

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่อง การประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ของโรงพยาบาลขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคารและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
- 2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ
- 2.3 เครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- 2.4 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- 2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องในพื้นที่บริการทางเทคนิคการแพทย์
- 2.6 ปัจจัยมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- 2.7 หลักการระบายอากาศกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- 2.8 การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคารและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality: IAQ) หมายถึง สภาวะของอากาศในอาคารที่ส่งผลต่อสุขภาพและความสบายของผู้อยู่อาศัย ซึ่งครอบคลุมทั้งภาวะเชิงความร้อน (Thermal comfort) และมลพิษในอากาศ รวมถึงอนุภาคละอองขนาดเล็ก สารเคมี และจุลชีพในอากาศ (US EPA, 2014)

2.1.1 ภาวะสบายเชิงความร้อน

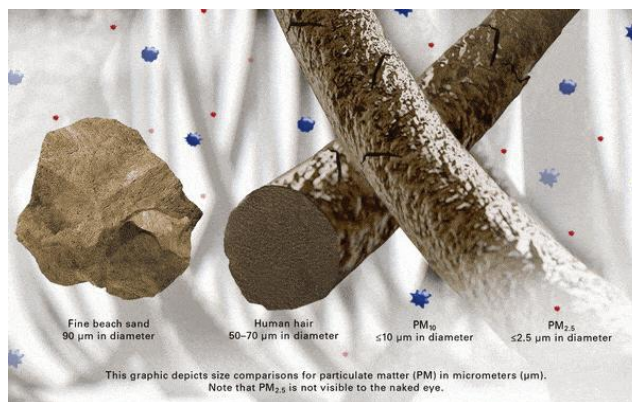
สภาวะที่ผู้ใช้ หรือผู้ปฏิบัติงานในอาคารเกิดความรู้สึกสบาย หรือไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดยภาวะสบายเชิงความร้อนจะพิจารณาตามองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ (กรมอนามัย, 2565)

2.1.2 สารปนเปื้อนในอากาศ

1) อนุภาคละอองขนาดเล็ก (Particulate matter)

อนุภาคละอองขนาดเล็ก คือส่วนผสมระหว่างของอนุภาคของแข็ง และของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้อาจมีขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 μm หรือเล็กกว่า สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ (World Health Organization, 2010)

อนุภาคขนาดเล็กมีเกิดจากแหล่งกำเนิดทั้งภายนอกและภายในอาคาร โดยมลพิษจากภายนอกอาคารสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารได้ เมื่อมีการเปิดประตู หน้าต่าง หรือ ช่องว่างระหว่างของประตู หน้าต่าง ผนัง รวมถึงการออกแบบอาคาร ส่วนแหล่งที่มาของอนุภาคละอองขนาดเล็กภายในอาคารอาจเกิดจากการสูบบุหรี่ การทำอาหาร หรือกิจกรรมบางอย่างอาจสร้างอนุภาคละอองขนาดเล็ก เช่น กิจกรรมที่เกิดการเผาไหม้ หรือกิจกรรมที่เกิดจากการทำความสะอาด (US EPA, 2014)



รูปที่ 2.1 ขนาดของ PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 เปรียบเทียบกับเส้นผมของมนุษย์และเม็ดทราย (US EPA, 2014)

2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide)

คาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นก๊าซไม่มีกลิ่น ไม่มีสี และมีความเป็นพิษ โดยคาร์บอนมอนนอกไซด์ก่อให้เกิดความเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยในอาคารได้ ผลกระทบจากการรับสัมผัส คาร์บอนมอนนอกไซด์อาจแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ขึ้นอยู่กับอายุ สุขภาพโดยรวม ความเข้มข้น และระยะเวลาในการสัมผัส โดยแหล่งที่มาของคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดจากการออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ น้ำมันเบนซิน ไอเสียรถยนต์ หรือจากควันทูบหรี่ (US EPA, 2014)

3) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีกลิ่น ไม่มีสี สามารถเกิดได้จากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ น้ำพุร้อน หรือจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การหายใจ การเผาไหม้ ยานพาหนะ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ขยะมูลฝอย และจากอุตสาหกรรม ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง (US EPA, 2014)

4) ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)

ฟอรัมาลดีไฮด์หรือฟอรัมาลีนเป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยไฮโดรเจน ออกซิเจน และ

คาร์บอน มีสถานะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นแรง พอร์มาลดีไฮด์ถูกใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ไม้อัด ผลิตภัณฑ์กาว สารเคลือบเฟอร์นิเจอร์ไม้ ผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาง ผลิตภัณฑ์ผ้า เรซิน กระดาษ ไฟเบอร์กลาส สีทาบ้าน และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Callahan, 2016)

5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (Total Volatile organic compounds: TVOCs)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดเป็นสารประกอบคาร์บอนที่สามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความดันในบรรยากาศภายในอาคารทั่วไป ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการผลิตหรือการใช้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ไม้อัด กาว ผ้าเคลือบ และวัสดุฉนวน โดย TVOCs ถูกแบ่งประเภทตามจุดเดือด ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมาก (VOCs) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (TVOCs) และสารประกอบอินทรีย์กึ่งระเหย (SVOCs) จุดเดือดที่ต่ำทำให้สารประกอบอินทรีย์ถูกปล่อยออกสู่อากาศได้ง่าย สารอินทรีย์ระเหยง่ายมักพบในรูปแบบไอระเหยในอากาศ ขณะที่สารที่มีการระเหยน้อยจะอยู่ในของแข็งหรือของเหลว (US EPA, 2014)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทสารมลพิษอินทรีย์ (World Health Organization, 2010)

คำอธิบาย	คำย่อ	จุดเดือด (°C)	ตัวอย่างสารประกอบ
สารอินทรีย์ระเหยง่ายมาก (Very volatile organic compounds)	VOC	<0 ถึง 50 - 100	โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) เมทิลคลอไรด์ (Methyl Chloride)
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds)	VOCs	50 - 100 ถึง 240 - 260	พอร์มาลดีไฮด์ ดี-ลิโมนีน (d-Limonene) โทลูอีน (Toluene) อะซิโตน (Acetone) เอทานอล (Ethanol)
สารกึ่งอินทรีย์ระเหยง่าย (Semi volatile organic compounds)	SVOC	240 - 260 ถึง 380 - 400	สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticides: DDT) คลอเดน (Chlordane) สารหน่วงไฟ (PCBs, PBB)

6) จุลชีพในอากาศ (Bioaerosol)

จุลชีพในสภาพแวดล้อมมีทั้งประโยชน์และอันตรายต่อมนุษย์ จุลชีพในอากาศสามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในตัวอาคาร หรืออาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในอาคารนั้น จุลชีพในอากาศเหล่านี้สามารถควบคุมปริมาณได้โดยการกำจัดหรือลดแหล่งที่มา โดยแหล่งกำเนิดของจุลชีพภายในอาคาร สามารถเกิดจาก 7 แหล่ง ได้แก่ มนุษย์ ต้นไม้ สัตว์เลี้ยง ระบบประปา ระบบระบาย

อากาศ ระบบปรับอากาศ (ระบบทำความร้อนและปรับอากาศ) และสภาพแวดล้อมภายนอก (Prussin & Marr, 2015)



รูปที่ 2.2 แหล่งที่มาของละอองชีวภาพแขวนลอย (Prussin & Marr, 2015)

2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ

คุณภาพอากาศภายในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ มีการศึกษาในหลายงานวิจัย รายงานของ US EPA พบว่ามลพิษทางอากาศภายในอาคารมีลักษณะคล้ายคลึงกับภายนอกอาคาร แต่มลพิษภายในอาคารอาจสูงกว่ามลพิษทางอากาศภายนอก ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษภายในอาคารอาจแสดงให้เห็นในเวลาไม่นานหลังจากการสัมผัสมลพิษเพียงครั้งเดียว หรือการสัมผัสมลพิษทางอากาศในอาคารซ้ำ ๆ โดยผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษในอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบเฉียบพลัน (Acute effect) และแบบเรื้อรัง (Chronic effect)

ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันเป็นผลกระทบระยะสั้น หลังจากการรับสัมผัสมลพิษ อาการจะแสดงภายในเวลาอันสั้น เช่น อาการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ หรือวิงเวียนศีรษะ โดยอาการแสดงขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านร่างกาย เช่น อายุ เพศ น้ำหนัก โรคประจำตัว ความไวต่อการรับสัมผัสของแต่ละบุคคล ซึ่งอาการเหล่านี้จะดีขึ้นถ้ามีการลดการสัมผัสลง ขณะที่ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง เป็นผลกระทบระยะยาว อาการจะแสดงหลังจากสัมผัสเป็นระยะเวลานานหรือการสัมผัสแบบซ้ำ ๆ โดยเมื่อสัมผัสไปนาน ๆ อาจรุนแรงถึงแก่ชีวิต ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นและระยะเวลาการสัมผัส (US EPA, 2014)

2.2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพของอนุภาคละอองขนาดเล็ก

อนุภาคละอองขนาดเล็กก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพหลายด้าน โดยเฉพาะอนุภาคละอองขนาดเล็กที่ขนาดต่ำกว่า 10 μm เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบไหลเวียนโลหิต การพัฒนาของหัวใจ ปอด นอกจากนี้อนุภาคดังกล่าวยังก่อให้เกิดโรคอื่น ๆ เช่น กลุ่มโรคปอด กลุ่มโรคหัวใจ โรคหลอดเลือด เบาหวาน โรคอ้วน การคลอดก่อนกำหนด ทารกเสียชีวิต ในครรภ์ (Tran et al., 2020) จากการศึกษาการรับสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศของบ้านพักในประเทศ

บังกลาเทศ พบว่าปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคารมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการทำงานของปอด ($r = 0.82$, $p < 0.01$) บ่งชี้ว่าการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ส่งผลต่อการทำงานของปอด (Nahian et al., 2024)

2.2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพของคาร์บอนมอนนอกไซด์

คาร์บอนมอนนอกไซด์ส่งผลกระทบต่อทุกวัยตั้งแต่ทารก ผู้สูงอายุ และผู้ที่เป็โรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจเรื้อรัง โรคโลหิตจาง และโรคระบบทางเดินหายใจ (Kim et al., 2015) ผลการศึกษาจากข้อมูลทุติยภูมิของโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด โรคหลอดลมโป่งพอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) และจำนวนผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลรายวัน เทียบกับระดับการสัมผัสคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบว่าความเสี่ยงจากการรับสัมผัสคาร์บอนมอนนอกไซด์ในโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องโรคทางเดินหายใจทั้งหมดมีความเสี่ยง 5.62% โรคหอบหืด 8.86% โรคหลอดลมอักเสบ 6.77% และโรคปอดบวม 7.20% (Zhao et al., 2019) และ US EPA (2014) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างระดับคาร์บอกซีเฮโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin: CO-Hb) กับผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับของคาร์บอนอกซีเฮโมโกลบินและอาการแสดง (Kinoshita et al., 2020)

CO-Hb (%)	อาการแสดงทางคลินิก
< 1	ช่วงปกติ
< 10	เลือดของผู้สูบบุหรี่ (ไม่มีอาการ)
10 - 20	ปวดหัว เหนื่อยล้า หูอื้อ
20 - 30	ปวดศีรษะอ่อนแรงคลื่นไส้อาเจียน
30 - 40	ปวดศีรษะรุนแรง เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน
40 - 50	เป็นลมหมดสติ สับสน หายใจเพิ่มขึ้น และอัตราการเต้นของหัวใจ
50 - 60	ภาวะหมดสติขั้นรุนแรง อาการชัก หายใจลำบาก
60 - 70	ภาวะหมดสติขั้นรุนแรง อาการชัก หัวใจหยุดเต้น อาจทำให้เสียชีวิตได้
> 70	ระบบหายใจล้มเหลว เสียชีวิต

2.2.3 ผลกระทบต่อสุขภาพของคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อรับสัมผัสคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐาน คาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าสู่ทางเดินหายใจระดับร่างและกระจายเข้าสู่เยื่อถุงลมปอด รวมถึงเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต อาจทำให้สูญเสียการควบคุมของร่างกาย การชัก การขาดออกซิเจน หรือเสียชีวิตได้ (US EPA, 2015) จากการศึกษาของ Beijing University of Technology ในกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 24 ราย พบว่าอาสาสมัครที่รับสัมผัสคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเฉลี่ย 2,000 ppm เป็นเวลา 1 คืน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอาการปวดศีรษะ เหนื่อยล้า ง่วงนอน และมีปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการคิดอย่างชัดเจน (Zhang et al., 2023)

2.2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของฟอร์มาลดีไฮด์

ปัญหาสุขภาพที่เกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์ ส่วนใหญ่เป็นปัญหาเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ การระคายเคืองบริเวณตาและจมูก หรือระคายเคืองต่อผิวหนัง ซึ่งอาการแสดงที่เกิดจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเกิดได้กับทุกคน อย่างไรก็ตาม เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่เป็โรคทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด หรือโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) และปัญหาระบบการหายใจอื่น ๆ ผู้คนเหล่านี้มักได้รับผลกระทบมากกว่า (Callahan, 2016) การศึกษาของ Zhou et al. (2015) ระบุว่าฟอร์มาลดีไฮด์สามารถทำให้เกิดมะเร็งจมูกและลำคอ โดยใช้เวลาที่ก่อให้เกิดความพิการของผู้รับสัมผัสได้ในระยะเวลาเฉลี่ย 5.5 ปี

2.2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด เป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่นเดียวกับสารเคมีอื่น ๆ โดยผลกระทบจากการสัมผัสได้แก่ การระคายเคืองที่เยื่อปุดตา อาการแสบร้อนในจมูกหรือลำคอ ระคายเคืองผิวหนัง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และอ่อนเพลีย (US EPA, 2014) จากการศึกษาในกลุ่มคนงานในโรงงานรีไซเคิลพลาสติก พบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดภายในอาคารมีความเข้มข้นอยู่ในระดับสูง และผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าคนงานดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในระดับสูง (He et al., 2015)

2.2.6 ผลกระทบต่อสุขภาพของจุลชีพในอากาศ

จุลชีพในอากาศ (Bioaerosol) ภายในอาคารส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดอาการหอบหืด โรคจมูกอักเสบจากภูมิแพ้ และโรคหอบหืด ผลการศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าการสัมผัสกับเชื้อราหรือจุลินทรีย์ภายในอากาศจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอักเสบ โรคจมูกอักเสบเรื้อรัง โดยเฉพาะกลุ่มผู้มีอาการภูมิแพ้จะไวต่อสารชีวภาพและสารเคมีได้ง่าย (Heseltine & Rosen, 2009)

2.2.7 ผลกระทบต่อสุขภาพของภาวะเชิงความร้อน

ภาวะเชิงความร้อนในอาคารมีส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้หลายด้าน เช่น ความชื้นที่ต่ำอาจทำให้ผิวหนังเกิดการแห้ง และทำให้ระบบทางเดินหายใจติดขัด หรืออุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงกระทันหันอาจก่อให้เกิดกล้ามเนื้อหดตัวจนเกิดเป็นตะหริว และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อาจเกิดการหมดสติจากความร้อน หรือถึงขั้นเสียชีวิต อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจนำไปสู่ความเครียดจากความร้อนและประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง รวมถึงการเคลื่อนที่ของอากาศที่ความเร็วมากเกินไป จะทำให้เกิดความไม่สบายตัวของผู้ที่อยู่อาศัยในอาคารได้ (Lan et al., 2011)

2.2.8 กลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร

จากรายงานขององค์การอนามัยโลกในปี 1984 ระบุว่า 30% ของผู้คนที่อาศัยอยู่ในอาคารใหม่หรืออาคารที่ได้รับการปรับปรุงทั่วโลกมีการประสบปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยอาการส่วนใหญ่เป็นเพียงชั่วคราว แต่อาคารในบางแห่งมีปัญหาคูณภาพอากาศในระยะยาวซึ่งเกิดจาก

การบำรุงรักษาอาคารในลักษณะที่ไม่เหมาะสมกับการออกแบบอาคารแบบเดิม และบางครั้งปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารอาจเกิดจากการออกแบบอาคารที่ไม่เหมาะสม และกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย

Jansz (2011) พบว่าอาการของกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร สามารถเกิดอาการได้หลายอาการ เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ ง่วงนอน หนาวสั่น ไอ จาม อาการระคายเคืองบริเวณดวงตาลำคอหรือจมูก รวมถึงการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ โดยสาเหตุของการเกิดโรค เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น มลพิษในอากาศที่เกินมาตรฐานภายในอาคาร ระบบระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม ที่ไม่สามารถระบายมลพิษภายในห้องออกสู่ภายนอกได้ หรือกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำอาหาร หรือการปรับปรุงอาคารที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เป็นต้น

2.3 เครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ปัจจุบันเครื่องมือในการประเมินคุณภาพในอาคารมีหลายชนิด โดยการใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่าง ต้องศึกษาและทำความเข้าใจในการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาการเลือกใช้ เช่น ข้อกำหนดหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานต่าง ๆ ความเป็นอันตรายของสิ่งแวดล้อม ระยะเวลา และความเหมาะสมของพื้นที่ หรือผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น โดยเครื่องมือในการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือชนิดอ่านค่าโดยตรง (Direct reading instrument) เครื่องมือวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง (Continuous monitoring devices) และเครื่องมือเก็บตัวอย่างเพื่อการส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป เครื่องมือชนิดอ่านค่าโดยตรงเป็นเครื่องมือที่สามารถเก็บตัวอย่างอากาศและแปลผลได้ในเครื่องมือ โดยแสดงให้เห็นได้ทันทีที่ทำการตรวจวัด สามารถระบุค่าความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัดได้ชัดเจนและตรงกับความเป็นจริง โดยชนิดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงสามารถแบ่งได้ตามลักษณะทางกายภาพของสารที่ตรวจวัดได้ แบ่งตามประเภทของปณิธานที่ต้องการตรวจวัด และแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องอ่านค่าโดยตรงมีหลักการทำงานพื้นฐาน คือ การนำอากาศตัวอย่างส่งเข้าไปยังส่วนรับรู้ (Sensor) ด้วยเครื่องดูดอากาศ (Active sampling) หรือการแพร่กระจายเข้าไปเอง (Passive sampling) แล้วถูกวิเคราะห์ โดยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ และห้องปฏิบัติการเป็นการเก็บตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม หรือพื้นที่ที่ตรวจวัด และนำมาวิเคราะห์หรือวินิจฉัยในห้องปฏิบัติการ ถึงจะมีการแปลผลได้ โดยจากการพิจารณาจากวิธีการดำเนินการแล้วในวิจัยนี้จะมีการใช้เครื่องเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือชนิดอ่านค่าโดยตรงในส่วนของการตรวจวัดภาวะสบายเชิงความร้อน ฝุ่นละออง และสารเคมีที่ปนเปื้อนในอากาศ ส่วนของการตรวจวัดจุลชีพในอากาศจะใช้เครื่องมือประเภทเก็บตัวอย่างเพื่อการส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Anna, 2011)

2.3.1 เครื่องมือการตรวจวัดอนุภาคละอองขนาดเล็ก

Jung et al. (2015) ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีระบบระบายอากาศที่แตกต่างกันตามประเภทและพื้นที่ทำงานในโรงพยาบาล โดยตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคละอองขนาดเล็ก จำนวน 7 พื้นที่ ด้วยเครื่องมือ DUST-TRAK Aerosol Monitor (Model 8520, TSI Corporation, Shoreview, USA) ตามรูปที่ 2.3 เพื่อตรวจวัด PM₁₀ และ PM_{2.5} และจากการศึกษาของ Heibati et al. (2021) เกี่ยวกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดศูนย์การแพทย์ในระยะยาว

โดยศึกษาลักษณะคุณภาพอากาศภายในอาคารในห้องผ่าตัดแต่ละประเภทจำนวน 6 ห้อง ด้วยเครื่องมือ Grimm 1.108; Ainring, Germany ตามรูปที่ 2.4 ตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองเชิงมวลของอนุภาค ได้แก่ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_1 และจากศึกษาของ Kong et al. (2021) มีการใช้เครื่องมือ AEROTRAK MODEL 9306-V2 (รูปที่ 2.5) ในการศึกษาอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Fine particles) ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในระหว่าง $0.1-10\ \mu m$ จากการจำลองระบบระบายอากาศของหอผู้ป่วย



รูปที่ 2.3 เครื่องมือ DUST-TRAK Aerosol Monitor Model 8520 (TSI, 2010)



รูปที่ 2.4 Grimm 1.108 (GRIMM, 2010)



รูปที่ 2.5 AEROTRAK MODEL 9306 (TSI, 2010)

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือที่ใช้วัดอนุภาคในอากาศ

เครื่องมือ	ลักษณะการตรวจวัด	ช่วงการวัด	อ้างอิง
DUST-TRAK Aerosol Monitor Model 8520	ความเข้มข้นเชิงมวล	0.1 - 10 μm	(Jung et al., 2015)
Grimm 1.108; Ainring, Germany	ความเข้มข้นเชิงมวลและ ความเข้มข้นเชิงจำนวน	0.3 - 20 μm	(Heibati et al., 2021)
AEROTRAK MODEL 9306-V2 (TSI)	ความเข้มข้นเชิงมวล	0.1 - 10 μm	(Kong et al., 2021)

2.3.2 เครื่องมือการตรวจวัดสารเคมีปนเปื้อนในอากาศ

EL-Sharkawy & Noweir (2014) ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งของประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยมีการตรวจวัดสารเคมีปนเปื้อนในอากาศ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด โดยตรวจวัดคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และโอโซนด้วยเครื่องมือ GrayWolf 's DirectSense® (รูปที่ 2.6) และตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด ด้วยเครื่องมือ Entry RAE PGM-3000 Multi-Gas Monitor (SKU RAE046-P111-100, 2006) ด้วยช่วงการตรวจวัด 0 - 9.99 ppm ซึ่งสามารถแสดงค่าความเข้มข้นของมลพิษได้พร้อมกันหลายค่า จากการศึกษาของ Chaiklieng et al. (2021) เกี่ยวกับการรับสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ และ Chaivisit et al. (2018) ศึกษาการกระจายตัวของแบคทีเรียและเชื้อรา โดยตรวจวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยเครื่องมือ Gasmet DX-4030 ที่มีอัตราการดูดอากาศเข้าเครื่องมือ 0.3 L/min โดยใช้หลักการสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดแปลงฟูเรียร์แบบสีกัด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR)



รูปที่ 2.6 เครื่องมือ GrayWolf (GRAYWOLF, 2018)



รูปที่ 2.7 เครื่องมือ Entry RAE PGM-3000 Multi-Gas Monitor (SKU, 2006)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือ DX-4030 (GASMET, 2012)

2.3.3 เครื่องมือเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศ

การเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ Passive sampling ใช้หลักการแพร่กระจายของจุลชีพเข้าไปในเครื่องมือเก็บตัวอย่างได้เอง และ Active sampling ซึ่งมีปั๊มดูดอากาศเข้าไปในเครื่องมือเก็บตัวอย่าง โดยการเก็บจุลชีพด้วยวิธีนี้ สามารถแบ่งเครื่องมือออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ Impingers, Cyclones, Impactors และ Filters (รูปที่ 2.9) ซึ่งในการเก็บตัวอย่างจุลชีพส่วนใหญ่อ้างอิง NIOSH-0800 (Haig et al., 2016)



ก. Impingers



ข. Cyclones



ค. Impactors



ง. Filters

รูปที่ 2.9 เครื่องมือเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศ 4 ประเภท (Haig et al., 2016)

Montazeri et al. (2020) ศึกษาปริมาณจุลชีพในอากาศในโรงพยาบาล Burn ในบริเวณ 5 ห้อง โดยใช้เครื่องมือ Quick Take 30 ตรวจวัดเชื้อจุลชีพ และการศึกษาของ Li & Hou (2003) เป็นการศึกษาจุลชีพในอากาศภายในห้องสะอาด (Clean rooms) ของโรงพยาบาล โดยใช้เครื่อง The Andersen sampler จำนวน 6 ชั้น ที่มีรูขนาด 0.25 มม. จำนวน 400 รู และการศึกษาของ Božić et al. (2019) ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล และคู่มือทฤษฎีของระบบทำความร้อน ระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ HVAC โดยการตรวจวัดจุลชีพมีการใช้เครื่อง Samplair™ Lite การไหลของอากาศได้รับการปรับเป็น 200 L/min โดยทั้งสามเครื่องมือที่ได้กล่าวมาคือหลักการของการอัดอากาศ โดยถูกเก็บรวบรวมโดยการดูดอากาศผ่านการแบ่งพื้นที่ (Grid) ที่อยู่เหนือจานเพาะเชื้อ และถูกส่งไปที่พื้นผิวของจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Malt extract agar (MEA) สำหรับเชื้อรา และ Trypticase soy agar (TSA) สำหรับแบคทีเรีย

2.3.4 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

อัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศ หรืออัตราแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) เป็นค่าที่ใช้วัดและกำหนดปริมาณอากาศที่เคลื่อนที่เข้าและออกจากพื้นที่หรือห้องใด ๆ การแลกเปลี่ยนอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศของภายในอาคาร ซึ่งการคำนวณการอัตราการแลกเปลี่ยนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยคำนวณจากอัตราการไหลของอากาศ

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อชั่วโมงใช้สัญลักษณ์ ACH โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$ACH = \frac{3600 \times Q}{V}$$

เมื่อ ACH = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Ac/hr)

Q = อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าสู่ห้อง (m^3/s)

V = ปริมาตรห้อง (m^3)

2) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศคำนวณอัตราการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยใช้จากการลดลงของความเข้มข้นของ CO_2 เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องหรืออาคาร แนวคิดหลักคือการปล่อย CO_2 เข้าไปในพื้นที่ที่ต้องการวัด จากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของ CO_2 ว่าลดลงอย่างรวดเร็วเพียงใด อัตราการลดลงนี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Ac/hr) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนอากาศในพื้นที่นั้นกี่ครั้งในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยสูตรคำนวณ (Claude-Alain & Foradini, 2002) ดังนี้

$$C_t - C_{bg} = (C_0 - C_{bg}) \times e^{-Nt}$$

เมื่อ C_t = ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาหนึ่ง ๆ (ppm)
 C_{bg} = ระดับคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น, (ppm)
 C_0 = ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่เพิ่มขึ้น (ppm)
 t = ช่วงเวลาที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (min)
 N = อัตราการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ (min^{-1})
 ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนอากาศ (ACH) ในหน่วย Ac/hr

มาตรฐานของ ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 ได้มีการกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบายอากาศในแต่ละห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กำหนดค่ามาตรฐานของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับระบายอากาศในห้องปฏิบัติการ

ประเภทของห้อง	ความดันภายในห้อง	ACH	ข้อกำหนด (มี/ไม่มี)	
			การระบายอากาศ	ระบบหมุนเวียน
ห้องปฏิบัติการทั่วไป	ความดันลบ	6	มี	ไม่มี
ห้องปฏิบัติการจุลวิทยา	ความดันลบ	6	มี	ไม่มี
ห้องปฏิบัติการชีวเคมี	ความดันลบ	6	มี	ไม่มี
ห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา	ความดันลบ	6	มี	ไม่มี
ห้องปฏิบัติการเซลล์วิทยา	ความดันลบ	6	มี	ไม่มี
พื้นที่ทำการฆ่าเชื้อ	ความดันลบ	10	มี	ไม่มี
พื้นที่ส่งสิ่งส่งตรวจ	ความดันบวก	4	ไม่มี	ไม่มี

2.4 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องคุณภาพอากาศภายในอาคาร

องค์การอนามัยโลก มีการปรับปรุงทั้งหมด 3 ครั้ง โดยการพิมพ์ฉบับล่าสุด (พิมพ์ครั้งที่ 3) มุ่งเน้นมลพิษทางอากาศภายในอาคารในประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากองค์การอนามัยโลกประมาณการว่า 3% ของประชากรโลกหรือประมาณ 1.6 ล้านคน เสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศภายในอาคาร และแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ต่อประเทศกำลังพัฒนา มลพิษทางอากาศภายในอาคารมีผลกระทบอย่างมาก โดยผลกระทบต่อสุขภาพมีมากกว่ามลพิษทางอากาศภายนอก

U.S. Environmental Protection Agency ได้กล่าวถึงมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2 - 5 เท่า จากการศึกษาคุนภาพอากาศในอาคารมีมลพิษร้ายแรงกว่าอากาศภายนอกอาคาร ที่ผู้คนใช้เวลาอยู่ในอาคารประมาณ 90% คนวัยทำงาน ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยเรื้อรัง โดยเฉพาะผู้เป็นโรคประจำตัวเกี่ยวกับทางเดินหายใจหรือหัวใจและหลอดเลือด กลุ่มไวต่อมลภาวะ การปกป้องผู้คนจากมลพิษทางอากาศภายในอาคารสำคัญมาก (US EPA, 2014) แต่มีการเพิ่มเติมในส่วนของการประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด และประเทศไทยมีการอ้างอิงจากประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบมาตรฐานมลพิษทางอากาศภายในอาคารของประเทศไทยกับ US EPA และ WHO

ประเภทของมลพิษ	ไทย	US EPA	WHO
อุณหภูมิ (°C)	24 - 26	20.2 - 26.9	-
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	50 - 65	30 - 60	-
ความเร็วลม (m/s)	0.1 - 0.3	>0.2	-
อนุภาคฝุ่นละอองขนาด 10 (mg/m ³)	50	150	-
อนุภาคฝุ่นละอองขนาด 2.5 (µg/m ³)	25	35	35
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	9	9	0.01
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	1000	1000	0.064
โอโซน (ppm)	0.1	0.08	0.081
ฟอร์มัลดีไฮด์ (mg/m ³)	120	-	-
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (ppm)	3	-	-
แบคทีเรีย (CFU/m ³)	500	-	100
เชื้อรา (CFU/m ³)	500	-	500

2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องในพื้นที่บริการทางเทคนิคการแพทย์

พื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ในโรงพยาบาล หรือ แผนกพยาธิวิทยาคลินิกมีภารกิจให้บริการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการแก่ ผู้ป่วย ผู้มาตรวจสุขภาพทั้งในและนอกเวลาทำการปกติ โดยครอบคลุมการตรวจขั้นสูงทางด้านโลหิตวิทยา จุลทรรศน์ศาสตร์ ภูมิคุ้มกันวิทยา เคมีคลินิก และจุลชีววิทยาเป็นหลักนอกจากนี้อาจให้บริการตรวจทางเซลล์วิทยา ตรวจหาสารเสพติด อาหารเพื่อคุ้มครอง ผู้บริโภคและอื่น ๆ ตามที่ได้รับการประสานงานบูรณาการกับหน่วยงานอื่นๆ หรือตามที่ทรัพยากรของโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะเอื้ออำนวย นอกจากนั้นยังให้บริการส่งต่อตัวอย่างสิ่งส่งตรวจทางห้องปฏิบัติที่ไม่มีให้บริการในโรงพยาบาลไปยังสถานบริการอื่นที่มีศักยภาพในการตรวจวิเคราะห์ขั้นสูงกว่าขั้นตอนการให้บริการ ตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ สามารถแบ่งได้เป็น 2

ส่วนคือ ขั้นตอนการให้บริการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการสำหรับผู้ป่วยนอก และขั้นตอนการให้บริการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการสำหรับผู้ป่วยในและหน่วยงานภายนอก (กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.1 พื้นที่ใช้สอยที่จำเป็นสำหรับการให้บริการและการปฏิบัติงานของแผนกพยาธิวิทยาคลินิก สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนหลัก รวม 22 พื้นที่การใช้งาน ดังนี้ (ปรับตัวเลข)

2.5.1.1 พื้นที่บริการส่วนหน้าสำหรับผู้ป่วยหรือผู้มารับบริการ ได้แก่

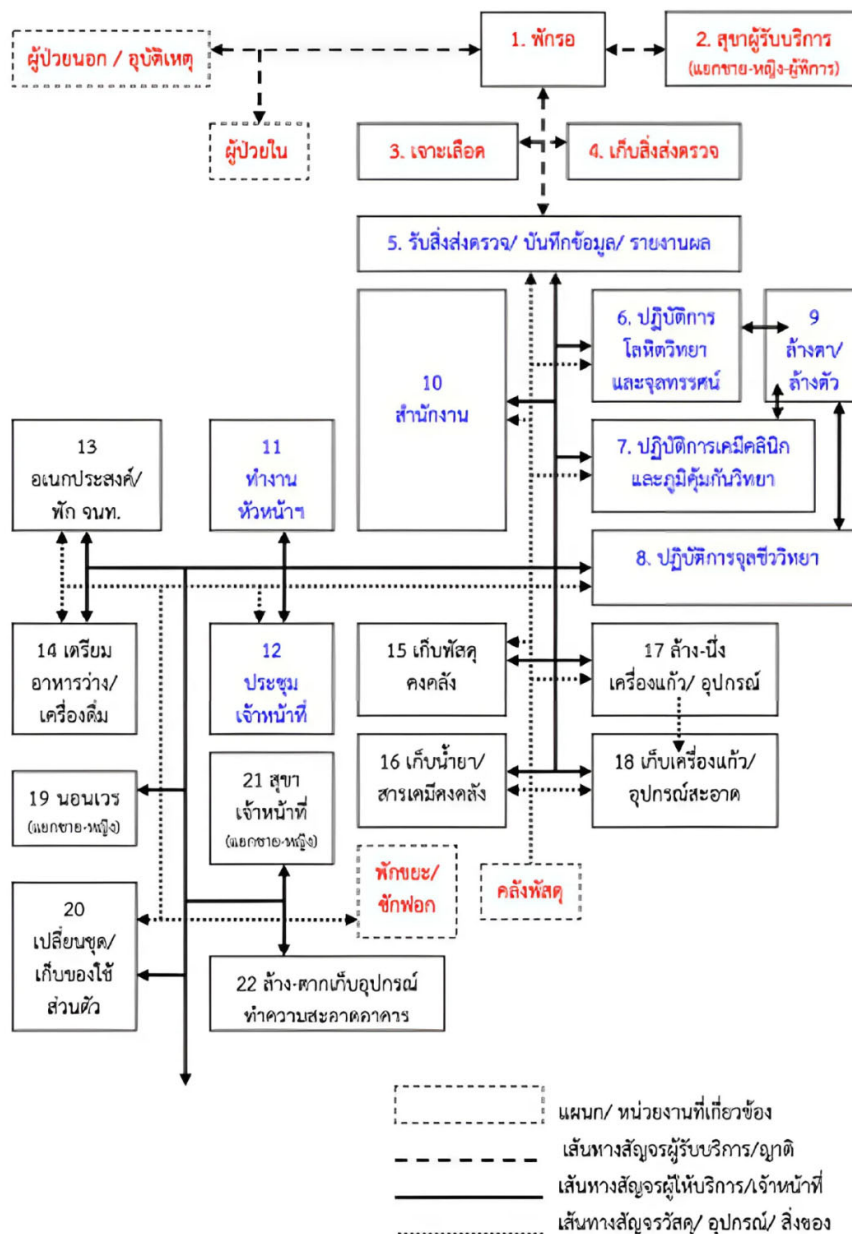
- 1) พื้นที่พักรอ
- 2) สุขาผู้รับบริการ
- 3) เจาะเลือด
- 4) เก็บส่งตรวจ

2.5.1.2 พื้นที่ปฏิบัติงานหลักของแผนกโดยเจ้าหน้าที่หรือผู้ให้บริการ ได้แก่

- 1) รับส่งตรวจ/ บันทึกข้อมูล/ รายงานผล
- 2) ปฏิบัติการจุลทรรศน์ศาสตร์และโลหิตวิทยา
- 3) ปฏิบัติการเคมีคลินิกและภูมิคุ้มกันวิทยา
- 4) ปฏิบัติการจุลชีววิทยา
- 5) ล้างตา/ ล้างตัว
- 6) สำนักงาน (ธุรการ/ วิชาการ)
- 7) ทำงานหัวหน้าแผนก
- 8) ประชุม

2.5.1.3 พื้นที่สนับสนุนการให้บริการและการปฏิบัติงาน ได้แก่

- 1) เอนกประสงค์/ พักเจ้าหน้าที่
- 2) เตรียมอาหารว่าง/ เครื่องดื่ม
- 3) เก็บพัสดุดังกล่าว
- 4) เก็บน้ำยา/ สารเคมีดังกล่าว
- 5) ล้าง/ นึ่งอุปกรณ์
- 6) เก็บอุปกรณ์สะอาด
- 7) นอนเวร
- 8) เก็บของใช้ส่วนตัว/ เปลี่ยนชุด
- 9) สุขาผู้ให้บริการ
- 10) ล้าง-เก็บอุปกรณ์ทำความสะอาดอาคาร



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์และเส้นทางสัญญาณระหว่างพื้นที่ใช้สอย
(กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.2 ส่วนประกอบอาคารและวัสดุประกอบอาคาร

ส่วนประกอบอาคาร ประกอบด้วย พื้น ผนัง เพดาน ประตู และหน้าต่าง (ช่องเปิดและช่องแสง) โดยพื้นที่ในการปฏิบัติการณ์นั้น กำหนดให้เป็นเขตสะอาดตามหลักการป้องกันการติดเชื้อ (IC) การปฏิบัติงานภายในแผนก จึงต้องคำนึงถึงการรักษาความสะอาดเป็นสำคัญ ทั้งนี้ การเลือกวัสดุ

ต่าง ๆ จะต้องมีคุณลักษณะที่สามารถดูแลรักษาและทำความสะอาดได้ง่าย และทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะการใช้งานของบริเวณต่าง ๆ ดังนี้

บริเวณที่ใช้งานทั่วไป ได้แก่ โถงพักคอย ทางเดิน ห้องทำงาน ห้องประชุม เป็นต้น พื้นที่ส่วนนี้ มีการใช้งานไม่หนักมาก คุณลักษณะของวัสดุพื้น ผนังและเพดาน จึงเน้นที่มีความทนทานต่อการใช้งานยาวนาน

บริเวณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งสกปรก ได้แก่ ห้องน้ำ ส่วนล้างนึ่งและตากเครื่องมืออุปกรณ์พัก ขยะ หรือพื้นที่ต่างๆ ที่เปียกน้ำบ่อย เป็นต้น ซึ่งพื้นที่บริเวณนี้จะมีความสกปรกจึงต้องมีการล้างน้ำ และทำความสะอาดด้วยน้ำยาที่เป็นสารเคมีที่มีการกัดกร่อน

บริเวณที่ต้องรักษาความสะอาด ได้แก่ ส่วนเจาะเลือด เก็บสิ่งส่งตรวจ ห้องปฏิบัติการ ต่าง ๆ ห้องเก็บน้ำยา เป็นต้น ซึ่งพื้นที่บริเวณนี้จะกำหนดเป็นเขตสะอาด ที่ต้องมีการรักษาความสะอาดพอสมควร

ทั้งนี้ การกำหนดคุณลักษณะของส่วนประกอบอาคารและวัสดุประกอบอาคาร ให้สอดคล้องกับการใช้งาน มีรายละเอียดดังนี้

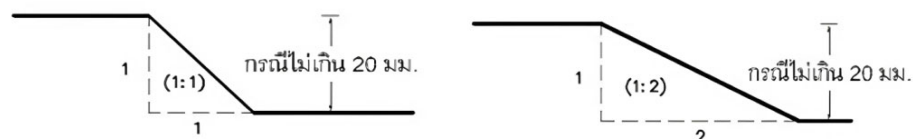
2.5.2.1 พื้นที่สำหรับแผนกเทคนิคการแพทย์ มีคุณลักษณะดังนี้

1) พื้นบริเวณที่ใช้งานทั่วไป จะเน้นความทนทานต่อการใช้งานยาวนาน ผิวพื้นไม่ลื่นโดยเฉพาะโถงทางเดิน และพักคอย สามารถดูแลรักษาได้ง่าย

2) พื้นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งสกปรก จะต้องใช้วัสดุสำหรับปูพื้น ที่มีความแข็งแรง ทนทาน ต่อน้ำและสารเคมี ทำความสะอาดง่าย มีรอยต่อน้อย ไม่เป็นแหล่งฝังตัวของสิ่งสกปรก มีผิวเรียบไม่ลื่นทั้งในเวลาแห้งและเปียก

3) พื้นบริเวณที่ต้องรักษาความสะอาด จะต้องใช้วัสดุสำหรับปูพื้น ที่มีความทนทานต่อสารเคมี ทำความสะอาดง่าย ไม่มีรอยต่อหรือมีรอยต่อน้อย ไม่เป็นแหล่งฝังตัวของสิ่งสกปรก มีผิวเรียบไม่ลื่น (ในบริเวณที่วางเครื่องมือขนาดใหญ่ พื้นจะต้องรองรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนได้ดี)

4) พื้นภายในแผนก จะต้องไม่ต่างระดับกัน เพื่อสะดวกต่อการสัญจรของผู้ป่วยที่ใช้เปเลนอนและรถเข็น (Wheelchair) หรือการขนย้ายอุปกรณ์ต่าง ๆ กรณีที่จำเป็นต้องมีพื้นต่างระดับจะต้องมีการลาดเอียง 1:1 หรือ 1:2



รูปที่ 2.11 การลาดเอียงสำหรับพื้นต่างระดับ (กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.2.2 ผนัง (WALL) สำหรับแผนกแผนกเทคนิคการแพทย์ มีคุณลักษณะดังนี้

- 1) ผนังบริเวณที่ใช้งานทั่วไป เน้นความทนทานต่อการใช้งาน ดูแลรักษาได้ง่าย
- 2) ผนังบริเวณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งสกปรก ต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน สามารถทำความสะอาดด้วยน้ำและสารเคมีได้ดี
- 3) ผนังบริเวณที่ต้องรักษาความสะอาด ต้องใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีสามารถเช็ดทำความสะอาดได้ ผิววัสดุเรียบไม่มีรอยต่อหรือมีรอยต่อน้อย เพื่อไม่ให้เป็นที่ฝังตัวของสิ่งสกปรกรวมทั้ง ผิวผนังต้องไม่ทำให้เกิดการสะท้อนแสง จนส่งผลกระทบต่อการวินิจฉัย

2.5.2.3 เพดานสำหรับแผนกเทคนิคการแพทย์ มีคุณลักษณะดังนี้

- 1) เพดานบริเวณที่ใช้งานทั่วไป เน้นความทนทานต่อการใช้งานยาวนาน ดูแลรักษาได้ง่าย
- 2) เพดานบริเวณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งสกปรก จะต้องใช้ชนิดที่ทนความชื้นได้ดี
- 3) เพดานบริเวณที่ต้องรักษาความสะอาด จะต้องผิวเรียบ ไม่มีรอยต่อ และไม่มีรูพรุน
- 4) ระดับความสูงเพดาน ภายในแผนก (สูงไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร ส่วนห้องที่มีขนาดเล็ก เช่น ห้องน้ำ ห้องเก็บของ เป็นต้น สูงไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร)

2.5.2.4 ประตู สำหรับแผนกเทคนิคการแพทย์ มีคุณลักษณะดังนี้

การเลือกใช้ประตูที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงการใช้งานในห้องนั้น ๆ เช่น มีการติดตั้งเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่ หรือมีการเคลื่อนย้ายเครื่องมือบ่อย ส่วนรายละเอียดของประตูควรคำนึงถึงในการออกแบบมีดังนี้

- 1) รูปแบบประตู ที่เหมาะสมควรเป็นประตูบานสวิงคู่ หรือประตูบานครึ่ง (มีบานใหญ่และบานเล็ก) และประตูบานเลื่อน จะสามารถเปิดปิดได้ง่ายและสามารถเปิดปิดโดยไม่จำเป็นต้องใช้มือสัมผัสอุปกรณ์มือจับ เวลาเปิดไม่กีดขวางการสัญจรหรือการขนย้ายอุปกรณ์และเครื่องมือ รวมทั้งควรมีช่องมองเพื่อความสะดวกในการตรวจดูความเรียบร้อย

- 2) ห้องปฏิบัติการที่มีสารเคมีที่เป็นอันตราย ควรมีทางออกอย่างน้อย 2 ทาง

- 3) ความกว้างสุทธิของช่องประตู ดังนี้

3.1) ทางเข้าหลักของแผนก ควรกว้างไม่น้อยกว่า 1.80 เมตร

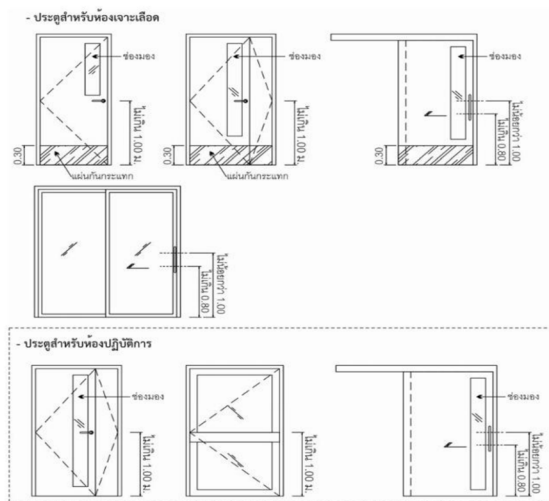
3.2) ส่วนเจาะเลือด ช่องประตูต้องสามารถนำผู้ป่วยนั่งรถเข็น (Wheelchair) เข้าได้ มีกว้างไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร ผู้ป่วยนอนเปลเข้าได้สะดวกควรกว้างไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร รวมทั้งต้องไม่มีธรณีประตู หรือสิ่งกีดขวางใดที่เป็นอุปสรรค

3.3) ประตูห้องปฏิบัติการ มีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.10 - 1.20 เมตร

- 4) วัสดุและอุปกรณ์ติดตั้งต้องมีความแข็งแรงทนทาน ไม่ติดไฟได้ง่าย และทนทานต่อสารเคมี ส่วนบานประตูห้องน้ำ บานประตูที่ติดกับภายนอกอาคาร ต้องเป็นวัสดุกันน้ำได้ดี

- 5) อุปกรณ์และการติดตั้งมือจับประตู มีรายละเอียดดังนี้ มือจับบานเปิดทั่วไป ให้เป็นแบบก้านโยกหรือก้านผลัก ตำแหน่งอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1.00 - 1.20 เมตร มีมือจับบานเลื่อน ให้มีมือจับในแนวตั้ง ทั้งด้านในและด้านนอก ซึ่งมีปลายด้านบนสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.00

เมตร และปลายด้านล่างไม่เกิน 0.80 เมตร และมือจับบานสวิงแนวนอนคาดตามความกว้างของบาน สูงจากพื้นประมาณ 1.00 - 1.20 เมตร หรือเป็นแนวตั้งแบบประตูบานเลื่อนก็ได้



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์มือจับประตูแบบต่าง ๆ (กองแบบแผน กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.5.2.5 หน้าต่าง และช่องแสง

การใช้งานบานหน้าต่างในแผนกพยาธิวิทยานั้น เพื่อระบายอากาศและรับแสงสว่างธรรมชาติโดยไม่แดดโดยตรง หรือในบางครั้งอาจจะใช้สำหรับเป็นช่องทางฉุกเฉินก็ได้ ส่วนรายละเอียดของหน้าต่างที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบมีดังนี้

- 1) วัสดุอุปกรณ์ต้องมีความแข็งแรงทนต่อการใช้งาน และทนการกัดกร่อนของสารเคมี
- 2) อุปกรณ์ใช้งานได้ดีและสะดวก ดูแลรักษาและทำความสะอาดได้ง่าย
- 3) ตำแหน่งและขนาดของช่องหน้าต่างจะต้องคำนึงถึงการใช้งานภายในห้องด้วย ได้แก่

3.1) ห้องปฏิบัติการ หน้าต่างและช่องแสงจะต้องสามารถควบคุมปริมาณแสงสว่างและสีของแสงได้ เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสีของสิ่งตรวจในการวินิจฉัยผล

3.2) ห้องเก็บอุปกรณ์ หรือเก็บสารเคมี หน้าต่างและช่องแสงจะต้องสามารถควบคุมแสงแดดไม่ให้โดนสารเคมีโดยตรง เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสารเคมีได้

2.5.3 ระบบระบายอากาศ และระบบปรับอากาศในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ในโรงพยาบาล (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2552)

ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ หมายถึง การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น คุณภาพของอากาศ ความดันอากาศทิศทางการไหล การหมุนเวียนของอากาศ และควบคุมการแพร่เชื้อโรคในพื้นที่ปฏิบัติงานรายละเอียดระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับแผนกพยาธิวิทยาคลินิก

2.5.3.1 พื้นที่ปฏิบัติงานสำหรับเจ้าหน้าที่ เช่น ห้องสำนักงานธุรการ/วิชาการ ห้องนอนเวร ห้องหัวหน้าแผนก ห้องเก็บอุปกรณ์ ห้องประชุมแนะนำให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่สามารถติดตั้งแบบแขวนใต้ฝ้าเพดานหรือแบบติดผนัง ที่สามารถซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศได้สะดวก มีแผงกรองอากาศอย่างน้อยระดับ PRE FILTER ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 25 - 30% สามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 25 °C มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และ มีการดูดอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงานออกสู่ภายนอก

2.5.3.2 พื้นที่สำหรับบริการผู้ป่วย เช่น ห้องพักรอ ห้องเจาะเลือด ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ ห้องรับสิ่งส่งตรวจ/ บันทึกข้อมูล/รายงานผลแนะนำให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่สามารถติดตั้งแบบแขวนใต้ฝ้าเพดานหรือแบบติดผนัง ที่สามารถซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศได้สะดวก มีแผงกรองอากาศอย่างน้อยระดับ PRE FILTER ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 25 - 30% สามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 25 °C มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และ มีการดูดอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงานออกสู่ภายนอก โดยมีการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดมากไปยังที่สะอาดน้อย

2.5.3.3 พื้นที่ห้องปฏิบัติการ เช่น ห้องปฏิบัติการจุลทรรศน์ศาสตร์และโลหิตวิทยา ห้องปฏิบัติการเคมีคลินิกและภูมิคุ้มกันวิทยา ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา แนะนำให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่สามารถติดตั้งเหนือฝ้าเพดานแบบที่ต่อท่อส่งลมเย็น จ่ายลมเย็นผ่านหัว จ่ายลมเย็นที่ฝ้าเพดานและลมกลับก็ติดตั้งที่ฝ้าเพดานพร้อมช่องสำหรับไว้ซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศ มีแผงกรองอากาศอย่างน้อยระดับ PRE FILTER ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 25 - 30% และระดับ MEDIUM FILTER ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 85 - 90% สามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 21 - 24 องศาเซลเซียส และสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ประมาณ $50 \pm 10\%$ มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และดูดอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติการออกสู่ภายนอก การควบคุมความดันสำหรับพื้นที่ควบคุมส่วนที่เป็นพื้นที่ห้องสะอาดต้องมีความดันเป็นบวก สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีการติดตั้งตู้ดูดควัน ต้องมีการเติมอากาศที่สอดคล้องกับระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศและระบายอากาศ ต้องต่อผ่านระบบจ่ายไฟฟ้าสำรอง โดยสามารถทำการระบายอากาศด้วย 2 วิธี ได้แก่ 1) การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ใช้กับห้องที่มีผนังด้านนอกอย่างน้อยหนึ่งด้านมีช่องเปิดสู่ภายนอก ได้ ซึ่งจะต้องเปิดให้อากาศผ่านในขณะมีใช้สอยพื้นที่ โดยมีพื้นที่ลมผ่านสุทธิไม่น้อยกว่า 10% เมื่อเทียบกับพื้นที่ห้อง และ 2) การระบายอากาศโดยวิธีกล ใช้กับพื้นที่ใดก็ได้โดยให้มีพัดลมระบายอากาศขับเคลื่อนอากาศเพื่อให้เกิดการนำอากาศออกสู่ภายนอกเข้าสู่ห้องหรือบริเวณโดยมีอัตราไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงฯ ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

2.6 ปัจจัยมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพภายในอาคารมีหลายปัจจัย จึงต้องมีการพิจารณาคุณภาพอากาศภายในอาคารในหลาย ๆ ปัจจัยเข้าด้วย โดยมีปัจจัยหลัก ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพภายในอาคาร ดังนี้

2.6.1 ระบบระบายอากาศภายในอาคาร

ระบบระบายอากาศ เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร ในหลายการศึกษามีการพิจารณาระบบระบายอากาศเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพภายในอาคาร โดยจาก

การศึกษาของ Jung et al. (2015) ทำการศึกษาการกระจายตัวของสารมลพิษในอากาศภายในอาคารในพื้นที่ต่างๆ ของโรงพยาบาล และตรวจสอบว่าระบบระบายอากาศมีผลต่อมลพิษในอากาศในพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยระบบระบายอากาศมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท ได้แก่ Air Handling Unit (AHU), Fan Coil Unit (FCU), การรวมกันระหว่าง AHU กับ FCU และการเปิดหน้าต่าง โดยพบว่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ PM_{10} และเชื้อรา ลดลงในพื้นที่ที่มีระบบระบายอากาศ เว้นแต่ CO ที่มีเพิ่มจากการเปิดหน้าต่าง เนื่องจากความเข้มข้นของ CO ภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร ดังนั้นระบบระบายอากาศนั้นมีความสัมพันธ์กับคุณภาพอากาศ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kong et al. (2021) ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอนุภาคขนาดเล็กในอากาศภายในอาคาร โดยระบบระบายอากาศที่แตกต่างกันในหอผู้ป่วยในของโรงพยาบาล พบว่า ระบบระบายอากาศที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบระบายมีส่วนทำให้อนุภาคมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบระบายอากาศนั้นมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

2.6.2 ลักษณะในการทำงานภายในอาคาร

ลักษณะการทำงานเป็นหนึ่งในปัจจัยมีผลต่อคุณภาพอากาศในอาคาร โดยลักษณะที่ทำงานที่ต่างกัน ส่งผลให้มีการคุณภาพอากาศในอาคารที่ต่างกันด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Doğan (2019) ที่มีการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในโรงพยาบาลในประเทศตุรกี ทั้งหมด 17 ห้อง ลักษณะงานที่ต่างกัน โดยทำการศึกษาความเข้มข้น PM, CO, CO_2 , อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่ามีความเข้มข้นของ PM เกินมาตรฐาน โดยพบที่ห้องรอกัลยกรรม ห้องระบบทางเดินปัสสาวะ ห้องระบบประสาท ห้องศัลยกรรมหัวใจ และห้องกลุ่มโรคตา และพบความเข้มข้นของ CO_2 เกินมาตรฐาน โดยพบที่ห้องรอกัลยกรรม เพราะเนื่องจากการนำผู้ป่วยรอเพื่อผ่าตัดเป็นจำนวนมากภายในห้อง จึงก่อให้เกิดฝุ่นที่มีมาจากตัวผู้ป่วย และการหายใจเอา CO_2 ออกมาจำนวนมาก เลยทำให้คุณภาพอาคารมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของแผนกต่าง ๆ ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย เมืองซากามู ได้ดำเนินการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของแผนกต่างๆ จำนวน 9 แผนกของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย พบว่า แผนกผู้ป่วยชาย และแผนกศัลยกรรมทั่วไปชาย ปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราสูงสุดที่สุด เนื่องจากในนั้นมีภาระงานค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแผนกอื่น ๆ (Awosika et al., 2012) จึงสรุปได้ว่าลักษณะการทำงานนั้นมีผลต่อคุณภาพอากาศในอาคาร

2.6.3 การออกแบบอาคารและและจัดรูปแบบพื้นที่

การออกแบบอาคารและจัดรูปแบบพื้นที่ เป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้มีปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยการออกแบบพื้นที่ หรือการจัดผังของห้องมีการทำให้คุณภาพอากาศนั้นมีความแตกต่างกัน เช่นการศึกษาของ Luksamijarulkul et al. (2014) ได้ทำการศึกษาจุลชีพในอากาศจากการออกแบบห้องปฏิบัติการและคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาลที่ขนาดต่างกัน จึงมีการออกแบบห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน พบว่าห้องปฏิบัติการที่โรงพยาบาลขนาดใหญ่มีจุลชีพในอากาศน้อยกว่าห้องปฏิบัติการโรงพยาบาลขนาดกลางและเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับพบว่า

โรงพยาบาลขนาดใหญ่มีการออกแบบและมีสิ่งอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยจากจุลชีพมากกว่าโรงพยาบาลอื่น เช่นเดียวกับการการจัดพื้นที่ในการทำงาน และการศึกษาในห้องผ่าตัด มีการจำลองเชิงคำนวณในการจัดวางโคมไฟผ่าตัดไว้ในตำแหน่งที่ต่างกัน พบว่า โคมไฟผ่าตัดที่มีการวางสว่างกับทางไหลของอากาศนั้นมีการไหลอากาศได้น้อยกว่าของตำแหน่งที่วางเอียงออก ทำให้มีการไหลอากาศไม่ดี มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ (Tikul et al., 2022)

2.6.4 ความหนาแน่นของผู้คนภายในอาคาร

ปัจจัยของความหนาแน่นมีการกล่าวถึงในหลายการศึกษา เช่นการศึกษาของ Rahayu et al. (2019) ที่ทำการศึกษากิจวัตรที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารผู้ป่วยในโรงพยาบาลเอกชนในอินโดนีเซีย โดยพบว่าหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารผู้ป่วย ได้แก่ ความหนาแน่นของผู้ป่วย โดยเมื่อมีผู้ป่วยมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และจากการศึกษาอาการป่วยในอาคารในหมู่พนักงานโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารและปัจจัยส่วนบุคคลพบว่าความหนาแน่นของคนที่อยู่ภายในอาคาร มีผลต่อการค่าของ CO_2 ที่ระบบระบายอากาศไม่สามารถที่ระบายได้เพียงพอ เนื่องจากมีจำนวนคนหนาแน่นจึงมีการปล่อย CO_2 ออกปริมาณมาก (Babaoglu et al., 2020)

2.7 หลักการระบายอากาศกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

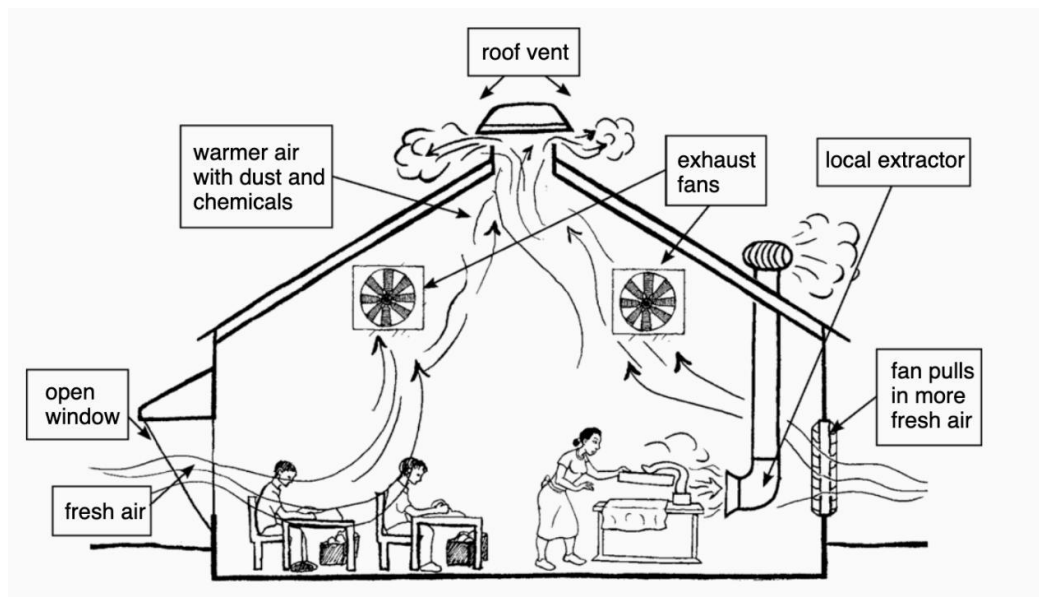
ระบบระบายอากาศแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบจ่ายอากาศ (Supply System) และระบบดูดอากาศ (Exhaust System) ระบบจ่ายอากาศมักถูกนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารหรือบริเวณทำงาน ซึ่งช่วยให้คนงานมีความรู้สึกสบาย นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้งานร่วมกับระบบดูดอากาศเพื่อทำหน้าที่จ่ายอากาศเติม (Makeup Air) เข้ามาทดแทนอากาศส่วนที่ถูกดูดหรือระบายระบบดูดอากาศเป็นระบบที่นิยมใช้เพื่อลดความเข้มข้นหรือควบคุมการแพร่กระจายของสารต่าง ๆ หรือสารปนเปื้อนไม่ให้เข้าไปปะปนกับอากาศในบริเวณทำงานหรือห้องที่ติดกันหรือสิ่งแวดล้อมโดยระบบดังกล่าวยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด (คณะอนุกรรมการมาตรฐานการระบายอากาศ, 2560) ดังนี้

2.7.1 ระบบระบายอากาศแบบทั่วไป (General Ventilation)

เป็นการระบายอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศให้เจือจางโดยการนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคารเข้ามาเจือจางจนทำให้อากาศอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยแบ่งเป็นแบบการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation) และการระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) นอกจากมลพิษในอากาศ การระบายอากาศประเภทนี้ยังสามารถป้องกันและควบคุมในเรื่องของความชื้น ความร้อน และอันตรายจากสารเคมีในกรณีมีการเคมีฟุ้งกระจายหรือปนเปื้อนในอากาศ

2.7.2 การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (Local exhaust ventilation)

เป็นการระบายอากาศที่สร้างขึ้นเพื่อเจือจางมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ และควบคุมปัญหาต่าง ๆ เช่นเดียวกับการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง แต่มีวิธีและหลักการที่ต่างกันออกไป คือ การระบายอากาศประเภทนี้ จะอาศัยหลักการดูดระบายมลพิษ และอากาศที่ปนเปื้อนออกไปจากบริเวณนั้น หรือจุดกำเนิดของมลพิษโดยตรง ก่อนที่จะเกิดการปนเปื้อนในอากาศบริเวณอื่น ซึ่งการระบายอากาศแบบเฉพาะที่ จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักๆ 3 ส่วนได้แก่ ท่อดูดอากาศ (Hoods) ท่อลม (Ducts) และพัดลมระบายอากาศ (Exhaust fan) นอกจากนี้องค์ประกอบหลัก ๆ ทั้ง 3 ส่วนนี้แล้ว ระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ ยังมีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (Air cleaners) ติดตั้งอยู่ด้วยในกรณีที่จำเป็น เช่นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศในห้องที่มีสารเคมีระเหย มีระดับสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้ โดยรูปแสดงตัวอย่างรายละเอียดของระบบระบายอากาศต่างๆ ดังที่กล่าวมาเบื้องต้น แสดงในรูปที่ 2.14



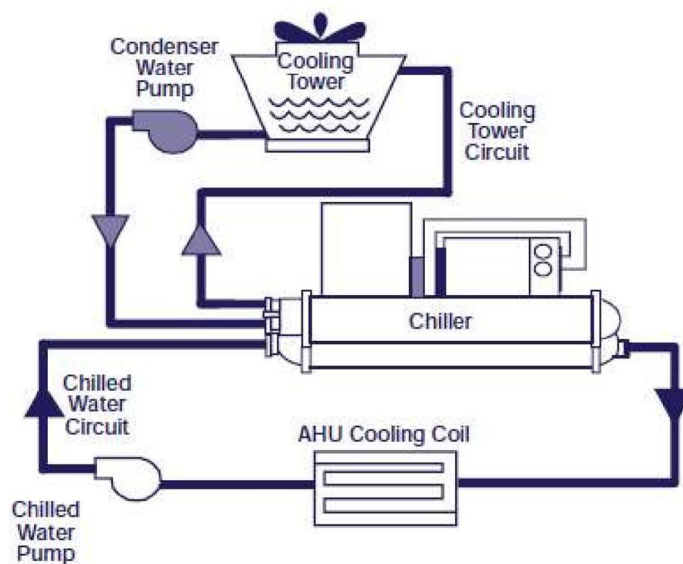
รูปที่ 2.13 การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (Jailer T, 2015)

2.7.3 ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning)

ระบบปรับอากาศ หมายถึง ระบบการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอกมาทั้งยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ระบบปรับอากาศนอกจากทำหน้าที่ในการทำความเย็นให้ได้ตามที่ต้องการแล้ว ยังทำหน้าที่ในการช่วยลดความชื้นในอากาศอีกด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วระบบปรับอากาศจะทำได้เพียงปรับอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยไม่สามารถควบคุมความชื้นในอากาศได้

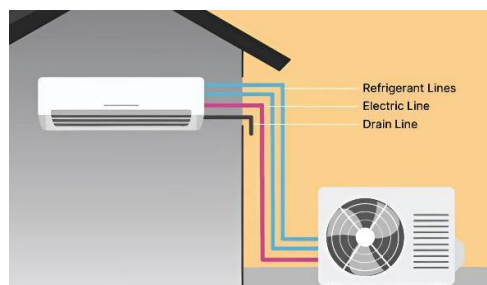
ระบบปรับอากาศในการศึกษาครั้งนี้ มี 2 แบบ คือ ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เนื่องจากระบบปรับอากาศทั้งสองแบบนี้เป็นระบบปรับอากาศที่ถูกใช้โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น (Chiller) เป็นระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ภายในระบบปรับอากาศจะประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องส่งลมเย็น หอผึ่งเย็น



รูปที่ 2.14 ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น

2) ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งตามที่พักอาศัย ในห้องที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก โดยภายในระบบปรับอากาศจะประกอบด้วย แผงทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ แผงท่อระบายความร้อน พัดลมส่งลมเย็น พัดลมระบายความร้อน แผ่นกรองอากาศ หน้ากากเครื่องที่มีแผ่นเกล็ดกระจายลมเย็น อุปกรณ์ควบคุมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิห้อง และอุปกรณ์ป้อนสารหล่อเย็น ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น



รูปที่ 2.15 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

2.7.4 ระบบระบายแบบ HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)

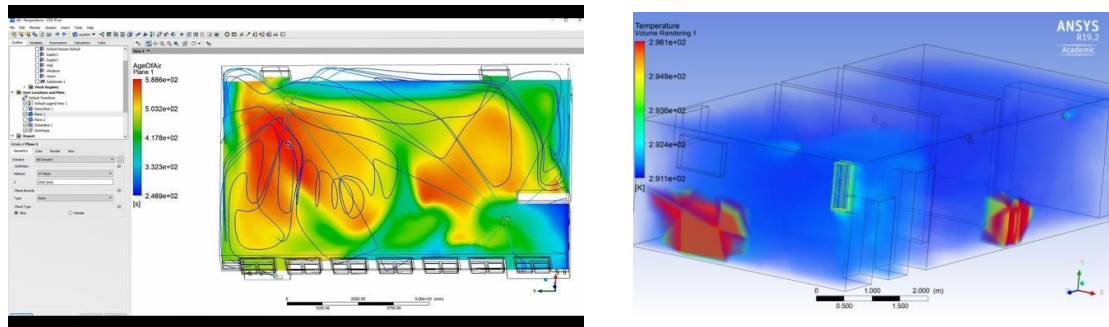
ระบบระบายแบบ HVAC ประกอบด้วย ระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และคุณภาพของอากาศในอาคาร ประโยชน์ของระบบปรับอากาศแบบ HVAC คือการช่วยให้มีความสะดวกสบาย โดยการช่วยให้มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมในทุกสภาพอากาศ และช่วยกรองฝุ่นและละอองเกสรพืชในอากาศภายในอาคาร ปัจจุบัน HVAC ถูกใช้ในหลายพื้นที่ เช่น บ้าน อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่สบายและปลอดภัย

2.8 การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือการจำลองการไหลของอากาศเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญเพื่อจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยแบบจำลองการไหลของอากาศสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับแก้ไขปัญหาเรื่องของคุณภาพอากาศในอาคาร โดยการจำลองทิศทางการไหลของอนุภาค ก๊าซ หรือความร้อนภายในอาคาร เพื่อเป็นแนวทางให้การออกแบบ หรือปรับปรุง เช่น ระบบระบายอากาศ โครงสร้างอาคาร การจัดวางรูปแบบของเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยสร้างแบบจำลองการไหลของอากาศ หลากหลายโปรแกรม ยกตัวอย่างเช่น

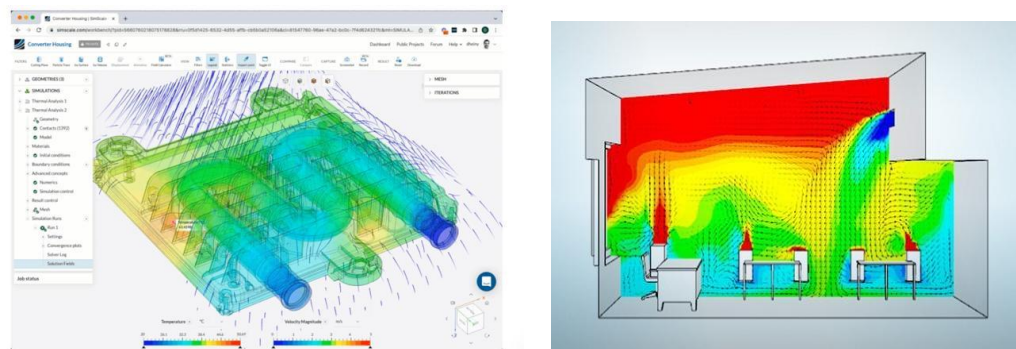
2.8.1 ANSYS เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยโปรแกรมมีความแม่นยำในการประมวลผล และมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่ทรงประสิทธิภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ทุกศาสตร์ ทางด้านวิศวกรรมทั้งด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) ด้านกลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) รวมถึงด้านที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) โดยโปรแกรมนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของอากาศในหอผู้ป่วยทั่วไปของโรงพยาบาล ที่มีการกำหนดรูปแบบการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิ เพื่อให้ได้สภาพอุณหภูมิที่สบาย ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศในพื้นที่ เพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายในหอผู้ป่วย โดยการจำลองแสดงให้เห็นว่าการวางตำแหน่งช่องระบายอากาศเข้าเป็นช่องระบายอากาศที่กระจายกระจายหลาย ๆ ช่องตามแนวกลางของหลังคาและช่องระบายอากาศออกให้เป็นช่องระบายอากาศต่อเนื่องไปตามหลังคาที่ขอบด้านข้างทั้งสองข้างบนเตียงผู้ป่วยโดยตรงนั้นเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Peri et al., 2011) หรือเป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารในหน่วยดูแลหัวใจ (CCU) โดยระบบระบายอากาศที่แตกต่างกัน โดยเป็นการจำลองทิศทางการไหลของอากาศของการระบายอากาศแบบติดตั้งและการระบายอากาศแบบเคลื่อนย้ายพบว่า การระบายอากาศแบบติดตั้ง จึงมีประสิทธิภาพ และสะดวกสบายมากกว่า และมีการแนะนำให้โปรแกรม ANSYS 19 เพราะมีความสะดวกมากมาย เช่น การออกแบบระบบปรับอากาศ การสร้างแบบจำลอง ฯลฯ ซึ่งช่วยประหยัดเวลาและต้นทุน (Yang et al., 2024) โดยโปรแกรมนี้ออกสร้างขึ้นเพื่อรองรับการแก้ปัญหาการไหลกับ รูปแบบกริดที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน ชุดโปรแกรมยังสามารถรองรับการทำงานแบบ 2 มิติ และ 3 มิติของกริดรูปสามเหลี่ยมรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า และรูปแบบผสมผสานภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดของ รูปทรงลักษณะ

ต่าง ๆ เช่นรูปกรวย รูปลิ้ม รูปปริมาตร Fluent ถูกเขียนขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ภาษาซีซึ่งเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการพัฒนาสร้างโปรแกรมอื่น ๆ ทางด้าน วิทยาศาสตร์มากมาย เนื่องจากโปรแกรมมีเสถียรภาพสูง และรองรับการทำงานที่หลากหลาย



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการจำลองพลศาสตร์ของไหลของโปรแกรม ANSYS (McCaslin, 2024)

2.8.2 SimScale เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์จำลองการไหลที่สามารถวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบลามินาร์และแบบปั่นป่วน ของไหลที่บีบอัดและบีบอัดไม่ได้ โดยมีการศึกษาโดยนำแบบจำลองของโปรแกรม SimScale มาใช้จำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของอากาศสำหรับการทดสอบการออกแบบอาคารและระบายอากาศ โดยเป็นการจำลองเรื่องการไหลของอากาศที่นำพาความร้อน และประโยชน์ของเทคโนโลยีของโปรแกรม พบว่าสามารถใช้ปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีการไหลให้ดีขึ้น โดยมีการเพิ่มความเร็วจากการความเร็วที่ต่ำสุด ทำให้มีประหยัพลังงานด้วยการเพิ่มความเร็ว ซึ่งหมายความว่าเราจะใช้พลังงานในการทำให้อากาศเย็นลงน้อยลง ซึ่งจะช่วยให้ระบบโดยรวมมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Wilde, 2020)



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของโปรแกรม SimScale (Wilde, 2024)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yau et al. (2012) ศึกษาเกี่ยวกับดำเนินการเพื่อประเมินภาวะความสบายของบุคลากรในห้องปฏิบัติการเภสัชกรรมในประเทศมาเลเซีย ในห้องปฏิบัติการ 4 แห่ง โดยประเมินเกี่ยวกับความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ การระบายอากาศ และการปรับอากาศ (HVAC) ของห้องปฏิบัติการ จากผลการศึกษานี้ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของภายในห้องปฏิบัติการ 1, 3 และ 4 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแนะนำของ ASHRAE เล็กน้อย และผลของภาวะความสบายของบุคลากรอยู่ในระดับปานกลาง เพราะห้องที่อุณหภูมิต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิภายใน นอกจากนี้ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด สำหรับห้องปฏิบัติการ 2 และ 3 แสดงความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดสูงกว่าที่อยู่ในห้องซักล้างและห้องเคมีของห้องปฏิบัติการ ซึ่งเท่ากับ 22.8 และ 6.5 ppm จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการระบายอากาศเพื่อมีการเจือจาง TVOCs ลดลงให้ต่ำกว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้

Baurès et al. (2018) ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในโรงพยาบาลสองแห่งในฝรั่งเศส เกี่ยวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนทางเคมีและจุลชีพในอากาศ โดยจุดประสงค์เพื่อวัดความเข้มข้นของสารประกอบเคมีหลากหลายประเภท (สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด และกึ่งระเหยได้ >50 ชนิด) ความเข้มข้นของอนุภาค (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) จุลชีพ (เชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส) และปัจจัยโดยรอบ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดัน และคาร์บอนไดออกไซด์) ความเข้มข้นของสารเคมี และทั้ง 7 ห้อง พบว่าห้องปฏิบัติการทางเทคนิคการแพทย์มีค่าความเข้มข้นของสารเคมีหลายประเภทที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ ฟอรัมาลดีไฮด์และโทลูอิน ซึ่งโทลูอินที่มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด เนื่องจากมีการใช้โทลูอินในการวิเคราะห์ตัวอย่างในการย้อมสีปรีสตีในห้องปฏิบัติการ

Barbosa & Brum, (2018) ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของอากาศในการขนส่งสารปนเปื้อนในอากาศในโรงพยาบาลของห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมการติดเชื้อ โดยใช้สามเกณฑ์ในการประเมิน ได้แก่ ASHRAE-RP 1271 เกณฑ์มาตรฐานที่คล้ายกับห้องปฏิบัติการ และเกณฑ์มาตรฐานที่คล้ายกับห้องแยกโรคในโรงพยาบาล ผลการทดสอบกับสามเกณฑ์มาตรฐานแสดงให้เห็นว่า CFD มีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ เนื่องจากการจำลอง มีความใกล้เคียงข้อมูลความเป็นจริง จึงช่วยให้การประเมินประสิทธิภาพของการระบายอากาศและการคาดการณ์การสัมผัสสารอันตรายของบุคลากรในโรงพยาบาลและห้องปฏิบัติการเป็นไปอย่างถูกต้องมากขึ้น

Palmisani et al., (2021) ศึกษาการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารมีในหน่วยมะเร็งวิทยาเพื่อปกป้องผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง ได้มีการประเมินคุณภาพอากาศภายในหน่วยมะเร็งวิทยาสองแห่ง ได้แก่ อิตาลี และสเปน ได้แก่ TVOCs, $PM_{2.5}$, CO_2 และพารามิเตอร์อื่นๆ โดยการประเมินการแบบตลอดทั้งวัน (Real-time) ผลการศึกษาพบว่า $PM_{2.5}$ และ CO_2 มีรูปแบบที่สอดคล้องกับการทำงานของหอผู้ป่วย โดยมีความเข้มข้นสูงในช่วงกลางวัน สาเหตุหลักมาจากกิจกรรมของหอผู้ป่วย เช่น ปฏิบัติการการเคมีบำบัด และการทำความสะอาด