชกุล, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล จำนวนหน้า 214 หน้า
ISBN 974-03-1407-4.

งานวิจัยนำเทคนิคมอนติ-คาร์โลมาใช้ร่วมกับแบบจำลอง ISCST3 ซึ่งเป็นแบบจำลองการกระจายตัวมลสารแบบเกาส์เซียน เพื่อคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM_{10} ในบรรยากาศที่เกิดจากโรงโม่หินจำนวน 48 โรง บริเวณตำบลหน้าพระลานและบริเวณใกล้เคียง ในจังหวัดสระบุรี โดยมีจุดรับมลสารที่สนใจจำนวน 5 จุดในพื้นที่ศึกษา การศึกษาแนวโน้มเฉลี่ยรายปีของความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและค่าสถิติอื่น ๆ ทำขึ้นภายใต้สมมติฐานที่ว่าโรงโม่หินทุกโรงมีการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นที่มีประสิทธิภาพ 80% ตัวแปรนำเข้าที่มีความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่สนใจ ได้แก่ ตัวแปรจุดนิยม และอัตราการปล่อยฝุ่นเฉลี่ย ในกรณีที่ศึกษาระดับความไม่แน่นอนของความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ย เนื่องจากตัวแปรจุดนิยมมีความไม่แน่นอน ข้อมูลจุดนิยมในอดีตจะถูกนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อกำหนดรูปแบบฟังก์ชันของการกระจายตัวของข้อมูลที่เหมาะสม รวมทั้งค่าคงที่ถ่วงน้ำหนัก (α) จากนั้นจึงทำการสร้างตัวแปรแรมดัมของข้อมูลจุดนิยมซึ่งเป็นตัวแทนข้อมูลจุดนิยมในอนาคตจากผลการวิเคราะห์เชิงสถิติของข้อมูลจุดนิยมในอดีตของ ความเร็วลม, ทิศทางลม, อุณหภูมิบรรยากาศ, ความสูงในการผสม และปริมาณเมฆ พบว่า ฟังก์ชันการกระจายของข้อมูลจุดนิยมในอดีตมีความสอดคล้องกับฟังก์ชันแบบแกมมา และมีค่าคงที่ถ่วงน้ำหนัก (α) ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 ในกรณีที่ศึกษาระดับความไม่แน่นอนของความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ยเนื่องจากอัตราการปล่อยฝุ่นที่มีความไม่แน่นอน ตัวแปรแรมดัมที่มีการกระจายแบบปกติ (normal random variable) ของค่าของตัวคูณอัตราปล่อยฝุ่น (emission factor) จะถูกสร้างขึ้นโดยอ้างอิงค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นที่จัดทำขึ้นโดย U.S. EPA สำหรับกระบวนการบดย่อยหิน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05275 กิโลกรัม / ตัน และสมมติให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.005275 กิโลกรัม / ตัน

ผลการจำลองแบบซ้ำกัน 50 กรณี หรือปี โดยใช้เทคนิคมอนติ-คาร์โล พบว่าลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นลมที่มีอิทธิพลมากต่อความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากความถี่ของจำนวนครั้งที่ลมพัดในทิศดังกล่าวสูงกว่าความถี่ของจำนวนครั้งที่ลมพัดมาจากทิศทางอื่น ๆ ผลก็คือความน่าจะเป็นที่ความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานในบรรยากาศ (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะมีค่าสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณจุดรับมลสารที่อยู่ในพื้นที่ท้ายลมนั้นคือบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของความไม่แน่นอนของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในกรณีที่ใช้ตัวแปรจุดนิยมที่มีความไม่แน่นอนมีค่าสูงกว่าระดับของความไม่แน่นอนของความเข้มข้นฝุ่นดังกล่าวเมื่อใช้ตัวแปรอัตราการปล่อยฝุ่นที่มีความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรจุดนิยมเป็นปัจจัยสำคัญต่อระดับความไม่แน่นอนของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} มากกว่าตัวแปรอัตราการปล่อยฝุ่น

อนึ่ง ในการทดสอบผลของอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) ของข้อมูลความเร็วลม และทิศทางลมที่มีต่อพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} โดยการแปรเปลี่ยนค่าคงที่ถ่วงน้ำหนัก พบว่าระดับของอัตสหสัมพันธ์ของตัวแปรทิศทางลมมีผลต่อพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} มากกว่าของตัวแปรความเร็วลม ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วลมในพื้นที่ที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นลมสงบ (ความเร็วลมต่ำกว่า 2 เมตร/วินาที)

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต..... 
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม..... 

4170204421: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: STOCHASTIC STUDY / PM₁₀ / ISCST3 / AIR DISPERSION MODEL / MONTE CARLO SIMULATION

KHANITTA PHAJON-ARIPAI: STOCHASTIC STUDY OF FUGITIVE DUST CONCENTRATION FROM STONE-PROCESSING PLANTS AT NAH PRA LAAN USING MONTE-CARLO SIMULATION OF ISCST3 MODEL. THESIS

ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., THESIS CO-

ADVISOR : ASSOC. PROF. TAWATCHAI CHARINPANITKUL, D.Eng., 214 pp. ISBN 974-03-1407-4.

In this study, Monte-Carlo technique and the ISCST3 Gaussian air dispersion model are employed to simulate the 24-hour average concentration of ambient PM₁₀ released from 48 stone-processing plants in Na Pra Laan and vicinity in Saraburi Province. The annual trend of the 24-hour average concentration and their statistical values at 5 receptors are investigated under the assumption of an 80% across-the-board reduction of the plant emission rates after the introduction of dust control systems. Two types of inputs with uncertainty are investigated, meteorological data and source emission. For uncertain meteorological inputs, past meteorological data are first statistically analyzed to find out the proper distribution functions and weighting parameters (α). Next random values of stochastic variables representing future meteorological data are generated. It is found that the gamma distribution is the best-fit distribution of all meteorological inputs (wind speed, wind direction, ambient temperature, mixing height, and cloudiness) and a proper value of α is 0.5. For uncertain emission inputs, values of normal random emission factor based on U.S. EPA recommended values are generated using specified mean and standard deviation of 0.05275 kg/ton and 0.005275 kg/ton, respectively.

According to the 50 Monte-Carlo simulation results, it is found that the predominant southeastern wind direction has the most influence on the predicted concentration of ambient PM₁₀ in the study area compared with other wind directions. As a result, the high probability of the 24-hr average PM₁₀ value exceeding the ambient standard value (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) can not be neglected particularly at the receptors located in the northwestern region. Besides, it is found that the magnitude of uncertainty in the 24-hour PM₁₀ in the case of random meteorological inputs is larger than that in the case of random emission rate inputs. Therefore it may be concluded that uncertainty in meteorological inputs has more significant effect on PM₁₀ uncertainty than in the emission rate inputs.

Furthermore, a test of the effect of autocorrelation in the wind speed and direction on the transient behavior of the PM₁₀ by varying weighting parameters (α) shows that the degree of autocorrelation in the wind direction has more effect on the behavior of the PM₁₀ concentration than that of the wind speed because of the predominance of the calm wind condition in the study area (wind speed < 2.0 m/s).

Department .. Chemical Engineering .. Student's signature..... *Khanitta Phajon-aripai*
Field of study .. Chemical Engineering .. Advisor's signature..... *Wiwut Tanthapanichakoon*
Academic year .. 2001 .. Co-advisor's signature..... *T Charinpanitkul*

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express her gratitude to her thesis advisor, Professor Wiwut Tanthapanichakoon, and co-advisor, Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, for their encouraging guidance and valuable suggestions throughout this study. Their comments and suggestions not merely provide valuable knowledge but as well broaden her perspective in practical applications.

The author would like to express her gratitude to Associate Professor Chirakarn Muangnapoh and special gratitude to Assistant Professor Vichitra Chongvisal for their stimulating and worthy comments and participation as thesis committee.

The author is very grateful to the Graduate School, Chulalongkorn University and Thailand Research Fund (Senior Research Scholar Project of Dr. Wiwut Tanthapanichakoon) partial financial support and for research assistantship, respectively.

Thanks are due the Pollution Control Department for useful information and survey data for this study as well as Ms. Sumridh Sudhibrabha, meteorologist of Thai Meteorological Department, for the supply meteorological data and helpful guidance.

Special thanks are due Assistant Professor Pinyo Meechumna and Mr. Watcharin Kaewmaneevan, research assistant of Mining & Petroleum Engineering Department, Chulalongkorn University, for the supply of survey data on stone-processing plants and to Mr. Parinya Tanadtang for his mental support and valuable resources.

Furthermore, the author is indebted to Dr. Sangsant and Dr. Noppaporn Panich for their valuable technical advice on the ISCST3 Model running.

Besides, the author wishes to express her appreciation to her colleagues in Particle Technology and Material Processing (PTMP) Laboratory for their technical assistance on computer facility as well as the helpful advice.

Last but not least, the author is beholden to her parents and siblings for their encouragement, inspiration and eternal understanding.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
LIST OF FIGURES.....	xi
LIST OF TABLES.....	xviii
NOMENCLATURE.....	xix
 CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 Background.....	1
1.2 Objectives of Present Study.....	3
1.3 Scope of Study.....	3
1.4 Obtained Benefits.....	5
II LITERATURE REVIEW.....	6
2.1 Literature on EPA’s ISC modeling.....	6
2.2 Literature on Stochastic Modeling.....	11
III FUNDAMENTAL KNOWLEDGE.....	15
3.1 Stone Crushing Process.....	15
3.2 Air Pollution Dispersion.....	19
3.2.1 Atmospheric Turbulence.....	19
3.2.1.1 Lapse Rate.....	20
3.2.1.2 Atmospheric Stability Classification.....	20

CONTENTS (Cont.)

	Page
3.2.1.3 Inversion.....	22
3.2.1.4 Plume Types.....	23
3.2.2 Effects of Wind.....	25
3.2.3 Effect of Topography.....	26
3.2.3.1 Terrain Effect.....	26
3.2.3.2 Effect of Surface Roughness.....	27
3.3 Atmospheric Dispersion Models.....	29
3.4 Gaussian Dispersion Model.....	36
3.4.1 Industrial Source Complex (ISC) Model.....	40
3.4.2 Industrial Source Complex Short-Term 3 (ISCST) Model.....	40
3.4.3 Algorithm of the Industrial Source Complex Short-Term 3 (ISCST3) Model.....	41
3.4.3.1 Gaussian plume equation.....	41
3.4.3.2 Plume Rise Formula.....	44
3.4.3.3 Dry Deposition Algorithm.....	45
3.5 Process Simulation	46
3.6 Deterministic and Stochastic Process	46
3.7 Stochastic Process Simulation (Monte-Carlo Simulation).....	47
IV SIMULATION PROCEDURE.....	49
4.1 Preparation of Input Parameters for the ISCST3 Model.....	50

CONTENTS (Cont.)

	Page
4.1.1 Meteorological Inputs.....	50
4.1.1.1 Wind Speed / Direction.....	50
4.1.1.2 Ambient Temperature.....	51
4.1.1.3 Mixing Height.....	51
4.1.1.4 Atmospheric Stability Class.....	51
4.1.2 Source Inventory.....	54
4.1.2.1 Coordinate System of the sources.....	54
4.1.2.2 Equivalent Stack Parameters.....	55
4.1.2.3 Emission Rate of Fugitive Dust.....	58
4.1.3 Coordinates of Receptor Locations.....	59
4.1.4 Deposition Parameters.....	60
4.1.4.1 Fugitive Dust Characteristics.....	60
4.1.4.2 Surface Roughness.....	61
4.1.4.3 Monin-Obukhov Length.....	61
4.1.4.4 Friction Velocity.....	62
4.2 Methodology of Monte-Carlo Simulation.....	64
V RESULT AND DISCUSSION.....	66
5.1 Evaluation of ISCST3 Model.....	66
5.2 Statistically Generated Meteorological Inputs.....	75
5.2.1 Wind Speed	75
5.2.2 Wind Direction.....	82
5.2.3 Ambient Temperature.....	85

CONTENTS (Cont.)

	Page
5.2.4 Mixing Height.....	88
5.2.5 Cloudiness.....	91
5.3 Stochastic Simulation and Analysis of Predicted PM ₁₀ Concentration.....	94
5.3.1 The Case of Random Meteorological Inputs.....	95
5.3.2 The Case of Random Emission Inputs.....	107
5.4 Effect of the Auto-correlation Coefficient (α).....	115
5.4.1 The Case of Wind Speed.....	115
5.4.2 The Case of Wind Direction.....	116
 VI CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	 119
6.1 Conclusions.....	119
6.2 Recommendation for future study.....	122
 REFERENCE.....	 123
APPENDICES.....	126
A. Calculation of Solar Elevation Angle.....	127
B. Calculation of Emission Rate.....	129
C. Sampled Probability Plots of Meteorological Inputs.....	136
D. Generated Gamma Random Wind Data.....	152
E. Gamma Distribution and Its Parameter for the Gamma Random Variable Generation.....	153
 VITA.....	 214

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 3.1 Typical stone crushing process.....	18
Figure 3.2 Plume behavior influenced by the lapse rate and inversion layer above and below the release height Comparison of 24-hour average concentrations of PM ₁₀	24
Figure 3.3 Effect of terrain roughness on the wind speed profile over different size roughness elements.....	27
Figure 3.4 The Gaussian plume in a wind-oriented coordinate system.....	38
Figure 3.5 Pasquill-Gifford dispersion parameters as a function of stability and downwind distance.....	39
Figure 4.1(a) The dimension in front view of representative stone processing plant.....	56
Figure 4.1 (b) The dimension of side view of representative stone processing plant.....	57
Figure 4.2 Semiempirical relation between L , Turner stability class, and z_0	62
Figure 5.1 Comparison of 24-hr average concentrations of PM ₁₀ predicted by ISCST3 model vs. measurement at Na Pra Laan monitoring station of PCD in 1996.....	67
Figure 5.2 Comparison of 24-hour average concentrations of PM ₁₀ predicted by ISCST3 model vs. measurement at Na Pra Laan monitoring station of PCD in February 1996.....	70

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure 5.3 Comparison of 24-hour average concentrations of PM ₁₀ predicted by ISCST3 model vs. measurement at Na Pra Laan monitoring station of PCD in July 1996.....	71
Figure 5.4 (a) Comparison of normal Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind speed data at 1:00 A.M. for January of 1995 - 2000.....	77
Figure 5.4 (b) Comparison of gamma Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind speed data at 1:00 A.M. for January of 1995 - 2000.....	78
Figure 5.4 (c) Comparison of uniform Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind speed data at 1:00 A.M. for January of 1995 - 2000.....	79
Figure 5.4 (d) Comparison of Laplace Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind speed data at 1:00 A.M. for January of 1995 - 2000.....	80
Figure 5.5 Actual average diurnal wind speed vs. auto-correlated gamma random wind speed with different weighting parameter (α).....	81
Figure 5.6 Actual average diurnal wind direction vs. auto-correlated gamma random wind speed with different weighting parameter (α).....	84

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure 5.7 Actual average diurnal ambient temperature vs. auto-correlated gamma random wind speed with different weighting parameter (α).....	87
Figure 5.8 Actual average diurnal mixing height vs. auto-correlated gamma random wind speed with different weighting parameter (α).....	90
Figure 5.9 Actual average diurnal cloudiness vs. auto-correlated gamma random wind speed with different weighting parameter (α).....	93
Figure 5.10 Wind rose of the statistically generated hourly wind speed in 16 wind directions throughout all 50 annual sets of data (438,050 hourly values).....	96
Figure 5.11 Map of study area with locations of stone-processing plants (round dots) and receptors (triangular dots).....	101
Figure 5.12 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Wat Koong Kao Keaw obtained from modeling with uncertain meteorological inputs.....	102
Figure 5.13 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Saraburi Cement obtained from modeling with uncertain meteorological inputs.....	103
Figure 5.14 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Ban Sab Cha-om obtained from modeling with uncertain meteorological inputs.....	104

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure 5.15 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Wat Tam Sriwilai obtained from modeling with uncertain meteorological inputs.....	105
Figure 5.16 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Na Pra Laan School obtained from modeling with uncertain meteorological inputs.....	106
Figure 5.17 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Wat Koong Kao Keaw obtained from modeling with uncertain emission inputs.....	110
Figure 5.18 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Saraburi Cement obtained from modeling with uncertain emission inputs.....	111
Figure 5.19 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Ban Sab Cha-om obtained from modeling with uncertain emission inputs.....	112
Figure 5.20 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Wat Tam Sriwilai obtained from modeling with uncertain emission inputs.....	113
Figure 5.21 Annual trend of statistical values of 24-hour average concentration of PM ₁₀ at Na Pra Laan School obtained from modeling with uncertain emission inputs.....	114
Figure 5.22 Effect of autocorrelation level in the wind speed on the transient behavior of PM ₁₀ at receptor # 1.....	117

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure 5.23 Effect of autocorrelation level in the wind direction on the transient behavior of PM_{10} at receptor # 1.....	118
Figure C.1(a) Comparison of normal Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical cloudiness data at 1:00 A.M. for January of 1983 – 2000.....	127
Figure C.1(b) Comparison of gamma Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical cloudiness data at 1:00 A.M. for January of 1983 – 2000.....	128
Figure C.1(c) Comparison of uniform Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical cloudiness data at 1:00 A.M. for January of 1983 – 2000.....	129
Figure C.1(d) Comparison of Laplace Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical cloudiness data at 1:00 A.M. for January of 1983 – 2000.....	130
Figure C.2(a) Comparison of normal Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind direction data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	131
Figure C.2(b) Comparison of gamma Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind direction data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	132
Figure C.2(c) Comparison of uniform Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind direction data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	133

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure C.2(d) Comparison of Laplace Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical wind direction data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	134
Figure C.3(a) Comparison of normal Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical ambient temperature data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	135
Figure C.3(b) Comparison of gamma Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical ambient temperature data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	136
Figure C.3(c) Comparison of uniform Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical ambient temperature data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	137
Figure C.3(d) Comparison of Laplace Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical ambient temperature data at 1:00 A.M. for January of 1995 – 2000.....	138
Figure C.4(a) Comparison of normal Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical mixing height data at 1:00 A.M. for January of 1993 – 2000.....	139
Figure C.4(b) Comparison of gamma Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical mixing height data at 1:00 A.M. for January of 1993 – 2000.....	140
Figure C.4(c) Comparison of uniform Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical mixing height data at 1:00 A.M. for January of 1993 – 2000.....	141

LIST OF FIGURES (Cont.)

	Page
Figure C.4(d) Comparison of Laplace Q-Q probability distribution plot and detrended plot with historical mixing height data at 1:00 A.M. for January of 1993 – 2000.....	142

LIST OF TABLES

	Page
Table 3.1 Pasquill-Gifford Stability Classification.....	21
Table 3.2 Value of Surface Roughness Length (z_0), for typical surface.....	28
Table 3.3 Features of U.S. EPA's preferred air quality models.....	31
Table 4.1 Summary of physical stack parameters for a typical stone-processing plant.....	58
Table 4.2 Emission Factor for crushed stone processing operations (U.S. EPA, 1992).....	59
Table 4.3 Mass fraction versus mass mean diameter of particles used in the model.....	61



NOMENCLATURE

C_{24}	=	24-hour average concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_{\min}	=	24-hour minimum concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_{\max}	=	24-hour maximum concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
d	=	the Julian day
d	=	top inside stack diameter (m)
D	=	a decay term
g	=	acceleration of gravity, 9.8 m/s
Δh	=	plume rise (m)
k_a	=	von Karman constant (0.40)
L	=	Monin-Obukhov length (m)
P	=	atmospheric pressure (millibar)
Q	=	pollutant emission rate (mass per unit time)
r_a	=	the aerodynamic resistance (s/cm)
r_d	=	the deposition layer resistance (s/cm)
SD	=	standard deviation
T_s	=	stack gas temperature (K)
T_a	=	ambient air temperature (K)
$T_{1,2}$	=	pollutant half life (second)
u_*	=	friction velocity (m/s)
\bar{u}	=	mean wind speed measured at height z (m)
u_s	=	mean wind speed at release height (m/s)
V	=	a vertical term

V_d	=	the deposition velocity (cm/s)
V_g	=	the gravitational settling velocity (cm/s)
V_s	=	stack gas exit velocity (m/s)
x	=	downwind distance from the source (m)
Z_o	=	surface roughness length (m)

Greek symbols

α	=	weighting parameter
λ	=	the longitude (radians)
σ_y	=	horizontal dispersion coefficient (m)
σ_z	=	vertical dispersion coefficient (m)
ϕ	=	the latitude (radians)
τ	=	the time of day (hours GMT)
ψ	=	the decay coefficient
ψ_m	=	Monin-Obukhov similarity function for normalized velocity