



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กรณีตัวอย่าง : เทคนิคการจัดการ ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยใช้หลักการระบายอากาศ

Case Study: Ventilation-Based Approaches
for Managing Indoor Air Quality Problems

พิมพ์ครั้งที่ 2

(ฉบับปรับปรุงใหม่ พ.ศ. 2569)



ดร.อารุณ เกตุสาคร

กรณีตัวอย่าง: เทคนิคการจัดการ
ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร
โดยใช้หลักการระบายอากาศ



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

กรณีตัวอย่าง: เทคนิคการจัดการ
ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร
โดยใช้หลักการระบายอากาศ

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2

ดร.อาวุธ เกตุสาคร

รองศาสตราจารย์

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2569

อารุญ เกตุสาคร.

กรณีตัวอย่าง: เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้หลักการระบายอากาศ.

1. คุณภาพอากาศภายในอาคาร. 2. การระบายอากาศ. 3. การจัดการคุณภาพอากาศ.
4. มลพิษทางอากาศในอาคาร.

TD883.17

ISBN 978-616-602-276-6

ISBN (E-BOOK) 978-616-602-293-3

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร.อารุญ เกตุสาคร
สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 เดือนมิถุนายน 2569

จำนวน 100 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) สิงหาคม 2569

สำนักงานบริหารการพิมพ์ธรรมศาสตร์

จัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 อาคารโรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร. 085-112-6081, 085-112-6968

<http://thammasatpress.tu.ac.th>

จัดจำหน่ายโดยศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

โทร. 02-564-4438, 085-112-6081

<https://linktr.ee/tubookstore>

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ออกแบบปกโดย นายณัฐพล ไชยวงศ์

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม 2565 จำนวน 100 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 2 เดือนมิถุนายน 2569 จำนวน 100 เล่ม

ราคาเล่มละ 320.- บาท

สารบัญ

สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตาราง	(13)
คำนำ (ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2)	(16)
คำนำ (ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1)	(18)
บทที่ 1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร	1
บทนำ	2
ประเภทของมลพิษ	3
วิธีการควบคุมทั่วไปโดยใช้หลักการระบายอากาศ	5
ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร	6
สรุปท้ายบท	10
คำถามท้ายบท	11
เอกสารอ้างอิง	12
บทที่ 2 กฎหมายและมาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้	15
บทนำ	16
กฎหมายการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้	16
มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้	24
สรุปท้ายบท	29
คำถามท้ายบท	31
เอกสารอ้างอิง	32
บทที่ 3 แบบประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร	33
บทนำ	34
แบบประเมินเชิงคุณภาพ	35
แบบประเมินเชิงปริมาณ	36
ขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร	40
สรุปท้ายบท	45
คำถามท้ายบท	46
เอกสารอ้างอิง	47

บทที่ 4 เครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร	49
บทนำ	50
การตรวจวัดอุณหภูมิ	51
การตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์	52
การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของอากาศและกระแสลม	57
การตรวจวัดระบบการระบายอากาศ	59
การไหลของอากาศแบบทิศทางเดียว (One Directional Air Flow)	
กับความดันแตกต่าง (Differential Pressure: DP)	65
การตรวจวัดมลพิษด้านเคมี	68
การตรวจวัดมลพิษด้านชีวภาพ	75
การตรวจวัดฝุ่นละออง	80
สรุปท้ายบท	82
คำถามท้ายบท	83
เอกสารอ้างอิง	85
บทที่ 5 การระบายอากาศภายในอาคาร	87
บทนำ	88
ระบบการระบายอากาศ	88
หลักการการระบายอากาศทางธรรมชาติ	89
หลักการระบายอากาศโดยวิธีกลเพื่อเจือจางความเข้มข้นของมลสารภายในอาคาร	90
หลักการระบายอากาศเฉพาะที่	92
การระบายอากาศแบบเจือจางและแบบเฉพาะที่	93
การระบายอากาศแบบหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่	
และหน่วยจัดการอากาศภายในอาคาร	95
สรุปท้ายบท	107
คำถามท้ายบท	108
เอกสารอ้างอิง	110
บทที่ 6 เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล	111
บทนำ	112
ตัวแปรกำหนดคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล	113
การดำเนินการเพื่อประเมินคุณภาพอากาศและเทคนิคการจัดการปัญหา	
คุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล	139

สรุปท้ายบท	160
คำถามท้ายบท	161
เอกสารอ้างอิง	163
บทที่ 7 เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	165
บทนำ	166
ตัวแปรกำหนดคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	167
เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	
โดยการตรวจสอบ ทดสอบ และการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร	
(Inspection, Testing, and Monitoring of Indoor Air Quality)	168
ลักษณะและสาเหตุของความล้มเหลวของระบบการระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม	
(Types and Causes of Industrial Ventilation Failure)	194
สรุปท้ายบท	196
คำถามท้ายบท	197
เอกสารอ้างอิง	199
บทที่ 8 เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน	201
บทนำ	202
ตัวแปรกำหนดคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน	203
การดำเนินการเพื่อประเมินคุณภาพอากาศและเทคนิคการจัดการปัญหา	
คุณภาพอากาศภายในสำนักงาน	204
สรุปท้ายบท	211
คำถามท้ายบท	212
เอกสารอ้างอิง	214
บทที่ 9 เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล	215
บทนำ	216
ตัวแปรกำหนดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล	217
การดำเนินการเพื่อประเมินคุณภาพอากาศและเทคนิคการจัดการปัญหา	
คุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล	218
สรุปท้ายบท	251
คำถามท้ายบท	253
เอกสารอ้างอิง	254

บทที่ 10 การจัดการระบายอากาศในสถานการณ์การระบาดของ	
โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)	255
บทนำ	256
แนวทางปฏิบัติในสถานการณ์การระบาดของ COVID-19	
รวมถึงโรคติดต่อทางเดินหายใจอื่น	257
การจัดการระบายอากาศในสถานการณ์การระบาดของ COVID-19	259
ตัวอย่างการจัดการระบายอากาศในสถานการณ์การระบาดของ COVID-19	259
สรุปท้ายบท	265
คำถามท้ายบท	267
เอกสารอ้างอิง	268
ภาคผนวก	269
แนวทางคำตอบบทที่ 1	269
แนวทางคำตอบบทที่ 2	276
แนวทางคำตอบบทที่ 3	281
แนวทางคำตอบบทที่ 4	286
แนวทางคำตอบบทที่ 5	294
แนวทางคำตอบบทที่ 6	301
แนวทางคำตอบบทที่ 7	306
แนวทางคำตอบบทที่ 8	311
แนวทางคำตอบบทที่ 9	316
แนวทางคำตอบบทที่ 10	321
ดัชนี (Index)	325

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1-1	การแผ่รังสีความร้อนจากอากาศภายในอาคาร	2
ภาพที่ 1-2	การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผม	4
ภาพที่ 1-3	ขนาดของมลพิษแต่ละชนิด	4
ภาพที่ 4-1	เครื่องเทอร์โมไฮโกรมิเตอร์ (Thermo hygrometer)	51
ภาพที่ 4-2	เครื่องวัดการระบายอากาศแบบหลายพารามิเตอร์ (Multi parameter ventilation meter)	52
ภาพที่ 4-3	เขตสบาย (Comfort zone)	53
ภาพที่ 4-4	Psychrometric Chart	55
ภาพที่ 4-5	Psychrometric และ Operative temperature	56
ภาพที่ 4-6	Predicted Mean Vote: PMV	56
ภาพที่ 4-7	แบบใช้ใบพัด (Rotary vane anemometer)	57
ภาพที่ 4-8	แบบแอนนิมิเตอร์แบบเส้นลวดความร้อน (Hot-wire anemometer)	58
ภาพที่ 4-9	แบบปล่องวัดปริมาณลม (Volume flow hood)	58
ภาพที่ 4-10	ลักษณะความเร็วภายในเส้นท่อ	59
ภาพที่ 4-11	การหาความเร็วลมเฉลี่ยตามวิธีของลอการิทึมเทบปีเชฟฟ์ (log-Tchebycheff)	60
ภาพที่ 4-12	การวัดความดันเคลื่อนที่ ความดันสถิต และความดันรวม โดยใช้แมนอมิเตอร์รูปตัวยูและพีโตทูป	61
ภาพที่ 4-13	การหาปริมาณลมในท่อด้วยเครื่องวัดการระบายอากาศแบบหลายพารามิเตอร์ ต่อเข้ากับพีโตทูป	62
ภาพที่ 4-14	ตัวอย่างแผนผังแสดงการไหลแบบทิศทางเดียว (One Directional Air Flow)	65
ภาพที่ 4-15	ตัวอย่างแผนผังแสดง One Directional Air Flow กับ Differential Pressure: DP	66
ภาพที่ 4-16	ตัวอย่างการตรวจประเมิน Differential Pressure: DP	67
ภาพที่ 4-17	เครื่องมือและวิธีมาตรฐานในการตรวจประเมินความดันแตกต่าง (Differential Pressure: DP)	68
ภาพที่ 4-18	ตัวอย่างการตรวจวัดความเข้มข้นสารฟอร์มัลดีไฮด์แบบพื้นที่	72
ภาพที่ 4-19	ตัวอย่างการตรวจวัดความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์แบบติดตัวบุคคล	72
ภาพที่ 4-20	ตัวเครื่อง Gasmet: GT5000 Terra FTIR Gas Analyzer	73
ภาพที่ 4-21	การตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Gasmet: GT5000 Terra FTIR Gas Analyzer	73
ภาพที่ 4-22	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซบันทึกสเปกตรัมอินฟราเรด (Gases in FTIR Spectrum)	74

ภาพที่ 4-23	ปริมาณก๊าซต่างๆ ที่มองเห็นได้ในสเปกตรัม	74
ภาพที่ 4-24	สัญญาณเตือนตกค้างสำหรับก๊าซนั้น	75
ภาพที่ 4-25	ตัวอย่างการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล โดยใช้เครื่อง Gasmeter	75
ภาพที่ 4-26	การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศโดยใช้เครื่อง Bio Sampler: SAS SUPER ISO 100	76
ภาพที่ 4-27	ตัวอย่างการนับโคโลนีเชื้อราโดยรวมในอากาศในงานอาหารเลี้ยงเชื้อ	79
ภาพที่ 4-28	ตัวอย่างการนับโคโลนีแบคทีเรียโดยรวมในอากาศในงานอาหารเลี้ยงเชื้อ	79
ภาพที่ 4-29	ตัวอย่างการตรวจวัดฝุ่นละอองแบบพื้นที่	81
ภาพที่ 4-30	AEROCET 531S: Met One Instruments	81
ภาพที่ 4-31	ตัวอย่างการตรวจวัดฝุ่นละอองโดยใช้เครื่องมือที่อ่านค่าทันที	82
ภาพที่ 5-1	การระบายอากาศแบบเจือจาง	91
ภาพที่ 5-2	องค์ประกอบของการระบายอากาศเฉพาะที่	93
ภาพที่ 5-3	การระบายอากาศแบบเจือจางและแบบเฉพาะที่	94
ภาพที่ 5-4	เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type air conditioning)	96
ภาพที่ 5-5	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type air conditioning)	97
ภาพที่ 5-6	เครื่องปรับอากาศแบบชุดชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Package: ACP)	98
ภาพที่ 5-7	เครื่องปรับอากาศแบบชุดชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package: WCP)	98
ภาพที่ 5-8	เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller: ACWC)	99
ภาพที่ 5-9	เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller: WCWC)	100
ภาพที่ 5-10	การระบายอากาศแบบหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่	102
ภาพที่ 5-11	หน่วยจัดการอากาศ (Air Handling Unit: AHU)	103
ภาพที่ 5-12	กลไกวิธีการดักจับอนุภาคของแผ่นกรองอากาศ	104
ภาพที่ 5-13	All Outdoor System	106
ภาพที่ 6-1	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (Intensive Care Unit: ICU)	117
ภาพที่ 6-2	การควบคุมแรงดันภายในห้องผ่าตัดและ Ante Room	118
ภาพที่ 6-3	ลักษณะทั่วไปภายในห้องผ่าตัด	119
ภาพที่ 6-4	ทิศทางการกระจายอากาศสะอาดภายในห้องผ่าตัด	119
ภาพที่ 6-5	ระบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow system) ชนิดติดบนฝ้าเพดาน	120

ภาพที่ 6-6	ระบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow system) ชนิดผ่านอากาศ	120
ภาพที่ 6-7	การตรวจวัดเพื่อประเมินความเข้มข้นของก๊าซไนตรัสออกไซด์ภายในห้องผ่าตัด	121
ภาพที่ 6-8	ตัวอย่างแบบติดตั้งหน้าการระบายอากาศใกล้กับผู้ป่วย	124
ภาพที่ 6-9	ตัวอย่างการตรวจวัดและประเมินก๊าซเอทิลีนออกไซด์ภายในหน่วยจ่ายกลาง	130
ภาพที่ 6-10	ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ (Infectious isolation room)	135
ภาพที่ 6-11	Nameplate ของพัดลม	136
ภาพที่ 6-12	ตัวอย่างการตรวจวัดและประเมินคุณภาพอากาศภายในห้องคลอด	136
ภาพที่ 7-1	การระบายอากาศแบบทั่วไปสำหรับกระบวนการทำความสะอาดเครื่องพิมพ์	168
ภาพที่ 7-2	ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับนำอากาศเข้าและระบายอากาศออก	169
ภาพที่ 7-3	การนำอากาศเข้าและระบายอากาศออกในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม	169
ภาพที่ 7-4	องค์ประกอบของการระบายอากาศแบบเฉพาะที่	173
ภาพที่ 7-5	ชุดแบบปิดคลุม (Enclosure hood)	174
ภาพที่ 7-6	ชนิดของชุดไม่ปิดคลุมแหล่งกำเนิด (Exterior hood)	176
ภาพที่ 7-7	การใช้ Smoke tube ในแนวศูนย์กลางที่ระยะห่างที่ต้องการดิงสารปนเปื้อนเข้าสู่ชุด	181
ภาพที่ 7-8	ตำแหน่งในการทดสอบความเร็วในการจับยึดมลสาร	181
ภาพที่ 7-9	ตำแหน่งในการทดสอบความเร็วด้านหน้าชุด	181
ภาพที่ 7-10	วัดความดันเคลื่อนที่ในท่อด้วยพิโตทูปเชื่อมต่อกับมาโนมิเตอร์	183
ภาพที่ 7-11	การใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ของพัดลมหรือมอเตอร์	193
ภาพที่ 8-1	การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) บริเวณช่องจ่ายอากาศ	205
ภาพที่ 9-1	Enclosing hood	220
ภาพที่ 9-2	Side draft hood/Capturing hood	220
ภาพที่ 9-3	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (1)	222
ภาพที่ 9-4	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (2)	223
ภาพที่ 9-5	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (3)	223
ภาพที่ 9-6	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (4)	224
ภาพที่ 9-7	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (5)	224
ภาพที่ 9-8	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (Top view)	225
ภาพที่ 9-9	การประเมินลักษณะการทำงาน	225
ภาพที่ 9-10	การตรวจวัดความดันแตกต่าง	225
ภาพที่ 9-11	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	225
ภาพที่ 9-12	การตรวจวัดความดันแตกต่าง	225
ภาพที่ 9-13	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนไฮดรอกไซด์ (Isometric view)	228

ภาพที่ 9-14	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนโชนแห้ง (Front view)	228
ภาพที่ 9-15	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนโชนแห้ง (Back view)	229
ภาพที่ 9-16	แผนผังห้องปฏิบัติการปูนโชนแห้ง (Top view)	229
ภาพที่ 9-17	การตรวจวัดความดันแตกต่าง	230
ภาพที่ 9-18	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	230
ภาพที่ 9-19	แผนผัง Simulation laboratory (Isometric view)	231
ภาพที่ 9-20	แผนผัง Simulation laboratory (Front view)	232
ภาพที่ 9-21	แผนผัง Simulation laboratory (Back view)	232
ภาพที่ 9-22	แผนผัง Simulation laboratory (Top view)	233
ภาพที่ 9-23	การตรวจวัดความดันแตกต่าง	233
ภาพที่ 9-24	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	233
ภาพที่ 9-25	แผนผังห้องแจกเครื่องมือ (1)	234
ภาพที่ 9-26	แผนผังห้องแจกเครื่องมือ (2)	235
ภาพที่ 9-27	แผนผังห้องแจกเครื่องมือ (Top view)	235
ภาพที่ 9-28	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	236
ภาพที่ 9-29	แผนผังห้องปฏิบัติงานช่างพันดกรรม	238
ภาพที่ 9-30	แผนผังห้องปฏิบัติงานช่างพันดกรรม (Top view)	238
ภาพที่ 9-31	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	239
ภาพที่ 9-32	แผนผัง Unit 3 ศัลยกรรม (Isometric view)	240
ภาพที่ 9-33	แผนผัง Unit 3 ศัลยกรรม (Top view)	240
ภาพที่ 9-34	การตรวจวัดความดันแตกต่าง	241
ภาพที่ 9-35	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ	241
ภาพที่ 9-36	กรอบตัวกรองไม่พอดีกับช่อง Return air	241
ภาพที่ 9-37	การตรวจวัดความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์	251
ภาพที่ 9-38	เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์	251
ภาพที่ 10-1	ห้องฝึกกิจกรรมบำบัดหลังการปรับปรุง (1)	262
ภาพที่ 10-2	ห้องฝึกกิจกรรมบำบัดหลังการปรับปรุง (2)	262
ภาพที่ 10-3	ห้องฝึกกิจกรรมบำบัดหลังการปรับปรุง (3)	263
ภาพที่ 10-4	ห้องฝึกกิจกรรมบำบัดหลังการปรับปรุง (4)	263
ภาพที่ 10-5	การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศจากช่องจ่ายอากาศรวม (Supply air)	264
ภาพที่ 10-6	การตรวจวัดปริมาตรห้องฝึกกิจกรรมบำบัด	264
ภาพที่ 10-7	ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศจากช่องจ่ายอากาศรวม (Supply air)	264

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1	ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร	6
ตารางที่ 2-1	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกเข้ามาเป็นจำนวนเท่าของปริมาตรห้อง	19
ตารางที่ 2-2	การระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีการปรับภาวะอากาศ	20
ตารางที่ 2-3	อัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล	22
ตารางที่ 2-4	อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ	23
ตารางที่ 2-5	มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเป็นจำนวนเท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33	25
ตารางที่ 3-1	ตัวอย่างแบบประเมินเชิงคุณภาพ	35
ตารางที่ 3-2	ตัวอย่างแบบประเมินเชิงปริมาณ	38
ตารางที่ 4-1	อัตราการเผาผลาญของร่างกายของแต่ละกิจกรรม	54
ตารางที่ 4-2	ค่าความเป็นฉนวนจากเสื้อผ้า	54
ตารางที่ 4-3	Correction Table to adjust colony count from A219-hole impactor using standard 55 mm contact plate and 90 mm petri plate	77
ตารางที่ 4-4	Correction Table to adjust colony count from A487-hole impactor using 84 mm MAXI-Contact plates	78
ตารางที่ 5-1	Minimum Efficiency Reporting Value: MERV	105
ตารางที่ 6-1	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องอุบัติเหตุและฉุกเฉิน	115
ตารางที่ 6-2	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในหออภิบาลผู้ป่วยหนัก	116
ตารางที่ 6-3	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด	118
ตารางที่ 6-4	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องชันสูตร	122
ตารางที่ 6-5	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องตรวจผู้ป่วยนอก	125
ตารางที่ 6-6	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการ	127
ตารางที่ 6-7	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในหอผู้ป่วยใน	128
ตารางที่ 6-8	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในหน่วยจ่ายกลาง	129
ตารางที่ 6-9	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องส่องกล้อง	131
ตารางที่ 6-10	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องฉายรังสี	132
ตารางที่ 6-11	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในคลินิกทันตกรรม	133
ตารางที่ 6-12	ตัวแปรคุณภาพอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ	134

ตารางที่ 6-13	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารหน่วยจ่ายกลาง (Indoor Air Quality: IAQ)	139
ตารางที่ 6-14	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องอุบัติเหตุและฉุกเฉิน (Indoor Air Quality: IAQ)	141
ตารางที่ 6-15	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด (Indoor Air Quality: IAQ)	143
ตารางที่ 6-16	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร Intensive Care Unit: ICU	145
ตารางที่ 6-17	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องคลอดและห้องพักฟื้น (Indoor Air Quality: IAQ)	147
ตารางที่ 6-18	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารหอผู้ป่วยใน (Indoor Air Quality: IAQ)	149
ตารางที่ 6-19	ผลการประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่า ของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	152
ตารางที่ 6-20	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก (น้อยกว่า 10 ไมครอน: PM ₁₀)	154
ตารางที่ 6-21	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าถึง และตกค้างสะสมบริเวณทางเดินหายใจส่วนปลาย (Respirable dust): (น้อยกว่า 2.5 ไมครอน: PM _{2.5})	154
ตารางที่ 6-22	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีภายในอาคาร	157
ตารางที่ 7-1	ตัวอย่างค่ามาตรฐานความเร็วด้านหน้าชุด	174
ตารางที่ 7-2	ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดไม่ปิดคลุมแหล่งกำเนิด	177
ตารางที่ 7-3	ตัวอย่างช่วงของค่าความเร็วในการจับยึดมลสารเข้าสู่ชุดไม่ปิดคลุมแหล่งกำเนิด	178
ตารางที่ 7-4	รายการตรวจสอบและทดสอบความดันสถิตที่ชุดเพื่อการเฝ้าระวัง คุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	179
ตารางที่ 7-5	รายการตรวจสอบและทดสอบความดันสถิตที่เส้นท่อเพื่อการเฝ้าระวัง คุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	182
ตารางที่ 7-6	รายการตรวจสอบและทดสอบความดันเคลื่อนที่บริเวณชุดและเส้นท่อ เพื่อการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม	183
ตารางที่ 7-7	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน	184
ตารางที่ 7-8	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจับฝุ่น ด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์	185
ตารางที่ 7-9	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของถุงกรอง	186
ตารางที่ 7-10	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดักฝุ่น แบบไฟฟ้าสถิต	188

ตารางที่ 7-11	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องการควบคุมก๊าซและไอโดยใช้หลักการดูดซับ (Adsorption)	190
ตารางที่ 7-12	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องการควบคุมก๊าซและไอโดยใช้หลักการดูดกลืน (Absorption)	191
ตารางที่ 7-13	รายการตรวจสอบและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเผาทำลาย (Incinerator)	192
ตารางที่ 7-14	รายการตรวจสอบและการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของพัดลม	193
ตารางที่ 8-1	ผลการตรวจวัดปริมาณอากาศเข้าจากภายนอกอาคาร	206
ตารางที่ 8-2	ผลการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate)	207
ตารางที่ 9-1	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการปูนโซนเปียก	219
ตารางที่ 9-2	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการปูนโซนแห้ง	226
ตารางที่ 9-3	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการจำลอง	230
ตารางที่ 9-4	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องแจกจ่ายเครื่องมือ	234
ตารางที่ 9-5	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติงานช่าง	236
ตารางที่ 9-6	ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการ Unit 3 ศัลยกรรม	239
ตารางที่ 9-7	ผลการประเมินความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์	242
ตารางที่ 10-1	ผลการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง	260

คำนำ

(ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2)

หนังสือเล่มนี้ผู้เขียนได้เรียบเรียงและปรับปรุงขึ้นจากประสบการณ์ในการให้บริการวิชาการ การดำเนินงานวิจัย และการจัดการเรียนการสอนในสาขาที่เกี่ยวข้องกับการประเมินและการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมถึงการประยุกต์ใช้หลักการระบายอากาศในการจัดการและแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้เนื้อหาภายในหนังสือมุ่งเน้นให้ผู้อ่านสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย สภาพแวดล้อมการทำงานและการจัดการอาคารได้อย่างเหมาะสม

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาของ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รวมถึงบุคลากรด้านสาธารณสุข นักวิชาการ ผู้ปฏิบัติงานด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย สภาพแวดล้อมการทำงาน และผู้ที่สนใจด้านการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยเนื้อหาครอบคลุมทั้งแนวคิดพื้นฐาน หลักการทางวิชาการ ตลอดจนกรณีศึกษาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริง

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 10 บท ได้แก่

1. คุณภาพอากาศภายในอาคาร
2. กฎหมายและมาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้
3. แบบประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร
4. เครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร
5. การระบายอากาศภายในอาคาร
6. เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล
7. เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม
8. เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน
9. เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล
10. การจัดการระบายอากาศในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

(COVID-19)

สำหรับ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2569 พิมพ์ครั้งที่ 2 นี้ ผู้เขียนได้ดำเนินการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น โดยเพิ่มเติมองค์ความรู้ด้านการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร การจัดการระบบระบายอากาศ และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศ ตลอดจนปรับปรุงข้อมูลด้านกฎหมาย มาตรฐาน และแนวทางปฏิบัติที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์และองค์ความรู้ทางวิชาการในปัจจุบัน

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการเรียนการสอนและการนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน ผู้อ่านสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงท้ายบทที่ผู้เขียนได้รวบรวมไว้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา การวิจัย และการปฏิบัติงานด้านการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร หากเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ยังมีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับข้อเสนอแนะจากผู้อ่าน เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไปให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อารุณ เกตุสาคร

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คำนำ

(ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1)

หนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนได้เรียบเรียงขึ้นจากประสบการณ์ในการบริการวิชาการและงานวิจัยที่ผู้เขียนได้ดำเนินการเพื่อใช้เป็นแนวทางการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารรวมถึงเทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้หลักการระบายอากาศ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษาของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รวมถึงบุคคลที่สนใจด้านการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วย 10 บท คือ คุณภาพอากาศภายในอาคาร กฎหมายและมาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ แบบประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร เครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร การระบายอากาศภายในอาคาร เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร โรงพยาบาล เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในสำนักงาน เทคนิคการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล และการจัดการระบายอากาศในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการเรียนการสอนและการนำไปใช้ประโยชน์ในการดำเนินการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร หากนักศึกษาหรือผู้อ่านต้องการรายละเอียดที่มากกว่านี้สามารถค้นคว้าได้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบท ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางแก่นักศึกษาและผู้สนใจไม่มากนักน้อย หากหนังสือเล่มนี้อาจจะยังไม่สมบูรณ์ในเนื้อหาหรือมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนยินดีน้อมรับคำแนะนำเพื่อการปรับปรุงแก้ไขในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อารุณ เกตุสาคร

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทที่ 1



คุณภาพอากาศภายในอาคาร

1. บทนำ
2. ประเภทของมลพิษ
3. วิธีการควบคุมทั่วไปโดยใช้หลักการระบายอากาศ
4. ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร
5. สรุปท้ายบท
6. คำถามท้ายบท
7. เอกสารอ้างอิง

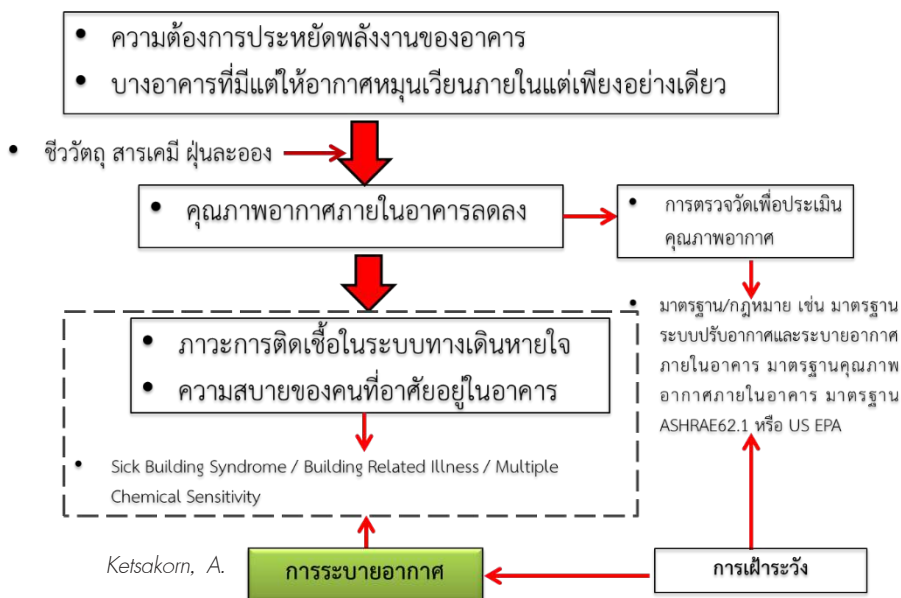
วัตถุประสงค์

1. มีความรู้ความเข้าใจประเภทของมลพิษที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร
2. ทราบวิธีการควบคุมมลพิษภายในอาคารโดยใช้หลักการระบายอากาศ
3. มีความรู้ความเข้าใจพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร

คุณภาพอากาศภายในอาคาร

บทนำ

ปัจจุบันอาคารจำนวนมากได้รับการออกแบบตามแนวคิดอาคารประหยัดพลังงาน ซึ่งในบางกรณีมีการใช้อากาศหมุนเวียนภายในอาคารเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่ระบบ หรือขาดการตรวจติดตามและบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบายอากาศอย่างเหมาะสม สภาวะดังกล่าวเอื้อต่อการสะสมของชีววัตถุ สารเคมี และฝุ่นละออง รวมถึงมลพิษทางอากาศภายในอาคารที่เกิดจากกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย ส่งผลให้คุณภาพอากาศภายในอาคารลดลง และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ใช้อาคาร เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ใช้เวลามากกว่าร้อยละ 90 ของชีวิตอยู่ภายในอาคาร^[1] ผลกระทบด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ กลุ่มอาการป่วยจากอาคาร (Sick Building Syndrome: SBS) การเจ็บป่วยที่มีความสัมพันธ์กับอาคาร (Building-Related Illness: BRI) ภาวะตอบสนองไวต่อสารเคมีในสิ่งแวดล้อมหรือภายในอาคาร (Multiple Chemical Sensitivity: MCS) ตลอดจนผลกระทบต่อความสบายและคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร



ภาพที่ 1-1 การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร

การเสื่อมลงของคุณภาพอากาศภายในอาคารสามารถประเมินได้จากการตรวจวัดและประเมินค่าพารามิเตอร์ด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร และนำผลการตรวจวัดไปเปรียบเทียบกับค่ากฎหมายหรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2025^[2] และ ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2025^[3] นอกจากนี้ ข้อมูลจากการร้องเรียนหรือข้อเสนอนแนะของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารยังสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้เชิงคุณภาพที่สะท้อนถึงการลดลงของคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้น ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารจัดการและดูแลอาคารจึงควรดำเนินมาตรการเฝ้าระวัง ตรวจสอบ และบำรุงรักษาระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอให้เป็นไปตามข้อแนะนำและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมความปลอดภัย สุขภาพอนามัย และคุณภาพชีวิตที่เหมาะสมของผู้ที่อาศัยและปฏิบัติงานภายในอาคาร

ประเภทของมลพิษ

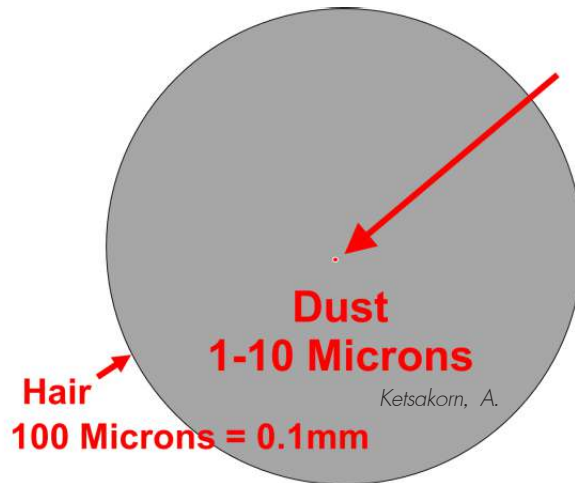
1. มลพิษในอาคาร มีแหล่งกำเนิดหลักอยู่ 2 ทาง คือ

- 1) จากภายนอกอาคาร เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ โครงการก่อสร้าง มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมใกล้เคียง ไอเสียที่ดูดออกจากภายในอาคารเองที่แขวนลอยใกล้กับช่องอากาศเข้า
- 2) จากภายในอาคาร เช่น น้ำยาทำความสะอาด การซ่อมแซมอาคาร สารทำละลาย เครื่องเฟอร์นิเจอร์ใหม่ เครื่องถ่ายเอกสาร หมึกพิมพ์ เครื่องใช้สำนักงานบางประเภท การสูบบุหรี่ การทำอาหาร เป็นต้น

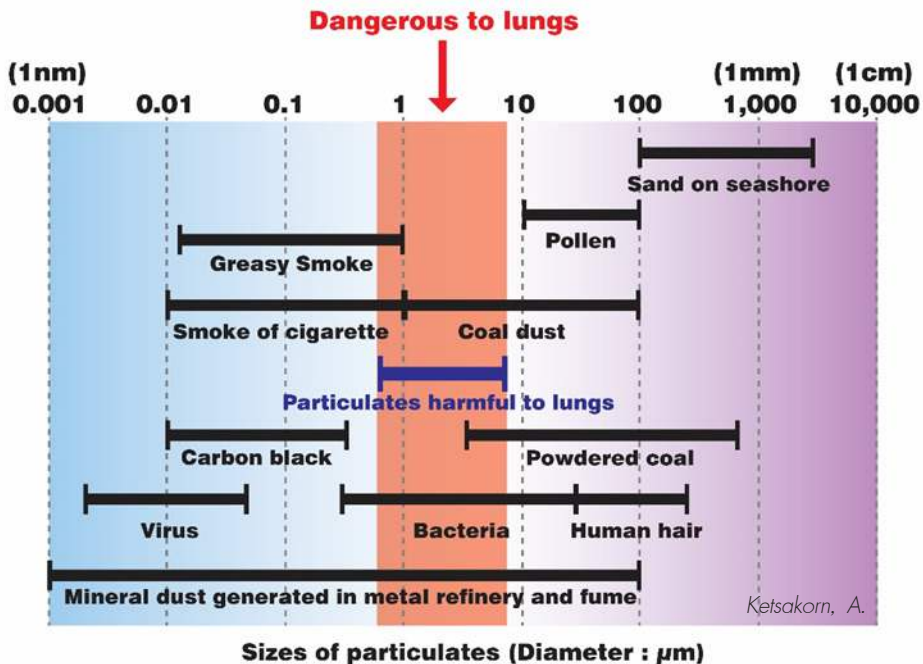
2. ประเภทของมลพิษ

- 1) เกิดจากชีววัตถุ (Biological) เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส เกสรดอกไม้ ขนสัตว์ของเสียจากคน (น้ำมูกจากการจาม เสมหะจากการไอ) เป็นต้น
- 2) เกิดจากสารเคมี (Chemical) เช่น น้ำยาทำความสะอาด สารทำละลาย เชื้อเพลิง กาว การเผาไหม้ ไรระเหยจากเฟอร์นิเจอร์ สีทาผนัง เป็นต้น
- 3) ฝุ่นละออง (Particle and aerosol) มีทั้งที่เป็นรูปแบบของแข็งหรือละอองน้ำที่มีมวลเบาและแขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง การพิมพ์ การถ่ายเอกสาร กระบวนการผลิต การสูบบุหรี่ การเผาไหม้ เป็นต้น

ฝุ่นละออง (Particle and aerosol) สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้นั้นต้องมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ถ้าสงสัยว่า 10 ไมครอนนั้นมีขนาดเล็กขนาดไหนลองเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมของเรานั้นจะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองมีขนาดเล็กมากๆ (พิจารณาตามภาพที่ 1-2 และ 1-3)



ภาพที่ 1-2 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผม



ภาพที่ 1-3 ขนาดของมลพิษแต่ละชนิด

วิธีการควบคุมทั่วไปโดยใช้หลักการระบายอากาศ

โดยทั่วไปวิธีการควบคุมโดยใช้หลักการระบายอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) ลดปริมาณสิ่งสกปรกและความเป็นพิษที่ผสมอยู่ในอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
- 2) ให้ภาวะอากาศหรืออุณหภูมิและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม
- 3) ให้มีการเคลื่อนไหวของอากาศภายในอาคารพอเพียงที่จะระบายความร้อนจากตัวคน

เพื่อความรู้สึกสบาย

- 4) ป้องกันการติดไฟ การระเบิดที่เกิดจากความเข้มข้นของมลพิษ

โดยวิธีการในการควบคุมมลพิษในอากาศหลังจากที่มีการระบุแหล่งกำเนิดของมลพิษในอากาศ เช่น ย้ายสิ่งที่จะทำให้เกิดมลพิษให้ไกลจากที่มีคนหนาแน่น ทำแผงกันแหล่งกำเนิดมลพิษ การใช้ความดันต่างสัมพัทธ์เพื่อแยกแหล่งกำเนิดมลพิษ ลดเวลาที่คนต้องสัมผัสกับมลพิษ การใช้ปล่องดูดควันพิษจากเครื่องจักรพร้อมบำบัดก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ การเจือจางมลพิษและขจัดมลพิษจากอาคารโดยเพิ่มการระบายอากาศและระบบกรองอากาศและเครื่องดูดซับมลพิษ เช่น Activated Carbon Filter เพื่อบำบัดอากาศเข้าให้สะอาดและดูดมลพิษจากอาคาร เป็นต้น

ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร

พารามิเตอร์	ความหมายและผลกระทบต่อสุขภาพ	แหล่งกำเนิด	มาตรฐาน	
			ค่ามาตรฐาน	หน่วยงาน
1. พารามิเตอร์สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort parameters)				
อุณหภูมิ (Temperature)	เพื่อบ่งบอกถึงความพอใจและความสบายของผู้ใช้พื้นที่	ระบบจัดการอากาศ (HVAC)	ประมาณ 23°C ถึง 27°C* และประกาศกรมอนามัย (2565) โดยเป็น Dry Bulb Temperature ค่าที่ยอมรับได้ อยู่ระหว่าง 24-26°C	ASHRAE 55 ^[4] หรือประกาศ กรมอนามัย ^[5]
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	เพื่อบ่งบอกถึงความพอใจและความสบายของผู้ใช้พื้นที่ รวมทั้งเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อรา	ระบบจัดการอากาศ (HVAC)	50-65%	ประกาศ กรมอนามัย ^[5]
ความเร็วลม (Air movement)	เพื่อบ่งบอกว่าในบริเวณดังกล่าวมีการเคลื่อนไหวของอากาศหรือไม่ เพราะว่าบริเวณที่ไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศแสดงว่ามลพิษหรือสารเคมีจะสะสมอยู่ในบริเวณดังกล่าว	ระบบจัดการอากาศ (HVAC)	น้อยกว่า 0.30 m/s	ประกาศ กรมอนามัย ^[5]
อัตราการไหล (Flow Rate)	บ่งบอกถึงปริมาณอากาศที่ระบบจัดการอากาศ สามารถจ่ายให้กับพื้นที่ต่างๆ เพียงพอต่อความต้องการหรือไม่	ระบบจัดการอากาศ (HVAC)	0.5-1.0 cfm/ft² (≈ 2.5-5.0 L/s·m²) 100% exhaust, no recirculation, negative pressure	ASHRAE 62.1 ^[2]

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความหมายและผลกระทบต่อสุขภาพ	แหล่งกำเนิด	มาตรฐาน	
			ค่ามาตรฐาน	หน่วยงาน
2. พารามิเตอร์ด้านเคมี (Chemical parameters)				
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เมื่อความเข้มข้นของ CO ₂ >1,000 ppm บ่งบอกถึงการระบายอากาศไม่เพียงพอ ผู้สัมผัสมีอาการปวดศีรษะ เหนื่อยล้า และมีปัญหาทางเดินหายใจส่วนบน	เกิดจากการเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงานของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ถูกนำออกมาจากร่างกายโดยการหายใจออก รวมทั้งการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	8 ชม. 5,000 ppm	OSHA ^[7]
			700 ppm**	ASHRAE 62.1 ^[2]
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจนเนื่องจากสามารถจับฮีโมโกลบินได้ดีกว่าออกซิเจนถึง 200-500 เท่า การหายใจเอาอากาศที่มี CO อยู่ >10 ppm ทำให้อ่อนเพลีย > 25 ppm ทำให้ตาพร่ามัว > 50 ppm ทำให้ปวดศีรษะและการเต้นของหัวใจผิดปกติ	การสูบบุหรี่หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการหุงต้ม, การเผาไหม้ของเครื่องยนต์	9 ppm	U.S. EPA ^[6] และ ประกาศ กรมอนามัย ^[5]
			50 ppm	OSHA ^[7]
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นแรง โดยปกติเป็นก๊าซที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทั้งในและนอกอาคาร มีผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อได้รับสัมผัสความเข้มข้น 2-10 ppm อาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา จาม ไอ สำหรับคนที่มีภูมิไวรับสูงได้รับสัมผัสความเข้มข้นเพียง 0.1 ppm อาจทำให้เกิดอาการเหล่านี้ได้	วัสดุก่อสร้างที่นำมาสร้างหรือตกแต่งภายใน เช่น ไฟเบอร์บอร์ด ไม้อัด พรม เฟอร์นิเจอร์	0.08 ppm	ประกาศ กรมอนามัย ^[5]
			0.75 ppm	OSHA ^[7] กรมสวัสดิการและ คุ้มครองแรงงาน ^[8]
สารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยรวม (Total volatile organic compounds: TVOCs)	สารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอย่างน้อยหนึ่งอะตอมในโมเลกุล TVOCs เป็นสาเหตุของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร มักเป็นสารเคมีที่มีความดันไอต่ำจึงสามารถระเหยขึ้นสู่อากาศได้ แต่ใช้ระยะเวลานาน	การเผาไหม้ การปรุงอาหาร วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างหรือตกแต่งภายใน เช่น สี สารเคลือบเงา ไม้ กาว สารทำละลาย เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในสำนักงาน สารกำจัดแมลง	ไม่เกิน 1,000 ppb	ประกาศ กรมอนามัย ^[5]

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความหมายและผลกระทบต่อสุขภาพ	แหล่งกำเนิด	มาตรฐาน	
			ค่ามาตรฐาน	หน่วยงาน
	บางชนิดอาจใช้เวลาเป็นเดือนๆ ผลกระทบต่อสุขภาพของ TVOCs ทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ และจิตประสาทเสื่อม แต่ผลกระทบต่อร่างกายเนื่องจากการสัมผัส TVOCs หลายๆ สารพร้อมกันยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด	ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน เช่น น้ำยาทำความสะอาด น้ำยารีดผ้าเรียบ เป็นต้น		
ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM ₁₀)	อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 µm การสูดเอาอนุภาคดังกล่าวเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ มีผลทำให้มีโอกาสเกิดโรคปอดได้	ฝุ่นทั่วไป ครันบูทรี ฝุ่นจากการจราจรบนถนน ^[9-10] ฝุ่นผ้า สปอร์เชื้อรา ฝุ่นที่เกิดจากการจุดธูปบูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ภายในบ้านเรือน ศาสนสถาน ^[11]	ไม่เกิน 50 µg/m ³ (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ประกาศกรมอนามัย ^[5]
ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 µm การสูดเอาอนุภาคดังกล่าวเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ มีผลทำให้มีโอกาสเกิดโรคปอดได้	ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ฝุ่นจากการจราจรบนถนน ^[9-10] ฝุ่นที่เกิดจากการจุดธูปบูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ภายในบ้านเรือน ศาสนสถาน ^[11]	25 µg/m ³ (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ประกาศกรมอนามัย ^[5]
โอโซน (Ozone)	ปอดมีประสิทธิภาพน้อยลง มีปัญหาหอบหืด ระคายเคืองคอ ไอ เจ็บหน้าอกหายใจไม่ออก ปวดอักเสบ ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ	ก๊าซโอโซนจากเครื่องถ่ายเอกสาร	ไม่เกิน 0.050 ppm	ประกาศกรมอนามัย ^[5]
3. พารามิเตอร์ด้านชีวภาพ (Biological parameters)				
แบคทีเรียโดยรวมในอากาศ (Total Bacteria Count)	แบคทีเรีย คือ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีการกระจายอยู่ทั่วไป ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีทั้งชนิดที่ไม่เป็นโทษต่อร่างกายและชนิดที่เป็นโทษ ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดปกติ เช่น อาการเจ็บคอ มีเสมหะสีเหลือง/เขียว แผลเป็นหนอง ปวด บวม ร้อน บางชนิดอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้เสียชีวิตได้	แบคทีเรียเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมตามแต่ละชนิดและมีแหล่งอาหาร	ไม่เกิน 500 CFU/m ³	ประกาศกรมอนามัย ^[5]

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาและประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความหมายและผลกระทบต่อสุขภาพ	แหล่งกำเนิด	มาตรฐาน	
			ค่ามาตรฐาน	หน่วยงาน
เชื้อราโดยรวมในอากาศ (Total Fungal Count)	เชื้อราเป็นจุลชีพที่ทำลายพื้นผิวที่มันเกาะอยู่ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอับได้ เชื้อราสามารถสร้างพิษที่ส่งผลต่อสุขภาพได้ เช่น จาม น้ำมูกไหล ไข้ ภูมิแพ้ หอบหืด ระคายเคืองตา เป็นต้น	สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา คือ ความชื้น >65% อุณหภูมิ 5-35°C และมีแหล่งอาหาร	ไม่เกิน 500 CFU/m ³	ประกาศกรมอนามัย ^[5]
เชื้อแบคทีเรียลิจิโอเนลลา นิวโมฟิลา <i>Legionella pneumophila</i>	การติดเชื้อโรคจากระบบปรับอากาศภายในอาคาร คือ ปัญหาการเกิดโรคลิจิเียนแนร์ (Legionnaires' disease) เป็นโรคติดเชื้อจากแบคทีเรีย ลิจิโอเนลลา นิวโมฟิลา (<i>Legionella pneumophila</i>) อย่างเฉียบพลันในทางเดินหายใจส่วนล่าง เชื้อสามารถเข้าสู่คนโดยการดื่มน้ำมาจากละอองไอน้ำที่ถูกทำให้เกิดขึ้นในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร เช่น การพ่นละอองของน้ำ และถ้าหากมีเชื้อในน้ำหล่อเย็นและละอองฝอยจากหอหล่อเย็นหลุดลอยเข้าไปในระบบอากาศของอาคารจะทำให้ผู้ที่พักอาศัยอยู่ในอาคารอาจได้รับเชื้อนี้เข้าสู่ร่างกายได้	ระบบน้ำอุ่นตามบ้านเรือน น้ำฝักบัว และอ่างอาบน้ำ น้ำหล่อเย็นที่ใช้ระบายความร้อนของระบบปรับอากาศแบบหน่วยกลาง เป็นต้น อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมที่เชื้อชนิดนี้จะเจริญแบ่งตัวได้ดีอยู่ระหว่าง 20-45°C ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.0-8.5	100,000 CFU/liter (น้ำ Cooling)	กรมอนามัย ^[12]

หมายเหตุ: * ค่า Operative temperature (อุณหภูมิที่ประเมินผลรวมของอุณหภูมิอากาศและรังสี) อยู่ในช่วงที่ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย โดยใช้ เกณฑ์ PMV (Predicted Mean Vote) อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ราว ประมาณ 23°C ถึง 27°C ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเร็วลม ระดับเสื้อผ้า และอัตราเมแทบอลิซึม

** มาตรฐานใช้ความแตกต่างของ CO₂ ระหว่างอากาศภายในและภายนอกอาคาร เป็นตัวชี้วัดความเพียงพอของการระบายอากาศ (Ventilation adequacy) ไม่ใช่เกณฑ์ด้านพิษวิทยา ความแตกต่าง Indoor CO₂ – Outdoor CO₂ ≈ 700 ppm สะท้อนว่าอัตราการระบายอากาศตามที่ออกแบบไว้เพียงพอสำหรับความสบาย (หาก CO₂ ภายนอก ≈ 400 ppm CO₂ ภายในที่สอดคล้อง ≈ 1,100 ppm)

สรุปท้ายบท

อาคารจำนวนมากในปัจจุบันได้รับการออกแบบภายใต้แนวคิดการประหยัดพลังงาน ซึ่งในบางกรณีมีการใช้อากาศหมุนเวียนภายในอาคารเป็นหลักโดยไม่มีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่ระบบ รวมถึงขาดการตรวจติดตามและบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบายอากาศอย่างเหมาะสม สภาวะดังกล่าวเอื้อต่อการสะสมของมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ทั้งในรูปของสารเคมี ชีวภาพ และฝุ่นละออง ส่งผลให้คุณภาพอากาศภายในอาคารลดลง และอาจทำให้สภาวะน่าสบายทางความร้อนไม่เป็นไปตามกฎหมายหรือมาตรฐานที่กำหนด ผลกระทบจากคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่เหมาะสมไม่เพียงก่อให้เกิดความไม่พึงพอใจของผู้อยู่อาศัยเท่านั้น แต่ยังอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังนั้น การควบคุมมลพิษทางอากาศภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศและส่งเสริมความพึงพอใจในการใช้งานอาคาร แนวทางในการควบคุมมลพิษอากาศภายในอาคารสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ได้แก่ การจัดการแหล่งกำเนิดมลพิษโดยย้ายออกจากพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานหนาแน่น การติดตั้งแผงกันหรือการแยกพื้นที่ด้วยความดันอากาศต่างสัมพัทธ์เพื่อลดการแพร่กระจายของมลพิษ การลดระยะเวลาในการสัมผัสมลพิษของผู้อยู่อาศัย การติดตั้งระบบดูดและระบายอากาศเฉพาะที่จากเครื่องจักรหรือแหล่งกำเนิด พร้อมการบำบัดก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ตลอดจนการเจือจางและขจัดมลพิษด้วยการเพิ่มอัตราการระบายอากาศ การใช้ระบบกรองอากาศ และอุปกรณ์ดูดซับมลพิษ เช่น แผ่นกรองถ่านกัมมันต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารให้เหมาะสม



คำถามท้ายบท

- 1) การแยกแยะระหว่าง Sick Building Syndrome (SBS) และ Building-Related Illness (BRI) มีความสำคัญต่อการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารและการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอย่างไร
- 2) มลพิษทางอากาศภายในอาคารแต่ละประเภทส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยอย่างไร
- 3) การระบุแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษภายในอาคารมีความสำคัญอย่างไรต่อการประเมินและการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ
- 4) การระบายอากาศภายในอาคารควรถูกออกแบบเพื่อบรรลุมลพิษใดบ้างในการส่งเสริมสุขภาพ ความปลอดภัย และความพึงพอใจของผู้อยู่อาศัย
- 5) การประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารควรใช้พารามิเตอร์ใดบ้างเพื่อให้ครอบคลุมทั้งด้านสุขภาพและสภาวะน่าสบายของผู้อยู่อาศัย
- 6) พารามิเตอร์ใดบ้างที่ใช้เป็นตัวชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร
- 7) พารามิเตอร์ใดบ้างที่ใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษด้านชีวภาพภายในอาคาร
- 8) ประกาศกรมอนามัย พ.ศ. 2565 กำหนดค่ามาตรฐานของเชื้อราโดยรวมในอากาศภายในอาคารไว้เท่าใด
- 9) การพบเชื้อ *Legionella pneumophila* ในระบบต่างๆ ภายในอาคารมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยอย่างไร
- 10) เครื่องถ่ายเอกสารภายในอาคารสำนักงานสามารถเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศประเภทใดบ้าง