การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร

นางสาววรวีรัตน์ ส่งสัมพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-14-2921-5
ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF MATHEMATIC MODEL FOR INDOOR PARTICULATE MATTER PREDICTION

Miss Raweerat Songsamphant

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-2921-5

481804

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร
โดย	นางสาวรวีรัตน์ ส่งสัมพันธ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

..... กรรมการ
(ดร. หทัยรัตน์ การีเวทย์)

นางสาววรีรัตน์ ส่งสัมพันธ์ : การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร. (DEVELOPMENT OF MATHEMATIC MODEL FOR INDOOR PARTICULATE MATTER PREDICTION) อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ, 90 หน้า. ISBN 974-14-2921-5

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร ความเร็วลม ทิศทางลม และอัตราการระบายอากาศ และรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่า ความเร็วลม ทิศทางลม จำนวนและทิศทางของการเปิดหน้าต่างและการมีมุ้งลวดที่หน้าต่าง มีผลต่ออัตราการระบายอากาศ จากปัจจัยดังกล่าวทำให้ได้สมการทำนายค่าอัตราการระบายอากาศ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยสมการการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เมื่อทดสอบค่าอัตราการระบายอากาศจากการตรวจวัดกับค่าที่ได้จากสมการทำนาย ด้วยการวิเคราะห์ Factor of Two พบว่า สมการสามารถทำนายค่าอัตราการระบายอากาศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เท่ากับ 62.30% โดยสมการจะทำนายได้ดีในกรณีที่มีการเปิดหน้าต่างด้านเดียวหรือด้านที่ตั้งฉากกันของผนัง (เฉียงกัน) เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร (Indoor/Outdoor : I/O) พบว่า ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร และขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร มีสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร เท่ากับ 3.32, 2.26 และ 1.35 ตามลำดับ จากหลักการของ box model และสมการทำนายอัตราการระบายอากาศ ทำให้ได้สมการทำนายฝุ่นละอองภายในอาคาร โดยสมการนี้ใช้สำหรับทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร ซึ่งจะทำนายได้ดีที่สุด เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองจากภายในอาคารที่เวลาเริ่มต้นและอัตราการระบายอากาศจากการตรวจวัด โดยมีค่าอยู่ในช่วงยอมรับได้ ของ การวิเคราะห์ด้วย Factor of Two เท่ากับ 94.83% และประสิทธิภาพการทำนายจะลดลงเมื่อมีการใช้ค่าต่างๆ จากสมการทำนาย คือ เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองภายในอาคารที่เวลาเริ่มต้นจากการตรวจวัดและข้อมูลอัตราการระบายอากาศที่ได้จากสมการทำนายอัตราการระบายอากาศ จะมีค่าการยอมรับ เท่ากับ 91.38% เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองภายในอาคารที่เวลาเริ่มต้นจากค่าสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร และข้อมูลอัตราการระบายอากาศที่ได้จากการตรวจวัด จะมีค่าการยอมรับ เท่ากับ 31.04% และเมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองภายในอาคารที่เวลาเริ่มต้นจากค่าสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร และข้อมูลอัตราการระบายอากาศที่ได้สมการทำนายอัตราการระบายอากาศ จะมีค่าการยอมรับ เท่ากับ 31.04% เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายได้มากขึ้นควรมีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมออกของอนุภาคจากภายในสู่ภายนอกอาคาร และศึกษาสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคารเพิ่มเติม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา) ลายมือชื่อนิสิต วรีรัตน์ ส่งสัมพันธ์

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

##4589131920: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: INDOOR PARTICULATE MATTER MODEL / AIR EXCHANGE RATE

RAWEERAT SONGSAMPHANT: DEVELOPMENT OF MATHEMATIC MODEL FOR INDOOR PARTICULATE MATTER PREDICTION. THESIS ADVISOR: SURAT BUALERT, Ph.D., 90 pp. ISBN 974-14-2921-5

In this study, wind speed, wind direction, air exchange rate (AER) and indoor and outdoor concentrations were measured and published literatures were included to developed indoor particulate matter prediction model. The result found that wind speed, wind direction, number of windows, window direction and screen on window effected on AER. From these factor, prediction ventilation equation was developed by multiple regression analysis. The result from Factor of Two analysis showed that the equation can predict AER at 62.30% and was well used when open window one side of wall or two side but not opposite side. Indoor-Outdoor ratio (I/O) of TSP PM_{10} and $PM_{2.5}$ were 3.32, 2.26 and 1.35 respectively. PM10 concentration model was developed from box model and prediction ventilation equation. This model predicted well when using measurement PM10 and AER (94.83%). The model performed less well when using measurement PM10 and prediction AER (91.38%), prediction PM10 (I/O) and measurement AER (31.04%) and prediction PM and AER (31.04%). The result suggest that the particle penetration from indoor to outdoor and I/O in many place should be studied to increase the efficiency of model.

Field of study Environmental Science (Inter-Department) Student's signature Raweerat Songsamphant
Academic year 2005 Advisor's signature S Bualert

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษาและแนะนำทุกอย่างสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งส่งผลให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ และขอขอบคุณคำสั่งสอนต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ที่ผู้เขียนสัญญาว่าจะนำไปปฏิบัติในการทำงานให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ

ขอขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงสละเวลาช่วยเหลือในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณครอบครัวภวนันท์ที่อนุเคราะห์สถานที่ที่ดีในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทั่วไป และเจ้าหน้าที่วิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการในเรื่องต่างๆ และอนุเคราะห์เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นและเครื่องมือเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือ ขอขอบคุณ อ้อ อุ้ม จิ๋ว โบ ณัติ เพชร ลูกหว้า จี และปุ้ม ที่ช่วยเก็บตัวอย่าง และให้คำแนะนำต่างๆ ขอบคุณพี่ตู่ (วิศวะคอมฯ) อย่างสูงสุดที่ทำให้การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัว คุณลุง คุณป้า คุณอาที่เป็นกำลังใจและพยายามลุ้นกันสุดตัวเพื่อให้ผู้เขียนพยายามจนถึงวันนี้

ขอขอบพระคุณคุณแม่ที่เป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนในทุกๆ ด้านในการทำวิจัยและสุดท้ายขอขอบคุณคุณพ่อที่ไม่เคยบ่นว่าเลยแม้ผู้เขียนจะแอบขี้เกียจไปบ้างและไม่เคยกดดันหรือเปรียบเทียบลูกกับคนอื่นๆ แต่จะคอยให้กำลังใจและเป็นที่ปรึกษาที่ดีที่สุดเสมอ ขอบคุณคุณพ่อที่ใจเย็นรับฟังผู้เขียน(ที่กำลังแอบโมโหจากความเครียด) และ คอยแก้ไขปัญหาด้วยคำแนะนำที่ดีเยี่ยม และลำบากขับรถรับส่ง (เพื่อให้ผู้เขียนเพื่อให้ผู้เขียนสะดวกสบายตลอดการทำวิจัยและเล่มวิทยานิพนธ์) จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็วลงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 บทนำ 4
2.2 ฝุ่นละอองภายในอาคาร 4
2.3 การคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคาร 14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 สถานที่ทำการวิจัย 22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 23
3.3 การดำเนินการวิจัย 25

บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล
4.1 ข้อมูลเบื้องต้น 31
4.2 การประมาณค่าการระบายอากาศ 38
4.3 ความเข้มข้นฝุ่นละออง 41
4.4 แบบจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคาร 51

หน้า

4.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในอาคาร 60

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการทำนายความเข้มข้นฝุ่นละออง ภายในอาคาร 66

5.2 สรุปผลการศึกษาการพัฒนาสมการประมาณค่าอัตราการระบายอากาศ 67

5.3 สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในและ ภายนอกอาคาร 68

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้แบบจำลอง 69

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 69

รายการอ้างอิง 71

ภาคผนวก 75

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (TSP) ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากการทำอาหาร โดยใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศกำลังพัฒนา 5

2.2 ความเข้มข้นฝุ่นละออง (PM_7) ภายในอาคารใน Mozambique ในที่อยู่อาศัยในแทบชานเมืองที่ใช้เชื้อเพลิงในการทำอาหารชนิดต่าง 6

2.3 ชนิด ขนาดและค่าปัจจัยการซึมเข้ามาภายในอาคาร 7

2.4 ค่าจากการตรวจวัดของอัตราการหายไปของอนุภาค และการคำนวณ อัตราการหายไปของการตกตะกอนและความเร็วในการตกตะกอน 8

2.5 อัตราการฟุ้งกระจายเมื่อผู้อยู่อาศัยในบ้านที่ทำการศึกษามีกิจกรรมเป็นปกติ 8

3.1 ลักษณะภายในอาคารที่ใช้ในการวัดอัตราการระบายอากาศ 27

4.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของ อัตราการระบายอากาศเมื่อเปิดหน้าต่างที่มีมุ้งลวดและที่ไม่มีมุ้งลวด 37

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับแต่ละปัจจัยทั้งด้าน อุตุนิยมวิทยาและรูปแบบการเปิดหน้าต่าง 38

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศกับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา และรูปแบบการเปิดหน้าต่าง 38

4.4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความเข้มข้น ฝุ่นละอองภายในและภายนอกอาคาร 41

4.5 สัดส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร 42

4.6 ตัวอย่างสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O) จากงานวิจัยอื่นๆ 43

4.7 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความเข้มข้น ฝุ่นละอองภายในอาคาร รวมและจำแนกตามขนาดอนุภาคและจำนวนหน้าต่าง 46

4.8 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร จำแนกตามจำนวนหน้าต่าง 47

4.9 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร เมื่อเปิดหน้าต่างที่มีมุ้งลวด และไม่มีมุ้งลวด 48

ตารางที่ หน้า

4.10 ค่าสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร เมื่อเปิดหน้าต่าง
แบบมีมุ้งลวดและไม่มีมุ้งลวดที่หน้าต่าง 48
4.11 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความเข้มข้น
ฝุ่นละอองภายในอาคาร จำแนกตามขนาดอนุภาคและทิศทางการเปิดหน้าต่าง 50
4.12 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสัดส่วน
ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคาร จำแนกตามขนาดอนุภาค
และทิศทางการเปิดหน้าต่าง 51

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ผลของแห่งกำเนิดการเผาไหม้ภายในอาคารและกิจกรรมการทำอาหาร ต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร 6

2.2 แผนภาพของทางเข้าและจุดสิ้นสุดของอนุภาคภายในอาคารที่พักอาศัย 9

2.3 เมืองที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งแสดงสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในสมการ fixed-box model 14

3.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา 22

3.2 พื้นที่ศึกษาที่ใช้ทดสอบการทำนาย 23

3.3 เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 24

3.4 เครื่องมือเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 24

3.5 เครื่องมือตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา 25

3.6 แผนผังสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัย 30

4.1 ความเร็วลมในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา 31

4.2 ทิศทางลมในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา 32

4.3 ระดับคะแนนและทิศทางลมที่พัดกระทำต่อบานหน้าต่าง 34

4.4 ระดับคะแนนและทิศทางลมที่พัดกระทำต่อหน้าต่างบานเปิด 35

4.5 ระดับคะแนนและทิศทางของหน้าต่าง 36

4.6 ผลเปรียบเทียบค่าอัตราการระบายอากาศจากการตรวจวัดกับ ค่าอัตราการระบายอากาศจากการทำนาย 40

4.7 การพัดพาของฝุ่นละอองและการระบายอากาศของห้อง 52

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร กับค่าที่ได้จากสมการทำนายฝุ่นละออง เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองและ อัตราการระบายอากาศจากการตรวจวัด 56

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร กับค่าที่ได้จากสมการทำนายฝุ่นละออง เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองจากการตรวจวัด และอัตราการระบายอากาศจากสมการทำนายค่าอัตราการระบายอากาศ 57

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร กับค่าที่ได้จากสมการทำนายฝุ่นละออง เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองจากสัดส่วน ฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคารและอัตราการระบายอากาศจากการตรวจวัด 58

ภาพที่ หน้า

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร กับค่าที่ได้จากสมการทำนายฝุ่นละออง เมื่อใช้ข้อมูลฝุ่นละอองจากสัดส่วนฝุ่นละอองภายในต่อภายนอกอาคารและอัตราการระบายอากาศจากสมการทำนายค่าอัตราการระบายอากาศ 59

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร กับค่าที่ได้จากสมการทำนายฝุ่นละออง เมื่อรวมทั้ง 4 เงื่อนไข 60

4.13 หน้าจอโปรแกรมคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร 62

4.14 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมการทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร 63

4.15 หน้าจอแสดงผลความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารของโปรแกรมทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร 64

4.16 การแสดงผลความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารรายนาทีในรูปแบบของแฟ้มเอกสารของโปรแกรมทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร 65