



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศ ซึ่งมีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากและเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ ซึ่งสารที่กล่าวถึงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ และอาจอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลวหรืออนุภาคของแข็งก็ได้ (นพภาพร และ แสงสันดี, 2544)

มลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollution) หมายถึง อากาศภายในบ้านหรืออาคารซึ่งมีมลสารอันเป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของคนภายในบ้าน หรือมลสารซึ่งปล่อยมาจากเครื่องเรือนหรือวัสดุในการก่อสร้างและมลสารตามธรรมชาติจากภายนอกอาคารที่เข้ามาภายในอาคาร (Wagner, 1994)

Turiel (1985) อธิบายว่าสารที่ถูกปล่อยสู่อากาศภายในอาคารจะถูกเจือจางได้น้อยกว่าสารที่ถูกปล่อยออกสู่ภายนอกอาคาร ที่ซึ่งมีปริมาตรอากาศมากจนสามารถกระจายมลพิษได้ ความเข้มข้นภายในอาคารถูกกำหนดโดยอัตราการปล่อยสารภายในอาคารและอัตราการกำจัดออก โดยกระบวนการที่เพิ่มการปนเปื้อนภายในอาคารคือ การไหลของการปนเปื้อนภายนอกอาคารเข้ามาภายในและการปล่อยมลสารภายในอาคาร และกระบวนการที่ลดปริมาณการปนเปื้อนภายในอาคาร คือการไหลของอากาศภายในไปภายนอกและการกำจัดมลสารทั้งทางก. เภภาพและทางเคมี

2.2 ผู้คนละอองภายในอาคาร

องค์ประกอบของผู้คนในบ้านเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้ง ฤดูกาล ธรรมชาติของสิ่งปลูกสร้าง สภาพสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอก และกิจกรรมภายในอาคาร (Meyer, 1983)

2.2.1 การเกิดฝุ่นละอองภายในอาคาร (indoor generated)

1) การสูบบุหรี่ (Smoking) Repace และ Lowrey (1980 อ้างถึงใน Meyer, 1983) ศึกษาระดับอนุภาคที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ในพื้นที่ที่ไม่สูบบุหรี่ พบระดับความเข้มข้นภายในอาคารประมาณ 24 – 55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในสถานที่ 16 แห่งในกรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ค่าสูงสุดต่ำสุดอยู่ในที่พักอาศัยส่วนตัว ส่วนค่ากลางๆมีค่า 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในโบสถ์ที่มีกิจกรรมในวันอาทิตย์และที่ห้องสมุดที่รัฐสภา ในขณะที่ภายนอกอาคารมีความเข้มข้นประมาณ 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในทางตรงกันข้าม ในสถานที่คล้ายๆ กัน ประมาณ 3 – 10 % ของเจ้าของที่สูบบุหรี่ จะมีปริมาณอนุภาคอยู่ในช่วง 90 – 700 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

โดยภายในกัตตาการมีค่าต่ำกว่า และระดับความเข้มข้นสูงๆ จะอยู่ในห้องที่มีขนาดเล็ก ที่เล่นเกม บิงโก และงานปาร์ตี้คอกเทล นอกจากนี้ยังพบว่า ในห้องที่มีปริมาตรขนาด 22 ลูกบาศก์เมตรที่ไม่มีการระบายลม อนุภาคจะเพิ่มขึ้นจาก 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายใน 5 นาทีหลังจากเริ่มจุดบุหรี่

2) การทำอาหาร (Cooking) การทำอาหารในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (biomass) ไฟส่วนใหญ่ที่ใช้มาจากฟืนและสถานที่ที่ใช้ทำอาหารส่วนใหญ่ไม่มีการระบายอากาศสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารมาก ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (TSP) ที่เกิดขึ้นภายในอาคารจากการทำอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศกำลังพัฒนา

| สถานที่/ปีที่รายงาน | เงื่อนไขการวัด | ความเข้มข้นฝุ่นละออง ($\mu\text{g m}^{-3}$) |
|---------------------|--------------------------------|---|
| Papua, New Guinea | | |
| 1968 | Overnight, floor level | 200-4,900 |
| 1975 | Overnight, sitting level | 200-9,000 |
| India | | |
| 1982 | Cooking with wood | 15,000 |
| | Cooking with dung | 18,000 |
| 1988 | Cooking with charcoal | 5,500 |
| | Cooking, measured near ceiling | 4,000-21,000 |
| Nepal, 1986 | Cooking with wood | 8,800 |
| China, 1987 | Cooking with wood | 2,600 |
| Gambia, 1988 | 24 hr | 1,000-2,500 |
| Kenya, 1987 | 24 hr | 1,200-1,900 |

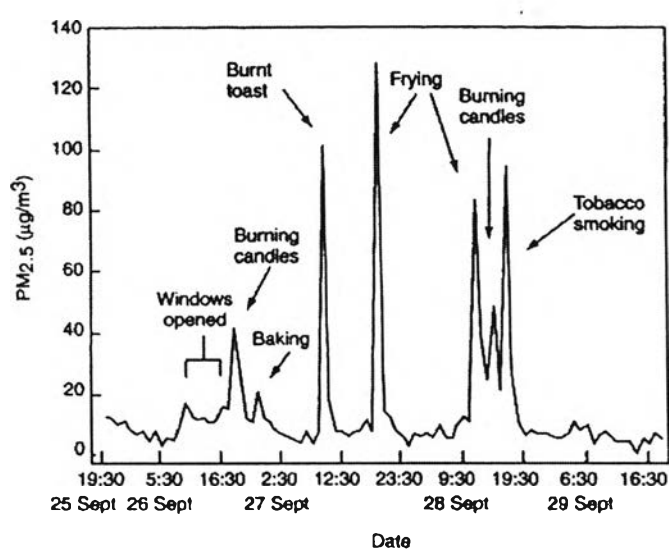
ที่มา Smith, K.R. (อ้างถึงใน Godish, 2003)

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นฝุ่นละออง (PM₇) ภายในอาคารใน Mozambique ในที่อยู่อาศัยในเทศบาลเมืองที่ใช้เชื้อเพลิงในการทำอาหารชนิดต่างๆ

| เชื้อเพลิง | ความเข้มข้นเฉลี่ย (PM ₇) ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \text{SE}$) | จำนวนที่พักอาศัย |
|----------------------|---|------------------|
| ไม้ Wood | 1,200 \pm 131 | 114 |
| ถ่านหิน ถ่านไม้ Coal | 940 \pm 250 | 4 |
| น้ำมันก๊าด Kerosene | 760 \pm 270 | 10 |
| ถ่านเผา Charcoal | 540 \pm 80 | 78 |
| เตาไฟฟ้า Electricity | 380 \pm 94 | 8 |
| ก๊าซหุงต้ม LPG | 200 \pm 110 | 3 |

ที่มา Ellegard, A. (อ้างอิงใน Godish, 2001)

3) กิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร (Indoor activities) เช่น การจุดเทียน การเดิน การทำความสะอาด เป็นต้น Abt et al. (2000) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการให้ของแหล่งกำเนิดอนุภาคภายนอกและภายในอาคารต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร พบว่า การทำความสะอาดและการทำงานในอาคาร (จำแนกโดยการเคลื่อนไหวของคน) เพิ่มความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 0.7 – 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 0.27 และ 0.25 ไมโครลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ตามลำดับ ส่วนผลของการจุดเทียนและกิจกรรมต่างของคนภายในอาคารต่อระดับอนุภาคดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ผลของแหล่งกำเนิดการเผาไหม้ภายในอาคารและกิจกรรมการทำอาหารต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร (Koutrakis อ้างถึงใน Godish, 2003)

2.2.2 การซึมเข้าและออกของอากาศ (Infiltration and Exfiltration)

ในทุกๆ โครงสร้างบ้านเรือนจะต้องมีการไหลเข้าและออกของอากาศ ซึ่งรวมถึงการซึมผ่านช่องว่างแคบๆ ของบานหน้าต่าง ประตู หรือช่องว่างตามเพดาน ซึ่งความแน่นหนาของสิ่งห่อหุ้มอาคารและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิภายในภายนอกอาคารที่แตกต่างกัน ความเร็วลม เป็นต้น ก่อให้เกิดการซึมผ่านเข้ามาของอากาศจากข้างนอก (infiltration) และการซึมออกไปของอากาศจากภายใน (exfiltration) การแลกเปลี่ยนอากาศมากเกิดขึ้นในฤดูหนาว ในวันที่ลมพัดแรง ในขณะที่การแลกเปลี่ยนอากาศต่ำจะเกิดขึ้นเมื่อลมสงบ นอกจากนี้ในฤดูร้อนผลของอุณหภูมิภายในภายนอกที่ต่างกัน ทำให้เกิดความกดดันที่ต่างกัน โดยจะทำให้อากาศไหลเข้าทางด้านล่างของอาคาร และผลึกอากาศในอาคารออกไปทางด้านบน (Godish, 2003)

จากการศึกษาปัจจัยการซึมผ่านเข้ามาภายในอาคารจากวารสารต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิด ขนาดและค่าปัจจัยการซึมเข้ามาภายในอาคาร

| | ชนิด | ขนาด | ปัจจัยการซึมเข้า (ไม่มีหน่วย) |
|------------------------|------------|------------------------|-------------------------------|
| Long et al (2001) | PM | Coarse $PV_{2.5-10}$ | 0.28 ± 0.19 |
| | PM | 2.5 | 0.74 ± 0.41 |
| Abt et al. (2000) | PM | 0.02-0.5 μm | 0.38 - 0.94 |
| | PM | 0.7-10 μm | 0.12 - 0.53 |
| Spengler et al. (1981) | $PM_{3,5}$ | | 0.70 |
| | sulfate | | 0.75 |
| McMurry et al. 1985* | PM | 0.01-1.0 μm | 0.2 - 0.4 |
| Alzona et al. 1979 | iron | coarse | 0.24 |
| | lead | fine | 0.42 |

* ที่มา อ้างถึงใน Long et al. (2001)

2.2.3 การฟุ้งกระจายและการตกตะกอน (Resuspension and Deposition)

การฟุ้งกระจาย (resuspension) คือ การแขวนลอยอีกครั้งของอนุภาคหลังจากที่ตกตะกอนแล้ว (deposition) ซึ่งการฟุ้งกระจายของอนุภาคภายในอาคารที่พักอาศัยหรืออาคารศูนย์การค้าเกิดจากการเคลื่อนไหวของคน (Meyer, 1983)

Thatcher และ Layton (1995) ศึกษาอัตราการตกตะกอนและการฟุ้งกระจายของอนุภาคภายในที่อยู่อาศัย โดยอัตราการตกตะกอน สรุปได้ดังตารางที่ 2.4 และอัตราการฟุ้งกระจายสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่าจากการตรวจวัดของอัตราการหายไปของอนุภาค และการคำนวณอัตราการหายไปของการตกตะกอนและความเร็วในการตกตะกอน

| Sample date | Particle size range (μm) | Overall particle loss rate (h^{-1}) | Air infiltration rate (h^{-1}) | Particle deposition loss rate (h^{-1}) | Deposition velocity (m h^{-1}) |
|--------------|---------------------------------------|--|---|---|---|
| 22 July 93 | 1-2 | 0.55 | 0.30 | 0.25 | 0.60 |
| | 2-3 | 0.85 | 0.30 | 0.55 | 1.32 |
| | 3-4 | 1.07 | 0.30 | 0.77 | 1.85 |
| | 4-6 | 1.98 | 0.30 | 1.68 | 4.03 |
| 23 July 93 | 1-2 | 0.46 | 0.18 | 0.28 | 0.67 |
| | 2-3 | 0.93 | 0.18 | 0.75 | 1.80 |
| | 3-4 | 1.02 | 0.18 | 0.84 | 2.02 |
| | 4-6 | 1.96 | 0.18 | 1.78 | 4.27 |
| 10 August 93 | 1-5 | 0.60 | 0.14 | 0.46 | 1.10 |
| | 5-10 | 1.50 | 0.14 | 1.36 | 3.26 |
| | 10-25 | 2.50 | 0.14 | 2.36 | 5.66 |
| | > 25 | 4.20 | 0.14 | 4.06 | 9.74 |

ที่มา Thatcher และ Layton (1995)

ตารางที่ 2.5 อัตราการฟุ้งกระจายเมื่อผู้อยู่อาศัยในบ้านที่ทำการศึกษามีกิจกรรมเป็นปกติ

| Particle size range (μm) | Indoor particle concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) | Outdoor particle concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) | Particle deposition loss rate (h^{-1}) | Air infiltration rate (h^{-1}) | Resuspension rate (h^{-1}) ^a |
|---------------------------------------|--|---|---|---|--|
| 0.3-0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 0.3 | 9.9×10^{-7} |
| 0.5-1 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 4.4×10^{-7} |
| 1-5 | 6.8 | 3.0 | 0.5 | 0.3 | 1.8×10^{-5} |
| 5-10 | 14.3 | 10.9 | 1.4 | 0.3 | 8.3×10^{-5} |
| 10-25 | 38.0 | 21.7 | 2.4 | 0.3 | 3.8×10^{-4} |
| > 25 | 2.0 | 1.4 | 4.1 | 0.3 | 3.4×10^{-5} |

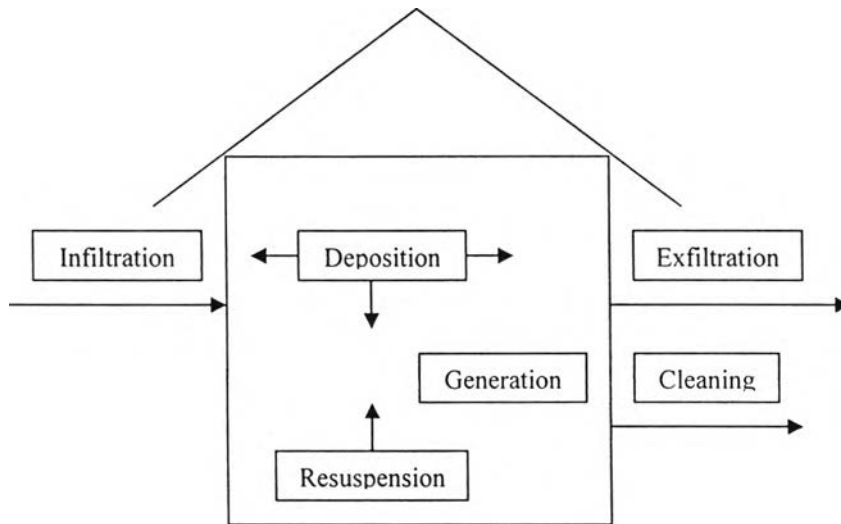
^a อัตราการฟุ้งกระจายคำนวณภายใต้เงื่อนไข 1) 40% ของพื้นเป็นพรมและอีก 60% เป็นพื้นแข็ง 2)

ความสามารถในการจุฝุ่นทั้งหมดใช้ค่าเดียวกันทุกขนาด

ที่มา Thatcher และ Layton (1995)

2.2.4 แบบจำลองฝุ่นละอองภายในอาคาร

Thatcher และ Layton (1995) ทำการศึกษาเรื่องการตกตะกอน การฟุ้งกระจายและการแพร่ผ่านเข้ามาของอนุภาคภายในอาคารที่พักอาศัย โดยมีข้อตกลงเกี่ยวกับการทดลองว่า เพื่อที่จะทราบผลกระทบของอนุภาคที่เกิดภายนอกอาคารต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร จึงมีความจำเป็นที่ต้องนับแหล่งกำเนิดและจุดสิ้นสุดของอนุภาคที่พบในอากาศภายในอาคาร



ภาพที่ 2.2 แผนภาพของทางเข้าและจุดสิ้นสุดของอนุภาคภายในอาคารที่พักอาศัย

จากภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นทางหลักของอนุภาคในอากาศที่ผ่านเข้าและออกไปภายในบ้าน ถ้าสภาพแวดล้อมภายในอาคารผสมกันดีและปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นภายในอาคารอยู่ในภาวะคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารที่สภาวะสมดุลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_{in} = \frac{L_{fi}A_{fi}R + \lambda_v PVC_0 + G}{(A_d v_d + \lambda_v V)} \quad 2.1$$

- เมื่อ C_{in} คือ ความเข้มข้นอนุภาคในอากาศภายในอาคาร (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 L_{fi} คือ ความสามารถในการบรรจุมวลของอนุภาคของพื้นห้อง (มิลลิกรัมต่อตารางเมตร)
 A_{fi} คือ พื้นที่ผิวหน้าของพื้นห้อง (ตารางเมตร)
 R คือ อัตราการฟุ้งกระจายของอนุภาคจากพื้น (ต่อชั่วโมง)
 λ_v คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)
 C_0 คือ ความเข้มข้นอนุภาคในอากาศภายนอกอาคาร (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 P คือ ส่วนของอนุภาคภายนอกอาคารที่แพร่เข้ามาในอาคาร (ไม่มีหน่วย)

V คือ ปริมาตรของห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

G คือ อัตราการเกิดอนุภาคภายในอาคาร (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)

A_d คือ พื้นที่ผิวสำหรับการตกตะกอนของอนุภาค (ตารางเมตร)

v_d คือ ความเร็วในการตกตะกอน (เมตรต่อชั่วโมง)

สมการข้างต้นนี้ไม่สนใจผลกระทบของการควบแน่น การระเหยและการรวมตัว เพราะสิ่งเหล่านี้มีผลกระทบน้อยต่อความเข้มข้นและเงื่อนไขปกติที่พบในสิ่งแวดล้อมในอาคาร และเนื่องจากปัจจัย เช่น การแพร่เข้ามา ประสิทธิภาพการขจัดออก และอัตราการตกตะกอนจะแตกต่างกันขึ้นกับขนาดอนุภาค เราจึงใช้สมการนี้สำหรับขนาดอนุภาคที่เด่นชัด ข้อบังคับเพิ่มเติม คือ กิจกรรมภายในอาคารและเงื่อนไขสภาพอุตุนิยมวิทยา จะมีผลต่อการฟุ้งกระจายและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ดังนั้นค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ถ้าตัวแปรเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงมาก สภาวะสมดุลที่ประมาณไว้จะไม่ถูกต้องและรูปแบบเวลาอิสระ(time-dependent) ของสมการต้องถูกใช้ เช่นสิ่งหนึ่งที่ถูกใช้โดย Nazaroff และ Cass เมื่อปี ค.ศ. 1989 (อ้างอิงใน Thatcher และ Layton, 1995)

Abt และคณะ (2000) ศึกษาเรื่องแหล่งกำเนิดของอนุภาคภายนอกและภายในอาคารที่มีผลต่อความเข้มข้นภายในอาคาร โดยเพื่อความเข้าใจค่าประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับในการศึกษาครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีความรู้ของโครงสร้างพื้นฐานของโมเดลซึ่งถูกใช้โดย Koutrakis และ Briggs ในปี 1992 และ Özkaynak และคณะ ในปี 1994 และ 1996 (อ้างอิงใน Abt และคณะ, 2000) สมการนี้สมมติความสัมพันธ์ของความสมดุลมวล (mass balance) ที่ซึ่งอากาศผสมกันดีและจำนวนมลพิษที่เข้ามาในบ้าน (infiltration and indoor source) เท่ากับที่ถูกพัดออกไป (exfiltration and deposition)

$$C_{ind} = \frac{P\alpha C_{out}}{\alpha + k} + \frac{Q_{is}}{(\alpha + k)V} \quad 2.2$$

เมื่อ C_{ind} คือ ความเข้มข้นภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C_{out} คือ ความเข้มข้นภายนอกอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

P คือ ประสิทธิภาพการแพร่เข้ามา (ไม่มีหน่วย)

α คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ต่อชั่วโมง)

k คือ อัตราการลดลง (ต่อชั่วโมง)

Q_{is} คือ อัตราการไหลของมวลที่เกิดขึ้นโดยแหล่งกำเนิดภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อชั่วโมง)

V คือ ปริมาตรของบ้าน (ลูกบาศก์เมตร)
โดย Q_{is} ในตัวอย่างนี้ประกอบไปด้วย อัตราการไหลของมวลจากการประกอบอาหาร ($T_{cook}S_{cook}$), การทำความสะอาด ($T_{clean}S_{clean}$) และแหล่งกำเนิดอื่นๆในอาคาร (Q_{other})

$$Q_{is} = \frac{T_{cook}S_{cook}}{t} + \frac{T_{clean}S_{clean}}{t} + \dots + Q_{other} \quad 2.3$$

เมื่อ t คือ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)
 T_{cook} คือ เวลาที่ใช้ในการประกอบอาหาร (ชั่วโมง)
 S_{cook} คือ อัตราการปล่อยหรือมวลของอนุภาคที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมงการทำอาหาร (ไมโครกรัมต่อชั่วโมง)
 T_{clean} คือ เวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด (ชั่วโมง)
 S_{clean} คือ อัตราการปล่อยอนุภาคขณะทำความสะอาด (ไมโครกรัมต่อชั่วโมง)
 Q_{other} คือ ความเข้มข้นอนุภาคต่อชั่วโมงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่นๆภายในอาคาร

เมื่อแทนค่า Q_{is} ในสมการ 2.2 จะได้

$$C_{ind} = \frac{Q_{other}}{(\alpha + k)V} + \frac{T_{cook}S_{cook} + T_{clean}S_{clean}}{(\alpha + k)Vt} + \frac{PaC_{out}}{\alpha + k} \quad 2.4$$

เมื่อ เทอมทางด้านขวาของสมการสะท้อนให้เห็นการให้ของแหล่งกำเนิดจากนอกอาคาร การทำอาหาร การทำความสะอาด และแหล่งกำเนิดอื่นๆ ภายในอาคารที่เราไม่รู้

การใช้สมการที่ 2.4 เป็นพื้นฐานสำหรับโครงสร้างโมเดล อัตราการปล่อยของแหล่งกำเนิดถูกประมาณในช่วง 20 นาที สำหรับแต่ละขนาดอนุภาค โดยการใช้สมการการประมาณต่างๆไป (GEE) (SAS, Proc Genmod) วิธีนอนพารามเมตริกนี้ให้การวัดความสัมพันธ์ตลอดเวลาที่เป็นโมเดลช่วง 20 นาทีถูกเลือก เพราะการตอบสนองนี้กับช่วงการสุ่มตัวอย่าง เคยเก็บในบ้าน (15 นาที) และนอกบ้าน (5 นาที) สำหรับข้อมูลความเข้มข้นอนุภาค (ข้อมูลภายในอาคาร 15 นาที ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เก็บทุก 5 นาที) ซึ่งเฉพาะโครงสร้างของ time-series autoregressive error ถูกใช้ในโมเดลนี้ โดยให้โมเดลนี้กับความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา 20 นาที กับการสุ่มเก็บตัวอย่างใน 1 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง เมื่อค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรายวันมีค่าต่ำกว่า 1 ต่อชั่วโมง สิ่งนี้ถูกออกแบบเพื่อลดผลกระทบจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มีความหลากหลายต่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficients) ข้อมูลสำหรับ

ช่วงเวลาที่เกิดกิจกรรมที่ไม่บ่อยนัก เช่น การจุดเทียนและ การทำงานไม้ จะไม่ถูกรวมในโมเดล ในทำนองเดียวกัน ข้อมูลในช่วงที่เกิดกิจกรรมภายนอกอาคารที่ไม่มากนัก เช่น การตัดหญ้า จะไม่ถูกรวมเข้าไว้ในโมเดล สถิติที่ใช้ในการวิจัย ควบคุมกิจกรรมที่หลากหลาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีหลักฐาน collinearity บนชุดของข้อมูลที่หลากหลาย

การวิเคราะห์ทั้งหมด ถูกควบคุมโดยการใช้ ระบบการวิเคราะห์ทางสถิติ (โดย SAS. SAS/STAT User's Guide, ของ SAS Institute, Inc.) ความเข้มข้นทั้งหมดถูกแสดงเป็นปริมาตรความเข้มข้น ($\mu\text{g cm}^{-3}$) แทนที่ $\mu\text{g m}^{-3}$ ในสมการที่ 2.2

ดังนั้น การใช้สมการที่ 2.4 เป็นขอบข่ายงานสำหรับโมเดล เทคนิคสมการการถดถอยเชิงซ้อน จึงถูกใช้เพื่อประมาณการให้ของกิจกรรมต่อความเข้มข้นภายในอาคารสำหรับอนุภาค 12 ช่วงขนาด ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารคือตัวแปรตาม ในขณะที่ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกอาคารและกิจกรรม 4 กลุ่ม (การประกอบอาหาร การทำความสะอาด การทำงานในบ้าน และการล้าง) เป็นตัวแปรอิสระ

$$[C_{ind}]_{ijd} = \beta_0 + \beta_{cook} [T_{cook}]_{ij} + \dots + \beta_{clean} [T_{clean}]_{ij} + \beta_{out} [C_{out}]_{ijd} + E_{ijd} \quad 2.5$$

เมื่อ $[C_{ind}]_{ijd}$ คือ ความเข้มข้นภายในอาคารสำหรับอนุภาคในช่วงขนาดต่างๆ d สำหรับการวัดที่ j (อยู่บนพื้นฐานที่ 20 นาที) และ การเก็บตัวอย่างวันที่ i (ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

$[T_{cook}]_{ij}$ คือ จำนวนเวลาที่ใช้ประกอบอาหาร ในช่วงเวลา 20 นาที

$[T_{clean}]_{ij}$ คือ จำนวนเวลาที่ใช้ทำความสะอาด ในช่วงเวลา 20 นาที

$[C_{out}]_{ijd}$ คือ ความเข้มข้นอนุภาคภายนอกสำหรับแต่ละช่วงขนาดอนุภาคในอาคาร d และ ติดต่อกัน 5 นาทีก่อนความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคาร 15 นาที

$$\beta_{out} = \frac{P\alpha}{\alpha + k} \quad 2.6$$

β คือ ค่าที่สอดคล้องกับประสิทธิภาพพารามิเตอร์ประมาณสำหรับแต่ละตัวแปรอิสระ

β_{out} คือ ความมีประสิทธิภาพการแพร่เข้ามาของอากาศนอกรอาคารและตรงกับเทอมในสมการที่ 2.4

β_{out} เป็นตัวแทนปริมาณของอากาศนอกรอาคารที่แทรกซึมเข้ามาในอาคาร นับสำหรับอนุภาคที่สูญเสียจากการซึมผ่านออก (α) และการตกตะกอน (k) ตั้งแต่การประมาณสำหรับการซึมผ่านออกและการตกตะกอนถูก(ตัดสิน จำกัด กำหนดให้อย่างชัดเจน) ดังนั้น β_{out} คือผลลัพธ์เท่ากันของ

สัดส่วนภายในต่อภายนอกอาคาร เมื่อไม่มีอนุภาคเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดในอาคาร พารามิเตอร์เหล่านี้ มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวบ่งชี้ของการให้ของแหล่งกำเนิดนอกอาคาร

β_{cook} ตรงกับเทอมในสมการที่ 2.4 และถูกแสดงเป็นอัตราการปล่อยของแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพจากการประกอบอาหาร (ในหน่วย ไมโครลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที : $\mu\text{m}^3 \text{cm}^{-3} \text{min}^{-1}$) ในช่วงเวลา 20 นาที (t) อธิบายสำหรับการสูญเสียอนุภาคจากการแทรกซึมออกไป (α) และการตกตะกอน (k)

$$\beta_{cook} = \frac{S_{cook}}{(\alpha + k)Vt} \quad 2.7$$

β_0 แทนการให้ของแหล่งกำเนิดในอาคารที่ไม่ได้นับจากการบันทึกกิจกรรมหรือความเข้มข้นภายนอกอาคาร

$$\beta_0 = \frac{Q_{other}}{(\alpha + k)V} \quad 2.8$$

สำหรับโมเดลอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร เวลาช่วงหลังจากการประกอบอาหาร ถูกเพิ่มเข้าไปในโครงสร้างพื้นฐานโมเดล (สมการที่ 2.5) เพื่อจับผลกระทบของการประกอบอาหารต่อความเข้มข้นภายในอาคาร การรวมช่วงหลังนี้มีความจำเป็นเพราะเวลาในที่พักอาศัยที่ยาวนานของอนุภาคขนาดเล็กในอาคารเหล่านี้ถูกสังเกตว่ามีมากกว่าเวลา t (20 นาที) (ตั้งแต่การประกอบอาหารซึ่งเป็นกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดอนุภาคขนาดเล็ก เฉพาะหลักจากการประกอบอาหารที่ถูกรวมเข้ามาในโมเดล)

รูปแบบขยายของโมเดลคือ

$$[C_{ind}]_{ijd} = \beta_0 + \beta_{cook} [T_{cook}]_{ij} + \beta_{cook-1} [T_{cook}]_{ij-1} + \beta_{cook-2} [T_{cook}]_{ij-2} + \dots + \beta_{clean} [T_{clean}]_{ij} + \beta_{out} [C_{out}]_{ijd} + E_{ijd} \quad 2.9$$

เมื่อ $T_{cook(i-j-1)}$ (lag1) คือ จำนวนเวลาที่ใช้ประกอบอาหารก่อนช่วง 20 นาที

$T_{cook(i-j-2)}$ คือ จำนวนเวลาที่ใช้ประกอบอาหารในช่วง 20 นาทีก่อนจนถึงช่วงเวลานี้

Dockery et al. (1981 อ้างถึงใน Meyer, 1983) พัฒนาแบบจำลองภายใน-ภายนอกอาคาร โดยมีพื้นฐานการอนุรักษ์มวล ว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นภายในอาคารหาได้จาก

$$\bar{C}_i = PC_o + (1/q)\bar{S} \quad 2.10$$

- เมื่อ \bar{C}_i คือ ความเข้มข้นเฉลี่ย
 P คือ อัตราการแพร่เข้ามาของมลพิษ (เป็นเปอร์เซ็นต์)
 C_o คือ ระดับความเข้มข้นภายนอก
 q คือ อัตราการไหลในหน่วยปริมาตร
 \bar{S} คือ อัตราการเกิดฝุ่นภายใน

สมการนี้ใช้ได้เมื่ออัตราการระบายอากาศประมาณ 1.5 การแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง ที่อัตราการตกเท่ากับ 0.5 ต่อชั่วโมงสำหรับซัลเฟตที่สามารถหายใจเข้าไปได้

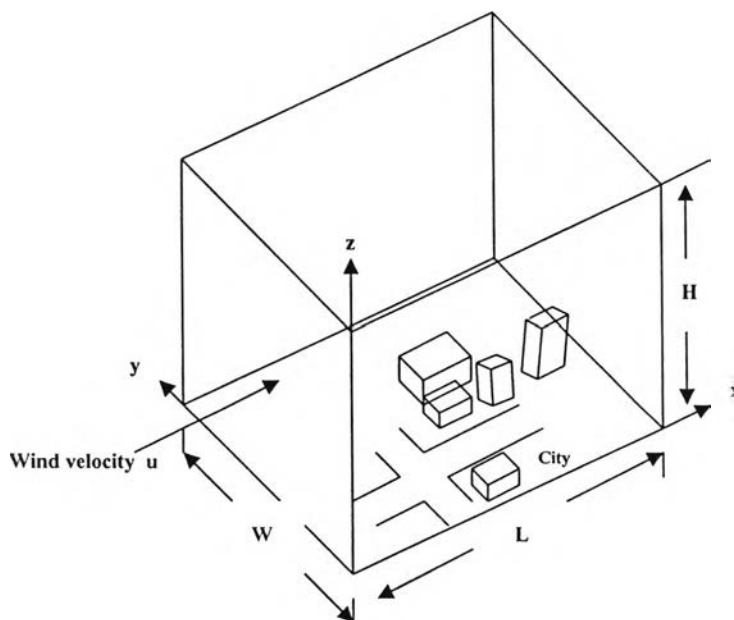
พวกเขายังพบอีกว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของอนุภาคที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้มีค่า 32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 การคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคาร

2.3.1 Fixed-Box Model

พิจารณาเมืองที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมดังแสดงในภาพที่ 2.3 เพื่อที่จะคำนวณความเข้มข้นมลพิษในเมืองนี้ โดยใช้สมการที่ 2.11 เราตั้งสมมติฐานหลักง่ายๆขึ้น คือ

$$\begin{aligned} (\text{accumulation rate}) = & (\text{all flow rates in}) - (\text{all flow rates out}) + \\ & (\text{creation rate}) - (\text{destruction rate}) \end{aligned} \quad 2.11$$



รูปที่ 2.3 เมืองที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งแสดงสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในสมการ fixed-box model

- 1) เมืองเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความกว้างและความยาว W และ L โดยมีด้านหนึ่งที่ขนานกับทิศทางลม
- 2) ความแปรปรวนของกระแสอากาศในบรรยากาศทำให้เกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ของมลพิษทั่วทั้งความสูง H และไม่ผสมกับส่วนที่สูงกว่าความสูงนี้
- 3) ความแปรปรวนนี้แรงพอในทิศเหนือลมที่จะทำให้ความเข้มข้นมลพิษเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมดของปริมาตรอากาศที่อยู่ในเมืองนี้และมีค่าเท่ากันทั้งด้านเหนือลมและใต้ลม แม้ว่าสมมติฐานนี้ค่อนข้างตรงข้ามกับสิ่งที่สังเกตได้จากความเป็นจริง แต่มันจะช่วยในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
- 4) ลมพัดในทิศทาง x ด้วยความเร็ว u ความเร็วนี้เป็นค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สถานที่ หรือความสูงจากพื้นดิน (สิ่งนี้ยังคงตรงข้ามกับสิ่งที่สังเกตได้ ที่ว่าความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูง) ในที่นี้เราจะใช้ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงความสูงที่พื้นถึงความสูงที่ H
- 5) ความเข้มข้นมลพิษในอากาศที่เข้าเมือง (ที่ $x = 0$) เป็นค่าคงที่และมีค่าเท่ากับ b (b คือความเข้มข้นพื้นฐาน) โดยความเข้มข้นในแบบจำลองนี้มักใช้หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 6) อัตราการปลดปล่อยมลพิษของเมืองคือ Q (มีหน่วยเป็นกรัมต่อวินาที) สิ่งนี้จะให้อัตราการปลดปล่อยต่อหน่วยพื้นที่ q ในหน่วย กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร ซึ่งเราสามารถแปลงจากสิ่งหนึ่งเป็นอย่างอื่นได้โดย

$$Q = qA \quad (g\ s^{-1}) = (g\ s^{-1} \cdot m^{-2}) (m^2) \quad 2.12$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของเมือง ซึ่งมีค่าเท่ากับ WL อัตราการปลดปล่อยเป็นค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

- 7) ไม่มีมลพิษออกไปหรือเข้ามาทางด้านบนหรือด้านข้างของกล่อง
- 8) มลพิษที่กำลังหาชีวิตที่นาน อยู่ในบรรยากาศ ที่อัตราการหายไปในการที่ 2.11 เท่ากับศูนย์

จากสมมติฐานนี้เราสามารถประเมินค่าทั้งหมดในการสมการ 2.11 เราเลือกให้ระบบของเรามีปริมาตร WLH เพราะสมมติฐานทั้งหมดระบุว่าอัตราการไหลและอัตราการปลดปล่อยในช่วงเวลาใดๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งก็คือสภาวะสมดุล (steady-state situation) ที่ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ตามเวลา สำหรับสภาวะสมดุลอื่นๆ ในการประยุกต์สมการสมดุลทั่วไป (2.11) อัตราการสะสมเท่ากับศูนย์

เราถือว่าอัตราการปลดปล่อย Q ไม่ว่าจะเกิดหรือการไหลในกล่องผ่านระดับพื้นที่ต่ำกว่า ทั้งสองอย่างให้ผลอย่างเดียวกัน คือมันเป็นสิ่งปกคตินานเขียนเรื่องมลพิษอากาศที่

จะถือว่ามันเป็นการไหลของอากาศผ่านส่วนล่างของพื้นผิว (lower face) เพื่อเราจะได้กำหนดอัตราที่สร้างขึ้นเท่ากับศูนย์ ดังนั้น สมการ 2.11 สามารถทำให้ง่ายขึ้นดังนี้

$$0 = (\text{all flow rate in}) - (\text{all flow rate out}) \quad 2.13$$

มีอัตราการไหลของมลพิษอยู่สองอย่าง อัตราการไหลเข้าของมลพิษเข้าด้านเหนือลมของเมือง คือ

$$\text{Flow rate in} = uWHb \quad (\text{m s}^{-1})(\text{m})(\text{m})(\text{g m}^{-3}) \quad 2.14$$

สัญลักษณ์สามอย่างแรกก่อให้เกิดปริมาตรของอากาศที่ขวางขอบเขตการไหลขึ้นของระบบต่อหน่วยของเวลา ซึ่งเราอาจพิสูจน์ว่า uWH มีมิติของปริมาตรต่อเวลา ซึ่งเมื่อคูณด้วยความเข้มข้น (มวลต่อปริมาตร) เราจะได้มวลต่อปริมาตร (มวลต่อเวลา)

อัตราการไหลที่สอง คือ มลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยเมืองไปสู่ขอบเขตที่ต่ำกว่าหรือพื้นผิว หรือระบบ

$$\text{Flow rate out} = Q = qWL \quad (\text{g s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})(\text{m})(\text{m}) \quad 2.15$$

ตามสมมติฐานที่กล่าวมาข้างต้น ความเข้มข้นทั้งหมดในเมืองเป็นค่าคงที่และเท่ากับ c ทางเดียวที่มลพิษออกจากระบบคือการไหลผ่านไปทางด้านใต้ลม อัตราการไหลออกเขียนเป็นสมการได้

$$\text{Flow rate out} = uWHc \quad (\text{m s}^{-1})(\text{m})(\text{m})(\text{g m}^{-3}) \quad 2.16$$

เมื่อแทนที่ค่าเหล่านี้ในสมการ 2.11 และแก้สมการหาค่า c จะได้

$$c = b + \frac{qL}{uH} \quad \text{gm}^{-3} = \text{gm}^{-3} + \left(\frac{(\text{gs}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})(\text{m})}{\text{ms}^{-1}(\text{m})} \right) \quad 2.17$$

(Noel De Nevers, 1995)

2.3.2 การระบายอากาศ (ventilation) และอัตราการระบายอากาศ (air exchange rate)

การระบายอากาศ เป็นกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านพื้นที่ว่าง (Godish, 2001) ซึ่งระดับการปนเปื้อนในอาคารสามารถทำให้น้อยลงได้ด้วยการเจือจางอากาศภายในอาคารด้วยอากาศจากภายนอกอาคารที่มีการปนเปื้อนน้อยกว่า ซึ่งการระบายอากาศในอาคารที่พิกอาศัยเกิดจากการระบายอากาศตามธรรมชาติ (natural ventilation) เช่น การเปิดประตูและหน้าต่าง และการซึมผ่านเข้าและออกเมื่ออยู่ในเงื่อนไขปิด โดยการแลกเปลี่ยนอากาศ (air change) หรือการระบายอากาศ ขึ้นอยู่กับ จำนวนการเปิดประตูหน้าต่าง ตำแหน่งของประตูหน้าต่างที่เปิด และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Godish, 2003) การวัดการแลกเปลี่ยนอากาศแสดงในรูปของการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง ถ้าอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 1 ต่อชั่วโมง หมายความว่า ปริมาตรอากาศเท่ากับขนาดห้อง จากภายนอกเข้ามาในอาคารในเวลา 1 ชั่วโมง และมีอากาศจากภายในไหลออกไปในจำนวนที่เท่ากัน (Turiel, 1985)

2.3.3 สมการที่ใช้การศึกษาวิจัยครั้งนี้

$$C_{in} = C_{out-in} + C_0 + C_{in-source} - C_{in-out} - C_{dep} \quad (1)$$

| | | | |
|-------|-----------------|---|--|
| เมื่อ | C_{in} | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | C_{out-in} | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกอาคารที่พัดเข้ามาภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | C_0 | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่มีอยู่แล้วภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | $C_{in-source}$ | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) กำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ |
| | C_{in-out} | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารที่ถูกพัดออกไปนอกอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | C_{dep} | = | ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ตกลงสู่พื้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Howard-Reed, Wallace and Emmerich (2003) ศึกษาผลกระทบของระบบการระบายอากาศและแผ่นกรองอากาศต่ออัตราการลดลงของอนุภาคที่เกิดจากแหล่งกำเนิดในอาคารในบ้านที่มีคนอยู่อาศัย (occupied townhouse) โดยวัดการตกตะกอนของอนุภาคขนาด 0.3 – 10 ไมโครเมตรของแหล่งกำเนิด 3 แหล่งที่ต่างกัน (การทำอาหารด้วยเตาแก๊ส จุดเทียนตะไคร้หอมและการทิ้งเศษกระดาษเล็กๆ) ในบ้านที่มีคนอยู่ กับบ้านทดสอบที่ไม่มีคนอยู่ ในเงื่อนไขการเปิดและปิดพัดลมปรับอากาศเย็นและร้อนส่วนกลาง (Central heating & airconditioning (HAC)) และเงื่อนไข in-duct filters 2 ชนิดที่ต่างกัน (electrostatic precipitator และ ordinary furnace filter) พบว่า เมื่อปิดเครื่อง HAC ค่าเฉลี่ยอัตราการตกตะกอนจะไม่คงที่ คือ 0.3 h^{-1} สำหรับฝุ่นขนาดเล็กสุด (0.3-0.5 ไมโครเมตร) ถึง 5.2 h^{-1} สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร ขั้นตอนของเครื่อง HAC จะเพิ่มอัตราการตกตะกอนขึ้นประมาณ 2 เท่าสำหรับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร และเพิ่มอัตราเป็น 2 h^{-1} สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่กว่า นอกจากนี้ยังพบว่า เครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตลดอัตราการสูญเสียเมื่อเทียบกับกรณีที่ปิดพัดลม ประมาณ 5-10 สำหรับอนุภาคเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตรและ ประมาณ 3 สำหรับอนุภาคขนาด 2.5 – 5 ไมโครเมตร ในทางปฏิบัติ การใช้พัดลมส่วนกลางอย่างเดียวสามารถลดความเข้มข้นอนุภาคในอาคารได้ 25-50 % และการใช้ in-duct ESP สามารถลดความเข้มข้นฝุ่นได้ 55-85 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการปิดพัดลม

Thatcher et al. (2002) ศึกษาผลกระทบของห้องที่มีเครื่องเรือน (furnishing room) และความเร็วอากาศ (air speed) ต่ออัตราการตกตะกอนของอนุภาคในอาคาร โดยทำการทดลองในห้องซึ่งมีปริมาตรห้อง 14.2 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีเงื่อนไขเครื่องเรือน 3 แบบ (ไม่มีเครื่องเรือน มีพรม และมีเครื่องเรือนครบ) และเงื่อนไขการไหลของอากาศที่ต่างกัน 4 แบบ พบว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวจากห้องว่างที่ไม่มีเครื่องเรือน (พื้นที่ผิวปกติ 35 ตารางเมตร) เป็นมีเครื่องเรือนครบ (เพิ่มพื้นที่ผิว 12 ตารางเมตร) เพิ่มอัตราการหายไปของการตกตะกอน (deposition loss rate) มากเท่ากับ 2.6 ซึ่งเพิ่มมากที่สุดสำหรับอนุภาคขนาดเล็กที่สุด ส่วนการเพิ่มความเร็วอากาศเฉลี่ยจาก <5 เป็น 19 เซนติเมตรต่อวินาที (ด้วยการเพิ่มความเร็วพัดลม) เพิ่มอัตราการตกตะกอน (deposition rate) สำหรับทุกขนาดอนุภาคที่ศึกษา โดยอยู่ในช่วง 1.3-2.4 สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่และมีผลกระทบมากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ผลกระทบสำคัญของขนาดอนุภาคและเงื่อนไขห้องต่อการหายไปของการตกตะกอนแย้งการคำนวณที่ใช้สัมประสิทธิ์อัตราการหายไปลำดับแรก (single first-order loss-rate coefficient) เพื่อเป็นตัวแทนการตกตะกอน สำหรับการตรวจวัดมวลทั้งหมด ($PM_{2.5}$ หรือ PM_{10})

Chen, Yuanhui and Barber (2000) ศึกษาวิธีซึ่งไม่คงที่เพื่อประมาณแหล่งกำเนิดและจุดสิ้นสุดของฝุ่นในอาคาร โดยวิธีการมีพื้นฐานจากสมการสมดุลมวล (mass balance equation) และเทคนิคการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear parameter estimation technique) ค่าที่ใส่ในระบบ (method) คือค่าความเข้มข้นฝุ่นต่อเวลา ค่าที่ออกมาเป็นค่าประมาณแหล่งกำเนิดและจุดสิ้นสุดของฝุ่น ระบบจะเปลี่ยนการวัดของแหล่งกำเนิดและจุดสิ้นสุดของฝุ่นเป็นการวัดความเข้มข้นฝุ่นต่อเวลา ข้อมูลที่ตีพิมพ์และจากการทำการทดลองถูกใช้เพื่อพิสูจน์ว่าระบบนี้ใช้ได้ โดยมีค่าความผิดพลาดจากระบบน้อยกว่า 2% สำหรับอัตราการเกิดและ 7% สำหรับอัตราการตกตะกอน ระบบนี้ไม่ไวต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ต่างออกไปและการประเมินค่าแรก (initial values) ของค่าพารามิเตอร์

Chan (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ภายในภายนอกของอนุภาคและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิต่างกัน โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ทั้งภายในและภายนอกสถานที่ศึกษาในฮ่องกงเป็นเวลา 9 เดือน เพื่อศึกษาความแปรปรวนและความสัมพันธ์ของความเข้มข้นมลพิษและสัดส่วนภายในต่อภายนอกต่อปัจจัยต่างๆ ทางด้านอุณหภูมิต่างกันภายนอกอาคาร เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดดัน ความเร็วลม และรังสีจากดวงอาทิตย์ (solar irradiation) พบว่า จากค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติ (statistical regression) แสดงว่า อุณหภูมิ ความชื้นและรังสีจากดวงอาทิตย์ มีบทบาทต่อความแปรปรวนของสัดส่วนภายในต่อภายนอก ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถ้ามีการเพิ่มขึ้นของ 3 พารามิเตอร์ทางด้านอากาศนี้ แต่ในทางตรงข้ามพบว่า ความชื้นและความเร็วลมจะส่งผลน้อยต่อสัดส่วนภายในต่อภายนอก

Zhao et al. (2004) เปรียบเทียบความเข้มข้นอนุภาคภายในอาคารและการตกตะกอนในห้องที่มีการระบายอากาศแตกต่างกันโดยวิธีเกี่ยวกับตัวเลข ผลของการวิจัยพบว่า การตกตะกอนของอนุภาคและความเข้มข้นอนุภาคมีอิทธิพลมาจากเงื่อนไขการระบายอากาศ สำหรับคุณสมบัติอนุภาคที่เหมือนกัน ห้องที่มีการระบายอากาศแบบแทนที่มีอัตราการตกตะกอนต่ำกว่าและมวลของฝุ่นหายไปมากกว่าห้องที่มีการระบายอากาศผสม ในขณะที่ความเข้มข้นอนุภาคเฉลี่ยของกรณีการระบายอากาศแบบแทนที่มีค่ามากกว่าห้องที่มีการระบายอากาศผสม และพบว่าอนุภาคขนาดต่างๆกัน (1, 2.5 และ 10 ไมโครเมตร) มีการเคลื่อนที่แตกต่างกันในห้องที่มีการระบายอากาศทั้งสองแบบ โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคในพื้นที่การระบายอากาศมีอิทธิพลมาจากรูปแบบการไหลของอากาศ แม้ว่าปริมาตรของอากาศและคุณสมบัติของอนุภาคจะเหมือนกัน แต่ความเข้มข้นอนุภาคและอัตราการตกตะกอนอาจแตกต่างกันระหว่างการระบายอากาศทั้งสองชนิด ภายใต้เงื่อนไขปริมาตรอากาศและคุณสมบัติฝุ่นที่เหมือนกัน ห้องที่มีการระบายอากาศแบบแทนที่มีอัตราการตกตะกอนต่ำกว่าและมีจำนวนการหายไปของอนุภาคมากกว่าห้องที่มีการระบายอากาศแบบผสม และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นอนุภาคในห้องที่มีการระบายอากาศแบบแทนที่มีค่ามากกว่า และเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่เพิ่มขึ้น การหายไปจะลดลงและตกตะกอนมากขึ้น ฝุ่นขนาด 10 ไมโครเมตรจะมีสัดส่วนสูงสุดในห้องที่ระบายอากาศแบบแทนที่

Chao, Wan และ Cheng (2003) ศึกษาสัมประสิทธิ์การแทรกซึมและอัตราการตกตะกอนแต่ละขนาดอนุภาคในห้องพักอาศัยของผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ ที่มีการระบายอากาศธรรมชาติ โดยอัตราการตกตะกอนและสัมประสิทธิ์การแทรกซึมพิจารณาจากค่าคงที่อัตราการลดลงและความเข้มข้นอนุภาคในภาวะสมดุล พบว่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมเป็นรูประฆังคว่ำตามขนาดอนุภาค (0.02 – 10 ไมโครเมตร) ซึ่งมีค่าสูงสุด (0.79) เมื่ออนุภาคมีขนาด 0.853 – 1.382 ไมโครเมตร และจะมีค่าลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กและใหญ่กว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมต่ำสุดเท่ากับ 0.48 เมื่ออนุภาคมีขนาด 4.698 – 9.647 ไมโครเมตร ส่วนอัตราการตกตะกอนจะมีรูปร่างกลับกัน โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กสุดและใหญ่สุด ความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับ 1.16×10^{-4} เมตรต่อวินาที สำหรับอนุภาคขนาด 4.698 – 9.647 ไมโครเมตร และ 0.6×10^{-4} เมตรต่อวินาที สำหรับอนุภาคขนาด 0.02 – 1.00 ไมโครเมตร ความเร็วในการตกตะกอนต่ำสุดเท่ากับ 0.31×10^{-4} เมตรต่อวินาที เมื่ออนุภาคมีขนาด 0.542 – 0.777 ไมโครเมตร

Schneider et al. (2004) ศึกษาการทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคารของอนุภาคขนาด 0.5 – 4 ไมโครเมตร จากแหล่งกำเนิดนอกอาคารในอพาทเมนต์ (uninhabited) โดยการวัดการกระจายตัวของอนุภาคภายในและภายนอกอาคาร อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และวัดความแตกต่างของความดันภายในและภายนอกอาคารในอพาทเมนต์ที่อยู่ใกล้กับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นมากและรวบรวมอัตราการตกตะกอนจากการตีพิมพ์ต่างๆ เพื่อหาโมเดลทำนายความเข้มข้นฝุ่นละออง พบว่า โมเดลจะทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 1.2 – 4

ไมโครเมตรที่มีแหล่งกำเนิดจากภายนอกอาคารได้ดี แต่จะทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 0.5 – 1.2 ไมโครเมตรได้ไม่ดี เมื่อวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องระหว่างสัดส่วนการตรวจวัดกับการทำนายของความเข้มข้นอนุภาคในอาคารและปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องในสมการ deterministic ด้วยวิธีการทางสถิติ และได้มีการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อโมเดลให้มีความถูกต้อง ซึ่งพบว่า ขึ้นอยู่กับ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร และการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยจะลดสัดส่วน เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ถึง 5 มีค่าเฉลี่ย 26% สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก (0.5 – 1.2 ไมโครเมตร) และ 12% สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ (1.2 – 4 ไมโครเมตร) และจากผลการศึกษาในครั้งนี้ได้มีการแนะนำให้มีการเพิ่มเติมเรื่ององค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค รูปแบบการถ่ายเทอากาศ และลักษณะนิสัยของผู้อยู่อาศัยให้ชัดเจนและมีจำนวนข้อมูลที่มากสำหรับการศึกษาในอนาคตและมีความจำเป็นในการใช้ในโมเดลการทำนาย

Goyal, Chan และ Jaiswal (2006) ทำการศึกษาโมเดลทางสถิติสำหรับการทำนายฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ในเขตเมือง โดยมีพื้นฐานบนปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา การศึกษาครั้งนี้ใช้โมเดลทางสถิติสามโมเดลในการทำนายความเข้มข้นฝุ่นละอองเฉลี่ยรายวันในเมืองเดลไฮ และฮ่องกง ซึ่งโมเดลที่หนึ่งมีพื้นฐานจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (multiple linear regression) สำหรับพารามิเตอร์ด้านอุตุนิยมวิทยา โมเดลที่สองมีพื้นฐานจาก Box-Jenkins time series auto regressive integrated moving average (ARIMA) และ โมเดลที่สามเป็นการรวมกันของสองสมการแรก ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การรวมกันของสองสมการแรก คือ ARIMA และ สมการถดถอยแบบพหุคูณ ให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสองโมเดลแรกตามข้อมูลการตรวจวัด ดังนั้น โมเดลที่สามจึงใช้ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อทำนายคุณภาพอากาศในเดลไฮและฮ่องกง ซึ่งสรุปได้ว่าโมเดลเดียวกันอาจใช้เป็นโมเดลทำนายที่ใช้ได้จริงสำหรับการทำนายฝุ่นละอองที่เข้าสู่ทางเดินหายใจในเขตเมืองต่างๆ

Zhu et al. (2005) ศึกษาการแพร่ผ่านของอนุภาคขนาดเล็กจากทางค่วนที่เข้ามาภายในอาคาร เนื่องจากที่อยู่อาศัยหลายๆแห่งตั้งอยู่ติดกับทางค่วนซึ่งอาจทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารได้รับมลสารจากภายนอก ดังนั้น การเข้าใจการเดินทางของอนุภาคขนาดเล็กจากภายนอกเข้าสู่สิ่งแวดล้อมภายในอาคารจึงมีผลต่อการประเมินการรับเอาอนุภาคภายนอกต่อสุขภาพของคน การศึกษาทำที่อพาทเมนต์สองห้องนอน 4 แห่งที่ห่างจากทางค่วน 60 เมตรในลอสแอนเจลิส โดยการตรวจวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเล็กในช่วง 6-220 นาโนเมตร ภายใต้เงื่อนไขการระบายอากาศที่ต่างกันซึ่งไม่มีแหล่งกำเนิดมลสารใดๆ ในอาคาร จากการกระจายของขนาดอนุภาคของมลสารในอาคารพบว่ามีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ามลสารภายนอกที่อยู่ใกล้ สัดส่วนความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กภายในและภายนอกอาคารขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค โดยสัดส่วนภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกลไกการแพร่ผ่าน ภายใต้เงื่อนไขการแลกเปลี่ยนอากาศ 0.31 – 1.11 ต่อชั่วโมง สัดส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกที่สูงที่สุด (0.6-0.9) พบในอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

กว่า (70-100 นาโนเมตร) ในขณะที่สัดส่วนฝุ่นภายในต่อภายนอกที่น้อยที่สุด (0.1-0.4) พบในช่วง 10-20 นาโนเมตร ข้อมูลที่เก็บภายใต้การซึมผ่านเหมาะที่จะใช้ใน โมเดลสมดุลมวลที่ไม่คงที่ (dynamic mass balance model)