

การศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลนครชน

ไพศาล ฤทธิ์จันทร์

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี
และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ปีการศึกษา 2564

**A STUDY OF INDOOR AIR QUALITY IN THE OPERATING ROOM
OF NAKORNTHON HOSPITAL**

PAISARN RITKAN

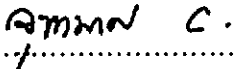
**An Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
College of Innovative Technology and Engineering
Dhurakij Pundit University
Academic Year 2021**

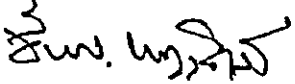



ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลนครชน
เสนอโดย ไพศาล ฤทธิ์จันทร์
สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชุมลิกษณ์)


.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล
(รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรีชัย วรรณรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



.....
(ดร.ชัยพร เจมสะภาคะพันธ์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ ... 21 ... เดือน ... กรกฎาคม ... พ.ศ. ... 2565

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องผ่าตัด โรงพยาบาลนครชน
ชื่อผู้เขียน	ไพศาล ฤทธิ์จันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ของโรงพยาบาลนครชน เป็นอาคารกรณีศึกษาซึ่งมีพื้นที่ห้องผ่าตัด ขนาด 45.54 m² ซึ่งเป็นส่วนของการให้บริการ จากการศึกษาคุณภาพอากาศ ทั้ง 2 รูปแบบ แบบแรงดันบวก และ แบบแรงดันลบ ทำการตรวจวัดตามสถานะการใช้งาน Occupancy State ตรวจวัดแบบ At – rest โดยใช้วิธีการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ อ้างอิงมาตรฐาน ISO 14644-1 และ มีการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ อ้างอิง NIOSH Method 0800 เปรียบเทียบกับค่าคุณภาพอากาศที่อ้างอิงกับข้อกำหนด ASHRAE 170-2017 Singapore Standard SS 554 : 2009 Microbial Contamination Limits in Operating Room และ ศึกษาการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Airborne Contaminant Removal ค่าหน้าที่ที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ซึ่งจากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และใช้ระยะเวลาในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศอยู่ที่ 17 นาที โดยค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) เฉลี่ยอยู่ที่ 26 ACH จากการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดเฉพาะห้องที่ทำการศึกษา โดยในการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ภายในห้องผ่าตัด การเปิดระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัด ก่อนเริ่มการใช้งานหรือรับผู้ป่วยรายต่อไปอย่างน้อยตามเวลาที่กำหนด เพื่อให้สิ่งปนเปื้อนในอากาศจากภายในห้องระบายออกสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

คำสำคัญ : ห้องผ่าตัดแรงดันบวก, ห้องผ่าตัดแรงดันลบ ,คุณภาพอากาศห้องผ่าตัด

Individual Study Title	A STUDY OF INDOOR AIR QUALITY IN THE OPERATING ROOM OF NAKORNTHON HOSPITAL
Author	Paisarn Ritkan
Thematic Paper Advisor	Associate Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr.
Department	Engineering Management
Academic Year	2021

ABSTRACT

The purpose of this study was to study the air quality in the operating room. Of Nakornthon Hospital It is a case study building with an operating room area of 45.54 m², which is part of the service. From the study of air quality, both positive-pressure and negative-pressure models were measured according to operating conditions, occupancy state, at-rest measurements, using air quality measurement methods. Based on ISO 14644-1 and airborne microbial samples were collected. Based on NIOSH Method 0800, compared to air quality values referred to ASHRAE 170-2017 Singapore Standard SS 554: 2009 Microbial Contamination Limits in Operating Room and Sanitary Disposal Study. Airborne Contaminant Removal The min value required for the removal efficiency of the air filter 99. 9% of airborne contaminants which from the results of air quality measurement found to be within the standard and took time to remove air contaminants was 17 minutes, with an average air change rate of 26 ACH from the study of air quality in the operating room only in the study room. By the use of medical personnel in the operating room Opening the adjustment and ventilation system in the operating room before starting use or receiving the next patient at least for the specified time. To allow airborne contaminants from inside the room to be vented to the outside in the most efficient and safe way for users. Keywords: Positive Pressure Operating Room, Negative Pressure Operating Room, Operating Room Air Quality

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารายบุคคลฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำแนวทางการศึกษา ต่างๆ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องและชี้แนะเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยอันเป็น ประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณ ทาง โรงพยาบาลนครชน ที่เอื้อเพื่ออาคารสถานที่ของห้องผ่าตัดที่ ให้ทำการศึกษา และทางบริษัท แอร์บอร์น เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือในการตรวจวัด ทาง ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบการศึกษารายบุคคล ที่ให้ข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงให้มีความถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการศึกษา ทางผู้จัดทำจึงใคร่ ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การส่งเสริม และเป็นกำลังใจใน การเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ธุรกิจบัณฑิตฯ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการศึกษารายบุคคลเล่มนี้เป็นผลมาจากความกรุณาของทุก ท่านที่กล่าวมาข้างต้น

ไพศาล ฤทธิจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิยามหรือความหมายของคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด....	4
2.2 การปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด.....	14
2.3 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ (Airborne Contaminant Removal)	19
2.4 มาตรฐานและข้อกำหนดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด.....	22
2.5 ผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	36
3.2 ประชากรและตัวอย่าง.....	37
3.3 สารเคมีที่ใช้.....	38
3.4 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	38
3.5 เครื่องมือ.....	41
3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	44
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.8 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....	49
3.9 สถานที่ทำการทดลอง.....	50
4. ผลการศึกษา.....	51
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR3.....	51
4.2 ผลการศึกษาการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Airborne Contaminant Removal	81
4.3 สรุปผลค่าการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด.....	86
4.4 อภิปรายผลและข้อจำกัดในงานวิจัย.....	90
5. สรุปผลการศึกษา.....	91
5.1 สรุปผลการศึกษา	91
5.2 ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา.....	92
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	97
ก. ใบรายงานผลการตรวจวัดค่าอนุภาค.....	98
ข. ใบรายงานผลการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศด้านชีวภาพ.....	111
ค. ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องมือ.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทอากาศของโรงพยาบาลจากเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ.....	10
2.2 ตารางประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศสำหรับระบบปรับอากาศในโรงพยาบาล.....	17
2.3 ตารางผลจากการทำเตียงต่อปริมาณแบคทีเรียในอากาศในโรงพยาบาล.....	18
2.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและเวลาในการกำจัดละอองเชื้อ.....	20
2.5 ข้อเสนอแนะในการเฝ้าระวังและควบคุมความเสี่ยง.....	21
2.6 เกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด.....	23
2.7 เกณฑ์สำหรับห้องผ่าตัดมาตรฐาน ISO 14644-1 เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7.....	24
2.8 สรุปการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.1 แสดงสถานที่และจำนวนเพลตที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างห้องผ่าตัด 3 ในวันที่ 5 เมษายน 2565.....	46
4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P+) Positive Pressure	52
4.2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure	53
4.3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P-) Negative Pressure.....	54
4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure	55
4.5 ผลการตรวจวัดอนุหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอกห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit (P+) Positive Pressure.....	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอกห้อง ผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	68
4.7 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	69
4.8 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	70
4.9 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียน อากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure.....	71
4.10 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียน อากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	72
4.11 ผลการตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3.....	75
4.12 ผลจากการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ อ้างอิงหลักการ NIOSH Method 0800 แสดงจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราจากการเก็บ ตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศภายในห้องผ่าตัด OR3.....	77
4.13 คำนวณที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P+) (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะ จาก Centers for Disease Control and Prevention.....	82
4.14 ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 (Pos 5) เปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน หรือ Recovery mode ของการ Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure ในวันที่ 11 มีนาคม 2565 ช่วงเวลา 10.40 – 11.00 น.....	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 คำนวณที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention.....	84
4.16 ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 (Pos5) เปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน (Run Air Handling Unit) (P-) ในวันที่ 11 มีนาคม 2565 ช่วงเวลา 15:54 – 16:15 น.....	85
4.17 ตารางอ้างอิงข้อมูลจากตาราง Air Change Per Hour And Time in Minutes required for removal efficiencies of 90,99.9% of airborne contaminants.....	86
4.18 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Positive Pressure (P+).....	87
4.19 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Negative Pressure (P-).....	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบทำให้เจือจางและแบบเฉพาะที่.....	6
2.2 การระบายอากาศโดยธรรมชาติ.....	8
2.3 การระบายอากาศโดยวิธีกล.....	7
2.4 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของการกรองอากาศ.....	12
2.5 แสดงการควบคุมแรงดันระหว่างพื้นที่.....	13
2.6 การควบคุมแรงดัน (+)ภายในห้องผ่าตัด (Positive Pressure)	14
2.7 การควบคุมแรงดัน (-)ภายในห้องผ่าตัด (Negative Pressure)	15
2.8 จำนวนแบคทีเรียในห้องผ่าตัดและห้องข้างเคียง.....	19
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	36
3.2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ Microbiological air sampler : MAS-100 NT®.....	41
3.3 เครื่องตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศ Discrete-particle counter.....	42
3.4 เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool).....	42
3.5 เครื่องตรวจวัดความดันอากาศภายในห้อง (Digital Manometer).....	43
3.6 เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น (Thermo-hygyo-air quality meter).....	43
3.7 ภาพแสดงจุดตรวจวัดจำนวนอนุภาค อุณหภูมิ และ ความชื้น ภายในห้องผ่าตัด...	47
4.1 ภาพผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยใน อากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ครั้งที่1 และ ครั้งที่2 ภายใน ภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	56
4.2 ภาพผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยใน อากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ครั้งที่1 และ ครั้งที่2 ภายใน ภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit) (P-)Negative Pressure.....	58
4.3 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัด ได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	59
4.5 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-) Negative Pressure.....	60
4.6 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 RUN Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	61
4.7 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอกห้องผ่าตัดOR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	62
4.8 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P+)Positive Pressure.....	63
4.9 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	64
4.10 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m ³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure.....	65
4.11 การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศภายใน ภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 โดยเครื่อง Discrete-Particle Counter (DPC).....	66
4.12 ภาพผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure.....	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.13 ภาพผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure.....	73
4.14 การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) ภายใน ห้องผ่าตัด OR3 โดย เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool).....	74
4.15 การตรวจสอบระบบ Positive-Negative Pressure ของห้องผ่าตัด OR3 ตรวจสอบทิศทางการไหลของอากาศ (Directional airflow) โดยใช้เครื่อง Air Velocity & Indoor Air Quality (IAQ) Meters เพื่อทดสอบระบบ Positive-Negative Pressure และ Differential Pressure.....	76
4.16 โคลิโคนของแบคทีเรียละเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด Air Handling Unit.....	78
4.17 โคลิโคนของแบคทีเรียละเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ เปิด Air Handling Unit หลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที.....	79
4.18 โคลิโคนของแบคทีเรียละเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด AHU หลังเปิดระบบแรงดันลบ(-) เวลา 15 นาที.....	80
4.19 การดำเนินการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัดด้วยวิธี Volumetric Air Sampling ใช้วัดปริมาณเชื้อในอากาศที่ตกกระทบบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจวัดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria count) และราทั้งหมด (Total fungi count) ในอากาศ โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ MAS-100 NT®.....	81
4.20 กราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20.....	82
4.21 กราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20.....	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 ภาพกราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาที่ระบบเริ่ม Run Air Handling Unit จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 ทั้ง แบบ Positive Pressure (P+) และ Negative Pressure (P-).....	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรงพยาบาล หรือสถานพยาบาลเป็นสถานที่สำหรับให้บริการด้านสุขภาพให้กับผู้มีปัญหาด้านสุขภาพ โดยมุ่งเน้นส่งเสริม ป้องกัน รักษา และฟื้นฟูภาวะความเจ็บป่วย หรือโรคต่าง ๆ ทั้งทางร่างกายและทางจิตใจ ปัจจุบันโรงพยาบาลได้ถูกแบ่งประเภทตามการดูแลควบคุมบริการเป็นโรงพยาบาลของรัฐ และโรงพยาบาลเอกชน โดยเมื่อปี พ.ศ.2555 พบว่ามีผู้ใช้บริการโรงพยาบาลเป็นจำนวน 46,335,100 ราย ซึ่งเป็นผู้ป่วยนอกประมาณ 44.1 ล้านราย คิดเป็นร้อยละ 95.3 และเป็นผู้ป่วยในประมาณ 2.2 ล้านราย หรือร้อยละ 4.7 โดยนับจากจำนวนการเข้าใช้บริการโรงพยาบาล จากจำนวนผู้ใช้บริการที่มีจำนวนมากส่งผลให้เกิดปัญหาต่อใช้บริการของโรงพยาบาลเช่น จำนวนบุคลากรต่อจำนวนผู้ใช้บริการไม่เพียงพอ พื้นที่ให้บริการไม่เพียงพอ ความสะอาดของโรงพยาบาล และที่สำคัญคือการติดเชื้อจากการใช้บริการโรงพยาบาล ถึงแม้ว่าการติดเชื้อในโรงพยาบาลจะมีแนวโน้มที่ลดลงแต่ยังพบว่ามี การติดเชื้อในโรงพยาบาลทั้งโรงพยาบาลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เนื่องจากมาตรการการควบคุมการติดเชื้อ กระบวนการสร้างสภาวะการปลอดเชื้อ ความสะอาดของพื้นที่ การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอและไม่เป็นไปตามมาตรฐาน รวมทั้งการออกแบบอาคารของโรงพยาบาลที่ไม่สัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพและภูมิอากาศในสถานที่นั้นๆ ซึ่งส่งผลต่อการสะสมเชื้อโรคในอาคาร และในอากาศภายในอาคารเพิ่มขึ้น

อาคารโรงพยาบาลนครชน เป็นอาคารโรงพยาบาล บนพื้นที่ขนาด 15 ไร่ มีความสูง 12 ชั้น จำนวน 1 อาคาร พื้นที่อาคารโดยรวมประมาณ 63,000 ตารางเมตร ตั้งอยู่เลขที่ 1 ซอยพระรามที่ 2 ซอย 56 แขวงสามยุค เขตบางขุนเทียน ก่อสร้างในปี พ.ศ. 2536 และเปิดใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 จนถึงปัจจุบัน อาคารมีอายุการใช้งานมานานมากกว่า 25 ปี โดยเฉพาะห้องผ่าตัด ของทางโรงพยาบาล ที่มีจำนวนทั้งหมด 5 ห้อง ได้มีการเปิดใช้งานเป็นระยะเวลานานพอสมควร ทางโรงพยาบาลจึงได้มีการปรับปรุงทางด้านโครงสร้าง งานระบบและงานสถาปัตยกรรม ภายในห้องผ่าตัดใหม่ทั้งหมด

ห้องผ่าตัด Operating Room ถือได้ว่าเป็นสถานที่สำคัญที่รองรับการให้บริการทางการแพทย์และเป็นส่วนหนึ่งของการให้บริการของทางโรงพยาบาล เช่น งานผ่าตัดศัลยกรรม งาน

ผ่าตัดคลอด เป็นต้นเนื่องจากสถานการณ์ ณ.ปัจจุบันที่ประเทศไทยที่กำลังเผชิญอยู่เกี่ยวกับสถานการณ์ระบาดของโรคเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่เป็นโรคติดต่อเกี่ยวกับทางเดินหายใจได้นั้น เนื่องจากโครงสร้างห้องผ่าตัดเดิมของโรงพยาบาลไม่เอื้ออำนวยต่อการให้บริการผ่าตัดหากมีผู้ป่วยที่ติดเชื้อหรือสงสัยว่าติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อกับผู้ให้บริการและผู้รับบริการ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงห้องผ่าตัดให้สามารถรองรับการให้บริการผ่าตัดภายใต้สถานการณ์นี้ได้ เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์ลดอัตราการติดเชื้อจากไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)ที่เกิดจากการทำหัตถการภายในห้องผ่าตัด จึงได้มีการเสนอให้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ภายในห้องผ่าตัด โดยจัดทำเป็นแบบทั้งห้องผ่าตัดแรงดันบวก(+) Positive Pressure และห้องผ่าตัดแรงดัน (-) Negative Pressure ภายในห้องเดียวกันและเนื่องจากคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด Indoor air quality of operating room นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดอัตราการติดเชื้อที่เกิดจากการทำหัตถการของบุคลากรทางแพทย์ และเป็นส่วนหนึ่งของการลดอัตราการติดเชื้อของผู้รับบริการภายในห้องผ่าตัด อีกทั้งสภาวะความสะดวกสบายของผู้ปฏิบัติงานภายในห้องผ่าตัด จึงเป็นที่มาที่จะต้องมีการศึกษา ตรวจวัด ตรวจประเมิน คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือเกณฑ์ที่ใช้อ้างอิงหรือไม่

ทั้งนี้ ผู้ทำการศึกษาเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้จัดทำการศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดแรงดันบวกและแรงดันลบ ของอาคารโรงพยาบาลนครชนก ว่ามีความปลอดภัยและสร้างความมั่นใจให้กับบุคลากรทางการแพทย์ทั้งภายในและภายนอกองค์กร ที่มีการใช้งานภายในห้องผ่าตัด อีกทั้งเป็นข้อมูลไว้ศึกษาในกรณีที่จะมีการปรับปรุงหรือจัดสร้างห้องผ่าตัดใหม่ให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยได้ ปรับปรุงแล้วจะส่งผลดีในด้านใดเพื่อเสนอต่อทีมบริหาร โรงพยาบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลนครชนกและทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องผ่าตัด
2. เพื่อวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในอากาศและเสนอแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดขนาด 45.54 ตารางเมตร ทั้งแบบแรงดันบวก (+) Positive Pressure และห้องผ่าตัดแรงดัน (-) Negative Pressure ของโรงพยาบาลนครชนก

2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อกำหนดเป็นบริบทการใช้งานแก่ผู้ใช้งานห้องผ่าตัด อาคารโรงพยาบาลนครชน
3. ทำการศึกษาโดยอ้างอิงกับ มาตรฐานหรือเกณฑ์อ้างอิง ASHRAE Application Handbook และ CDC Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities
4. ทำการศึกษาวิธีการตรวจประเมินสภาพแวดล้อมในห้องผ่าตัดตามแนวทางการตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐานองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization; ISO), ISO 14644-1: 2015 และ NIOSH Method: 0800 BIOAEROSOLSAMPLING (Indoor Air)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด
2. ทราบถึงระดับการประเมิน ค่าคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด Indoor Air Quality of Operating Room
3. มีแนวทางที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการ หรือ การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ ภายในห้องผ่าตัด ให้มีประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน
4. ทราบถึงความเป็นไปได้ของการบริหารจัดการคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ให้เข้าเกณฑ์มาตรฐานระดับสากล

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดในอาคารโรงพยาบาลนครชน ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาแนวคิดทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิยามหรือความหมายของคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด
- 2.2 การปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด
- 2.3 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศภายในห้องผ่าตัด
- 2.4 มาตรฐานและข้อกำหนดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด
- 2.5 ผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับนิยามหรือความหมายของคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality : IAQ) เป็นการศึกษา การประเมินและการควบคุมอากาศภายในอาคารที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพของอุณหภูมิ ความชื้น กลิ่นและความสะอาด ซึ่งระบบการไหลเวียนของอากาศภายในอาคาร เกิดขึ้น ทั้ง จากภายนอก เช่นพลังงานความร้อน มลภาวะจากโรงงาน มลภาวะจากยานพาหนะ และจากธรรมชาติ และจากภายใน เช่น ระบบปรับอากาศ วัสดุปิดผิวภายในอาคาร สารพิษจากอุปกรณ์ในอาคาร ต่างๆมนุษย์จะดำรงชีวิตและดำเนินกิจกรรมต่างๆภายในอาคาร ซึ่งคุณภาพอากาศไม่ดี จะสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรคทางระบบทางเดินหายใจ 9 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ IAQ แบ่งเป็น 3 อย่างดังต่อไปนี้

- 1) มลพิษทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณเชื้อรา ฝุ่น ไรฝุ่น เชื้อวัณโรค
- 2) มลพิษทางเคมี ได้แก่ กลิ่นจากวันบุหรี สารระเหย สารฟอร์มัลดีไฮด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรดอน
- 3) มลพิษทางกายภาพ ได้แก่ ฝุ่นหรือรา จากท่อแอร์ ซึ่งมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ ความเร็วลม อุณหภูมิและความชื้น

สร้อยสุดา เกสรทอง (2554) ได้ให้ความหมายของ คุณภาพของอากาศภายในอาคาร ไว้ว่า คือ “สภาพแวดล้อมในอาคารที่มีหรือ ไม่มีสิ่งปนเปื้อนก็ได้ ซึ่งถ้ามีจะต้องอยู่ในระดับที่ไม่เป็น

อันตรายต่อสุขภาพ” โดยที่สภาพอากาศควรมีเงื่อนไขดังนี้ คือ สภาพความน่าสบายของผู้อาศัยในพื้นที่นั้นการระบายอากาศที่ส่งผลที่ดีต่อพื้นที่ และความเข้มข้นของก๊าซหรือสารต่างๆในอากาศต้องไม่ก่อให้เกิดผลร้ายหรือมีอันตรายต่อสุขภาพของคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นสถานที่ที่ต้องมีการดูแลเป็นพิเศษ เพราะผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจที่มารักษาเป็นจำนวนมากสามารถเป็นแหล่งของเชื้อโรคระบบทางเดินหายใจที่ส่งผลกระทบต่อการระบายอากาศในพื้นที่เป็นอย่างมาก จึงควรมีการศึกษาเพื่อความเข้าใจในการจัดการการระบายอากาศเพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อโรค วัณโรค ภายในอาคาร

2.1.1 คุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล

สถานพยาบาลเป็นแหล่งของการแพร่กระจายเชื้อโรคที่ปนเปื้อนในอากาศมากที่สุด จึงต้องมีระบบการจัดการที่ถูกต้องตามหลักการจัดการของคุณภาพอากาศภายใน เพื่อให้คุณภาพอากาศภายในมีระบบการระบายอากาศอากาศที่ดี สามารถดำเนินการโดยอาศัยหลักการและวิธีการต่างๆ (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2554) ดังนี้

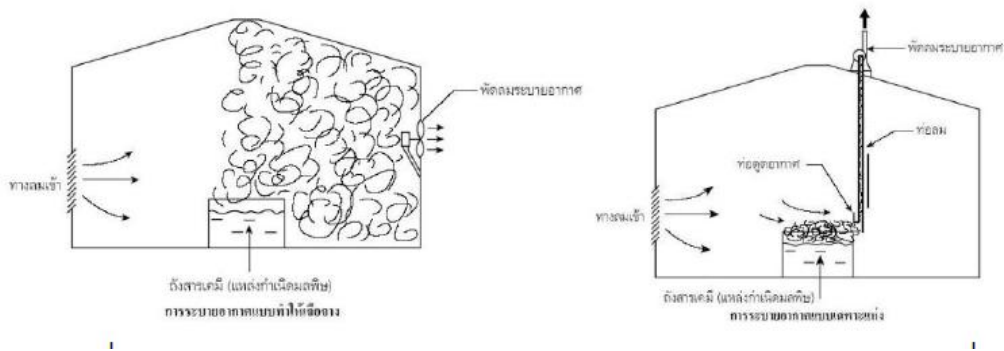
2.1.1.1 ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่นำเข้ามาในอาคารนั้น ต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดใน ASHRAE Standard 62-1989 หรือมาตรฐานตามค่า แนะนำของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือมาตรฐานของหน่วยงานของรัฐต่างๆ ซึ่งควรมีปริมาณ 12-15 ACH เพื่อให้อากาศบริสุทธิ์สามารถกระจายไปสู่ส่วนต่างๆของอาคารอย่างทั่ว ถึงและรวดเร็ว

2.1.1.2 ช่องนำอากาศบริสุทธิ์ (Fresh air grille) ควรอยู่ห่างจากบริเวณอากาศสกปรกภายนอกอาคาร เช่น ถนนที่มีการจราจรหนาแน่นที่จอดรถหรือบริเวณขนถ่ายสินค้า ท่อไอเสียของหม้อน้ำ (Boiler) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อากาศร้อนขึ้น ที่ออกจากหอหล่อเย็น (Cooling tower) ช่องระบายอากาศเสียของห้องน้ำ หรือห้องครัวของอาคาร โดยทั่วไปขอบล่างของช่องนำอากาศบริสุทธิ์ควรสูงจากระดับดินไม่น้อยกว่า 2 เมตร หรือสูงจากพื้น หลังคาไม่ต่ำกว่า 1 เมตร

2.1.1.3 ช่องระบายอากาศออกจากอาคาร (Exhaust air grille) ควรอยู่ห่างจากช่องอากาศบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 9 เมตร หรืออยู่ที่กำแพงคนละด้าน โดยคำนึงถึงทิศทางลมในแต่ละฤดูกาลหรือผลจากลมที่ปะทะกับอาคารข้างเคียงประกอบด้วยเพื่อป้องกันมิให้อากาศสกปรกไหลย้อนกลับเข้าสู่ตัวอาคารอีก

2.1.1.4 การควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ โดยมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาอย่างเพียงพอในขณะที่ยังมีคนทำงานอยู่ในอาคาร และเพื่อระบายอากาศสกปรกที่ยังตกค้างอยู่ให้หมด ควรติดตั้ง พัดลมดูดอากาศเสียออกจากบริเวณของอาคารที่มีอากาศสกปรกมาก โดยรักษาความดันอากาศในห้องที่สกปรกให้ต่ำกว่าห้องข้างเคียง (Negative Pressure) เพื่อป้องกันมิให้สิ่งสกปรกกระจายไปสู่ส่วนอื่นๆของอาคาร และระบบปรับอากาศที่ติดตั้งนั้น ต้องสามารถใช้งาน

และบำรุงรักษาได้ง่ายและสะดวกโดยเฉพาะส่วนที่ชื้น และมีน้ำ ชั่งอยู่เป็นประจำ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแนะนำให้ ติดตั้ง ระบบกรองอากาศที่เหมาะสมสำหรับอากาศบริสุทธิ์และอากาศหมุนเวียนในอาคารแผ่นกรอง (HEPA Filter)พร้อมการติดตั้ง เครื่องฟอกอากาศ หรือ หลอดฆ่าเชื้อ การระบายอากาศในพื้นที่นั้น เป็นสิ่งสำคัญที่จะชี้วัดคุณภาพอากาศภายใน ได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานพยาบาลอัตราของการระบายอากาศนั้น ต้องมีอัตราตามที่กำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐาน เพราะการระบายอากาศจะเป็นวิธีการควบคุมมลพิษทางอากาศโดยอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายของอากาศโดยให้ไหลไปในทางทิศทางและความเร็วที่ต้องการ เพื่อให้มีลักษณะการไหลของกระแสลมที่มีรูปแบบที่ดี เพื่อการขจัดอากาศเสียออกไปจากพื้นที่ปฏิบัติงานและให้อากาศบริสุทธิ์ไหลเข้ามาแทนที่ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อสุขอนามัยต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยที่การระบายอากาศสามารถแยกออกตามลักษณะการใช้เป็น 2 ลักษณะคือ การระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง และแบบเฉพาะที่ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบทำให้เจือจางและแบบเฉพาะที่

ที่มา: การระบายอากาศทั่วไป รองศาสตราจารย์ ดร. สุทิน อยู่สุข และคณะ, 2533, 2-20

คุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลควรมีการจัดการเรื่องการระบายอากาศโดยรวม เพื่อการนำเอาอากาศที่ดีเข้ามาแทนที่อากาศที่มีการแพร่กระจายของเชื้อโรคเกิดขึ้น ซึ่งหลักการจัดการที่สำคัญ ได้แก่ การควบคุมการไหลของอากาศในพื้นที่ (Directional Airflow) โดยให้มีอัตราการถ่ายเทอากาศตามหลักเกณฑ์การระบายอากาศเพื่อการควบคุมเชื้อโรคและการระบายอากาศให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ ลดการเกิดพื้นที่อับลม หลักการระบายอากาศเพื่อการควบคุมการระบายเชื้อโรคนั้น ควรมีลักษณะของการระบายอากาศแบบเฉพาะที่จากแหล่งเชื้อโรคโดยตรง หรือบริเวณของทางฟุ้งกระจายของเชื้อโรค ทิศทางการไหลของอากาศนั้นจะต้องเป็นไปตามหลักการระบายอากาศเพื่อ

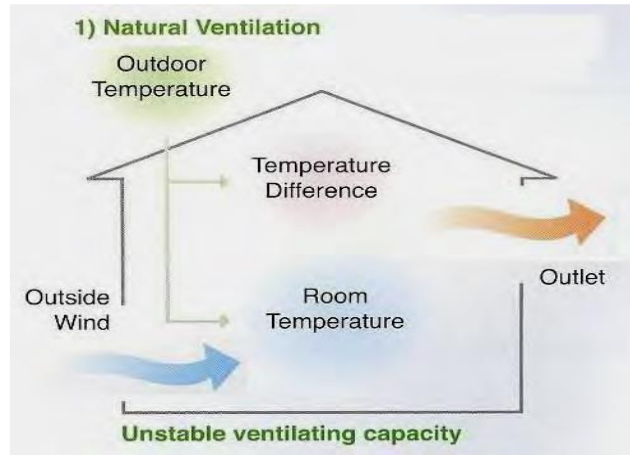
ป้องกันอันตรายจากเชื้อโรค ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบถึงอัตราของการเกิดของเชื้อโรคหรืออัตราการแพร่กระจายของเชื้อโรค ซึ่งสิ่งสำคัญต่อการไหลของอากาศเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรค การลดกระแสไหลวนเป็นลมหมุน (Eddy Air Flow) ในพื้นที่ เพราะจะส่งผลให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการกระจายเชื้อในอากาศมากขึ้นตามจำนวนรอบหมุนของกระแสลม และควรมีอัตราการระบายอากาศในพื้นที่ตามหลักเกณฑ์มาตรฐานของการออกแบบการระบายอากาศสำหรับโรงพยาบาล เพื่อการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในโรงพยาบาลสำหรับห้องตรวจรักษาวัณโรค ซึ่งการควบคุมที่แหล่งแพร่เชื้อคือ จากผู้ป่วย จะเป็นผลดีต่อการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากจุดที่สะอาดมากไปยังจุดที่สะอาดน้อย และรูปแบบที่ช่วยส่งเสริมต่อการไหลของอากาศที่ดีเพื่อลดการเกิดกระแสการไหลวนของอากาศภายในพื้นที่ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการฟุ้งกระจายของเชื้อโรค

2.1.2 หลักเกณฑ์การระบายอากาศในโรงพยาบาล

เกณฑ์และมาตรฐานการระบายอากาศนั้น ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยป้องกันควบคุมการแพร่เชื้อวัณโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการเข้าใจในข้อมูลจึงได้จัดการเปรียบเทียบข้อมูล ระหว่าง American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 2017), Center for Disease Control and Prevention Guidelines (CDC 2005), และ สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ.) (ข้อแนะนำเฉพาะกาลสำหรับการออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศของสถานพยาบาล)

การป้องกันการติดเชื้อด้วยวิธีการระบายอากาศ จะเป็นการระบายอากาศออกจากห้องตรวจหรือพื้นที่ที่มีผู้ป่วยหรือแหล่งแพร่กระจายเชื้อ แล้วนำอากาศออกไปสู่ภายนอก โดยสามารถแบ่งเป็น 2 แนวทางได้ ดังนี้

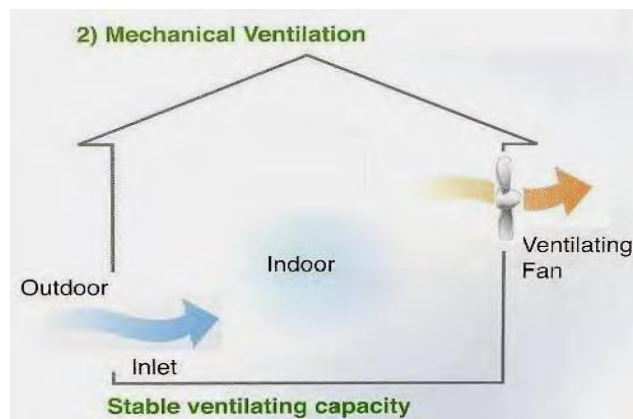
2.1.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) เป็นการไหลของอากาศจากพื้นที่หนึ่งไปสู่พื้นที่หนึ่ง หรือจากภายนอกอาคารไปสู่ภายในตัวอาคารของสถานพยาบาล ซึ่งการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) เปิดประตู/หน้าต่างของตัวอาคารเพื่อให้เกิดการไหลของอากาศจากภายนอกไปสู่ภายในตัวอาคารและไหลออกไปอีกด้านหนึ่งตามทิศทางลมธรรมชาติ การไหลของอากาศจะช่วยพัดพาเชื้อออกไปสู่ภายนอกตัวอาคาร พร้อมทั้งจัดสถานที่ภายในห้องให้เอื้อต่อการไหลของอากาศได้สะดวก(ไม่ขัดขวางการไหลของลม) โดยยึดหลักการให้อากาศพัดจากที่สะอาดมากกว่าไปสู่พื้นที่ที่มีความสะอาดน้อยกว่า



ภาพที่ 2.2 การระบายอากาศโดยธรรมชาติ

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่กรมอนามัย

2.1.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีกล (Mechanical Ventilation) เป็นการใช้เครื่องมือทางกลในการระบายอากาศออกจากพื้นที่ ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้พัดลมระบายอากาศประเภทต่าง ๆ และระบบท่อส่งลมในการนำพาอากาศเข้าหรือออกจากพื้นที่ การระบายอากาศด้วยวิธีนี้ จะสามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศภายในพื้นที่ได้ตลอดเวลาไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล การใช้พัดลมทั่วไปควรเปิดให้ไปในทิศทางเดียว(ไม่ส่ายไปมา) และเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางลมธรรมชาติและให้พัดจากบุคคลากร ผ่านผู้ปวยและออกสู่ภายนอกอาคาร ส่วนพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งควรอยู่ใกล้ผู้ปวย เพื่อดูดอากาศที่มีเชื้อปนเปื้อนออกภายนอกอาคาร



ภาพที่ 2.3 การระบายอากาศโดยวิธีกล

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่ กรมอนามัย

ระบบระบายอากาศแบบวิธีกล ทำได้โดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการระบายอากาศ การออกแบบขึ้นอยู่กับค่าการคำนวณปริมาณอัตราการระบายอากาศ (Air Change Rate) ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศ (Air Change per Hour; ACH) เพื่อให้ได้ค่าตาม มาตรฐานระบบปรับอากาศ และระบายอากาศได้จาก สมการ ดังนี้

$$ACH = Flow/RC$$

เมื่อ ACH = อัตราการระบายอากาศ

RC = ปริมาตรห้องทั้งหมด

Flow = ปริมาณการระบายอากาศ

การระบายอากาศด้วยวิธีกลจะใช้งานพัดลมเป็นอุปกรณ์หลัก แต่เนื่องจากพัดลมระบายอากาศในระบบมีหลายประเภท โดยทั่วไปจะเลือกใช้งานพัดลมจากค่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการและแรงดันสถิตที่ต้องการให้พัดลมสร้างได้

การติดตั้งระบบระบายอากาศเพียงอย่างเดียวจะมีค่าลงทุนติดตั้งระบบต่ำกว่าติดตั้งระบบปรับอากาศแต่การใช้งานระบบระบายอากาศจะไม่ช่วยส่งผลในด้านความสบายของผู้ป่วยหรือบุคลากรสาธารณสุขที่อยู่ในพื้นที่ จึงควรพิจารณาการเลือกใช้งานระบบระบายอากาศหรือระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับสถานที่ตั้งของสถานพยาบาลแต่ละแห่งให้เหมาะสม เพื่อให้ผู้ป่วยหรือบุคลากรสาธารณสุขสามารถอยู่ในพื้นที่ควบคุมด้วยคุณภาพชีวิตที่ดีตามสมควร โดยอ้างอิงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทอากาศของโรงพยาบาลจากเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้า อากาศภายนอกไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของปริมาตรห้องต่อ ชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียน อากาศภายในห้องไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของปริมาตรห้องต่อ ชั่วโมง	ความดันสัมพัทธ์ กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	ห้อง Nursery	5	12	สูงกว่า
4	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (ICU)	2	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน (Trauma Room)	5	12	สูงกว่า
7	บริเวณพักคอยสำหรับแผนก ผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
8	ห้องพักรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทาง อากาศ	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องแยกผู้ป่วยปลอดภัย (Protective Environment)	2	12	สูงกว่า
11	ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	2	6	ต่ำกว่า
12	ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

ที่มา: ตารางอัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพัทธ์ สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ข้อเสนอแนะเฉพาะกาลสำหรับการออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศของสถานพยาบาล)

2.1.3 หลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล

ข้อกำหนดพื้นฐานของระบบปรับอากาศและระบายอากาศในสถานพยาบาล จากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

2.1.3.1 การควบคุมสิ่งแวดล้อมแบบปฐมภูมิ (Primary environmental control)

การควบคุมสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีธรรมชาติ โดยเอื้อต่อการไหลของลม ไม่เกิดการขัดขวางการไหลของลม จากวิธีการเปิดประตู และหน้าต่างทุกบานในห้อง โดยให้ลมพัดจากที่สะอาดมากไปสู่สะอาดน้อย จะสามารถช่วยลดความเข้มข้นของเชื้อ ในห้องได้ซึ่งในปัจจุบันมีการเพิ่มการติดตั้งพัดลมและเครื่องปรับอากาศมากขึ้นจึงควรมีความรู้เรื่องชนิดของพัดลมและเครื่องปรับอากาศให้ เอื้อ ต่อการลดความเข้มข้นของเชื้อ โรคในห้องมากขึ้น โดยเฉพาะการเลือกตำแหน่งการวางหรือติดตั้งของพัดลม เพื่อเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและทำให้เชื้อวัณโรคเจือจาง โดยให้เกิดความเสี่ยงต่อการฟุ้งกระจายมากที่สุด ซึ่งเป็นการควบคุมจากแหล่งของเชื้อ โรคแบบเฉพาะที่ คือ ผู้ป่วย

2.1.3.2 การควบคุมสิ่งแวดล้อมแบบทุติยภูมิ (Secondary environment control)

เป็นวิธีการควบคุมไม่ให้อากาศโดยรอบของบริเวณแหล่งเชื้อ โรคกระจายออกไปวงกว้าง โดยการควบคุมการไหลของอากาศ (Directional Air flow) การกรองด้วยแผงกรองอากาศหรือการใช้ (Ultraviolet germicidal irradiation : UVGI) โดยวัตถุประสงค์หลักของวิธีควบคุมสิ่งแวดล้อมเพื่อ

- 1) ป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ โรคไปสู่บริเวณโดยรอบ
- 2) กำจัดเชื้อที่อยู่ในห้องในรูปของ Droplet nuclei เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อบุคลากรและผู้ป่วย
- 3) กำหนดทิศทางการไหลของอากาศภายในห้อง ก่อนการปล่อยออกจากห้อง
- 4) รักษาระดับอุณหภูมิและความชื้น สัมผัสทำให้บุคลากรและผู้ป่วยสุขสบาย

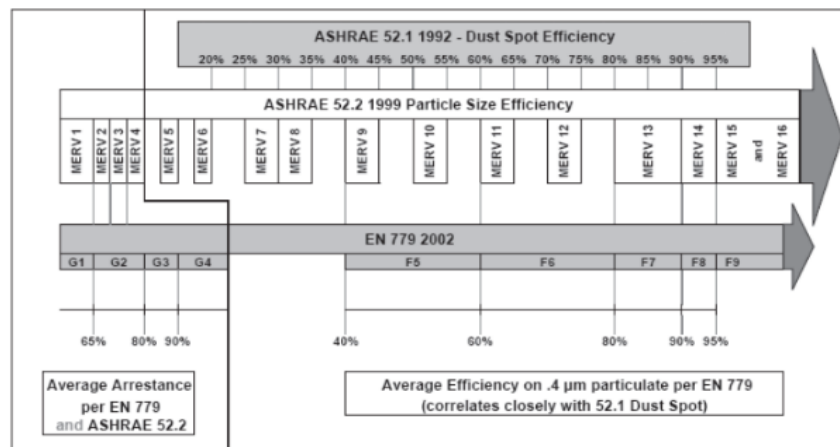
2.1.3.3 หลักการพื้นฐานของวิธีควบคุมสิ่งแวดล้อม

เพื่อการควบคุมการติดเชื้อ โรคทางอากาศ ได้แก่

1) การออกแบบเพื่อป้องกันเชื้อ โรคเข้า (ความดันบวก) หรือป้องกันเชื้อ โรคออกจากห้อง (ความดันลบ) จากรอยรั่วตามที่ต่างๆ เช่น กรอบประตู กรอบหน้าต่าง ผนังและฝ้าเพดาน และสร้างความดันแตกต่างระหว่างภายในห้องและภายนอกห้อง

2) การกรองอากาศ การกำจัดเชื้อ โรคออกจากอากาศโดยหลักมาตรฐานการกรองเชื้อ โรค ในอากาศมีแหล่งกำเนิดทั้งจากภายนอกและภายในห้อง โดยปริมาณเชื้อ ภายในห้องมีสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนคนที่เคลื่อนไหวทำงานในห้อง (CDC, 1999 Guideline for Prevention of Surgical Site Infection) การกำจัดเชื้อ จากภายนอกทำได้โดยให้อากาศที่เดิมเข้ามาในระบบผ่านการกรองก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ห้อง สำหรับการกำจัดเชื้อ ที่เกิดภายในห้องออกจากอากาศ สามารถทำได้โดยการหมุนเวียนลมปริมาณมากๆภายในห้องไปผ่านแผงกรองอากาศประสิทธิภาพ สูง (HEPA Filter) ซึ่งควรเป็นแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพการกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างน้อยกรองเชื้อ วัณโรคที่มีขนาดเล็ก 0.3 ไมครอน โดยแผงกรองอากาศทั้งหมด 3 ชุด มีอัตราการกรองอากาศ

ไม่น้อยกว่า 300 CFM เป็นไปตามมาตรฐาน ASHARE 52.2 ประกอบด้วย HEPA Filter EFF. 99.97% 0.3 um ขนาด 24x24x6 นิ้ว มีอัตราการกรองอากาศไม่น้อยกว่า 300 CFM ซึ่งประกอบด้วย แผงกรองชุดที่ 1 แผงกรองหยาบ (Pre filter) ประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 25 % แผงกรองชุดที่ 2 แผงกรองละเอียด (HEPA filter) ประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 99.97% แผงกรองชุดที่ 3 แผงกรองกลิ่นและ สารเคมี (Carbon filter) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของการกรองอากาศ

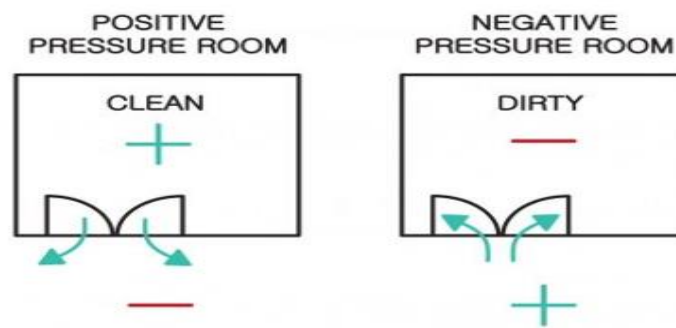
ที่มา: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHARE 52.1)

มาตรฐาน ASHRAE 170 - 2008 แนะนำว่าพื้นที่ต่างๆ ภายในสถานพยาบาล ควรติดตั้ง แผงกรองอากาศชั้นต่ำและประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศทั้งนี้ แผงกรองอากาศประเภทต่าง ๆ ที่เลือกใช้งานในระบบปรับอากาศนั้น จะมีได้มีกำหนดหกดอายุหรือสิ้นสภาพใช้งานที่ชัดเจน แผงกรองอากาศต่าง ๆ จะใช้งานได้ไม่นานเกินไป ขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นละอองหรืออนุภาคในอากาศที่นำแผงกรองอากาศไปใช้งาน ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผงกรองอากาศที่เลือกใช้ และอัตราการไหลของอากาศผ่านแผงกรองอากาศ โดยปกติการใช้งานแผงกรองอากาศจะต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันตกคร่อม

3) การเจือจางเชื้อในอากาศโดยการเติมอากาศจากภายนอก การนำอากาศภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศภายในห้อง จะทำให้ความเข้มข้นของเชื้อลดลงและอากาศจากภายนอกควรผ่านการกรองด้วยแผงกรองอากาศเช่นเดียวกับลมหมุนเวียนภายในห้อง โดยมีอัตราการหมุนเวียนอากาศไม่น้อยกว่า 12-15 ACH

4) ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดไปหาจุดที่สะอาดน้อย โดยจุดสะอาดคือ จุดที่ไม่ได้มีเชื้อ โรคปะปนอยู่หรือปะปนในปริมาณที่น้อยที่สุดในพื้นที่ที่ไหลผ่านไปยังจุดที่มีเชื้อโรคอยู่ เพื่อการไหลของอากาศโดยลดการแพร่กระจายเชื้อโรคที่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) การปรับความดันของอากาศภายในห้องควบคุมและป้องกันการติดเชื้อโรคทางอากาศคือ มีความต้องการไม่ให้เชื้อโรคแพร่กระจายจากภายในออกไปสู่ภายนอกห้อง เพื่อวัตถุประสงค์ ป้องกันบุคลากรและผู้ป่วยที่อยู่ภายนอกห้องไม่ได้รับการแพร่เชื้อ จากผู้ป่วยวัณโรคภายในห้อง ดังนั้นการออกแบบจึงควรทำให้อากาศหมุนเวียนไม่น้อยกว่า 12-15 ACH คือแรงดันลมภายในห้องน้อยกว่าภายนอกห้อง จะทำให้เชื้อโรคภายในห้องไม่สามารถแพร่กระจายออกไปในภายนอกห้องได้ โดยมีความดันบรรยากาศในห้องต่ำกว่าพื้นที่ใกล้เคียงไม่น้อยกว่า 2.5 Pascal เพื่อการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากสะอาดมากไปสะอาดน้อย



ภาพที่ 2.5 แสดงการควบคุมแรงดันระหว่างพื้นที่

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

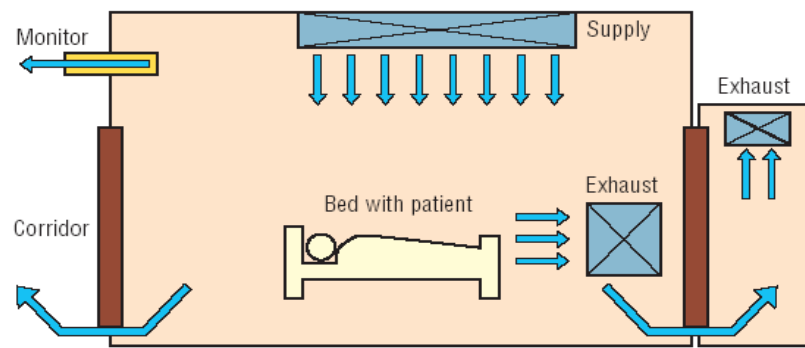
6) อุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรคภายในห้อง ป้องกันจุดอับชื้นภายในห้อง ซึ่งควรมีค่าความชื้น ที่เหมาะสม คือ ไม่เกิน 50-60% RH และอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และควรจัดการห้องให้มีความสะอาด และเป็นที่เหมาะสมฝุ่น ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์สำนักงาน เครื่องมือ พื้น เพดานผนัง ท่อลม และพัดลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบปรับอากาศไม่ควรมีพื้นที่ผิวที่มีน้ำขังและเปียกชื้น

7) การฆ่าเชื้อโรคในอากาศ การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตฆ่าเชื้อ (UVGI –Ultraviolet Germicidal Irradiation) เป็นวิธีการที่ได้รับการศึกษาและใช้กันมานาน รังสี UV เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงคลื่น 100-400 nm สำหรับหลอดรังสี UV ที่มีผลผลิตขายเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อ จะมีความยาวคลื่น 254 nm ซึ่งเป็น UV-C UVGIสามารถนำมาใช้ได้ 2 ลักษณะคือ การติดตั้ง ในเครื่อง

ควบคุมอากาศปลอดเชื้อและการติดตั้ง อยู่ส่วนบนของห้อง (Upper Room) การติดตั้ง หลอดรังสี UV การติดตั้งในเครื่องควบคุมอากาศปลอดเชื้อ จะฆ่าเชื้อในอากาศที่ผ่านฟิลเตอร์ก่อนที่จะผ่าน หลอดรังสี UV จ่ายเข้ามาในห้อง หากติดตั้ง อย่างถูกต้องแล้ว อันตรายจากแสง UV ในเครื่อง ควบคุมอากาศปลอดเชื้อ จะมีเฉพาะในช่วงการเปิดเข้าไปบำรุงรักษา ดังนั้นจึงต้องมีคำเตือนติด ประภาสไว้บริเวณใกล้เคียง ให้ปิดหลอดUV ก่อนที่จะเข้าไปบำรุงรักษาการติด ตั้งหลอด

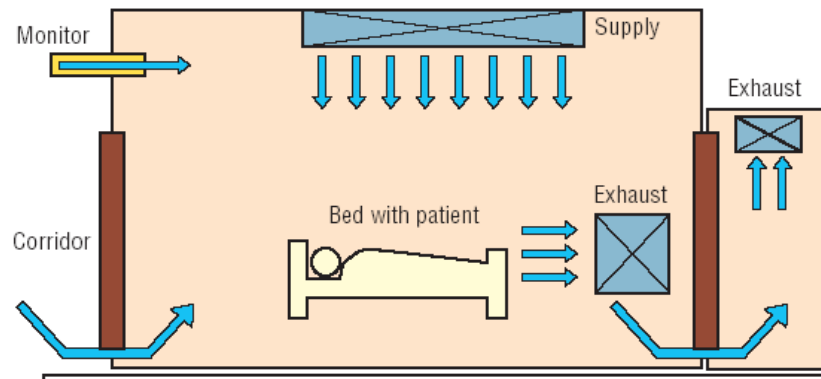
2.2 การปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด

เนื่องจากมาตรฐานงานระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด จะ คำนึงถึงการป้องกันการติดเชื้อของผู้ป่วยระหว่างการผ่าตัด ห้องผ่าตัดจึงควบคุมแรงดันภายในห้อง ให้มากกว่าภายนอก (Positive Pressure) หากทำการผ่าตัดผู้ป่วยติดเชื้อระบบทางเดินหายใจจะทำให้ มีความเสี่ยงที่เชื้อจะกระจายออกจากห้องด้วยสภาวะแรงดันภายในห้องที่มากกว่าภายนอก แต่ไม่ ควรปรับแรงดันภายในห้องผ่าตัดให้น้อยกว่าภายนอก (Negative Pressure) เนื่องจากจะทำให้เชื้อ โรคจากภายนอกเข้าไปในห้องผ่าตัดและมีความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อแผลผ่าตัดได้ จึงควร พิจารณาจัดสร้าง Anteroom ก่อนเข้าห้องผ่าตัด เพื่อเป็นพื้นที่ป้องกันระหว่างห้องผ่าตัดและภายนอก โดยจำแนกประเภทผู้ป่วยตามมาตรฐาน CDC 2005 เป็นผู้ป่วยติดเชื้อระบบทางเดินหายใจและภูมิ ด้านทานต่ำในคนเดียวกัน โดยควบคุมแรงดันอากาศภายในห้องผ่าตัดให้มากกว่าพื้นที่โดยรอบเพื่อ ป้องกันฝุ่นละอองและเชื้อโรคจากภายนอกเข้าไปในห้องผ่าตัด และควบคุมแรงดันอากาศภายใน Anteroom ให้น้อยกว่าพื้นที่โดยรอบเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อระบบทางเดินหายใจจากห้อง ผ่าตัดออกสู่ภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และ 2.7 เงื่อนไขการควบคุมแรงดันอากาศภายในห้อง



ภาพที่ 2.6 การควบคุมแรงดัน (+)ภายในห้องผ่าตัด (Positive Pressure)

ที่มา: Center for Disease Control and Prevention Guidelines (CDC 2005)



ภาพที่ 2.7 การควบคุมแรงดัน (-)ภายในห้องผ่าตัด (Negative Pressure)

ที่มา: Center for Disease Control and Prevention Guidelines (CDC 2005)

2.2.1 การควบคุมความดันอากาศภายในห้องผ่าตัด ความดันอากาศห้องผ่าตัด

แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ในระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ มักจะใช้หน่วยวัดความดันอากาศภายในห้อง มีหน่วย เป็นปาสคาล (Pa) เนื่องจากมีความดันอากาศภายในห้องมีขนาดความดันเพียงเล็กน้อย อากาศเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันอากาศสูงไปยัง บริเวณที่มีความดันอากาศต่ำ ซึ่งถ้ามีความดันอากาศต่างกันมากจะทำให้เกิดลม ฉะนั้นต้องควบคุมให้พื้นที่ที่ต้องการอากาศที่สะอาดให้มีความดันอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่น การควบคุมความดันอากาศ จะกระทำได้ดีเมื่อพื้นที่นั้นเป็นแบบปิด หากต้องการให้พื้นที่ใช้งานนั้นมีความดันมาก (เป็นบวก)ก็ใช้วิธีเติมอากาศ เช่นกรณีห้องผ่าตัด หากต้องการให้พื้นที่นั้นมีความดันน้อย(เป็นลบ)ก็ใช้วิธีดูดอากาศออก เช่นห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อ

แหล่งของการติดเชื้อและวิธีการควบคุม

2.2.2.1 การติดเชื้อแบคทีเรีย (Bacterial Infection) ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียที่แพร่เชื้อผ่านอากาศได้แก่ เชื้อวัณโรค (Mycobacterium Tuberculosis) และ Legionella pneumophila (Legionnaire's Disease) จากการศึกษาของ Wells (1934) แสดงให้เห็นว่าละอองขนาด 5 ไมครอน และเล็กกว่าจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ตลอดโดยไม่ตกลงสู่ด้านล่าง จากการศึกษาของ Isoard et al. (1980) และ Luciano (1984) แสดงว่า 99.4% ของแบคทีเรียในโรงพยาบาลจะถูกกรองได้โดยแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ 90-95% (ASHRAE Standard 52.1) ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียมักรวมตัวอยู่ด้วยกันซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน หน่วยงานบางแห่งแนะนำ ให้ใช้แผงกรองอากาศชนิด

HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ถึง 99.97%

2.2.2.2 การติดเชื้อไวรัส (Viral Infection) ตัวอย่างของเชื้อไวรัสที่แพร่เชื้อผ่านอากาศ ได้แก่ Varicella (อีสุกอีใส/งูสวัด), Rubella (หัดเยอรมัน), Rubella (หัด) หลักฐานทางระบาดวิทยา แสดงให้เห็นว่าเชื้อไวรัสที่แพร่ผ่านอากาศส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมากในระดับ Submicron จึงไม่มีวิธีใดที่กำจัดไวรัสในอากาศได้ 100% การใช้แผงกรองอากาศชนิด HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) และ/หรือ ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในขณะนี้ การหยุดยั้งเชื้อไวรัสด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือการฉีดสารเคมียังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอ จึงยังไม่แนะนำให้ใช้เป็นวิธีการหลักในการป้องกันการติดเชื้อ (Primary Infection Control Measure) ดังนั้นวิธีการหลักที่ใช้ในการป้องกันการแพร่เชื้อในโรงพยาบาล คือ การควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างห้องให้เหมาะสม (Appropriate Pressure Relationship)

2.2.2.3 เชื้อรา (Molds) มีหลักฐานแสดงว่าเชื้อราบางชนิดเช่น Aspergillus จะส่งผลร้ายกับผู้ป่วยมะเร็งเม็ดเลือดขาวระยะรุนแรง (Advanced Leukemia), ผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายไขกระดูก (Bone Marrow Transplant) และผู้ป่วยที่ภูมิคุ้มกันต่ำหรือโรคร้ายของร่างกาย ต่ำผิดปกติ (Immunocompromised) อื่นๆ

2.2.2.4 การเติมอากาศจากภายนอก (Outdoor Air Ventilation) หากจุดที่นำ อากาศเข้ามาจากภายนอกเป็นจุดที่เหมาะสม อากาศจากภายนอกเกือบจะไม่มีเชื้อแบคทีเรียและไวรัสเลยปัญหาของเชื้อแบคทีเรียและไวรัสส่วนใหญ่จะมีแหล่งของเชื้ออยู่ในตัวอาคาร โรงพยาบาล อากาศจากภายนอกที่เติมเข้ามาจะช่วยเจือจางปริมาณเชื้อแบคทีเรียและไวรัส ถ้าระบบระบายอากาศได้รับการออกแบบ, ติดตั้ง และมีการสร้างความดันแตกต่างระหว่างพื้นที่อย่างถูกต้อง จะช่วยกำจัดเชื้อโรคในอากาศออกไปจากโรงพยาบาลได้

2.2.2.5 อุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Humidity) สภาวะอุณหภูมิและความชื้นในโรงพยาบาลจะมีส่วนช่วยในการส่งเสริมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและไวรัส แบคทีเรียบางชนิดเช่น Legionella Pneumophila จะแพร่กระจายได้ดีในละอองน้ำ และสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะอากาศชื้น

2.2.2.6 แผงกรองอากาศ (Air Filter) ระบบปรับอากาศควรติดตั้งแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางอ้างอิงจาก ASHRAE Standard 52.1 หากในตารางระบุให้มีแผงกรองอากาศสองชั้น ชั้นที่หนึ่งควรอยู่ด้านก่อนลมเข้าคอยล์ทำ ความเย็น และชั้นที่สองควรอยู่ด้านลมออกจากพัดลม หากในระบบมีอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ต้องระวังไม่ให้แผงกรองอากาศเปียกจากละอองน้ำที่พ่นเข้าไปในกระแสอากาศ หากในตารางระบุให้มีแผงกรองอากาศชั้นเดียว แผง

กรองอากาศควรอยู่ด้านก่อนลมเข้าคอยล์ ประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศ ในตารางที่ 2.2 อ้างอิงจาก ASHRAE Standard 52.1

ตารางที่ 2.2 ตารางประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศสำหรับระบบปรับอากาศในโรงพยาบาล

Minimum Number of Filter Beds	Area Designation	Filter Efficiency %		
		No.1 ^a	No.2 ^a	No.3 ^a
3	Orthopedic operating room. Bone marrow transplant operating room, Organ transplant operating room	25%	90%	99.97%
2	General procedure operating rooms Delivery rooms Nurseries Intensive care units Patient care rooms Treatment rooms Diagnostic and related areas	25%	90%	
1	Laboratories Sterile storage	80%		
1	Food preparation areas Laundries Administrative areas Bulk storage Soiled holding areas	25%		

Source: 1999 ASHRAE Handbook – Application

Note :

a : Based on ASHRAE Standard 52.1

b : Based on DOP test

c : HEPA Filters at air outlets

ที่มา: ระบบปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล/จักรพันธ์ ภาวิงค์รัตน์, 2546, หน้า 14

2.2.2.7 การเคลื่อนที่ของอากาศ ในตารางที่ 2.3 ผลจากการทำเตียงต่อปริมาณแบคทีเรียในอากาศในโรงพยาบาล แสดงให้เห็นถึงระดับของสิ่งปนเปื้อนที่แพร่กระจายอยู่ในโรงพยาบาลซึ่งเกิดจากหนึ่งในกิจกรรมปกติที่ต้องปฏิบัติทุกวันในโรงพยาบาล จำนวนของแบคทีเรียในทางเดินแสดงให้เห็นว่าสิ่งปนเปื้อนสามารถแพร่กระจายจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งได้ เนื่องจากการแพร่กระจายของแบคทีเรียเกิดจากกิจกรรมที่จำเป็นต้องทำ ทุกๆวันในโรงพยาบาล ระบบปรับอากาศจึงมีหน้าที่ทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศช่วยจำกัดการแพร่ของสิ่งปนเปื้อน กระแสอากาศในทิศทางที่ไม่พึงประสงค์เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยากเนื่องจากมีช่องเปิด มีการเปิดประตูมีการเคลื่อนที่ของเจ้าหน้าที่และคนไข้ มีอุณหภูมิแตกต่างซึ่งก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศตามธรรมชาติ และยังมีช่องเปิดในแนวตั้งเช่น ปล่องลิฟต์ ช่องส่งของระหว่างชั้น ช่องท่อ(Mechanical Shaft)ซึ่งเสริมให้มีการเคลื่อนที่ของอากาศระหว่างชั้นอีกด้วย ถึงแม้ว่าบางปัจจัยจะไม่สามารถควบคุมได้ แต่ก็มีบางปัจจัยที่ช่วยจำกัดการเคลื่อนที่ของอากาศได้ โดยการออกแบบและปรับสมดุลระบบจ่ายลมเพื่อให้เกิดความดันเป็นบวกและลบตามความต้องการของแต่ละพื้นที่

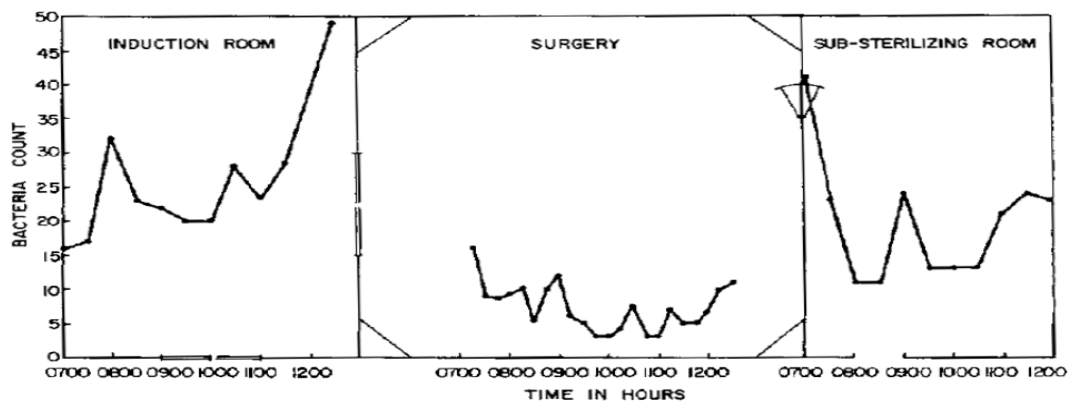
ตารางที่ 2.3 ตารางผลจากการทำเตียงต่อปริมาณแบคทีเรียในอากาศในโรงพยาบาล

Item	Count per Cubic Meter	
	Inside Patient Room	Hallway Near Patient Room
Background	1200	1060
During bedmaking	4940	2260
10 min after	2120	1470
30 min after	1270	950
Background	560	
Normal bedmaking	3520	
Vigorous bedmaking	6070	
Source : Greene et al. (1960)		

ที่มา: ระบบปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล, จักรพันธ์ ภาวิศักรัตน์, 2546, หน้า 5

สำหรับห้องผ่าตัดซึ่งต้องการให้ปลอดเชื้อจะต้องมีความดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับบริเวณรอบๆ(ความดันมากกว่าบริเวณรอบๆ) ดังภาพที่ 2.13 เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสอากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนไหลเข้าไปในห้องผ่าตัดได้ อย่างไรก็ตาม หากเป็นห้องผ่าตัดซึ่งใช้กับผู้ป่วยที่เป็น

โรคติดต่อ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือด หรือ โรคปอด อาจจำเป็นต้องทำให้ห้องมีความดันเป็นลบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่เชื้อออกจากห้องผ่าตัด การสร้างความดันแตกต่างระหว่างห้องนั้นสามารถทำได้เฉพาะกับห้องที่ปิดสนิทเท่านั้น ดังนั้นกรอบประตูจะต้องไม่มีรอยรั่วมากเกินไป และต้องไม่มีช่องเปิดอื่นๆ การเปิดประตูห้องหรือช่องเปิดใดๆจะทำให้สูญเสียความดันทั้งหมดไปได้ และเมื่อมีการเปิดประตูอาจจะมีอากาศส่วนหนึ่งไหลเข้าและออกจากห้องตามธรรมชาติเนื่องจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างห้อง สำหรับห้องที่ต้องการรักษาความดันในขณะที่มีคนเข้าออกจากห้อง ควรจะต้องมีประตูสองชั้นเพื่อปิดกั้นอากาศ (Air lock)



ภาพที่ 2.8 จำนวนแบคทีเรียในห้องผ่าตัดและห้องข้างเคียง

ที่มา: ระบบปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล, จักรพันธ์ ภาวิศักรัตน์, 2546, หน้า 16

2.3 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ (Airborne Contaminant Removal)

การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ของโรงพยาบาลนั้น ที่ใช้ระบบปรับอากาศภายในโรงพยาบาล ซึ่งแตกต่างจากการระบายอากาศธรรมชาติที่เกิดการไหลของอากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความกดดันอากาศในบริเวณนั้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าระบบปรับอากาศและได้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่สูงกว่าการใช้ระบบปรับอากาศ ซึ่งทำให้ความเสี่ยงในการติดเชื้อทางอากาศลดลง โดยเมื่อมีการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นเวลาที่จะนำเอาเชื้อโรคออกไปจากพื้นที่นั้นมีค่า ดังที่แสดงในตารางที่ 2.4 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและเวลาในการกำจัดละอองเชื้อ

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและเวลาในการกำจัดละอองเชื้อ

Air Changes per Hour	Minutes required for a removal efficiency of :		
	90%	99%	99.90%
1	138	276	414
2	69	138	207
3	46	92	198
4	35	69	104
5	28	55	83
6	23	46	69
7	20	39	59
8	17	35	52
9	15	31	46
10	14	28	41
11	13	25	38
12	12	23	35
13	11	21	32
14	10	20	30
15	9	18	28
20	7	14	21
25	6	11	17
30	5	9	14
40	3	7	10
50	3	6	8

หมายเหตุ. จากการออกแบบห้องผ่าตัด โดย สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. 2551. กรุงเทพฯ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย

2.3.1. ค่า Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants หรือค่าหน้าที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ

โดยจะพิจารณาจากผลการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่าตัด แล้วกำหนดช่วงเวลาการใช้งาน ควรเปิดระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัด ก่อนเริ่มการใช้งานหรือรับผู้ป่วยรายต่อไป เพื่อให้สิ่งปนเปื้อนในอากาศจากภายในห้องระบายออกสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 2.5 Air Change Per Hour And Time in Minutes required for removal efficiencies of 90,99.9% of airborne contaminants CDC ดังนี้

$$t_2 - t_1 = -[\ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right) / (Q/V)] \times 60, \text{ with } t_1 = 0$$

- t1 = เวลาเริ่มต้นในหน่วยนาที
- t2 = เวลาสิ้นสุดในหน่วยนาที
- C1 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารปนเปื้อน
- C2 = ความเข้มข้นสุดท้ายของสารปนเปื้อน
- C2 / C1 = 1 - (removal efficiency / 100)
- Q = อัตราการไหลของอากาศภายในลูกบาศก์ฟุต/ชั่วโมง
- V = ปริมาตรห้องเป็นลูกบาศก์ฟุต
- Q / V = ACH

ตารางที่ 2.5 ข้อเสนอแนะในการเผื่อระวังและควบคุมความเสี่ยง

โดยหาค่า Air Change Per Hour And Time in Minutes required for removal efficiencies of 90,99.9% of airborne contaminants CDC [This table is prepared according to the formula * t1= (in (C2/C1)/ (Q/V) x 60, which is an adaptation of the formula for the rate of purging airborne contaminants with t1 = 0, and C2/C1 = 1 - (removal efficiency/100).]

Air Changes per Hour	Minutes required for removal efficiency of		
	90%	99%	99.9%
1	138	276	414
2	69	138	207
3	46	92	138
4	35	69	104
5	28	55	83

Air Changes per Hour	Minutes required for removal efficiency of		
	90%	99%	99.9%
6	23	46	69
7	20	39	59
8	17	35	52
9	15	31	46
10	14	28	41
11	13	25	38
12	12	23	35
14	10	20	30

Air Changes per Hour	Minutes required for removal efficiency of		
	90%	99%	99.9%
15	9	18	28
16	9	17	26
17	8	16	24
18	8	15	23
19	7	15	22
20	7	14	21
25	6	11	17
30	5	9	14
35	4	8	12
40	3	7	10
45	3	6	9
50	3	6	8

ที่มา: Centers for Disease Control and Prevention, Federal Register 58 9195, 52809, 1993

2.4 มาตรฐานและข้อกำหนดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

2.4.1 มาตรฐานการปรับอากาศและหมุนเวียนในสถานพยาบาลของสมาคมวิศวกรรมระบบทำความร้อนและปรับอากาศสหรัฐอเมริกา

มาตรฐานการปรับอากาศและหมุนเวียนในสถานพยาบาลของ ASHRAE Standard 170-2017 Ventilation of health care facilities ได้กล่าวเกี่ยวกับการนำอากาศภายนอกมาใช้ การระบายอากาศ และข้อกำหนดโดยส่วนใหญ่จะใช้ในระบบปรับอากาศอ้างอิงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Area (n)	Minimum Outdoor ach	Minimum Total ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoor (j)	Air Recirculated by-Mean of Room Unit(a)	Design Relative Humidity(k),%	Design Temperature (l),°F/°C
Surgery and Critical Care							
Critical and intensive care	NR	2	6	NR	No	30-60	70-75/21-24
Delivery room (Caesarean)(m),(o)	Positive	4	20	NR	No	20-60	68-75/20-24
Emergency department decontamination	Negative	2	12	Yes	No	NR	NR
Emergency department exam/treatment room (p)	NR	2	6	NR	NR	Max 60	70-75/21-24
Emergency department public waiting area	Negative	2	12	Yes(q)	NR	Max 65	70-75/21-24
Intermediate care (s)	NR	2	6	NR	No	Max 60	70-75/21/24
Laser eye room	Positive	3	15	NR	No	20-60	70-75/21/24
Medical/anesthesia gas storage (r)	Negative	NR	8	Yes	NR	NR	NR
Newborn intensive care	Positive	2	6	NR	No	30-60	72-78/22-26
Operating room (m),(o)	Positive	4	20	NR	No	20-60	68-75/20-24
Operating/Surgical cystoscopic room (m),(o)	Positive	4	20	NR	No	20-60	68-75/20-24
Procedure room (o),(d)	Positive	3	15	NR	No	20-60	70-75/21-24
Radiology waiting rooms	Negative	2	12	Yes(q),(w)	NR	Max60	70-75/21-24
Recovery room	NR	2	6	NR	No	20-60	70-75/21-24
Sub sterile service area	NR	2	6	NR	No	NR	NR
Trauma room (crisis or shock)(c)	Positive	3	15	NR	No	20-60	70-75/21-24
Treatment room (p)	NR	2	6	NR	NR	20-60	70-75/21-24
Triage	Negative	2	12	Yes(q)	NR	Max60	70-75/21-24
Wound intensive care (burn unit)	NR	2	6	NR	No	40-60	70-75/21-24

ที่มา: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 170-2017)

2.4.2 เกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับความสะอาดห้องผ่าตัด

เกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับความสะอาดห้องผ่าตัด ชนิดของ Cleanroom แบ่งตามลักษณะการใช้งานแบบ Biological Cleanroom เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตยา ห้องปฏิบัติการทางด้านชีววิทยา ห้องผ่าตัด เพื่อควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ความดันอากาศในห้องจะต้องสูงกว่าความดันอากาศห้องข้างเคียง เพื่อป้องกันมิให้สิ่งสกปรกจากห้องข้างเคียงไหลเข้าสู่ห้องสะอาด ตามมาตรฐาน ISO 14644-1 เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ซึ่งกำหนดให้มีอนุภาคนขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 0.5 ไมโครเมตรและ 5 ไมโครเมตร แวนลอยในอากาศได้ไม่เกิน 352,000 และ 2,930 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรโดยอ้างอิงตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์สำหรับห้องผ่าตัดมาตรฐาน ISO 14644-1 เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7

Selected airborne particulate cleanliness classes for cleanrooms and clean zones (ISO 14644-1:2015)

ISO classification	Maximum concentration limits (particles/m ³ of air) for particles equal to and larger than the sizes shown below					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1,000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO Class 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class 7				352,000	83,200	2,930
ISO Class 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000

ที่มา: มาตรฐาน ISO 14644-1:2015

2.4.3 มาตรฐานเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศภายในห้องผ่าตัด

2.4.3.1 สถาบันสิ่งแวดล้อมของสิงคโปร์แนะนำระดับของแบคทีเรียและเชื้อราไม่ควรเกิน 500 CFU/m³ ซึ่งเป็นคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีของสถานที่ทำงาน Singapore Standard SS 554:2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings]

2.4.3.2 มาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในห้องผ่าตัดของ America Conference of Governmental Industrial Hygienists ค่าไม่ควรเกิน Total Bacteria count 35 CFU/m³ และ Total Fungi count 15 CFU/m³

2.5 ผลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ได้แก่

งานส่งเสริมคุณภาพมาตรฐาน กลุ่มส่งเสริมมาตรฐานวิศวกรรม กongsวิศวกรรม การแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข (2558) ได้ศึกษาปัญหากระบวนการปรับอากาศและ ระบายอากาศห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลศูนย์โรงพยาบาล ศึกษาปัญหาของห้องผ่าตัด และค้นหาสาเหตุของปัญหา แนวทางการปรับปรุง ให้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยใช้เครื่องมือในการตรวจวัดจากจำนวนห้องผ่าตัดทั้งหมด 63 ห้อง โดยพบปัญหาด้านคุณภาพอากาศ ดังนี้ ความดันห้อง (Pressure Room) คิดเป็นร้อยละ 70 ปริมาณอนุภาค (Particle) คิดเป็นร้อยละ 49 ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) คิดเป็นร้อยละ 30 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คิดเป็นร้อยละ 30 ฝุ่น (Dust) คิดเป็นร้อยละ 27 อุณหภูมิ (Temperature) คิดเป็นร้อยละ โดยสามารถสรุปปัญหาในแต่ละหัวข้อได้ดังนี้ 1) ความดันห้อง (Pressure Room) พบว่าห้องผ่าตัดที่ทำการศึกษา ความดันห้องจะน้อยกว่า 2.5 Pa. มีอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Total Air Change) น้อยกว่า 25 ACH 2) ปริมาณอนุภาค และปริมาณฝุ่น โดยห้องที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของประสิทธิภาพการกรองอากาศของ HEPA Filter ที่ขาดการบำรุงรักษาและจุดที่เป็นปัญหามากและควรตรวจสอบนอกจากประสิทธิภาพ คือ วิธีการติดตั้งแผงกรองอากาศ ส่งผลให้มีอากาศไหลผ่านช่องรั่วระหว่างแผงอากาศหรือรอบๆแผงกรองอากาศโดยไม่ผ่านการกรอง ยังรวมถึงปัญหาของอัตราการหมุนเวียนอากาศน้อยกว่า 25 ACH 3) อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ปัญหาที่พบจะเป็นเรื่องของความชื้นสัมพัทธ์สูง ซึ่งจะส่งผลให้เชื้อแบคทีเรียในอากาศเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อีกปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือ การเลือกใช้คอยล์ ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศไม่เหมาะสม

รชนิกร วีระเจริญ ฌัฐพงศ์ แผละหมั่น และ ชยาพล จงเจริญ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2563) ได้ศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด เพื่อประเมินสภาวะทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่อาจได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมผลการศึกษาพบว่าคุณภาพ

อากาศภายในห้องผ่าตัดทั้ง 2 แห่ง ส่วนใหญ่ไม่เกินค่าแนะนำ ยกเว้นห้องผ่าตัดโรงพยาบาลที่ 1 มี 4 จุดตรวจวัดที่ไม่ผ่านค่าแนะนำ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 โรงพยาบาล จากการแบบสอบถามอาการพบว่า ผู้ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลที่ 1 มีอาการระคายเคืองทั้งทางจมูกและตา สอดคล้องกับผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก PM10 แบบที่เรียกรวมที่มีค่าสูง ผลการตรวจประเมินคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลแยกเป็นด้านๆตามพารามิเตอร์ ดังนี้ 1) พารามิเตอร์ทางด้านสภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort parameters) ส่วนใหญ่ไม่เกินค่ามาตรฐาน อุณหภูมิที่แนะนำค่าเพื่อควบคุมการติดเชื้อในห้องผ่าตัด พบว่าทุกจุดตรวจวัดของทั้ง 2 โรงพยาบาลผ่านเกณฑ์แนะนำ 2) พารามิเตอร์ทางด้านเคมี (Chemical parameters) ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารเทียบกับมาตรฐาน SS554 ของ SPRINGSINGAPORE (The Standards, Productivity and Innovation Board) Ministry of Trade and Industry, Singapore พบว่า การตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซโอโซนและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมภายในอาคารของห้องผ่าตัด โรงพยาบาลทั้ง 2 โรงพยาบาลทุกจุดมีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ฝุ่นละออง (Respirable suspended particles) การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 และ PM 2.5 ยังไม่มีค่าแนะนำสำหรับห้องผ่าตัด เมื่อเทียบกับมาตรฐาน SS554 ของ SPRING SINGAPORE ประเทศสิงคโปร์ พบว่าภายในอาคารของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลที่ 1 มี 4 จุดที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 3) พารามิเตอร์ทางด้านจุลชีพ (Biological parameters) ผลการตรวจวัดแบคทีเรียรวมและเชื้อราภายในห้องผ่าตัดยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าแบคทีเรียรวมมีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่ 4 จุดและจุดที่มากที่สุดมีค่าสูงถึง 1418 CFU/m³ ผลการประเมินอาการเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ผู้ให้สัมภาษณ์แบบสอบถามทั้งหมด 19 คน เป็นผู้ปฏิบัติงานแผนกห้องผ่าตัดจำนวน 14 คน และแผนกวิสัญญี 5 คน จากผลการสอบถามอาการยังไม่พบว่ามีผู้ปฏิบัติงานรายใดที่มีอาการของการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ส่วนใหญ่เป็นอาการระคายเคือง ในผู้ปฏิบัติงานกลุ่มนี้ยังไม่มีอาการที่ยังสงสัยการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร (Building-related illness)

สาริต นฤภัย กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ (2562) ได้ศึกษาและออกแบบระบบสร้างความดันบวกดันทุนต่ำ เพื่อลดการติดเชื้อในห้องผ่าตัดขนาดเล็กที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติ (Action Research) โดยการออกแบบและปรับปรุงห้องผ่าตัดเดิมของโรงพยาบาลชุมชนขนาดเล็กให้มีมาตรฐานเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าสภาพปัญหาของห้องผ่าตัด ที่ในปัจจุบันไม่ได้ใช้งาน แต่เหตุผลที่ผู้วิจัยได้ศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ห้องผ่าตัดไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ความดันภายในห้องเป็นความดันลบ ฝุ่นละอองและปริมาณอนุภาคสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน และมีอากาศเสียตกค้าง

ภายในห้องจำนวนมาก ปัจจัยสำคัญของห้องผ่าตัดเพื่อให้มีความดันภายในห้องเป็นบวก มีอัตราการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสม ลดปริมาณฝุ่นและปริมาณอนุภาค เช่น การปรับปรุงโครงสร้างภายในห้องให้เรียบที่สุดไม่ให้มีมุมหรือเหลี่ยม ปรับปรุงประตูของห้องผ่าตัดไม่ให้มีรอยรั่ว ปรับปรุงฝ้าเพดานให้เป็นแบบฉาบเรียบ ติดตั้งระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ป้อนเข้าไปยังคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศโดยตรงเพื่อลดอุณหภูมิและลดความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดใหญ่เพื่อเหมาะสมกับระบบเติมอากาศและพัดลมระบายอากาศ ผลการศึกษาวิจัยและออกแบบปรับปรุงห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลป่าแดด จังหวัดเชียงราย ปรับปรุงจนเสร็จเรียบร้อยตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ และมีผลการวัดค่าคุณภาพอากาศใหม่หลังปรับปรุงเสร็จเป็นไปตามวัตถุประสงค์ตามหลักการที่ได้กำหนดไว้ สรุปสิ่งที่โรงพยาบาลชุมชนขนาดเล็กต้องดำเนินการ ดังนี้ 1) ปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของภายในห้องผ่าตัดไม่ให้มีจุดอับหรือขอบลึก 2) รื้อตู้เก็บเครื่องมือและวัสดุทางการแพทย์ ทำให้เป็นผนังห้องเรียบเพื่อลดการสะสมของฝุ่นละออง และเชื้อโรค 3) ปรับปรุงประตูเข้าออกห้องผ่าตัดให้มีช่องว่างหรือรอยรั่วน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้อากาศภายในห้องไหลออกไปข้างนอกขณะทำเปิดระบบเพิ่มความดันบวก 4) ปรับปรุงเพดานของห้องให้เป็นชนิดฉาบเรียบเพื่อลดรอยรั่วของอากาศเข้าออกจากภายในห้องจากฝ้าเพดาน 5) ขนาดของเครื่องปรับอากาศต้องไม่น้อยกว่า 35,000 BTU หากเล็กกว่าให้เปลี่ยนใหม่ 6) ติดตั้งชุดเติมอากาศบริสุทธิ์ที่มีระบบกรองแบบ HAPA Filter มีแรงอัดไม่น้อยกว่า 3,000 CMH ผลจากการออกแบบและทำการปรับปรุงความดันภายในห้อง (Pa) จากเดิม -4.5 เป็น +5.8 , ค่าอัตราการไหลเวียนของอากาศจากไม่มีเป็น 15 ACH อุณหภูมิ จากเดิม 27°C-31°C เป็น 23°C-27°C ความชื้นสัมพัทธ์ จากเดิม 71 %RH ลดลงเป็น 61 %RH ปริมาณฝุ่นและปริมาณอนุภาคลดลง CO₂ จาก 1,241 ppm. ลดลงเหลือเพียง 300 ppm.ซึ่งโดยภาพรวมห้องผ่าตัดที่ได้ทำการปรับปรุงมีค่าต่างๆอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและเป็นไปตามวัตถุประสงค์

พรชรัฐ สายยุทธ์ (2562) ได้ศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารของโรงพยาบาล ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์กับคุณภาพอากาศในอาคาร ใช้การวิจัยศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) กลุ่มตัวอย่างคือ หอผู้ป่วยนอก หอผู้ป่วยใน ห้องอุบัติเหตุฉุกเฉิน คลินิกวันโรค และห้องทำงานของโรงพยาบาลนครพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยเครื่องมือ Single Stage Impactor และ Indoor Air Quality Monitor วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ผลการศึกษพบว่า ปริมาณแบคทีเรียสูงที่สุด คือ ห้องอุบัติเหตุฉุกเฉิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 614.69 CFU/m³ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตาม Guide lines for Good Indoor Air Quality in Office Premises (1996) ตำแหน่งที่พบปริมาณแบคทีเรียสูงสุดคือ ตำแหน่ง

ช่องทางอากาศ ส่วนคุณภาพอากาศในอาคาร ปริมาณแบคทีเรียมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศแบบแปรผกผันในระดับต่ำ ($r = -0.291$, $p\text{-value} < 0.05$) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์แบบแปรตามกันกับปริมาณแบคทีเรียในระดับปานกลาง ($r = 0.353$, $p\text{-value} < 0.05$) ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรียที่พบแบบแปรตามกันในระดับต่ำ $r = 0.178$ และ 0.155 , $p\text{-value} < 0.05$ ตามลำดับ ปริมาณเชื้อรามีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์แบบแปรตามกันในระดับปานกลาง ($r = 0.465$, $p\text{-value} < 0.05$) ส่วนคุณภาพอากาศในพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อราที่พบในระดับต่ำแต่ในรูปแบบแปรผกผันกัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเท่ากับ $r = -0.234$, -0.195 , และ -0.107 , $p\text{-value} < 0.05$ ตามลำดับจากการศึกษาพบว่าปริมาณเชื้อราและแบคทีเรียมีปริมาณเกินมาตรฐานในหลายจุดควรมีปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยเฉพาะเรื่องของคุณภาพอากาศในอาคารโดยมีการกำกับ ดูแลเรื่องความสะอาดภายในอาคาร ระบบระบายอากาศ มีการตรวจฝ้าระวังปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และคุณภาพอากาศในอาคารของโรงพยาบาลเป็นระยะควบคู่กับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อโรคในโรงพยาบาลต่อไป

นภัฐมณ มโนรัตน์ และ นันทกา สิ้นธุพันธ์สกุล (2562) ได้ศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหย และเชื้อจุลินทรีย์ (แบคทีเรียและเชื้อรา) ในโรงพยาบาลร้อยเอ็ด วิจัยศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) 38 จุดตัวอย่าง ตามพื้นที่เสี่ยง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในบริเวณตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.00 ± 2.37 °C ว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 55.43 ± 6.52 ความเร็วลมมีค่ามัธยฐานที่ 3 m/s (≤ 0.25 m/s) คาร์บอนไดออกไซด์มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 429 ppm (≤ 1000 ppm) สารอินทรีย์ระเหยมีค่าเฉลี่ย 0.63 ± 0.67 ppm (≤ 3 ppm) ผลการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ พบเชื้อแบคทีเรียมีปริมาณตั้งแต่ 30 ถึง 1024 CFU/m³ ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 136 CFU/m³ (≤ 500 CFU/m³) และปริมาณเชื้อราพบว่ามีปริมาณตั้งแต่ 30 ถึง 640 CFU/m³ ค่ามัธยฐานเชื้อราอยู่ที่ 210 CFU/m³ (≤ 500 CFU/m³) เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศพบว่า มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยอยู่ในค่ามาตรฐาน ร้อยละ 13.15, 76.32, 39.47, 97.37 และ 100 ตามลำดับ และมีพื้นที่ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย และเชื้อราอยู่ในค่ามาตรฐาน ร้อยละ 81.58 และ 89.47 ตามลำดับ พบว่าพื้นที่ที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน บ่งบอกว่าระบบระบายอากาศและคุณภาพอากาศยังไม่เหมาะสม จึงควรได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องตามหลักการระบายอากาศ การศึกษานี้พบว่าคุณภาพอากาศมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำในหลายจุด ซึ่งแม้ว่าจะไม่ได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอันตราย แต่อาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยและผู้ใช้อาคารทั้ง

ด้านความเสี่ยงต่อการเกิดโรค แพร่กระจายเชื้อ และภาวะความสบายในการใช้อาคาร จึงควรวหาวิธีแก้ไขตรวจสอบและปรับปรุงระบบระบายอากาศ โดยพิจารณาความคุ้มค่า การออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญคำนวณทิศทางลม ความดันภายในห้อง การระบายอากาศให้เหมาะสมตามมาตรฐาน ลดพื้นที่ที่มีอากาศนิ่งและไม่หมุนเวียน

กิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) ได้ศึกษาในแบบการวิจัยเชิงทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change rate per Hour, ACH) และอายุของอากาศ (Age of Air, AGE) ก่อนและหลังการติดตั้งระบบกลระบายอากาศของผังหอผู้ป่วยรวมมาตรฐานแต่ละประเภท การวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) การสำรวจผังอาคารหอผู้ป่วยรวมเพื่อกำหนดเป็นผังอาคารมาตรฐาน พบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก และผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (2) การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) ชื่อ PHOENICS FLAIR พบว่า ในเวลากลางวันมีค่า ACH AGE และความเร็วลมสูงกว่าเวลากลางคืน (3) การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางต่อการไหลของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม พบว่าเมื่อสิ่งกีดขวางมีความยาวเพิ่มขึ้น ค่า ACH และความเร็วลม มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า AGE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเกินกว่าค่าอายุของอากาศมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 600 วินาที อยู่ที่ 2257.2 วินาที โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางซึ่งมีอากาศไหลวนและมีความเร็วลมต่ำ (4) การจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศ ด้วยระบบกลระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัด และระบบท่ออากาศ พบว่าค่า ACH เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศจากเดิม 9.24 -20.33 เพิ่มขึ้นเป็น 16.12 – 36.49 มีความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.13 เมตร/วินาที เป็น 0.30-0.36 เมตร/วินาที เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศแบบพัดลม จะมีค่าอายุของอากาศสูงสุดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการไหลวนของอากาศในพื้นที่ที่ไม่ใช่ตำแหน่งเตียงเพิ่มขึ้น และผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบท่ออากาศยังมีพื้นที่ทางเดินหลักมีอายุของอากาศเกินมาตรฐาน จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้

ปานทิพย์ ธิโนชัย มนทิตรา เตี้ยเล็ก และ จิรา คงปราง (2561) ได้ทำการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงพรรณนากาศัดขวางเพื่อประเมินคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลชุมชนขนาด 120 เตียงในพื้นที่ 5 แผนก โดยตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารทางชีวภาพและภาวะสบายเชิงความร้อน ผลการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียรวมและเชื้อราวมซึ่งใช้วิธีเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยโดยการดักเก็บด้วยเพลทเก็บตัวอย่าง จำนวน 78 ตัวอย่าง มีค่าระหว่าง 3-411 CFU/m³ และ 0-289 CFU/m³

ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่าแนะนำที่ยอมรับได้ตามที่กำหนดใน (ร่าง) ประกาศกรมอนามัย และประเทศสิงคโปร์ (กำหนดไว้ไม่เกิน 500 CFU/m³) ทุกครั้งที่ตรวจวัด ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียรวมและเชื้อรารวมตรวจพบสูงสุดในแผนกผู้ป่วยนอก (239 CFU/m³ และ 111 CFU/m³ ตามลำดับ) รองลงมา เป็นแผนกห้องคลอด แผนกอุบัติเหตุฉุกเฉิน แผนกอายุรกรรมชาย และแผนกทันตกรรมทั่วไป ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนคน (ผู้ป่วย ญาติ และเจ้าหน้าที่) ที่อยู่ในแผนกระหว่างการตรวจวัด สำหรับภาวะสบายเชิงความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ มีค่าระหว่าง 21.9 – 30.6 องศาเซลเซียส 63.2 - 80.7% และ 0.02-0.51 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามค่าแนะนำ(ร่าง) ประกาศกรมอนามัยเท่ากับร้อยละ 70.5 ร้อยละ 93.6 และร้อยละ 56.4 ของผลการตรวจวัดทั้งหมด ตามลำดับ โดยสาเหตุเกิดจากการออกแบบระบบระบายอากาศและปรับอากาศของอาคารไม่เหมาะสมต่อภาวะสบายเชิงความร้อนที่อาจส่งผลให้ผู้ที่ใช้บริการอาคารรู้สึกไม่สบาย อึดอัด และร้อนอบอ้าว ซึ่งควรได้รับการปรับปรุงโดยเฉพาะในแผนกอายุรกรรมชาย

จิรายุ บุญตัน (2554) ได้ทำการศึกษาห้องตรวจรักษาพยาบาลในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศของโรงพยาบาล เป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงในการกระจายเชื้อโรคทางอากาศ หากแต่การออกแบบห้องตรวจรักษาในปัจจุบัน ที่ไม่ได้มีการคำนึงถึงการระบายอากาศที่จะส่งเสริมการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ วัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการระบายอากาศของห้องตรวจรักษาในปัจจุบัน และวิเคราะห์รูปแบบการระบายอากาศของห้องตรวจรักษาตัวอย่างขนาด 3 x 4 x 3 เมตร เน้นที่ปัจจัยตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า ตำแหน่งช่องปล่อยลมออก อัตราการถ่ายเทอากาศภายใน และลักษณะการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ ที่ส่งผลต่อลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องและการระบายเชื้อโรคออกจากพื้นที่ โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2011 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประเมินความผันผวนของอากาศจากรอบการหมุนของอากาศแบบไหลวน จากผลการวิจัยพบว่ารูปแบบของห้องที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีความผันผวนน้อยที่สุดและมีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อน้อยที่สุด ได้แก่ห้องตรวจรักษาที่ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบริเวณกึ่งกลางเพดานของห้องซึ่งมีอัตราการถ่ายเทอากาศเท่ากับ 12 ACH (ความเร็วลม ณ ช่องปล่อยลมเข้า 0.6 เมตรต่อวินาที) และติดตั้งช่องปล่อยลมออกขนาด 10 นิ้ว ในบริเวณผนังด้านที่อยู่ใกล้กับผู้ป่วยมากที่สุด จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศที่ดี ผู้ออกแบบควรกำหนดให้ช่องปล่อยลมออกอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับผู้ป่วยมากที่สุด และควรกำหนดให้อัตราความเร็วลม ณ ช่องปล่อยลมเข้าอยู่ในระดับต่ำเพื่อลดความผันผวนของอากาศ และเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศในห้องตรวจรักษามากขึ้น

งานวิจัยชิ้นนี้เสนอให้มีการศึกษาเพิ่มเติมในปัจจัยที่อาจส่งผลต่อลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องตรวจรักษา โดยเฉพาะปัจจัยด้านขนาดของช่องปล่อยลมเข้า ลักษณะการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ และแนวทางการติดตั้ง ระบบระบายอากาศในสถานที่จริง

ตารางที่ 2.8 สรุปการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง(ปี)	ชื่องานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลการศึกษา/วิจัย
สาธิต นฤภัย กองวิศวกรรมการแพทย์ กรม สนับสนุนบริการสุขภาพ (ปี 2562)	การออกแบบระบบสร้างความดันบวก ต้นทุนต่ำเพื่อลดการติดเชื้อในห้อง ผ่าตัดขนาดเล็กที่ใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วน	วิจัยเชิงปฏิบัติ (Action Research) เป็นการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะ หน้าหรือการวิจัยที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงาน และปรับปรุงงาน ให้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพ โดยศึกษาและตรวจวัดคุณภาพอากาศและการ หมุนเวียนอากาศของห้องผ่าตัด	จากผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศ มีการปรับปรุง โครงสร้างทาง กายภาพและการติดตั้งอุปกรณ์ โดยใช้หลักการออกแบบการเติม อากาศสะอาดเข้าไปในห้องผ่าตัดตรงช่องดูดอากาศเข้าชุดคอยล์เย็นเพื่อ ลดอุณหภูมิและการระบายอากาศให้มีการหมุนเวียน
รชนีกร วีระเจริญ ณิชูพงศ์ แหะหมั่น ชยาพล จงเจริญ กรมควบคุมโรค กระทรวง สาธารณสุข (ปี 2563)	คุณภาพอากาศและผลกระทบต่อ สุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัด ของสถานพยาบาลสองแห่ง	ศึกษาเชิงพรรณนากาศดัดขวาง ในโรงพยาบาล 2 แห่ง ในภาคใต้และภาค กลาง สํารวจและการตรวจประเมินสภาพ แวดล้อมในห้องผ่าตัดตามแนวทางการตรวจวัดตาม มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร ด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพ อากาศภายในอาคารแบบอ่านค่าโดยตรง (IAQ Monitoring)	จากผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศ นำมาอ้างอิงในการบริหาร จัดการความเสี่ยงการปนเปื้อนคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ค่าขึ้น ต่ำในการจัดระบบปรับและระบายอากาศเพื่อการดูแลสุขภาพ ผู้รับบริการและผู้ปฏิบัติงาน ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในห้องผ่าตัดมีผล ต่อการติดเชื้อหลังการผ่าตัด
กลุ่มส่งเสริมมาตรฐาน วิศวกรรม กองวิศวกรรมการแพทย์ กรม สนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข (ปี 2557)	ปัญหาระบบปรับอากาศและระบาย อากาศห้องผ่าตัด โรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป ใน 8 จังหวัดภาคกลาง ประจำปี 2557	สำรวจรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภายในห้องผ่าตัด ทำการ ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ได้แก่ การวัดอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, อัตราการไหล ของอากาศ หรือการเก็บตัวอย่างอนุภาคภายในห้องผ่าตัด ประเมินคุณภาพของอากาศของห้องผ่าตัด ประกอบด้วย การนำผลการ ตรวจวัดคุณภาพอากาศไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	จากผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศ ปัญหาของห้องผ่าตัดที่ไม่ได้ ตามมาตรฐานหรือตามข้อเสนอแนะ จากจำนวนห้องผ่าตัดทั้งหมด 63 ห้อง พบว่าปัญหาเรื่องของความดันห้อง (Pressure Room) ปริมาณอนุภาค, ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) เสนอแนะให้มีการ ปรับปรุงแก้ไขให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

ผู้แต่ง(ปี)	ชื่องานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลการศึกษา/วิจัย
พรชรัฐ สายยุทธ์ (ปี 2562)	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารของโรงพยาบาล : กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่	การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) กลุ่มตัวอย่างคือ หอผู้ป่วยนอก หอผู้ป่วยใน ห้องอุบัติเหตุฉุกเฉิน คลินิกวันโรค และห้องทำงานของโรงพยาบาลนครพิงค์ ด้วยเครื่องมือ Single Stage Impactor และ Indoor Air Quality Monitor วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ ความสัมพันธ์เพียร์สัน	จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแบคทีเรียสูงสุดที่เรียกคือ ห้องอุบัติเหตุฉุกเฉิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 614.69 CFU/m ³ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตำแหน่งที่พบปริมาณแบคทีเรียสูงสุดคือ ตำแหน่งช่องทางอากาศ ส่วนคุณภาพอากาศในอาคาร ปริมาณแบคทีเรียมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศแบบแปรผกผันในระดับต่ำ
นภัฐมณ มโนรัตน์ นันทกา สิ้นธุพันธ์สกุล (ปี 2562)	การศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนและคุณภาพอากาศในอาคารในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ	ศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) ได้ศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหย และเชื้อจุลินทรีย์ (แบคทีเรียและเชื้อรา) ในโรงพยาบาลร้อยเอ็ด 38 จุดตัวอย่าง ตามพื้นที่เสี่ยง	การศึกษานี้พบว่าคุณภาพอากาศมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำในหลายจุด ซึ่งแม้ว่าจะไม่ได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอันตราย แต่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยและผู้ใช้อาคารทั้งด้านความเสี่ยงต่อการเกิดโรคแพร่กระจายเชื้อ และภาวะความสบายในการใช้อาคาร จึงควรหาวิธีแก้ไขตรวจสอบและปรับปรุงระบบระบายอากาศ ออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญคำนวณทิศทางลม การระบายอากาศเหมาะสม
กิตติคุณ ยกทรัพย์ (ปี 2558)	การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล	ศึกษาในแบบการวิจัยเชิงทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change rate per Hour, ACH) และอายุของอากาศ (Age of Air, AGE) ก่อนและหลังการติดตั้งระบบการระบายอากาศของห้องผู้ป่วยรวมมาตรฐานแต่ละประเภท	จากผลการจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบการระบายอากาศ ด้วยระบบการระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัด และระบบท่ออากาศ พบว่าค่า ACH เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งระบบการระบายอากาศจากเดิม 9.24 -20.33 เพิ่มขึ้นเป็น 16.12 – 36.49 มีความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.13 เมตร/วินาที เป็น 0.30-0.36 เมตร/วินาที เมื่อติดตั้งระบบการระบายอากาศแบบพัดลม

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

ผู้แต่ง(ปี)	ชื่องานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลการศึกษา/วิจัย
<p>ปานทิพย์ ธิโนชัย มนทิรา เตี้ยเล็ก จิรา คงปราง (ปี 2561)</p>	<p>คุณภาพอากาศภายในอาคาร โรงพยาบาล: กรณีศึกษา โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งใน จังหวัดนครศรีธรรมราช</p>	<p>ได้ทำการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงพรรณนาภาคตัดขวางเพื่อประเมิน คุณภาพอากาศในอาคาร โรงพยาบาลชุมชนขนาด 120 เตียง ในพื้นที่ 5 แผนก โดยตรวจวัดมลภาวะอากาศภายในอาคารทางชีวภาพและ ภาวะสบายเชิงความร้อน ผลการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียรวมและ เชื้อราวมซึ่งใช้วิธีเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยโดยการดักเก็บด้วย เพลทเก็บตัวอย่าง จำนวน 78 ตัวอย่าง</p>	<p>ผลการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียรวมและเชื้อราวมซึ่งใช้วิธี เก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยโดยการเก็บตัวอย่าง จำนวน 78 ตัวอย่าง มีค่าระหว่าง 3-411 CFU/m3 และ 0-289 CFU/m3 ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่าแนะนำที่ยอมรับได้ตามที่กำหนดใน ทุกครั้งที่ตรวจวัด ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียรวมและเชื้อราวม ตรวจพบสูงสุดในแผนกผู้ป่วยนอก</p>
<p>จิรายุ บุญตัน (ปี 2554)</p>	<p>การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรค ทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศ ในห้องตรวจรักษาโรค</p>	<p>ศึกษาโดยวิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Solid Works Flow Simulation 2011 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประเมินความ ผันผวนของอากาศ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ของห้องตรวจรักษาในปัจจุบัน และวิเคราะห์รูปแบบการระบาย อากาศของห้องตรวจรักษาตัวอย่างขนาด 3 x 4 x 3 เมตร เน้นที่ ปัจจัยตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า ตำแหน่งช่องปล่อยลมออก อัตรา การถ่ายเทอากาศภายใน</p>	<p>ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบของห้องที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของ อากาศที่มีความผันผวนน้อยที่สุดและมีความเสี่ยงต่อการ แพร่กระจายเชื่อน้อยที่สุดได้แก่ห้องตรวจรักษาที่ติดตั้งช่อง ปล่อยลมเข้าบริเวณกึ่งกลางเพดานของห้องซึ่งมีอัตราการถ่ายเท อากาศเท่ากับ 12 ACH ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการควบคุมการ แพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศที่ดี ผู้ออกแบบควรกำหนดให้ช่องปล่อยลมออกอยู่ในตำแหน่งที่ ใกล้กับผู้ป่วยมากที่สุด</p>

2.5.1 สรุปผลจากการทบทวนวรรณกรรม

จากตารางที่ 2.8 สรุปผลจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยส่วนใหญ่การศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล และ ห้องผ่าตัดพบว่าจะเลือกใช้วิธีการศึกษาแบบ เชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) ที่มุ่งเน้นเรื่องของการลงมือในการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ สถานที่ที่ทำการศึกษา โดยค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล หรือ ผ่าตัด จะมุ่งเน้นเรื่องของการศึกษาผลที่ได้จากการตรวจวัดค่าอนุภาคอากาศ ค่าอุณหภูมิ ความชื้น การหมุนเวียนและระบายอากาศ และมีการเปรียบเทียบผลเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ (แบคทีเรียและเชื้อรา) และจะอ้างอิงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล หรือ ห้องผ่าตัด เช่น มาตรฐานการปรับอากาศและหมุนเวียนในสถานพยาบาลของสมาคมวิศวกรระบบทำความร้อนและปรับอากาศสหรัฐอเมริกา American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers หรือ ASHRAE 170 มาตรฐาน SS554 ของ SPRINGSINGAPORE (The Standards, Productivity and Innovation Board) Ministry of Trade and Industry, Singapore และ มาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในห้องผ่าตัดของ America Conference of Governmental Industrial Hygienists โดยยังพบว่าบางงานวิจัยมีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Solid Works Flow Simulation 2011 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประเมินความผันผวนของอากาศ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการระบายอากาศ และมีการจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) เพื่อศึกษาการหมุนเวียนและการระบายอากาศ อีกด้วย ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม ผู้ทำการศึกษาก็สามารถเลือกวิธีการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ที่เหมาะสมต่อไปได้

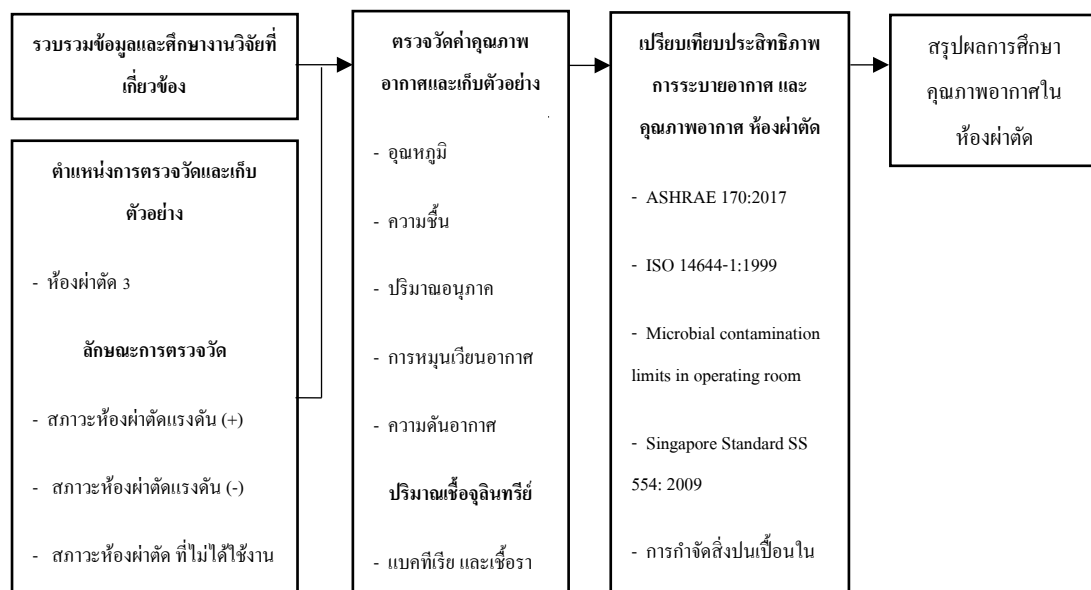
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ศึกษาผลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ เพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อเจ้าหน้าที่และผู้ป่วยที่ใช้งานภายในห้องผ่าตัด ป้องกันการติดเชื้อและเป็นไปตามเกณฑ์ที่ยอมรับ

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Analytical study) เพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์ในห้องผ่าตัด เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือ Air Sampling MAS 100 และตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดโดยใช้เครื่องวัดคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัด (Indoor Air Quality: IAQ)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย จะเริ่มดำเนินการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับห้องผ่าตัดที่จะทำการศึกษาคูณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ลักษณะทางกายภาพ ข้อมูลประกอบภายในห้องผ่าตัด ระบบปรับอากาศและระบยอากาศภายในห้องผ่าตัด ลักษณะการกรองอากาศ รวมถึงข้อกำหนดเบื้องต้นและรายละเอียดของผู้ออกแบบห้องผ่าตัดที่จะทำการศึกษา จากนั้นทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคูณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลและห้องผ่าตัด นำสู่การพิจารณารูปแบบของระเบียบวิธีวิจัย ที่เหมาะสมกับสถานการณ์และช่วงเวลาในการศึกษาดังกล่าว เมื่อทำการศึกษาได้ข้อมูลที่เหมาะสมแล้วก็ทำการกำหนดสภาวะหรือลักษณะของการศึกษาคูณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ทั้งก่อนการใช้งานห้องผ่าตัด สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันบวก สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันลบ โดยทำการตรวจวัดคูณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณอนุภาค อัตราการหมุนเวียนอากาศความดันอากาศ และ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ได้แก่ แบคทีเรีย และเชื้อรา อย่างละ 2 ตัวอย่างทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดค่าคูณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดกับข้อกำหนดหรือเกณฑ์ที่อ้างอิง ASHRAE 170:2017, ISO 14644-1:1999 Microbial contamination limits in operating room Singapore Standard SS 554: 2009 และ การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ จากนั้นทำการสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะจากการศึกษาในครั้งนี้ต่อไป

3.2 ประชากรและตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร

ประชากรในการศึกษารั้งนี้ คือ ห้องผ่าตัด 3 ของแผนกห้องผ่าตัด ภายในโรงพยาบาลนครชน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.2.2 ตัวอย่าง

ตัวอย่างอากาศ การคัดเลือกจุดเก็บตัวอย่างตัวอย่างในห้องผ่าตัด ภายในโรงพยาบาลนครชน จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยการศึกษาครั้งนี้ เลือกห้องผ่าตัดที่มีการใช้งานกับผู้ป่วยหรือผู้เข้ามารับบริการผ่าตัดในโรงพยาบาล ดังนี้ คัดเลือกจุดเก็บตัวอย่างนั้นอ้างอิงจากข้อกำหนดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคูณภาพอากาศในห้องผ่าตัด โดยเน้นที่ภายในห้องผ่าตัด โดยทำการตรวจวัดตามสภาวะการใช้งาน Occupancy State ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At-rest ตรวจวัด โดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ภายในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดเครื่องปรับอากาศ ทั้งแบบห้องผ่าตัดแรงดันบวก และ แบบห้องผ่าตัดแรงดันลบ ได้ทำการเก็บตรวจวัดคูณภาพอากาศในส่วนของ ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณ

อนุภาค 8 จุด จุดละ 2 ครั้ง และทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Air Sampling MAS 100 เก็บ 1 จุด จุดละ 2 ครั้ง โดยมีการเก็บตัวอย่างอากาศที่บริเวณเตียงผ่าตัดภายในห้องผ่าตัด 3

3.3 สารเคมีที่ใช้

3.3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ Bacteria

Blood Agar (Oxoid Limited, England)

3.3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ Fungi

Sabouraud Dextrose Agar (SDA) (BLL Becton Dickinson, U.S.A.)

3.4 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ อาหารเลี้ยงเชื้อ Blood Agar ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรีย และอาหารเลี้ยงเชื้อ Sabouraud Dextrose Agar ใช้สำหรับเก็บเชื้อราซึ่งทั้งสองชนิดเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป ลักษณะเป็นผง (Dehydrated media) เมื่อหลังจากเปิดฝาแล้วควรปิดฝาให้แน่น เพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าไปทำให้เกิดความชื้นและทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อจับตัวกันเป็นก้อน เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง อายุการใช้งานเมื่อเปิดฝาแล้วควรใช้ให้หมดภายใน 6 เดือน โดยมีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

3.4.1.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย Blood Agar โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการตวง Blood Agar จำนวน 40 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ทำค่อยๆ ละลายอาหารเลี้ยงกับน้ำกลั่นนำไปตั้งบน Hot plate อุณหภูมิไฟในระดับ 45-60°C จนจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลาย ถ้าใช้ไฟสูงเกินไปจะทำให้กั้นภาชนะที่ใช้ในการต้มไหม้ จะทำให้อาหารเลี้ยงเกิดตะกอนได้ จากนั้น บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อในขวดอาหารเลี้ยง เพื่อเตรียมไปทำการสเตอริไรส์ โดยนำไปนึ่งในหม้อนึ่งอัดความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ไม่ควรปิดฝาขวดอาหารเลี้ยงเชื้อแน่นเกินไป ควรคลายเกลียวออกเล็กน้อย เนื่องจากขณะ การนึ่งอาจเกิดแรงดันทำให้ถ้าแน่นเกินไป อาจทำให้ขวดแตกได้ เมื่อครบกำหนดเวลานำอาหารเลี้ยงเชื้อออก รอให้เย็นสักพัก เตรียมเพลต ขนาด 15 mm x 90 mm ที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้วที่อุณหภูมิ 180°C นาน 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Hot air oven ทำการเทอาหารเลี้ยงเชื้อ รอให้เพลตเย็นเมื่อเพลตอาหารแข็งแล้วทำการ คว่ำเพลตลง เก็บใส่ถุงพลาสติกเตรียมเก็บตัวอย่างต่อไป โดยแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดนี้ ได้แก่ Bacillus spp., Staphylococcus spp., Acinetobacter spp., Steptcoccus spp., Diphtheroid spp., Micrococcus spp.

3.4.1.2 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Sabouraud Dextrose Agar (SDA) โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการตวง SDA จำนวน 65 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร ทาค่อยๆ ละลายอาหารเลี้ยงกับน้ำกลั่นนำไปตั้งบน Hot plate อุณหภูมิไฟในระดับ 45-60°C จนจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลาย ถ้าใช้ไฟสูงเกินไปจะทำให้กลิ่นภาชนะที่ใช้ในการต้มไหม้ จะทำให้อาหารเลี้ยงเกิดตะกอนได้ จากนั้น บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อในขวดอาหารเลี้ยง เพื่อเตรียมไปทำการสเตอริไรส์ โดยนำไปนึ่งในหม้อนึ่งอัดความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ไม่ควรปิดฝาขวดอาหารเลี้ยงเชื้อแน่นเกินไป ควรคลายเกลียวออกเล็กน้อย เนื่องจากขณะ การนึ่งอาจเกิดแรงดันทำให้ถ้าแน่นเกินไปอาจทำให้ขวดแตกได้ เมื่อครบกำหนดเวลาอาหารเลี้ยงเชื้อออก รอให้เย็นสักพัก เตรียมเพลตขนาด 15 mm x 90 mm ที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้วที่อุณหภูมิ 180°C นาน 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Hot air oven ทำการเทอาหารเลี้ยงเชื้อ รอให้เพลตเย็นเมื่อเพลตอาหารแข็งแล้วทำการ คว่ำเพลตลงเก็บใส่ถุงพลาสติก เตรียมเก็บตัวอย่างต่อไป โดยเชื้อราที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดนี้ ได้แก่ *Aspergillus spp.* และ *Fusarium spp.*

ทำการทดสอบการปราศจากการปนเปื้อนของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยการนำอาหารเลี้ยงเชื้อ 5% ของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมนำไปบ่ม ในสองส่วนคือ ที่อุณหภูมิห้อง คือ 34-37°C และอุณหภูมิในตู้บ่มเชื้อ คือ อุณหภูมิ 35°C นาน 24 ชั่วโมง ถ้าพบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นต้องทำการทิ้งอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมทั้งหมด

3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2.1 ทำการปรับตั้งค่าเครื่อง Air Sampling MAS 100

3.4.2.1.1 ทดสอบความเที่ยงตรง (calibration) ของอัตราการดูดอากาศก่อนการใช้งาน เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศต้องมีการทดสอบความเที่ยงของอัตราการดูดอากาศซึ่งเครื่อง Air Sampling MAS 100 นี้ได้ใช้อัตราการไหล 100 L/min โดยจะต่อบีบดูดอากาศเข้ากับ Rotameter และปรับอัตราการดูดอากาศของเครื่องให้ได้ 100 L/min โดยจะดูที่ตำแหน่งของลูกกลิ้งใน Rotameter โดยใช้วิธีการตรวจตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH 0800 (National Institute for Occupational Safety and Health) ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4.2.1.2 ใช้สาลิชูปด้วย 70% Ethanol เช็ดอุปกรณ์ทุกชิ้นของเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ จากนั้นปล่อยให้แห้งประมาณ 5 นาที

3.4.2.1.3 ประกอบเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ ตั้งบนขาตั้งสามขา ให้มีความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร จากระดับพื้นราบ ซึ่งถือว่าอยู่ระดับการหายใจ (Breathing zone)

3.4.2.1.4 ตรวจสอบเครื่องมือเก็บตัวอย่างและบีบดูดอากาศว่าไม่มีการอุดตัน

3.4.2.1.5 จัดทำ Field blank โดยการนำจานเลี้ยงเชื้อสำหรับจุลินทรีย์แต่ละชนิดวางในเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ โดยไม่ต้องปั๊มดูดอากาศเสร็จแล้วนำออกจากชั้นวางทันที พร้อมทั้งเขียนรายละเอียดบนฝาจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.4.2.2 การเตรียมเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคภายในห้องผ่าตัด (Particle Counter) ยี่ห้อ Aerosol

3.4.2.2.1 เปิดเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคภายในในห้องผ่าตัดทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เครื่องได้ทำการดูดอากาศเข้าเครื่องก่อนทำการตรวจวัดจริง

3.4.2.2.2 ตรวจสอบวัน/เวลาการสอบเทียบ (Calibration) ของเครื่องทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2.3 การเตรียมเครื่องมือตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้น ภายในห้องผ่าตัด (Thermo-hygyo-air quality meter) ยี่ห้อ Daiichi

3.4.2.3.1 เปิดเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ในห้องผ่าตัดทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เครื่องได้ทำการดูดอากาศเข้าเครื่องก่อนทำการตรวจวัดจริง

3.4.2.3.2 ตรวจสอบวัน/เวลาการสอบเทียบ (Calibration) ของเครื่องทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2.4 การเตรียมเครื่องมือตรวจสอบระบบระบายอากาศภายในห้องผ่าตัด (Modular Air Balancing Tool) ยี่ห้อ Testo

3.4.2.4.1 เปิดเครื่องมือตรวจวัดความเร็วลมในห้องผ่าตัดทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เครื่องได้ทำการดูดอากาศเข้าเครื่องก่อนทำการตรวจวัดจริง

3.4.2.4.2 ตรวจสอบวัน/เวลาการสอบเทียบ (Calibration) ของเครื่องทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2.5 การเตรียมเครื่องมือตรวจวัดความดันอากาศในห้องผ่าตัด (Digital Manometer) ยี่ห้อ Dwyer Model 477AV

3.4.2.5.1 เปิดเครื่องมือตรวจวัดความดันอากาศในห้องผ่าตัดทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เครื่องได้ทำการดูดอากาศเข้าเครื่องก่อนทำการตรวจวัดจริง

3.4.2.5.2 ตรวจสอบวัน/เวลาการสอบเทียบ (Calibration) ของเครื่องทุกครั้งก่อนเก็บตัวอย่างอากาศ

3.5 เครื่องมือ

3.5.1 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ ประกอบด้วย

3.5.1.1 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศหลักการกระแทกของอากาศชนิดขั้นเดียว (Single Stage) โดยใช้เครื่องมือ Air Sampling MAS 100 พร้อมเครื่องดูดอากาศที่สามารถดูดอากาศด้วยอัตราการไหล 100 ลิตรต่อนาที ด้านล่างจะเจาะรูให้อากาศและอนุภาคไหลผ่านไปได้จำนวน 400 รู โดยอนุภาคที่เข้าเครื่องมือมาพร้อมกับอากาศ เมื่ออากาศถูกดึงผ่านตัวเก็บตัวอย่างอากาศหลายชั้นจะพ่นอนุภาคในอากาศไปยังพื้นผิวของพื้นผิวสี่เหลี่ยมที่เก็บอนุภาคไว้ จากนั้นสี่เหลี่ยมข้อมูลของรูจะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์โดยอนุภาคที่เข้าเครื่องมือมาพร้อมกับอากาศเมื่อไหลผ่านรูจะตกกระทบลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่รองรับอยู่ข้างกระแสน้ำอากาศจะกระทบกับบริเวณผิวของจานเพาะเชื้อ Blood Agar สำหรับเชื้อแบคทีเรีย และ Sabouraud Dextrose Agar (SDA) สำหรับเชื้อรา



ภาพที่ 3.2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ Microbiological air sampler : MAS-100 NT®

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

3.5.1.2 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศ Discrete-Particle Counter (DPC) เป็น อุปกรณ์กระจายแสงที่สามารถแสดงค่าหรือบันทึกจำนวนและขนาดของอนุภาคในอากาศได้ สำหรับตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศในห้องผ่าตัด โดยปั๊มจะดูดอากาศเพื่อเก็บตัวอย่างเข้ามาในเครื่อง และผ่าน Sensors และวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคในอากาศ แสดงผลผ่านหน้าจอและเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่องแบบ Real-Time พารามิเตอร์ที่ต้องการตรวจวัด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ และเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศห้องสะอาดตามข้อกำหนดของ ISO 14644-1: 2015



ภาพที่ 3.3 เครื่องตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศ Discrete-particle counter

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

3.5.1.3 เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ Modular Air Balancing Tool เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลมผ่านช่องจ่ายลมของระบบปรับอากาศและระบายอากาศ สำหรับตรวจวัดปริมาณลมเพื่อนำไปคำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) โดยคิดปริมาณการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่ต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าแนะนำตามประเภทของพื้นที่การทำงาน ซึ่งในห้องผ่าตัดแนะนำให้ม้ออัตราการหมุนเวียนอากาศต่อชั่วโมงมากกว่า 20 หมายถึง ในเวลา 1 ชั่วโมงจะมีอากาศถูกเติมเข้าหรือคูดออกจากห้องเท่ากับ 20 เท่าของปริมาตรห้องดังกล่าวและเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดของ ASHRAE Standard (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)



ภาพที่ 3.4 เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool)

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

3.5.1.4 เครื่องมือตรวจวัดความดันอากาศภายในห้องผ่าตัด (Digital Manometer) ใช้สำหรับตรวจสอบทิศทางการไหลของอากาศ (Directional Airflow) เพื่อทดสอบระบบ Positive-

Negative Pressure และ Differential Pressure ของห้อง สำหรับห้องผ่าตัดจัดเป็นห้องหรือบริเวณที่อากาศมีการปนเปื้อนน้อย ห้องผ่าตัดต้องมีแรงดันอากาศภายในห้องสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง (Positive Pressure) เพื่อให้มีอากาศไหลออกจากห้องตลอดเวลา ป้องกันไม่ให้อากาศสกปรกจากภายนอกห้องรั่วไหลเข้าสู่ภายในห้อง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูงขึ้น เทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดของ ASHRAE Standard (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)



ภาพที่ 3.5 เครื่องตรวจวัดความดันอากาศภายในห้อง (Digital Manometer)

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

3.5.1.5 เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ภายในห้องผ่าตัด ใช้สำหรับตรวจค่าอุณหภูมิ ความชื้น ภายในห้องผ่าตัด อ่านค่าแบบ Direct Reading โดยจะทำการเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดของ ASHRAE Standard (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)



ภาพที่ 3.6 เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น (Thermo-hygyo-air quality meter)

ที่มา: คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล กรมควบคุมโรค

3.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.5.2.1 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.5.2.2 หม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave)

3.5.2.3 เตาอบร้อน (Hot-air Sterilizing Oven)

3.5.2.4 เครื่องชั่งอย่างละเอียด (Analytical balance)

3.5.2.5 ตู้เย็น

3.5.2.6 กล้องจุลทรรศน์

3.5.2.7 แอลกอฮอล์ 70% สำหรับเช็ดทำความสะอาด

3.5.2.8 ถังมือยาง

3.5.2.9 หน้ากากอนามัย

3.5.2.10 พาราฟิล์ม (Parafilm) สำหรับปิดปากจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.5.2.11 ไอซ์แพค (Ice pack) สำหรับเก็บตัวอย่างในระหว่างการขนส่ง

3.5.3 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.5.3.1 Blood Agar ใช้ในการวิเคราะห์หา Bacteria

3.5.3.2 Sabouraud Dextrose Agar (SDA) ใช้ในการวิเคราะห์เชื้อรา

3.5.4 แบบบันทึกการเก็บข้อมูล

ใช้เพื่อเก็บข้อมูลทั่วไปของสถานที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์และตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร เพื่อศึกษาปัจจัย ได้แก่ เวลาที่ทำการตรวจวัด จำนวนผู้เข้ารับบริการต่อวัน ขนาดของโรงพยาบาล จำนวนเตียงผ่าตัดของโรงพยาบาล ลักษณะการทำงานของห้องผ่าตัด การสัมผัสกับผู้ป่วยประเภทการระบายอากาศ ชนิดการระบายอากาศ ทางเข้าออกของอากาศ และประเภทของเครื่องปรับอากาศ (ถ้ามี)

3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

3.6.1 ดำเนินก่อนการเก็บข้อมูล

3.6.1.1 จัดทำหนังสือขออนุญาตสำนักผู้บริหารโรงพยาบาลนครชน เพื่อชี้แจงการขอเก็บข้อมูลและดำเนินการศึกษาคุณภาพอากาศห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลนครชน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.6.1.2 ประสานงานกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องอันประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ห้องผ่าตัดเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.6.1.3 สืบวจถึงแนวล้อมการดำเนินงานภายในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลนครชน ก่อนการเก็บตัวอย่าง

3.6.1.4 จัดทำหนังสือขออนุญาตแจ้งหัวหน้าแผนกห้องผ่าตัดในการขอเข้าทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด 3 ของแผนกห้องผ่าตัด

3.6.2 การเก็บตัวอย่าง

3.6.2.1 การเก็บตัวอย่างแบคทีเรียและเชื้อรา

ในการศึกษานี้ต้องการทราบถึงปริมาณของแบคทีเรียและเชื้อราที่พบในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลนครชน เก็บตัวอย่างโดยใช้ Single Stage Impactor มีการเก็บอากาศที่บริเวณห้องห้องผ่าตัด 3 เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราและมีการทำ filed blank เพื่อตรวจสอบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในขณะวิธีการเก็บจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศทำได้ดังนี้

3.6.2.1.1 เปิดตั้งเครื่องเครื่องดูดอากาศที่ติดตั้ง Air Sampling MAS 100 ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อบรรจุอยู่ภายใน จากนั้นทำการดูดด้วยอัตราดูดอากาศ 100 ลิตร/นาที ดูดอากาศเป็นเวลา 10 นาที และนำจานเพาะเชื้อที่ได้ไปอบอุณหภูมิ 35-37°C นาน 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนับแยกโคโลนีที่เหมือนกันตามวิธีของ American Society for Microbiology คำนวณและรายงานผลเป็น CFU/m³ ทั้งนี้ก่อนทำการเก็บตัวอย่างทุกครั้งต้องทำความสะอาดเครื่องมือด้วยแอลกอฮอล์ 70% เพื่อฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนอยู่ในเครื่อง Air Sampling MAS 100 และในระหว่างการเปลี่ยนชุดของอาหารเลี้ยงเชื้อต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70% เช่นกัน เพื่อฆ่าเชื้อที่อาจหลงเหลืออยู่

3.6.2.1.2 กำหนดวัน เวลาและสถานที่ของการเก็บตัวอย่างไว้ดังนี้

3.6.2.1.2.1 เก็บตัวอย่างในวันที่ 11 มีนาคม 2565 และ 5 เมษายน 2565 ห้องผ่าตัด 3 ของโรงพยาบาลนครชน

3.6.2.1.2.2 เก็บตัวอย่างใน 1 ช่วงเวลา คือ 9.00 - 17.00 น.

3.6.2.1.3 เก็บตัวอย่างภายในห้องผ่าตัด 3 จำนวน 1 จุด คือ บริเวณกลางห้อง ตามสถานการณ์ใช้งานห้องผ่าตัด ก่อนเปิดระบบปรับอากาศ สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันบวก สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันลบ อย่างละ 2 ตัวอย่าง ตามข้อกำหนด NIOSH Method 0800 รวมมีจำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการศึกษา 6 เพลต จำแนกตามชนิดของเครื่องมือ ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสถานที่และจำนวนเพลตที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างห้องผ่าตัด 3 ในวันที่ 5 เมษายน 2565

ช่วงเวลา	สถานะการใช้งาน	อาหารเลี้ยงเชื้อ	
		Blood agar	SDA
13.00 - 17.00 น.	ก่อนเปิดระบบปรับอากาศ	2	2
	ห้องผ่าตัดแรงดันบวก	2	2
	ห้องผ่าตัดแรงดันลบ	2	2

3.6.2.2 การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดทำเพื่อวัดปริมาณของอนุภาคอากาศ การระบายอากาศ ความดันอากาศ อุณหภูมิและความชื้นในสถานที่ที่ทำการตรวจวัดโดยเครื่องจะแสดงผลการตรวจวัดทันทีผ่านหน้าจอแสดงผล และเก็บข้อมูลการตรวจวัดไว้ในเครื่องในเวลาเดียวกัน โดยทำการตรวจวัดที่จุดที่ใกล้เคียงกับการตรวจหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด มีดังนี้

3.6.2.2.1 ปริมาณของอนุภาคในอากาศ ตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัด ตามข้อกำหนด ของ ISO 14644-1: 1999(E) โดยจะตรวจวัดจำนวนอนุภาคขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 0.5 μm และ 5 μm ที่แขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัด โดยใช้หลักการหาชั้นความสะอาดของห้องโดยใช้ Discrete-particle-counting, light-scattering instrument ใช้ในการหาความเข้มข้นของอนุภาคที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด ณ จุดที่กำหนดไว้ในกรเก็บตัวอย่าง โดยใช้ เครื่องมือตรวจวัด Discrete-Particle Counter (DPC) เป็นอุปกรณ์กระจายแสงที่สามารถแสดงค่าหรือบันทึกจำนวนและขนาดของอนุภาคใน อากาศได้ ตามสถานะ การใช้งานห้องผ่าตัด ก่อนเปิดระบบปรับอากาศ สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันบวก สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันลบ อย่างละ 2 ตัวอย่างตามข้อกำหนดเกี่ยวกับวิธีทดสอบ ตามมาตรฐาน ISO 14644-1 โดยการเก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งสิ้น 8 จุด จะมีการหาจำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุดหาได้จากสมการ

$$NL = \sqrt{A}$$

เมื่อ NL = จำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด

A = พื้นที่ของห้องสะอาดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

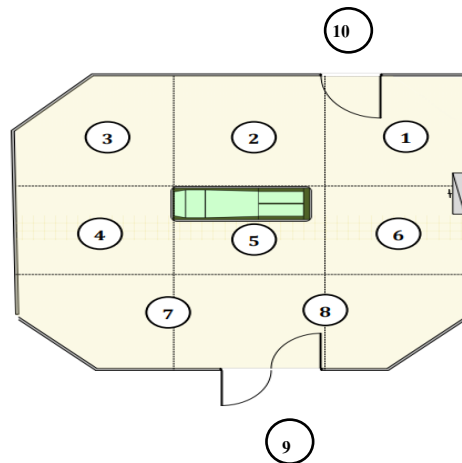
โดยจากสมการสามารถแทนค่าเพื่อหาจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด กรณีศึกษาห้องผ่าตัดขนาด 45.54 m² ดังนี้

$$NL = \sqrt{45.54}$$

$$NL = 7 \text{ จุด}$$

3.6.2.2.2 ตรวจวัดอุณหภูมิหรือความร้อนในอากาศ ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบ Resistance temperature Detectors; RTD) ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัล ภายในเครื่อง Thermo-hygyo-air quality meter ใช้ในการตรวจวัด โดยจุดการตรวจวัดจะดำเนินการควบคู่กับการตรวจวัดจำนวนอนุภาคในห้องผ่าตัด

3.6.2.2.3 ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องผ่าตัด ใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบรีซิสตีฟ (Resistive Humidity Sensor) ภายในเครื่อง ภายในเครื่อง Thermo-hygyo-air quality meter ใช้ในการตรวจวัด โดยจุดการตรวจวัดจะดำเนินการควบคู่กับการตรวจวัดจำนวนอนุภาค อุณหภูมิ ความชื้นภายในห้องผ่าตัด ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ภาพแสดงจุดตรวจวัดจำนวนอนุภาค อุณหภูมิ และ ความชื้น ภายในห้องผ่าตัด

3.6.2.2.4 ตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) ภายในห้องผ่าตัด ด้วยวิธีวัดเฉพาะจุดวัดที่หัวจ่ายลม วัดค่าปริมาณลมจ่ายจากหน้ากากกระจายลม หรือ เวนจูรี วัดแบบต่อเนื่องตามจริง(Real Time) โดยใช้เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool) ทำการตรวจวัดปริมาณลมเพื่อนำไปคำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) โดยคิดปริมาณการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่ต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าแนะนำตามประเภทของพื้นที่การทำงาน ซึ่งในห้องผ่าตัดแนะนำให้มีอัตราการหมุนเวียนอากาศต่อชั่วโมงมากกว่า 20 หมายถึง ในเวลา 1 ชั่วโมงจะมีอากาศถูกเติมเข้าหรือดูดออกจากห้องเท่ากับ 20 เท่าของปริมาตรห้องดังกล่าว ค่า

แนะนำอัตราการหมุนเวียนอากาศ Surgical/Operating room (อ้างอิงค่ามาตรฐานจาก ASHRAE 170 - 2017) โดยได้มีการกำหนดตำแหน่งในการตรวจวัดภายในห้องผ่าตัด OR 3 ตามตำแหน่งชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 รวมทั้งสิ้น 10 จุด

3.6.2.2.5 ตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure ในการตรวจสอบห้องผ่าตัดจำเป็นต้องตรวจสอบดูว่าอากาศในห้องผ่าตัดนั้นมีการเคลื่อนที่จากจุดที่สะอาดไปสู่จุดที่สะอาดน้อยกว่าหรือไม่ ซึ่งวิธีในการตรวจสอบนั้นสามารถทำได้ โดยการตรวจดูความดันต่างระหว่างห้องหรือจุด บริเวณต่างๆ ของห้องสะอาด อากาศจะเคลื่อนที่จากพื้นที่ที่มีความดันสูงไปสู่พื้นที่ที่มีความดันต่ำกว่า ดังนั้นห้องที่สะอาดกว่าควรจะต้องมีความดันมากกว่าห้องที่สะอาดน้อยกว่า หน่วยที่ใช้สำหรับการตรวจวัดความดันต่างคือ Pascals (Pa) โดยใช้เครื่องมือในการตรวจวัด Digital Manometer วิธีในการตรวจวัดความดันต่าง ในการตรวจวัดความดันต่างระหว่างห้อง จะต้องทำการตรวจสอบก่อนว่าปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าสู่ห้อง (Air supply) และอากาศที่ถูกดึงออกจากห้อง (Air extract) ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ และตรวจสอบว่าประตูของห้องผ่าตัดนั้นต้องปิดสนิท โดยจะเก็บค่าตามสถานะ การใช้งานห้องผ่าตัด ก่อนเปิดระบบปรับอากาศ สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันบวก สภาวะห้องผ่าตัดแรงดันลบ อย่างละ 2 ตัวอย่าง

3.6.2.2.6 ตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัด ตามข้อกำหนด ของ ISO 14644-1: 1999(E) ในส่วนการตรวจวัดในส่วนของ Recovery Mode โดยจะตรวจวัดจำนวนอนุภาคขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 0.5 ไมโครเมตร ตั้งแต่ช่วงเวลาก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้องผ่าตัด ตั้งแต่เวลาที่ 0 และมีการเก็บค่าอนุภาคทุกๆ 2-5 นาทีเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าของจำนวนอนุภาคถึงนาทีที่ 20 ตามค่าการออกแบบอัตราการหมุนเวียนอากาศของห้องผ่าตัด โดยมีการเก็บค่าทั้ง ห้องผ่าตัดแรงดันบวก และ ห้องผ่าตัดแรงดันลบ โดยนำค่าไปเปรียบเทียบเพื่อหาค่าการจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศภายในห้องผ่าตัด

เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเชื่อมต่อข้อมูลด้วยสายเคเบิลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อส่งข้อมูลการตรวจวัดเพื่อดูค่าการตรวจที่วัดได้ พร้อมกับบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกการเก็บข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์และเทียบกับค่ามาตรฐานต่อไป

3.6.2.3 การนำส่งตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งต้องนำตัวอย่างจากจุดเก็บมาตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาของมหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อทำการวิเคราะห์และป้องกันการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ภายในกระติกน้ำแข็งหรือกล่องโฟม แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการให้เร็วที่สุดเท่าที่สามารถทำได้

3.6.3 การตรวจวิเคราะห์ทางแบคทีเรียและเชื้อรา

การวิจัยครั้งนี้เลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Blood agar เพื่อเลี้ยงแบคทีเรียกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathologic bacteria) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารอาหารพิเศษ (Enrichment media) ที่เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่เลี้ยงยาก (Fastidious bacteria) เกือบทุกชนิดเจริญได้ อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดนี้เป็นอาหารเฉพาะที่ใช้กับแบคทีเรียชนิดที่เลี้ยงยาก คือ ไมเจอเรียหรือเจริญได้น้อยในอาหารเลี้ยงเชื้อธรรมดา (Oxoid Limited, England) และเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ SDA ใช้เลี้ยงเชื้อจากการทบทวนงานวิจัย ซึ่งเป็นที่มาของการเลือกศึกษาชนิดของแบคทีเรียและราในการวิจัยครั้งนี้ การตรวจวิเคราะห์ทางแบคทีเรียและเชื้อราทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนี (Colony Count) โดยวิธีการ American Society for Microbiology จากงานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard plate count) เป็นการตรวจวิเคราะห์หาค่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราทั้งหมดที่เจริญบนจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียสในเวลา 24-48 ชั่วโมง การนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดเทียบต่อหน่วย ซึ่งรายงานผลเป็น CFU/m³ (CFU=Colony Forming Unit) ดังสมการ

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศ = จำนวนโคโลนีทั้งหมด $\times 10^3$ / ปริมาตรอากาศ (ลิตร)

ทำการเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศในห้องผ่าตัดที่ทำตรวจวิเคราะห์ได้กับมาตรฐานของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศตามมาตรฐานของ Singapore Standard SS 554: 2009 กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ในบรรยากาศไว้ไม่เกิน 500 CFU/m³ ในกรณีที่ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ และ มาตรฐานของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในห้องตัด Microbial contamination limits in operating room ที่กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ในบรรยากาศไว้ไม่เกิน 35 CFU/m³ (แบคทีเรีย) และ 15 CFU/m³ (เชื้อรา)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) วิเคราะห์ข้อมูล แสดงผลที่เป็นค่าจากการตรวจวัด เพื่ออธิบายปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในอากาศภายในห้องผ่าตัด และคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องผ่าตัดและวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในอากาศ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปมาวิเคราะห์ข้อมูล

3.8 ระยะเวลาในการทำวิจัย

การศึกษานี้ใช้เวลาเก็บตัวอย่างอากาศในภายในห้องผ่าตัด โรงพยาบาลตัวอย่างในจังหวัดกรุงเทพมหานครในช่วงเดือนมีนาคม 2565 ถึง เมษายน 2565

3.9 สถานที่ทำการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาในโรงพยาบาลนครชน จังหวัดกรุงเทพมหานคร และนำตัวอย่างอากาศที่เก็บได้ไปทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาของมหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดกรุงเทพมหานคร

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR3

4.1.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ

ผู้ทำการศึกษาได้ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดโดยอ้างอิงมาตรฐานองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization; ISO), ISO 14644-1 โดยทำการตรวจวัดตามสถานะการใช้งาน Occupancy State โดยจากการศึกษาการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At – rest ตรวจวัดโดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะ Off Air Handling Unit และ RUN Air Handling Unit ทั้งแบบ Positive Pressure และ Negative Pressure โดยทำการตรวจวัดในวันที่ 11 มีนาคม 2565 และ 5 เมษายน 2565 ที่สอดคล้องกับทฤษฎีหลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล โดยมีการเริ่มเก็บค่าผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P+) Positive Pressure โดยทำการตรวจวัดจุดละ 2 ครั้ง ตามข้อกำหนดเกี่ยวกับวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO 14644-1 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P+) Positive Pressure

จุดตรวจวัด	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Particles/m ³) (Off Air Handling Unit) ก่อนวัดแบบ (P+) Positive Pressure						Result
	Particle Size 5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2		ครั้งที่1	ครั้งที่2		
	Pos 1	13,851	8,833	2,930	1,893,533	1,937,173	
Pos 2	7,561	6,254	2,930	1,711,554	1,654,346	352,000	Fail
Pos 3	6,890	5,795	2,930	1,601,731	1,586,784	352,000	Fail
Pos 4	9,893	7,455	2,930	2,006,007	2,005,088	352,000	Fail
Pos 5	11,095	8,869	2,930	2,163,922	2,109,788	352,000	Fail
Pos 6	6,678	7,667	2,930	1,840,812	1,873,250	352,000	Fail
Pos 7	10,000	9,787	2,930	1,862,155	1,818,798	352,000	Fail
Pos 8	7,279	6,855	2,930	1,941,872	1,883,250	352,000	Fail
Corridor External (Pos 9)	34,346	19,328	-	3,219,328	3,209,399	-	-
Corridor External (Pos 10)	57,102	55,901	-	4,419,964	4,479,046	-	-

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P+) Positive Pressure พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้นั้น ที่ขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm นั้นมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ทั้ง 2 ครั้งที่ตรวจวัด และ ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 8 จุดตรวจวัด และมีการเก็บค่าในแบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure

จุดตรวจวัด	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Particles/m ³) (Run Air Handling Unit) (P+) Positive Pressure						Result
	Particle Size 5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2		ครั้งที่1	ครั้งที่2		
	Pos 1	2,261	1,095	2,930	9,045	4,346	
Pos 2	1,625	812	2,930	16,643	9,081	352,000	Pass
Pos 3	1,024	600	2,930	12,968	10,247	352,000	Pass
Pos 4	989	318	2,930	5,830	2,932	352,000	Pass
Pos 5	0	106	2,930	5,088	18,445	352,000	Pass
Pos 6	2,049	671	2,930	10,141	4,558	352,000	Pass
Pos 7	883	388	2,930	3,886	2,579	352,000	Pass
Pos 8	636	141	2,930	3,180	1,484	352,000	Pass
Corridor External (Pos 9)	34,346	19,328	-	3,219,328	3,209,399	-	-
Corridor External (Pos 10)	57,102	55,901	-	4,419,964	4,479,046	-	-

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้นั้น ที่ขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm นั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ทั้ง 2 ครั้งที่ตรวจวัด ผ่านทั้ง 8 จุดตรวจวัด และมีการเก็บค่าแบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P-) Negative Pressure ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P-) Negative Pressure

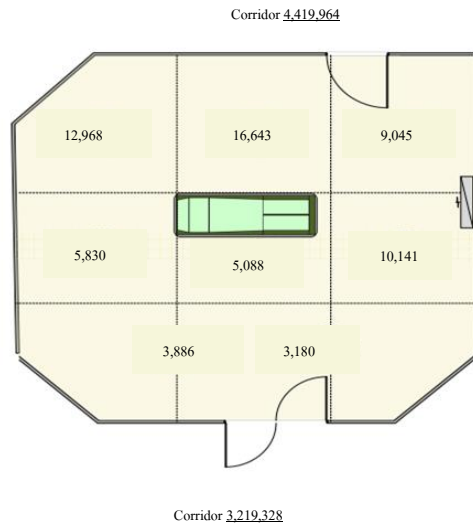
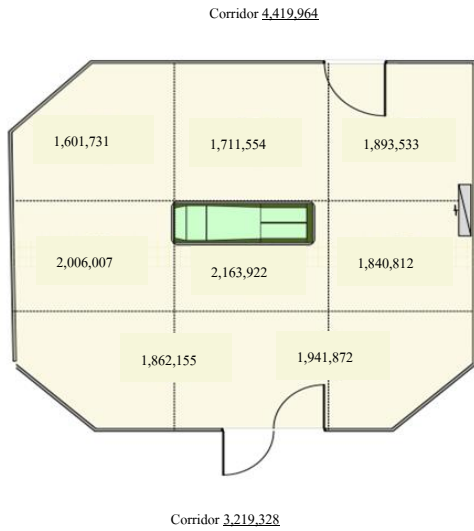
จุดตรวจวัด	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Particles/m ³)					Off	Result
	Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P-) Negative Pressure						
	Particle Size 5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
Pos 1	7,915	7,455	2,930	1,931,660	1,944,876	352,000	Fail
Pos 2	6,431	6,925	2,930	1,708,445	1,700,318	352,000	Fail
Pos 3	5,689	4,805	2,930	1,611,554	1,700,636	352,000	Fail
Pos 4	8,056	7,349	2,930	2,032,120	2,021,696	352,000	Fail
Pos 5	9,399	8,127	2,930	2,113,781	2,112,120	352,000	Fail
Pos 6	6,254	7,950	2,930	1,981,378	2,013,321	352,000	Fail
Pos 7	8,692	7,385	2,930	1,869,222	1,836,360	352,000	Fail
Pos 8	6,501	5,901	2,930	1,771,978	1,820,353	352,000	Fail
Corridor External (Pos 9)	18,374	16,607	-	3,134,275	3,086,678	-	-
Corridor External (Pos 10)	100,600	41,024	-	5,047,314	3,724,841	-	-

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit ก่อนวัดแบบ (P-) Negative Pressure พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้นั้น ที่ขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm นั้นมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัดอยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ทั้ง 2 ครั้งที่ตรวจวัด และ ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 8 จุดตรวจวัด โดยที่มีการเก็บค่าแบบ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure

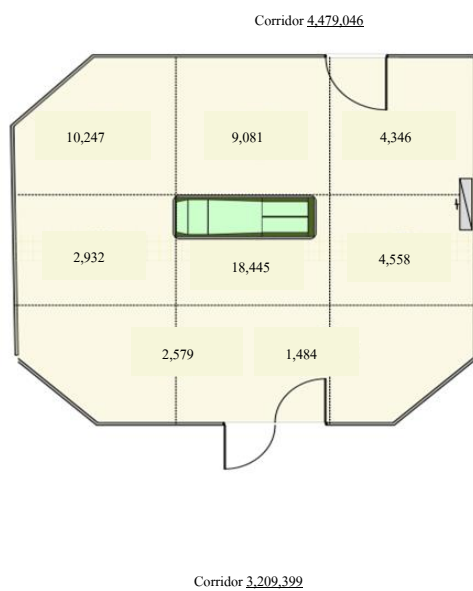
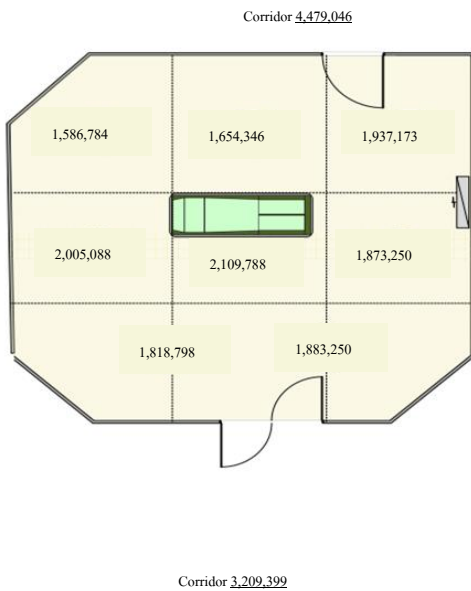
จุดตรวจวัด	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Particles/m ³)					Run	Result
	Air Handling Unit (P-) Negative Pressure						
	Particle Size 5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm		Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2		ครั้งที่1	ครั้งที่2		
Pos 1	2,045	565	2,930	119,752	85,229	352,000	Pass
Pos 2	706	141	2,930	88,197	37,349	352,000	Pass
Pos 3	600	424	2,930	135,123	79,681	352,000	Pass
Pos 4	212	282	2,930	99,010	91,024	352,000	Pass
Pos 5	706	70	2,930	167,632	34,098	352,000	Pass
Pos 6	812	989	2,930	145,265	190,141	352,000	Pass
Pos 7	742	1342	2,930	111,837	240,636	352,000	Pass
Pos 8	2,473	918	2,930	226,678	156,325	352,000	Pass
Corridor External (Pos 9)	18,374	16,607	-	3,134,275	3,086,678	-	-
Corridor External (Pos 10)	100,600	41,024	-	5,047,314	3,724,841	-	-

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure พบว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้นั้น ที่ขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm นั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ทั้ง 2 ครั้งที่ตรวจวัด ผ่านทั้ง 8 จุดตรวจวัด แต่พบว่าจะมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่วัดได้นั้น โดยเฉพาะขนาด Particle Size 5 µm นั้นจะค่าความเข้มข้นสูงกว่า สถานะ แบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure และมีการแสดงผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ รายงานที่ตรวจวัด ดังภาพที่ 4.1



ห้องผ่าตัด OR3 (Off Air Handling Unit) ครั้งที่ 1

ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P+) ครั้งที่ 1

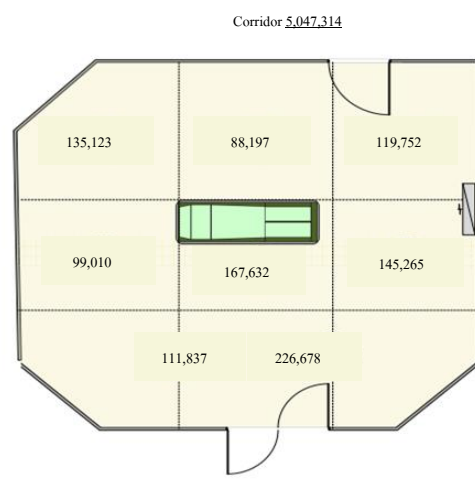
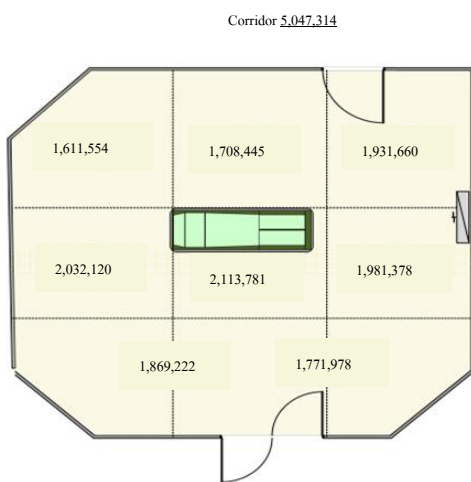


ห้องผ่าตัด OR3 (Off Air Handling Unit) ครั้งที่ 2

ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P+) ครั้งที่ 2

ภาพที่ 4.1 ภาพผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $0.5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure

จากผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $0.5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/ m^3) ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure พบว่าภาพที่แสดงค่าความเข้มข้นของอนุภาค ในแต่ละจุดนั้นมีความใกล้เคียงกันและจุดที่พบจำนวนค่าความเข้มข้นของอนุภาค สูงสุดพบที่จุดกลางห้อง บริเวณเตียงผ่าตัดซึ่งมีความสอดคล้องกับหัวจ่ายลมของระบบปรับอากาศที่ไม่พบในบริเวณดังกล่าวเนื่องจากติดคอมไฟผ่าตัด

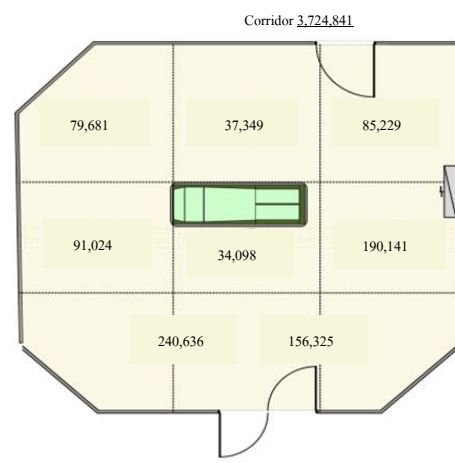
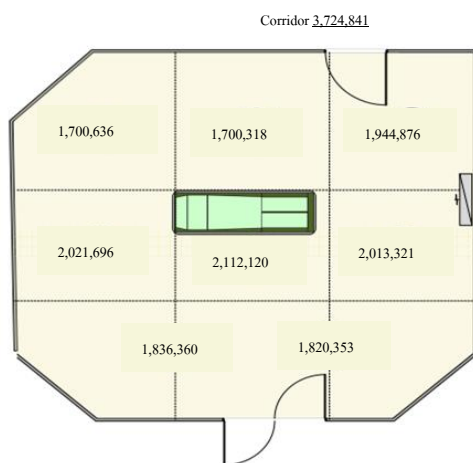


Corridor 3,134,275

Corridor 3,134,275

ห้องผ่าตัด OR3 (Off Air Handling Unit) (P-)ครั้งที่ 1

ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P-)ครั้งที่ 1



Corridor 3,086,678

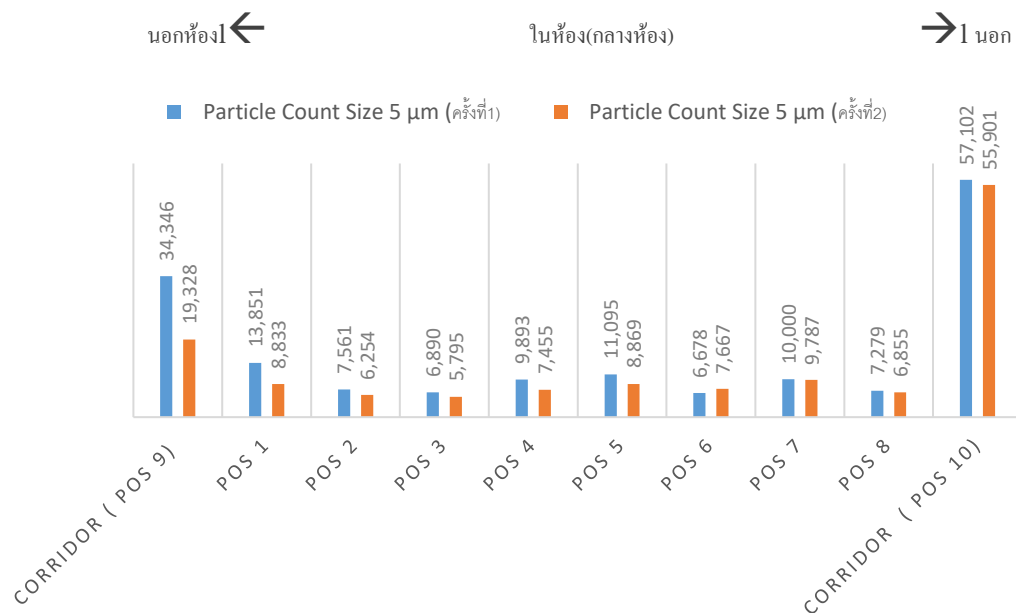
Corridor 3,086,678

ห้องผ่าตัด OR3 (Off Air Handling Unit) (P-)ครั้งที่ 2

ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P-)ครั้งที่ 2

ภาพที่ 4.2 ภาพผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $0.5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit) (P-)Negative Pressure

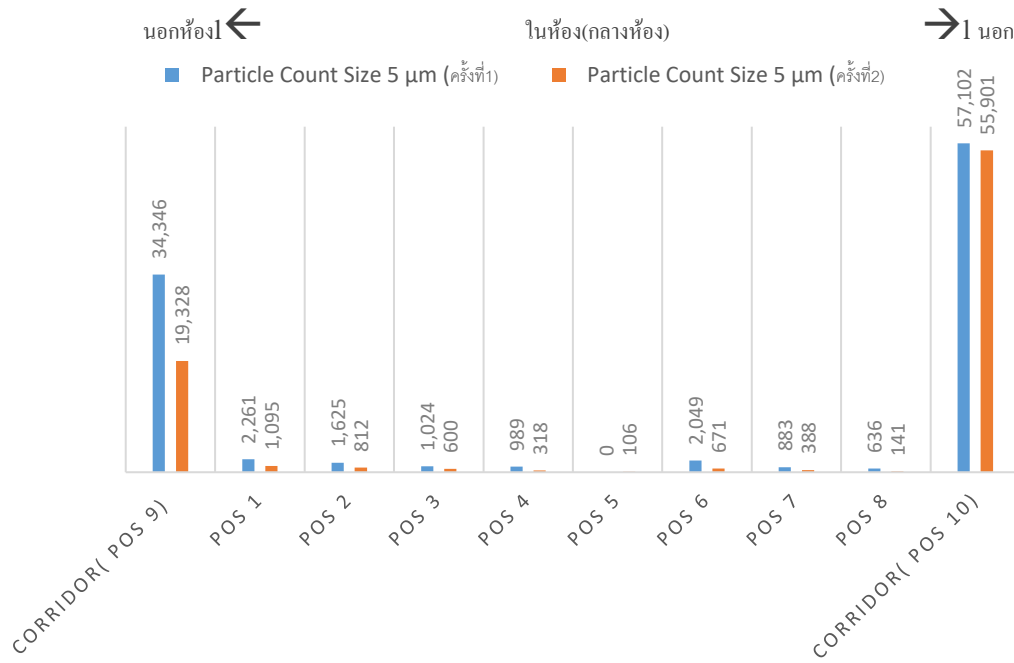
จากผลการตรวจวัดเปรียบเทียบ ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $0.5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ (Off/Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure พบว่าภาพที่แสดงค่าความเข้มข้นของอนุภาค ในแต่ละจุดนั้นมีความมีความแตกต่างกันและจุดที่พบจำนวนค่าความเข้มข้นของอนุภาค สูงสุดพบที่บริเวณประตูเข้าออกของห้องผ่าตัดซึ่งกรณีห้องผ่าตัดแรงดันลบมีโอกาสที่เชื้อจากภายนอกจะเข้ามาภายในห้องผ่าตัดได้ โดยมี กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอกห้องผ่าตัด ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

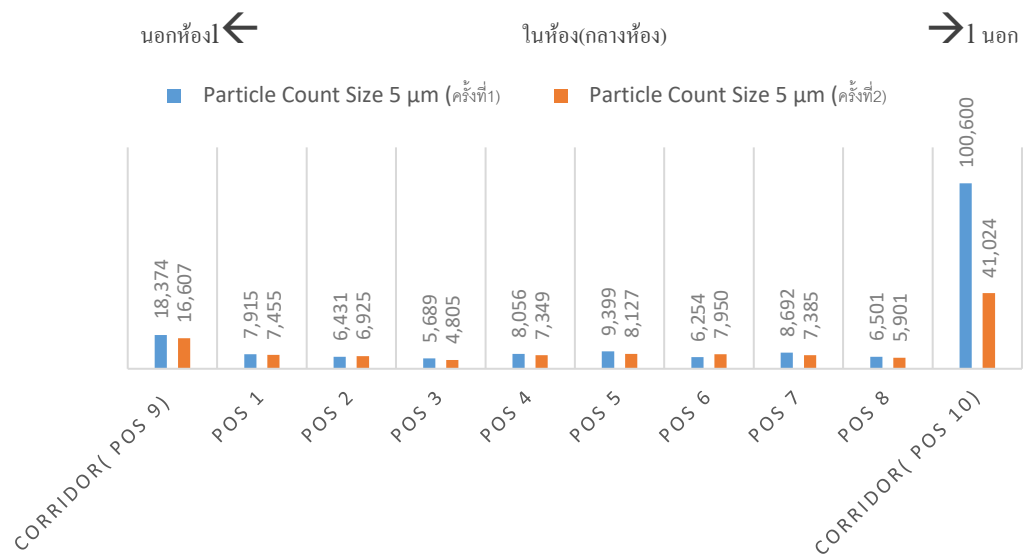
จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ $5 \mu\text{m}$ วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในและภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีความเข้มข้นของอนุภาคที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน และมีการเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.4 หลังจากการเปิดระบบปรับอากาศ



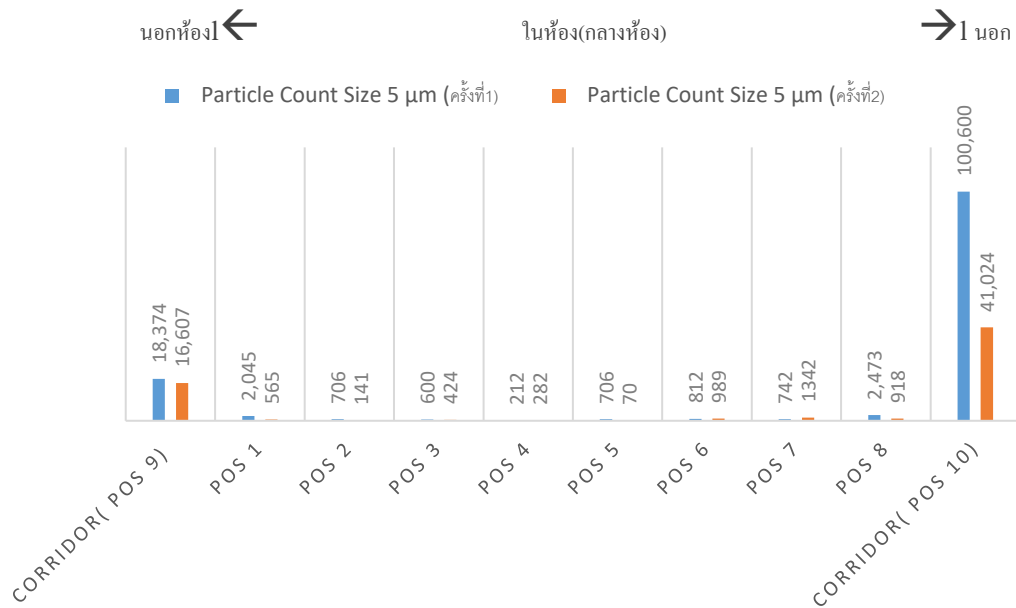
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในห้องผ่าตัดนั้นมีความเข้มข้นของอนุภาคที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทั้ง 8 จุด โดยที่ภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีความเข้มข้นของอนุภาคเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีการศึกษาต่อในส่วนของคุณค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ห้องผ่าตัดแรงดันลบ (P-) Negative Pressure ดังภาพที่ 4.5



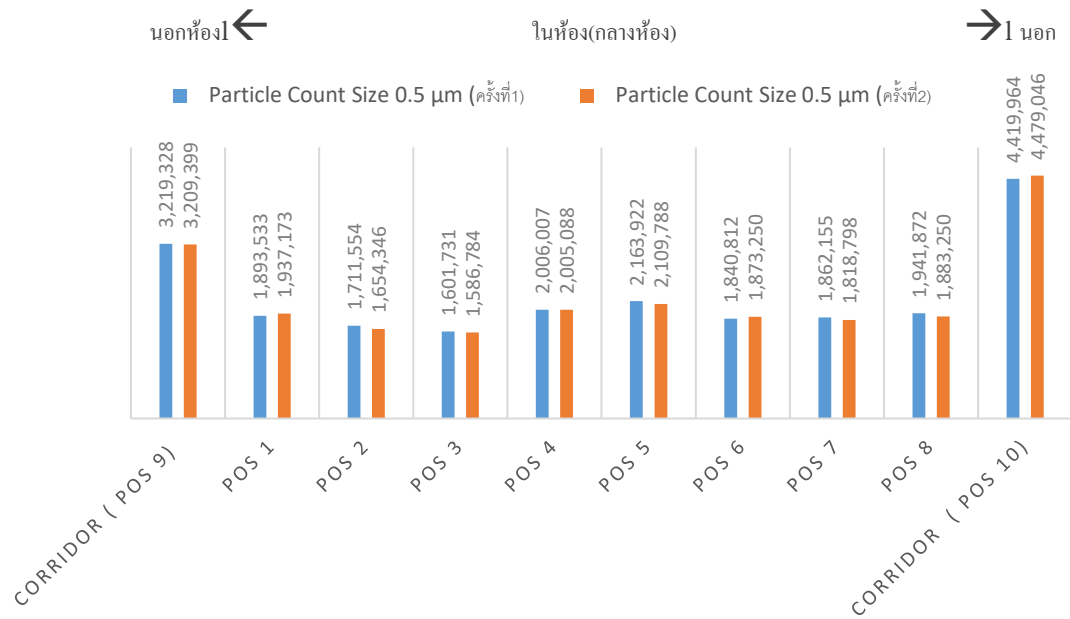
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m3) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-) Negative Pressure

จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m3) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-) Negative Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในและภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน สูงสุดที่ภายนอกห้องผ่าตัดจุดที่ 10 โดยมีการศึกษาเพิ่มเติมค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m3) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 RUN Air Handling Unit (P-)Negative Pressure เพื่อดูค่าเข้มข้นของอนุภาค ก่อนและหลังการ RUN Air Handling Unit ดังที่แสดงในภาพที่ 4.6



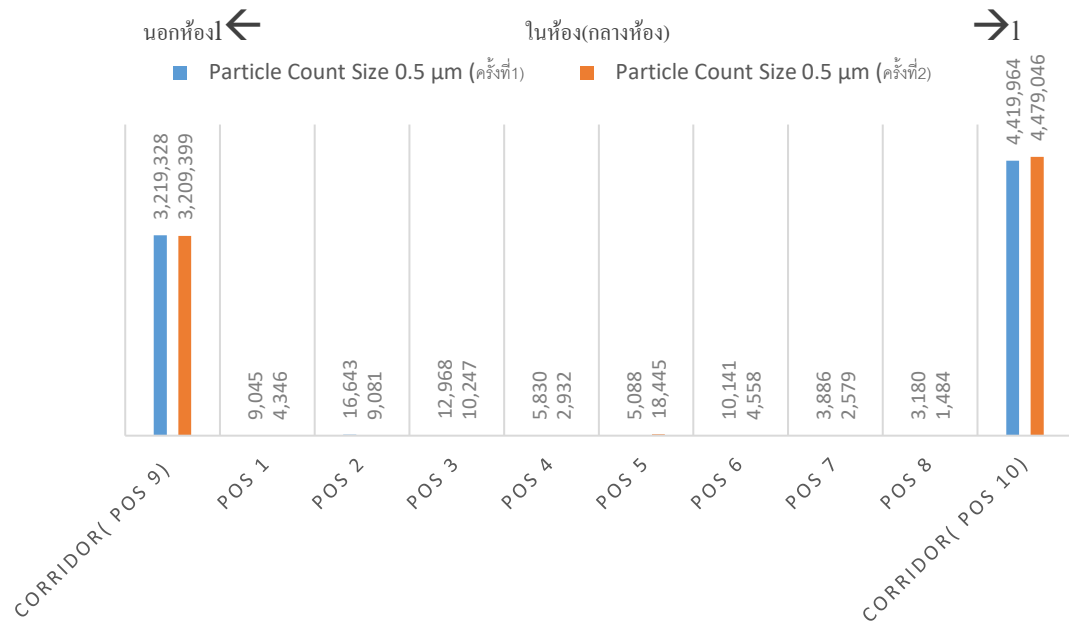
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 RUN Air Handling Unit (P-)Negative Pressure

จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทั้ง 8 จุด โดยที่ภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอกห้องผ่าตัดOR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure ที่แสดงใน ภาพที่ 4.7



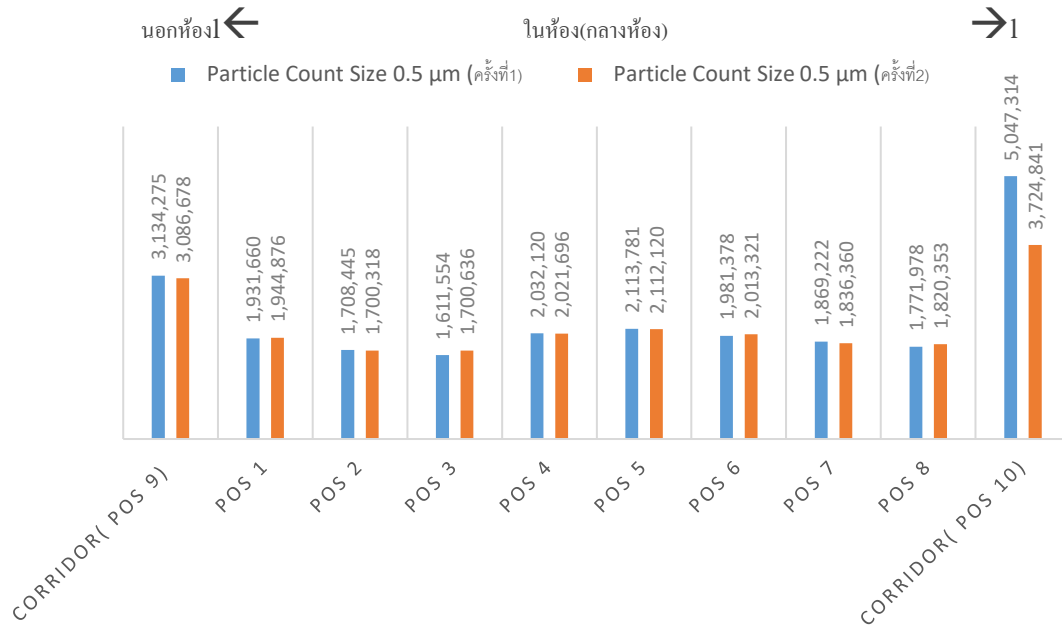
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอกห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P+)Positive Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในและภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีความเข้มข้นของอนุภาคที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยนำผลไปเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.8 ในสถานะห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P+)Positive Pressure เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นของอนุภาคในห้องผ่าตัด



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 (Run Air Handling Unit) (P+)Positive Pressure

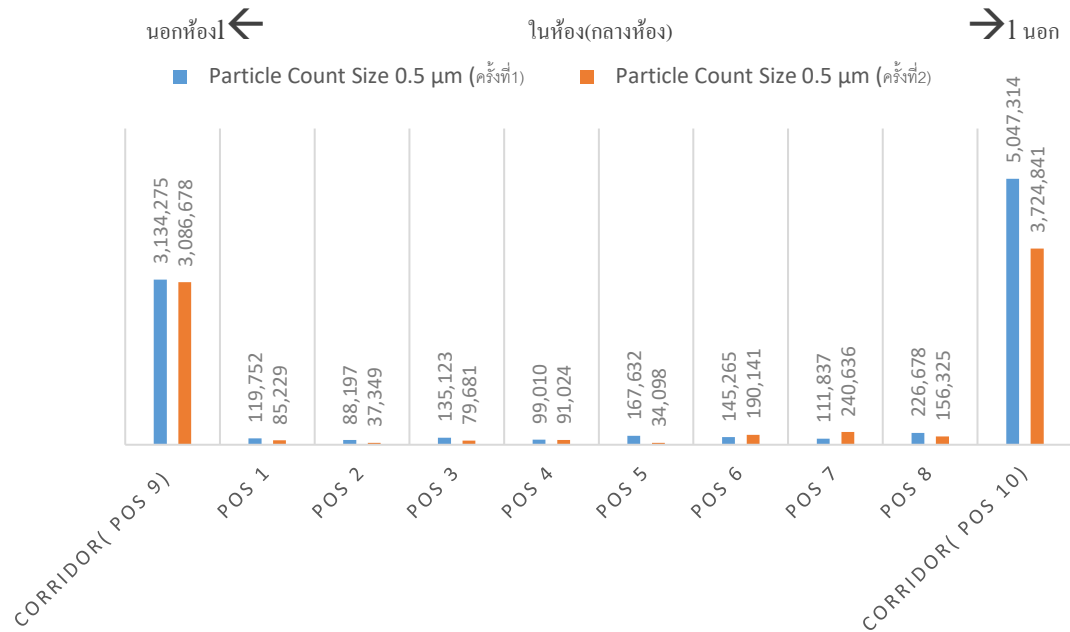
จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทั้ง 8 จุด โดยที่ภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีการตรวจวัดเพิ่มเติมในส่วนห้องผ่าตัดแรงดันลบ โดยแสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10 ทั้งก่อนเปิด Air Handling Unit และ Run Air Handling Unit ใน (P-)Negative Pressure



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-) Negative Pressure

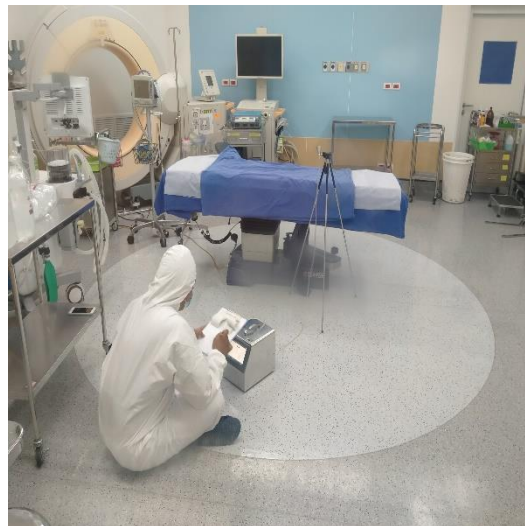
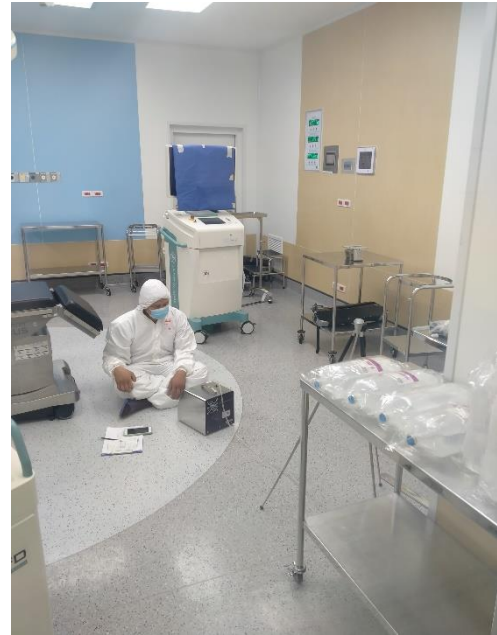
จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-) Negative Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในและภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเกินเกณฑ์มาตรฐาน สูงสุดที่จุดที่ 10 ภายนอกห้องผ่าตัด และเมื่อทำการศึกษาโดยการทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure นั้นมีผลดังภาพที่

4.10



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure

จากกราฟที่แสดง ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาดที่ 0.5 μm วัดได้ (Particles/m³) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure นั้นพบว่าจากการตรวจวัดทั้ง 2 ครั้ง บริเวณภายในห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทั้ง 8 จุด โดยที่จุดที่ 7 และจุดที่ 8 นั้นมีค่าสูงสุดบริเวณประตูทางเข้าห้องผ่าตัด โดยที่ภายนอกห้องผ่าตัดนั้นมีค่าความเข้มข้นของอนุภาคเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ผู้ที่ดำเนินการตรวจวัดนั้นจะต้องสวมใส่เสื้อคลุม ป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศภายใน ภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 โดยเครื่อง Discrete-Particle Counter (DPC)

จากภาพการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศภายใน ภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 โดยเครื่อง Discrete-Particle Counter (DPC) พบว่าในขณะที่ทำการตรวจวัดภายใน ห้องผ่าตัดจะต้องดำเนินการโดย ผู้ปฏิบัติงานเพียงท่านเดียวเท่านั้นเพื่อลดอัตราการฟุ้งกระจายของ อนุภาคซึ่งจะส่งผลต่อผลของการตรวจวัดดังกล่าว

4.1.2 ผลตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น

โดยอ้างอิงข้อกำหนด American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 170-2017) โดยทำการตรวจวัดตามสภาวะการใช้งาน Occupancy State โดยจากการศึกษาการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At – rest ตรวจวัดโดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะ Off Air Handling Unit และ RUN Air Handling Unit ทั้งแบบ Positive Pressure และ Negative Pressure โดยทำการตรวจวัดในวันที่ 11 มีนาคม 2565 และ 5 เมษายน 2565 โดยผลการตรวจวัดดังตารางที่ 4.5 ถึง ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit (P+) Positive Pressure

จุดตรวจวัด	Specification				Result				Result
	Temperature (C°)		Humidity (%RH)		Temperature (C°)		Humidity (%RH)		
	Min	Max	Min	Max	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
Pos 1	20	24	40	60	23.4	23.4	57.2	57.0	Pass
Pos 2	20	24	40	60	23.6	23.6	56.9	57.1	Pass
Pos 3	20	24	40	60	23.7	23.7	57.2	57.0	Pass
Pos 4	20	24	40	60	23.8	23.7	57.6	57.5	Pass
Pos 5	20	24	40	60	23.8	23.8	57.8	58.4	Pass
Pos 6	20	24	40	60	23.8	23.8	57.4	57.3	Pass
Pos 7	20	24	40	60	23.9	23.8	58.7	58.4	Pass
Pos 8	20	24	40	60	23.9	23.9	58.1	57.5	Pass
Corridor External (Pos 9)	-	-	-	-	24.2	24.4	69.8	70.1	-
Corridor External (Pos 10)	-	-	-	-	25.4	25.6	71.4	73.0	-

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit (P+) Positive Pressure พบว่าทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น ที่ตรวจวัดได้นั้นผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) โดยที่ยังไม่ได้มีการ Run Air Handling Unit ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอกห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

จุดตรวจวัด	Specification				Result				Result
	Temperature (C°)		Humidity (%RH)		Temperature (C°)		Humidity (%RH)		
	Min	Max	Min	Max	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
Pos 1	20	24	40	60	21.8	21.9	58.0	57.8	Pass
Pos 2	20	24	40	60	21.8	21.7	58.1	57.8	Pass
Pos 3	20	24	40	60	21.7	21.7	58.3	58.4	Pass
Pos 4	20	24	40	60	21.6	21.4	58.1	58.3	Pass
Pos 5	20	24	40	60	20.4	20.1	62.1	63.1	Fail
Pos 6	20	24	40	60	20.6	20.7	60.4	61.6	Fail
Pos 7	20	24	40	60	20.8	20.8	62.3	62.2	Fail
Pos 8	20	24	40	60	23.9	21.0	61.6	61.4	Fail
Corridor External (Pos 9)	-	-	-	-	24.2	24.3	69.8	70.2	-
Corridor External (Pos 10)	-	-	-	-	25.3	25.4	72.4	72.0	-

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure พบว่าส่วนใหญ่ทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น ที่ตรวจวัดได้นั้นผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศ สำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) แต่จะพบเรื่องของค่าความชื้น ในจุด Pos 6,7,8 นั้นมีค่าความชื้นเกินเกณฑ์ข้อกำหนด ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด

ตารางที่ 4.7 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest) ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Off Air Handling Unit (P-)Negative Pressure

จุดตรวจวัด	Specification				Result				Result
	Temperature (C°)		Humidity (%RH)		Temperature (C°)		Humidity (%RH)		
	Min	Max	Min	Max	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
Pos 1	20	24	40	60	23.9	23.9	57.2	57.5	Pass
Pos 2	20	24	40	60	23.8	23.8	57.4	57.5	Pass
Pos 3	20	24	40	60	23.8	23.9	56.9	57.0	Pass
Pos 4	20	24	40	60	24.0	24.1	57.1	57.4	Pass
Pos 5	20	24	40	60	23.9	23.9	57.3	57.3	Pass
Pos 6	20	24	40	60	23.9	23.9	57.2	56.9	Pass
Pos 7	20	24	40	60	24.1	24.0	57.2	59.5	Pass
Pos 8	20	24	40	60	23.9	24.0	59.6	59.1	Pass
Corridor External (Pos 9)	-	-	-	-	24.4	24.6	69.8	71.1	-
Corridor External (Pos 10)	-	-	-	-	25.2	25.1	71.4	73.1	-

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Off Air Handling Unit (P-)Negative Pressure พบว่าทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น ที่ตรวจวัดได้นั้นผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) โดยที่ยังไม่ได้มีการ Run Air Handling Unit ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด

ตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure

จุดตรวจวัด	Specification				Result				Result
	Temperature (C°)		Humidity (%RH)		Temperature (C°)		Humidity (%RH)		
	Min	Max	Min	Max	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
Pos 1	20	24	40	60	24.4	24.1	52.8	52.7	Pass
Pos 2	20	24	40	60	23.8	23.9	53.5	54.0	Pass
Pos 3	20	24	40	60	23.6	23.4	54.3	54.7	Pass
Pos 4	20	24	40	60	23.1	23.2	55.7	55.8	Pass
Pos 5	20	24	40	60	23.1	22.8	56.4	56.1	Pass
Pos 6	20	24	40	60	21.6	21.7	61.8	61.1	Fail
Pos 7	20	24	40	60	21.4	21.4	59.0	59.8	Pass
Pos 8	20	24	40	60	21.7	21.7	61.9	62.2	Fail
Corridor External (Pos 9)	-	-	-	-	23.2	23.6	68.3	69.1	-
Corridor External (Pos 10)	-	-	-	-	25.0	25.1	71.0	72.9	-

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในภายนอก ห้องผ่าตัด OR3 แบบ Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure พบว่าส่วนใหญ่ทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น ที่ตรวจวัดได้นั้นผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศ สำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) แต่จะพบเรื่องของค่าความชื้น ในจุด Pos 6,8 นั้นมีค่าความชื้นเกินเกณฑ์ข้อกำหนด ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด

4.1.3 ผลการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate)

โดยอ้างอิงข้อกำหนด American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 170-2017) โดยทำการตรวจวัดตามสภาวะการใช้งาน Occupancy State โดยจากการศึกษาการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At – rest ตรวจวัด โดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ภายในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะ Off Air Handling Unit และ RUN Air Handling Unit ทั้งแบบ Positive Pressure และ Negative Pressure โดยทำการตรวจวัดในวันที่ 11 มีนาคม 2565 และ 5 เมษายน 2565 โดยมีผลการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ ดังตารางที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure

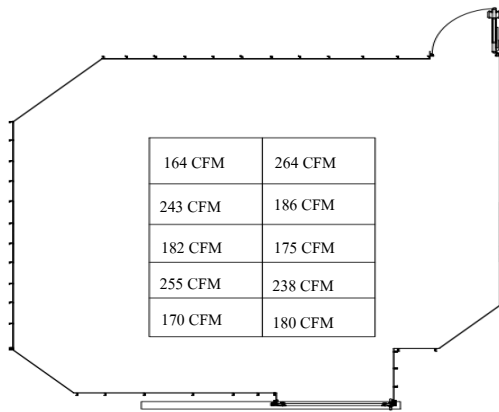
จุดตรวจวัด	Specification				Result						Conclssion
	Room Volume (m ³)	Air Change (Cycle/hr)	SAG and HEPA		Supply Air Flow				Air Change (Cycle/hr)		
					CFM ครั้งที่1		CFM ครั้งที่2				
			Item	Size	SAG/HEPA	Total	SAG/HEPA	Total	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
OR3	131.67	≥ 20	Member Diffuser1	2' x 3'	164	2,039	192	2,056	26.2	26.4	Pass
			Member Diffuser2	2' x 3'	246		244				
			Member Diffuser3	2' x 3'	243		245				
			Member Diffuser4	2' x 3'	186		172				
			Member Diffuser5	2' x 3'	182		182				
			Member Diffuser6	2' x 3'	175		188				
			Member Diffuser7	2' x 3'	255		247				
			Member Diffuser8	2' x 3'	238		253				
			Member Diffuser9	2' x 3'	170		163				
			Member Diffuser10	2' x 3'	180		170				

จากผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+) Positive Pressure พบว่าผลอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) โดยมีค่าเกินกว่า 20 ACH ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด

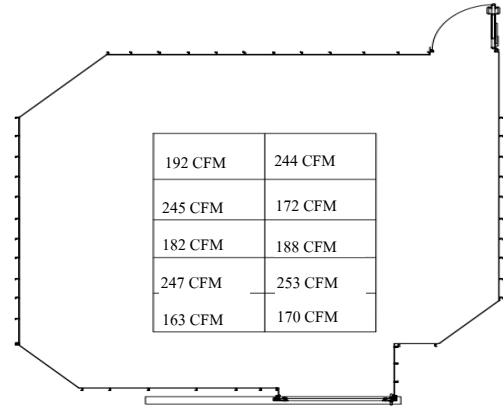
ตารางที่ 4.10 ผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure

จุดตรวจวัด	Specification				Result						Conclussion
	Room Volume (m ³)	Air Change (Cycle/hr)	SAG and HEPA		Supply Air Flow				Air Change (Cycle/hr)		
					CFM ครั้งที่1		CFM ครั้งที่2				
			Item	Size	SAG/HEPA	Total	SAG/HEPA	Total	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
OR3	131.67	≥ 20	Member Diffuser1	2' x 3'	203	2,023	180	2,073	26.0	26.6	Pass
			Member Diffuser2	2' x 3'	258		226				
			Member Diffuser3	2' x 3'	226		246				
			Member Diffuser4	2' x 3'	164		176				
			Member Diffuser5	2' x 3'	177		190				
			Member Diffuser6	2' x 3'	158		178				
			Member Diffuser7	2' x 3'	265		256				
			Member Diffuser8	2' x 3'	225		242				
			Member Diffuser9	2' x 3'	154		185				
			Member Diffuser10	2' x 3'	193		194				

จากผลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure พบว่าผลอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) โดยมีค่าเกินกว่า 20 ACH ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด และทำการบันทึกอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องจ่ายลม ดังที่แสดงในภาพที่ 4.12 และ ภาพที่ 4.13



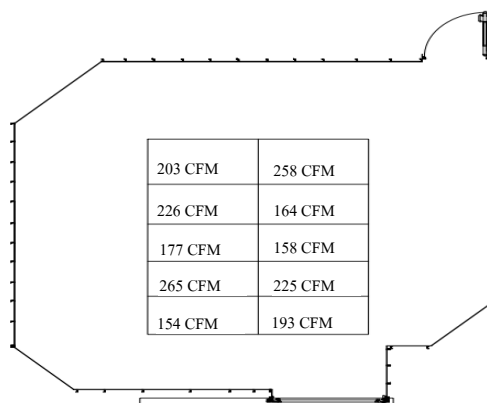
ผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ ครั้งที่ 1.



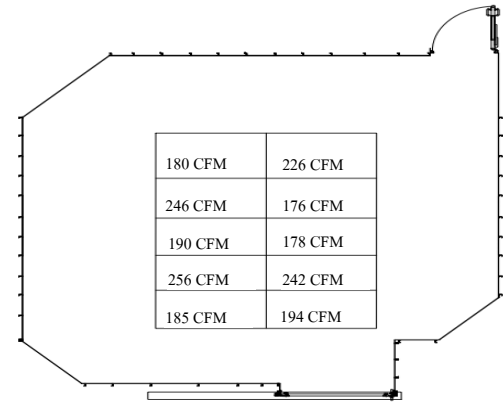
ผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ ครั้งที่ 2.

ภาพที่ 4.12 ภาพผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure

จากผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure พบว่าในกรณีดังกล่าวที่มีการตรวจวัดทั้ง 10 หัวจ่ายนั้นลมที่ออกมาจ่ายหัวจ่ายนั้นมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด



ผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ ครั้งที่ 1.



ผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ ครั้งที่ 2.

ภาพที่ 4.13 ภาพผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure

จากผลการตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) ผ่านชุดจ่ายลม Membrane Diffuser 1-10 ห้องผ่าตัด OR3 Run Air Handling Unit (P-)Negative Pressure พบว่าในกรณีดังกล่าวที่มีการตรวจวัดทั้ง 10 หัวจ่ายนั้นลมที่ออกมาจ่ายหัวจ่ายนั้นมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด มีความแตกต่างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ (P+)Positive Pressure โดยมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยในการตรวจวัดตรวจอัตราการไหลของอากาศ (Supply Air Flow) จะต้องให้ความสำคัญต่อการวัดโดยใช้ Hood ในการตรวจวัดจะต้องระมัดระวังการรั่วไหลของอากาศขณะตรวจวัด ดังที่แสดงในภาพที่ 4.1.4



ภาพที่ 4.14 การตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) ภายใน ห้องผ่าตัด OR3 โดย เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool)

จากภาพตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow) ภายใน ห้องผ่าตัด OR3 โดย เครื่องตรวจสอบระบบระบายอากาศ (Modular Air Balancing Tool) พบว่าระหว่างการตรวจนั้น จะต้องทำการติดตั้งหัวครอบ Hood นั้นให้สนิทกับหัวจ่ายลมของระบบปรับอากาศเพื่อการวัดผลที่สมบูรณ์เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

4.1.4 ผลการตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure

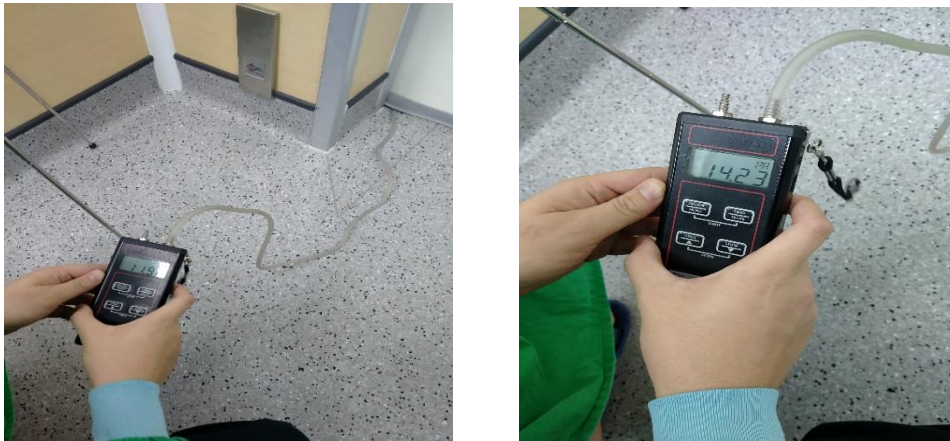
โดยอ้างอิงข้อกำหนด American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 170-2017) โดยทำการตรวจวัดตามสภาวะการใช้งาน Occupancy State โดยจากการศึกษาการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้กำหนดให้มีการตรวจวัด

แบบ At – rest ตรวจวัดโดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะ Off Air Handling Unit และ RUN Air Handling Unit ทั้งแบบ Positive Pressure และ Negative Pressure โดยทำการตรวจวัดในวันที่ 11 มีนาคม 2565 และ 5 เมษายน 2565 โดยมีผลการตรวจวัดดังที่แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure ตรวจวัดแบบ At – rest ห้องผ่าตัด OR3

จุดตรวจวัด	Specification	Result				Test Result
	Room Pressure difference	Room Manometer Reading		Digital Manometer Reading		
	Pa	ครั้งที่1(Pa)	ครั้งที่2(Pa)	ครั้งที่1(Pa)	ครั้งที่2(Pa)	
OR 3 (Door 1) (P+)	> 2.5	10.6	11.7	10.8	11.0	Pass
OR 3 (Door 2) (P+)	> 2.5	14	10.4	11.1	10.9	Pass
OR 3 (Door 1) (P-)	> (-2.5)	-4.32	-4.15	-2.6	-2.5	Pass
OR 3 (Door 2) (P-)	> (-2.5)	-4.31	-4.18	-2.5	-2.5	Pass

จากผลการตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure ตรวจวัดแบบ At – rest ภายในห้องผ่าตัด OR3 พบว่าผลอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (ASHRAE 170-2017) ทั้ง 2 ครั้งที่มีการตรวจวัด โดยในการตรวจวัดต้องระมัดระวังการปิดเปิดประตูห้องผ่าตัด เนื่องจากมีผลต่อการอ่านค่าความดันอากาศภายในห้องผ่าตัด ตามทฤษฎีหลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล ดังที่แสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การตรวจสอบระบบ Positive-Negative Pressure ของห้องผ่าตัด OR3 ตรวจสอบทิศทาง การไหลของอากาศ (Directional airflow) โดยใช้เครื่อง Air Velocity & Indoor Air Quality (IAQ) Meters เพื่อทดสอบระบบ Positive-Negative Pressure และ Differential Pressure

จากภาพตรวจวัด Room Pressure (Positive-Negative Pressure) และ Differential Pressure พบปัญหาเรื่องการปิด เปิดประตูที่ไม่สนิทซึ่งจะสามารถดำเนินการตรวจค่าที่คาดเคลื่อน และอาจไม่แสดงผลการตรวจวัด

4.1.5 ผลการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ

อ้างอิงหลักการ NIOSH Method 0800 โดยทำการตรวจวัดตามสถานะการใช้งาน Occupancy State โดยจากการศึกษาการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศ ภายในห้องผ่าตัด OR3 ได้ กำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At – rest ตรวจวัดโดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ ภายในห้องผ่าตัด นอกห้องผ่าตัด ขณะ Off Air Handling Unit และ RUN Air Handling Unit โดยทำการตรวจวัดในวันที่ 5 เมษายน 2565 โดยตรวจวัด Total Bacteria Counts ,Total Fungi Counts โดยทำการตรวจวัดจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ตัวอย่าง ดังนี้ ครั้งที่1 ตรวจวัดก่อนเปิดระบบ ครั้งที่ 2 ตรวจวัดหลังเปิดระบบแรงดันบวก (P+)Positive Pressure 20 นาที ครั้งที่ 3 ตรวจวัดหลังเปิดระบบแรงดันลบ (P-)Negative Pressure 15 นาที เมื่อนำผลการตรวจวัดเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยราชการกำหนด พบว่า มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Singapore Standard SS 554 : 2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings] และเกณฑ์มาตรฐาน Microbial contamination limits in operating room : Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002 Jun; 51(2):79-84. Burge HA, Feely JC et al. Guidelines for The

Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment.Cincinnati, OH: American Conference of Government Industrial Hygienists, 1989

ตารางที่ 4.12 ผลจากการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ อ้างอิงหลักการ NIOSH Method 0800 แสดงจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราจากการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศภายในห้องผ่าตัด OR3

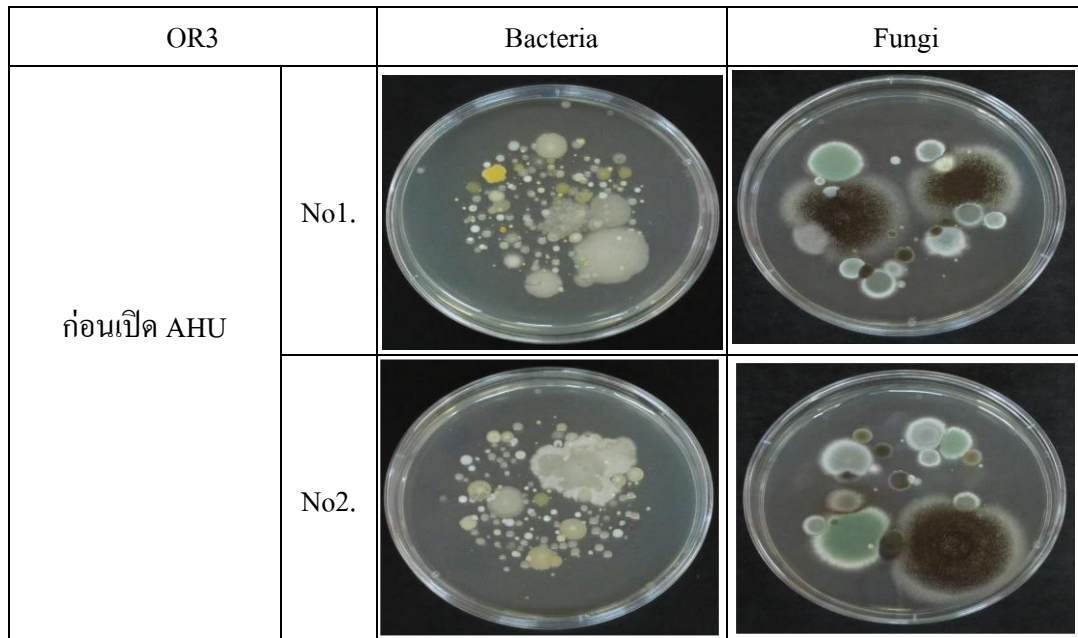
ลำดับการตรวจวัด	ดัชนีที่ตรวจวัด	ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ 1	ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ 2	ค่ามาตรฐาน	ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐาน
ก่อนเปิด AHU	Total Bacteria count	228	224	500 CFU/m ³ *	Pass
	Total Fungi count	30	30	500 CFU/m ³ *	Pass
หลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที	Total Bacteria count	0	0	35CFU/m ³ **	Pass
	Total Fungi count	0	0	15 CFU/m ³ **	Pass
หลังเปิดระบบแรงดันลบ(-) เวลา 15 นาที	Total Bacteria count	0	2	35CFU/m ³ **	Pass
	Total Fungi count	2	1	15 CFU/m ³ **	Pass

* Singapore Standard SS 554 : 2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings]

**Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002 Jun; 51(2):79-84. Burge HA, Feely JC et al. Guidelines for The Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment.Cincinnati, OH: American Conference of Government Industrial Hygienists, 1989

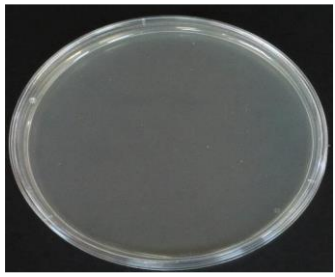
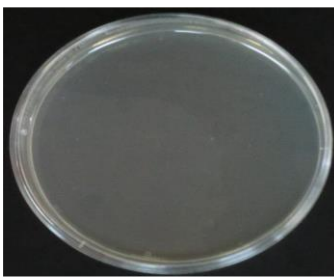
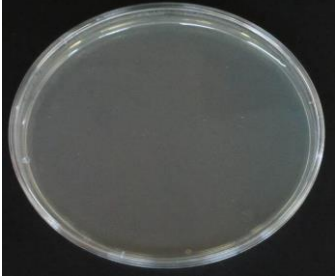
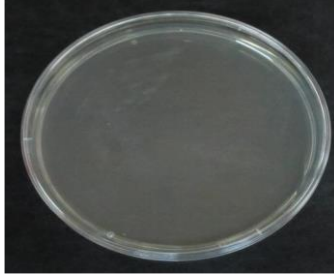
จากผลการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ อ้างอิงหลักการ NIOSH Method 0800 แสดงจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราจากการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศภายในห้องผ่าตัด OR3 พบว่าก่อนเปิด AHU มีการพบจำนวนเชื้อของแบคทีเรียและเชื้อรา แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Singapore Standard SS 554 : 2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings] และหลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที และหลังเปิดระบบแรงดันลบ(-) เวลา 15 นาที พบว่าค่ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Microbial contamination limits in

operating room : Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002 Jun; 51(2):79-8 **ดั่งภาพที่ 4.16 ถึง ภาพที่ 4.18**



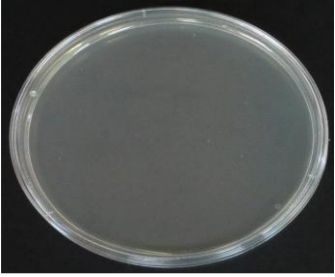
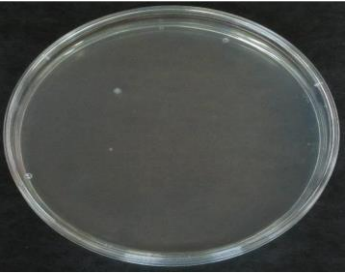
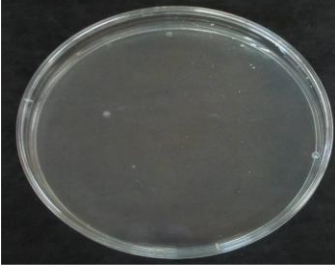
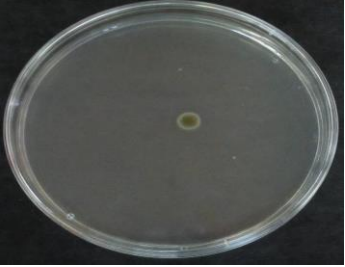
ภาพที่ 4.16 โคลนิจของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด Air Handling Unit

จากผลจำนวนโคลนิจของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด Air Handling Unit ผลยังมีการพบเชื้อในปริมาณที่สูงแต่ไม่เกิน 500 CFU/m³ เกณฑ์มาตรฐาน Singapore Standard SS 554 : 2009 โดยมีผลดังนี้ ค่า Total Bacteria count ตรวจวัดครั้งที่1 อยู่ที่ 228 CFU/m³ และ ตรวจวัดครั้งที่2 อยู่ที่ 224 CFU/m³ และ Total Fungi count ตรวจวัดครั้งที่1 อยู่ที่ 30 CFU/m³ และ ตรวจวัดครั้งที่2 อยู่ที่ 30 CFU/m³ โดยมีเก็บตัวอย่างโดยการเปิด Air Handling Unit และเก็บผลหลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที **ดั่งภาพที่ 4.17**

OR3		Bacteria	Fungi
หลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที	No1.		
	No2.		

ภาพที่ 4.17 โคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ เปิด Air Handling Unit หลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที

จากผลการโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ เปิด Air Handling Unit โดยหลังเปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที ผลยังมีการพบเชื้อในปริมาณที่สูงแต่ไม่เกิน เกณฑ์มาตรฐาน Environmental controls in operating theatres Guidelines for The Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment และพบจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราที่น้อยมาก โดยมีผลดังนี้ ค่า Total Bacteria count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ และ Total Fungi count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ โดยผลโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด AHU หลังเปิดระบบแรงดันลบ (-) แสดงอยู่ในภาพที่ 4.18 ดังนี้

OR3		Bacteria	Fungi
หลังเปิดระบบแรงดันลบ(-) เวลา 15 นาที	No1.		
	No2.		

ภาพที่ 4.18 โคลนินของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเปิด AHU หลังเปิดระบบแรงดันลบ(-) เวลา 15 นาที

จากผลการ โคลนินของแบคทีเรียและเชื้อราที่เจริญเติบโตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากการเก็บตัวอย่างอากาศ เปิด Air Handling Unit โดยหลังเปิดระบบแรงดันบวก(-) เวลา 15 นาที ผลยังมีการพบเชื้อในปริมาณที่สูงแต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานเกณฑ์มาตรฐาน Environmental controls in operating theatres Guidelines for The Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment และพบจำนวนโคลนินของแบคทีเรียและเชื้อราน้อยมาก โดยมีผลดังนี้ ค่า Total Bacteria count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ และ 2 CFU/m³ และ Total Fungi count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 2 CFU/m³ และ 1 CFU/m³ โดยพบจำนวนโคลนินของแบคทีเรียและเชื้อราที่มากกว่า เปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาที โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัดด้วยวิธี Volumetric Air Sampling ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 การดำเนินการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัดด้วยวิธี Volumetric Air Sampling ใช้วัดปริมาณเชื้อในอากาศที่ตกกระทบบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจวัดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria count) และราทั้งหมด (Total fungi count) ในอากาศ โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ MAS-100 NT®

จากการดำเนินการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศในห้องผ่าตัดด้วยวิธี Volumetric Air Sampling ใช้วัดปริมาณเชื้อในอากาศที่ตกกระทบบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อตรวจวัดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria count) และราทั้งหมด (Total fungi count) ในอากาศ โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ MAS-100 NT® พบว่าในระหว่างการเก็บค่านั้นในกรณีเปิดระบบแรงดันบวก(+) และระบบแรงดันลบ(-) จะต้องดำเนินการโดยสวมใส่ PPE ตลอดระยะเวลาการดำเนินการ

4.2 ผลการศึกษาการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Airborne Contaminant Removal

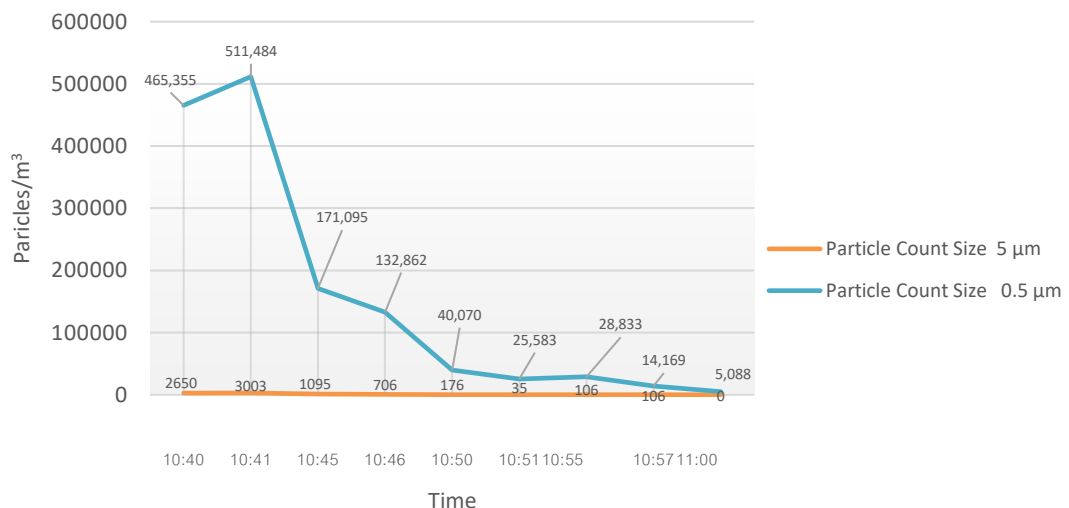
ค่านาทีที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention

จากผลการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) พบข้อเสนอแนะในการเฝ้าระวังความเสี่ยง ในการเปิดระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัด ก่อนเริ่มการใช้งานหรือรับผู้ป่วยรายต่อไปอย่างน้อยตามเวลาที่กำหนด (ดังตารางที่ 4.17) เพื่อให้สิ่งปนเปื้อนในอากาศจากภายในห้องระบายออกสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยได้แสดงตามตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.13 คำนวณที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P+) (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention

Room	Air Change per Hour	Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminate
OR 3 (P+)	26	17

จากการเปรียบเทียบตารางคำนวณที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P+) (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants)พบว่าจากอัตรา Air Change per Hour ของห้องผ่าตัดนั้น อยู่ที่ 26 ACH ทำให้สามารถเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานดังกล่าว โดยใช้ระยะเวลาในการกำจัดมลพิษได้ภายในเวลา 17 นาที ห้องผ่าตัดก็มีความสะอาดพร้อมใช้ โดยดูจากภาพที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20

จากกราฟที่แสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 ในจุด (Pos 5) โดยเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 5 นาทีก็สามารถเข้าทำการผ่าตัดและปฏิบัติงานได้ โดยอ้างอิงจากตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 (Pos 5) เปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน หรือ Recovery mode ของการ Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure ในวันที่ 11 มีนาคม 2565 ช่วงเวลา 10.40 – 11.00 น.

ช่วงระยะเวลา	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Pos5) (Particles/m ³) (Run Air Handling Unit)				Result
	Particle Size 5 µm	Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm	Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
10:40	2650	2,930	465,355	352,000	Fail
10:41	3003	2,930	511,484	352,000	Fail
10:45	1095	2,930	171,095	352,000	Pass
10:46	706	2,930	132,862	352,000	Pass
10:50	176	2,930	40,070	352,000	Pass
10:51	35	2,930	25,583	352,000	Pass
10:55	106	2,930	28,833	352,000	Pass
10:57	106	2,930	14,169	352,000	Pass
11:00	0	2,930	5,088	352,000	Pass

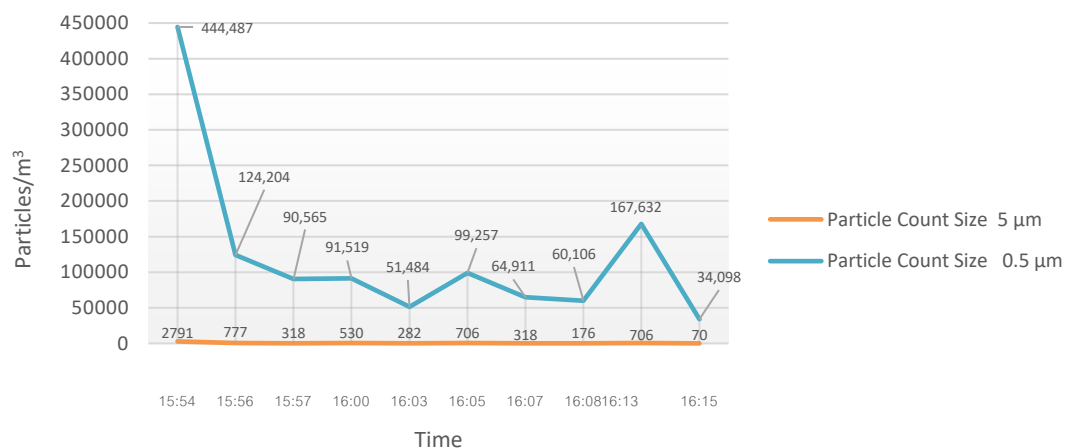
จากผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 ในจุด (Pos 5) โดยเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน หรือ Recovery mode ของการ Run Air Handling Unit (P+)Positive Pressure พบว่าในนาฬิกาที่ 0 ถึง นาฬิกาที่ 5 ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm จะมีระดับความเข้มข้นของอนุภาคเขาสู่เกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ซึ่งจะมีความปลอดภัยและสามารถลดโอกาสในการติดเชื้อจากการผ่าตัด ซึ่งยังมีความสัมพันธ์กับ ค่าเวลาที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P+) (Minutes required for removal efficiencies of

99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention ที่กำหนดไว้ที่ 26 ACH ใช้เวลา 17 นาทีในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ

ตารางที่ 4.15 ค่านาทีที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention

Room	Air Change per Hour	Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminate
OR 3 (P-)	26	17

จากการเปรียบเทียบตารางค่านาทีที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants)พบว่าจากอัตรา Air Change per Hour ของห้องผ่าตัดนั้น อยู่ที่ 26 ACH ทำให้สามารถเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานดังกล่าว โดยใช้ระยะเวลาในการกำจัดมลพิษได้ภายในเวลา 17 นาที ห้องผ่าตัดก็มีความสะอาดพร้อมใช้ โดยดูจากภาพที่ 4.21 กราฟแสดงปริมาณอนุภาค



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure จากนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 20

จากกราฟที่แสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 ในจุด (Pos 5) โดยเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 2 นาทีก็สามารถเข้าทำการผ่าตัดและปฏิบัติงานได้โดยอ้างอิงจากตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 (Pos5) เปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน (Run Air Handling Unit) (P-) ในวันที่ 11 มีนาคม 2565 ช่วงเวลา 15:54 – 16:15 น.

ช่วงระยะเวลา	ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่				Result
	แขวนลอยในอากาศที่วัดได้ (Pos5) (Particles/m ³) (Run Air Handling Unit) (P-)				
	Particle Size 5 µm	Particle Cleanliness Class Limit ≤ 2,930	Particle Size 0.5 µm	Particle Cleanliness Class Limit ≤ 352,000	
15:54	2791	2,930	444,487	352,000	Fail
15:56	777	2,930	124,204	352,000	Pass
15:57	318	2,930	90,565	352,000	Pass
16:00	530	2,930	91,519	352,000	Pass
16:03	282	2,930	51,484	352,000	Pass
16:05	706	2,930	99,257	352,000	Pass
16:07	318	2,930	64,911	352,000	Pass
16:08	176	2,930	60,106	352,000	Pass
16:13	706	2,930	167,632	352,000	Pass
16:15	70	2,930	34,098	352,000	Pass

จากผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 ในจุด (Pos 5) โดยเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน หรือ Recovery mode ของการ Run Air Handling Unit (P-) Negative Pressure พบว่าในนาฬิกาที่ 0 ถึง นาฬิกาที่ 2 ค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศขนาด Particle Size 5 µm และ Particle Size 0.5 µm จะมีระดับความเข้มข้นของอนุภาคเข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน ISO 14644-1 ที่เสนอแนะให้ห้องผ่าตัด อยู่ในระดับชั้นของห้องสะอาดไม่เกิน ISO Class-7 ซึ่งจะมีความปลอดภัยและสามารถลดโอกาสในการติดเชื้อจากการผ่าตัด ซึ่งยังมีความสัมพันธ์กับค่าเวลาที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Run Air Handling Unit (P-) (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne

contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention ที่กำหนดไว้ที่ 26 ACH ใช้เวลา 17 นาทีในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศโดยที่อ้างอิงตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางอ้างอิงข้อมูลจากตาราง Air Change Per Hour And Time in Minutes required for removal efficiencies of 90,99.9% of airborne contaminants

CDC [This table is prepared according to the formula * $t_1 = (\ln (C_2/C_1) / (Q/V) \times 60$, which is an adaptation of the formula for the rate of purging airborne contaminants with $t_1 = 0$, and $C_2/C_1 = 1 - (\text{removal efficiency}/100)$.]

Air Changes per Hour	Minutes required for removal efficiency of		
	90%	99%	99.9%
1	138	276	414
2	69	138	207
3	46	92	138
4	35	69	104
5	28	55	83
6	23	46	69
7	20	39	59
8	17	35	52
9	15	31	46
10	14	28	41
11	13	25	38
12	12	23	35
14	10	20	30

Air Changes per Hour	Minutes required for removal efficiency of		
	90%	99%	99.9%
15	9	18	28
16	9	17	26
17	8	16	24
18	8	15	23
19	7	15	22
20	7	14	21
25	6	11	17
30	5	9	14
35	4	8	12
40	3	7	10
45	3	6	9
50	3	6	8

ที่มา: Centers for Disease Control and Prevention, Federal Register 58 9195), 52809, October 12, 1993

4.3 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR3 ทั้งในกรณี Off AHU และ Run AHU ห้องผ่าตัด แรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) และ ในกรณี Off AHU และ Run AHU ห้อง

ผ่าตัด แรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) นั้นผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องทางทฤษฎีหลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล ที่แสดงในตารางสรุปผล ตารางที่ 4.18 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Positive Pressure (P+) และ ตารางที่ 4.19 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Negative Pressure (P-)

ตารางที่ 4.18 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Positive Pressure (P+)

Operation Room	OR3				Standard
Hepa Filter	10				
Air pressure status	Off AHU	ครั้งที่ 1	Off AHU	ครั้งที่ 2	
Air Change Rate (ACH)	-	26.2	-	26.4	>20 ACH (ASHRAE 170-2017)
Total Supply Air (CFM)	-	2,039	-	2,056	
Differential Pressure (Pa)	-	10.8	-	11.0	>2.5Pa (ASHRAE 170-2017)
Total Bacteria count	228*	0	224*	0	(*) <500 CFU/m ³ Singapore Standard SS 554 : 2009 <35 CFU/m ³ Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002
Total Fungi count	30*	0	30*	0	(*) <500 CFU/m ³ Singapore Standard SS 554 : 2009 <15 CFU/m ³ Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002
Avg. Room Temperature (°C)	23.7	21.6	23.7	21.2	20 – 24 (°C) (ASHRAE 170-2017)
Avg. Relative Humidity (%RH)	57.6	59.9	57.5	60.1	40-60 %RH (ASHRAE 170-2017)
Avg. Particle (0.5 µm) Internal	1,877,698	8,348	1,858,560	6,709	352,000 particles/m ³ (ISO 14644-1:2015)
Avg. Particle (5 µm) Internal	9,156	1,183	19,328	516	2,930 particles/m ³ (ISO 14644-1:2015)
Avg. Particle (0.5 µm) Corridor	3,819,646		3,844,223		particles/m ³
Avg. Particle (5 µm) Corridor	45,724		37,615		particles/m ³

จากตารางที่ 4.18 การสรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Positive Pressure (P+) พบว่าในการตรวจคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดทั้ง 2 ครั้ง ซึ่งตามข้อกำหนดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 14644-1 พบว่าเกณฑ์คุณภาพอากาศนั้นผ่านเกณฑ์

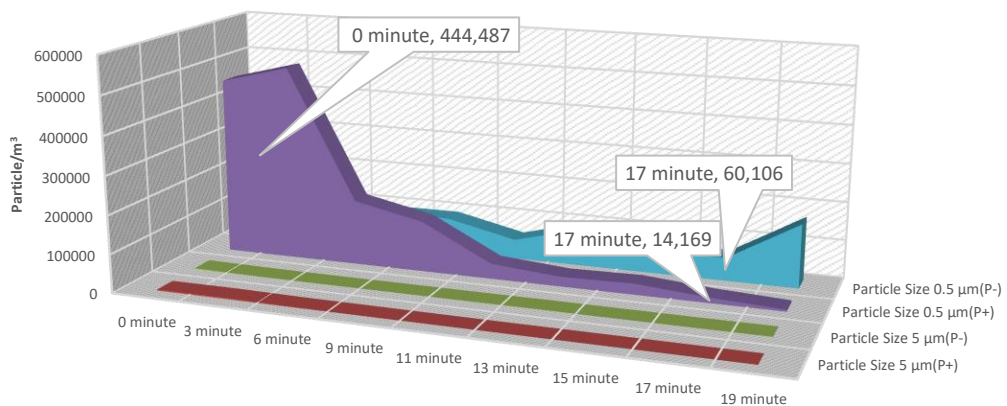
มาตรฐานทั้ง 2 ครั้ง โดยที่ค่าความเข้มข้นของอนุภาค ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ ค่าแรงดันอากาศ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 170-2017 ของกรณีห้องผ่าตัด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจุลชีพแขวนลอยในอากาศค่า Total Bacteria count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ และ Total Fungi count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน Environmental controls in operating theatres Guidelines for The Assessment of Bio aerosols in the Indoor Environment ซึ่งสอดคล้องทางทฤษฎีหลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล

ตารางที่ 4.19 สรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Negative Pressure (P-)

Operation Room	OR3				Standard
	10				
Hepa Filter					
Air pressure status	Off AHU	ครั้งที่1	Off AHU	ครั้งที่2	
Air Change Rate (ACH)	-	26.0	-	26.6	>20 ACH (ASHRAE 170-2017)
Total Supply Air (CFM)	-	2,023	-	2,073	
Differential Pressure (Pa)	-	-2.6	-	-2.5	> -2.5Pa (ASHRAE 170-2017)
Total Bacteria count	228*	0	224*	2	(*) <500 CFU/m ³ Singapore Standard SS 554 : 2009 <35 CFU/m ³ Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002
Total Fungi count	30*	2	30*	1	(*) <500 CFU/m ³ Singapore Standard SS 554 : 2009 <15 CFU/m ³ Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002
Avg. Room Temperature (°C)	23.9	22.8	23.9	22.8	20 – 24 (°C) (ASHRAE 170-2017)
Avg. Relative Humidity (%RH)	57.5	57.8	56.9	57.1	40-60 %RH (ASHRAE 170-2017)
Avg. Particle (0.5 µm) Internal	1,877,517	136,687	1,893,710	114,310	352,000 particles/m ³ (ISO 14644-1:2015)
Avg. Particle (5 µm) Internal	7,367	1,037	6,987	591	2,930 particles/m ³ (ISO 14644-1:2015)
Avg. Particle (0.5 µm) Corridor	4,090,795		3,405,760		particles/m ³
Avg. Particle (5 µm) Corridor	59,487		28,816		particles/m ³

จากตารางที่ 4.19 การสรุปผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Negative Pressure (P-) พบว่าในการตรวจคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดทั้ง 2 ครั้ง ซึ่งตามข้อกำหนด

เกี่ยวกับวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 14644-1 พบว่าเกณฑ์คุณภาพอากาศนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 2 ครั้งโดยที่ค่าความเข้มข้นของอนุภาค ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ ค่าแรงดันอากาศ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 170-2017ของกรณีห้องผ่าตัด แต่มีค่าเข้มข้นของอนุภาคสูงกว่าห้องผ่าตัด OR 3 แบบ Positive Pressure (P+) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจุลชีพแขวนลอยในอากาศค่า Total Bacteria count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ และ 2 CFU/m³ และ Total Fungi count ตรวจวัดครั้งที่1และ2 อยู่ที่ 2 CFU/m³ และ 1 CFU/m³ โดยพบจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียละเชื้อราที่มากกว่า เปิดระบบแรงดันบวก(+) เวลา 20 นาทีซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน Environmental controls in operating theatres Guidelines for The Assessment of Bio aerosols in the Indoor Environment และเมื่อมีการเปรียบเทียบกับผลการศึกษากำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Airborne Contaminant Removal แสดงผลดังภาพที่ 4.22



	0 minute	3 minute	6 minute	9 minute	11 minute	13 minute	15 minute	17 minute	19 minute
■ Particle Size 5 μm(P+)	2650	3003	1095	706	176	35	106	106	0
■ Particle Size 5 μm(P-)	2791	777	318	530	282	706	318	176	706
■ Particle Size 0.5 μm(P+)	465,355	511,484	171,095	132,862	40,070	25,583	28,833	14,169	5,088
■ Particle Size 0.5 μm(P-)	444,487	124,204	90,565	91,519	51,484	99,257	64,911	60,106	167,632

ภาพที่ 4.22 ภาพกราฟแสดงปริมาณอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่ม Run Air Handling Unit จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 ทั้ง แบบ Positive Pressure (P+) และ Negative Pressure (P-)

โดยการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ หรือค่าเวลาที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and

Prevention นั้นพบว่าในกรณี ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) และ ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) นั้นใช้ระยะเวลาในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศอยู่ที่ 17 นาที โดยค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) เฉลี่ยอยู่ที่ 26 ACH และเมื่อมีการเปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด OR3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน (Run Air Handling Unit) ที่เป็นแรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 5 นาที ก็สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศในอยู่ในเกณฑ์ได้ และ กรณีห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) จากนาฬิกาที่ 0 ถึงนาฬิกาที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 2 นาที ก็สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ได้ แต่จะมีค่าอนุภาคในอากาศขนาด Particle Size 0.5 μm ครั้งที่ 1 และ 2 เฉลี่ยที่ 136,687 particles/m³ และ 114,310 particles/m³ ตามลำดับ ซึ่งจะสูงกว่า กรณีห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) ที่มีค่าอนุภาคในอากาศขนาด Particle Size 0.5 μm ครั้งที่ 1 และ 2 เฉลี่ยที่ 8,348 particles/m³ และ 6,709 particles/m³ ตามลำดับ ซึ่งจะมีความสะอาดกว่า ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด ทั้ง 2 แบบ

4.4 อภิปรายผลและข้อจำกัดในงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เกิดจากการที่ห้องผ่าตัด 3 ของโรงพยาบาลนครชน มีการใช้งานมานานมากกว่า 25 ปี และได้มีการปรับปรุงทางด้านโครงสร้าง งานระบบและงานสถาปัตยกรรมภายในห้องผ่าตัดใหม่ทั้งหมด โดยมีการติดตั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ภายในห้องผ่าตัดโดยจัดทำเป็นแบบทั้งห้องผ่าตัดแรงดันบวก(+) Positive pressure และห้องผ่าตัดแรงดันลบ (-) Negative pressure ภายในห้องเดียวกัน โดยขนาดพื้นที่ห้องผ่าตัดอยู่ที่ 45.54 ตารางเมตร และปริมาตรห้องผ่าตัดอยู่ที่ 131.67 ลูกบาศก์เมตร โดยขนาดเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในห้องผ่าตัดขนาด 49,219 Btu/h ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น (EER) อยู่ที่ 10.66 โดยการจัดเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด 3 มีการจัดเก็บข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดทั้งสิ้นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 14644-1 ซึ่งจากผลการศึกษาคูณภาพอากาศ ค่าอนุภาค ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศ อัตราการหมุนเวียนอากาศ และผลการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศ ภายในห้องผ่าตัด 3 พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องผ่าตัด และสอดคล้องกับทฤษฎีหลักการควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาเรื่อง “การศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องผ่าตัดโรงพยาบาลนครชน” สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาเรื่อง คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ เพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อเจ้าหน้าที่และผู้ป่วยที่ใช้งานภายในห้องผ่าตัด ป้องกันการติดเชื้อและเป็นไปตามเกณฑ์ที่ยอมรับ อ้างอิงมาตรฐานองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization; ISO), ISO 14644-1, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 170-2017), Singapore Standard SS 554 : 2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air Conditioned buildings], Microbial contamination limits in operating room : Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. 2002 Jun; 51(2):79-84. Burge HA, Feely JC et al. Guidelines for The Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment. พบว่าผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด 3 ทั้งในกรณี Off AHU และ Run AHU ห้องผ่าตัด แรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) และ ในกรณี Off AHU และ Run AHU ห้องผ่าตัด แรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) นั้นผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

และผลการศึกษากำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ Airborne Contaminant Removal คำนวณที่จำเป็นสำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของตัวกรองอากาศ 99.9% ของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ (Minutes required for removal efficiencies of 99.9% of airborne contaminants) อ้างอิงข้อเสนอแนะจาก Centers for Disease Control and Prevention นั้นพบว่าในกรณี ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) และ ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) นั้นใช้ระยะเวลาในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศอยู่ที่ 17 นาที โดยค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Change Rate) เฉลี่ยอยู่ที่ 26 ACH และเมื่อมีการเปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดอนุภาคในอากาศของห้องผ่าตัด 3 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน (Run Air Handling Unit) ที่เป็นแรงดันอากาศ

แบบ Positive Pressure (P+) จากนาที่ที่ 0 ถึงนาที่ที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 5 นาที ก็สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศในอยู่ในเกณฑ์ได้ และ กรณีห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) จากนาที่ที่ 0 ถึงนาที่ที่ 20 พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 2 นาที ก็สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ได้ แต่จะมีค่าอนุภาคในอากาศขนาด Particle Size 0.5 μm ในครั้งที่ 1 และ 2 เฉลี่ยที่ 136,687 particles/m³ และ 114,310 particles/m³ ตามลำดับ ซึ่งจะสูงกว่า กรณีห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Positive Pressure (P+) ที่มีค่าอนุภาคในอากาศขนาด Particle Size 0.5 μm ครั้งที่ 1 และ 2 เฉลี่ยที่ 8,348 particles/m³ และ 6,709 particles/m³ ตามลำดับ ซึ่งจะมีความสะอาดกว่า ห้องผ่าตัดแรงดันอากาศแบบ Negative Pressure (P-) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อราจากการเก็บตัวอย่างจุลชีพแขวนลอยในอากาศภายในห้องผ่าตัด 3 โดยที่ 1) ก่อน Run Air Handling Unit ค่า Total Bacteria count ครั้งที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 228 และ 224 CFU/m³ ค่า Total Fungi count ครั้งที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 30 CFU/m³ 2) Run Air Handling Unit แบบ Positive Pressure (P+) ในนาที่ที่ 20 ค่า Total Bacteria count ครั้งที่ 1, 2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ ค่า Total Fungi count ครั้งที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 0 CFU/m³ 3) Run Air Handling Unit แบบ Negative Pressure (P-) ในนาที่ที่ 15 ค่า Total Bacteria count ครั้งที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 0 และ 2 CFU/m³ ค่า Total Fungi count ครั้งที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 2 และ 1 CFU/m³ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จำนวนค่าอนุภาคในอากาศ นั้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียและเชื้อรา จุลชีพแขวนลอยในอากาศภายในห้องผ่าตัด

5.2 ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

5.2.1 จากผลการศึกษาคุณภาพอากาศเฉพาะห้องผ่าตัด 3 ของโรงพยาบาลนครชนน พื้นที่ห้องขนาด 45.54 ตารางเมตร มีค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 26 ACH พบว่าระยะเวลาในการจัดการอากาศภายในห้องผ่าตัดให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของ Centers for Disease Control and Prevention พบว่าแบบ Positive Pressure (P+) และแบบ Negative Pressure (P-) จะมีการใช้ระยะเวลาประมาณ 17 นาที โดยในการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ภายในห้องผ่าตัด การเปิดระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัด ก่อนเริ่มการใช้งานหรือรับผู้ป่วยรายต่อไปอย่างน้อยตามเวลาที่กำหนด เพื่อให้สิ่งปนเปื้อนในอากาศจากภายในห้องระบายออกสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และในการผ่าตัดผู้ปฏิบัติงานควรพิจารณาหาใจที่จำเป็นต้องใช้ห้องผ่าตัดแบบ Negative Pressure (P-) ควรระมัดระวังเรื่องการเปิด ปิดประตูห้องผ่าตัด ขณะทำการผ่าตัด โดยใช้ห้องผ่าตัดแบบ Negative Pressure (P-) จะมีค่าอนุภาคจากภายนอกห้องสามารถเข้าไปในห้องผ่าตัด ได้ตลอดระยะเวลาที่มีการผ่าตัด

5.2.2 สำหรับส่วนงานวิศวกรรม และผู้ดูแลระบบ ในงานซ่อมบำรุงหรือผู้เกี่ยวข้องกำหนดแผนการบำรุงรักษา ตรวจสอบระบบระบายอากาศของห้องผ่าตัด โดยเรื่องของการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศ เสนอให้การทำกรติดตั้งเครื่องตรวจนับชั่วโมงการใช้งาน Hour counter เพื่อกำหนดอายุการใช้งานและแผนการปรับเปลี่ยนของแผงกรองอากาศ อีกทั้งอาจมีการเพิ่มเติมในส่วนสัญญาณแจ้งความพร้อมใช้ ของระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัดที่สอดคล้องกับระยะเวลาการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ให้กับบุคลากรทางแพทย์ก่อนที่จะมีการผ่าตัดในครั้งถัดไป ทั้งนี้ และควรกำหนดแผนการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานและบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบบกรองอากาศของห้องผ่าตัดอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้ประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานสูงสุด ซึ่งตามมาตรฐาน ISO 14644-1 เสนอแนะให้มีการบำรุงรักษาและทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และส่วนโครงสร้างห้องผ่าตัด ควรมีการจัดทำ Anter Room เพื่อป้องกันค่าอนุภาคจากภายนอกห้องเข้าไปภายในห้องผ่าตัดได้หากมีการใช้ห้องผ่าตัดแบบ Negative Pressure (P-)

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

จากการศึกษาคุณภาพอากาศห้องผ่าตัด ของห้อง 3 ที่เป็นการตรวจวัดแบบ At – rest ตรวจวัดโดยไม่มีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ในห้องผ่าตัด พบว่าในปัจจุบัน มีการทำการศึกษาคูณภาพอากาศห้องผ่าตัดในรูปแบบของ Operational ตรวจวัดโดยมีผู้ปฏิบัติงานที่เป็นบุคลากรทางแพทย์อยู่ในห้องผ่าตัด ให้เป็นแบบ Real Operating Theatre ซึ่งจะสามารรถเปรียบเทียบคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ที่สอดคล้องกับปัจจัยการใช้งานห้องผ่าตัดมากยิ่งขึ้น ได้แก่ปัจจัยที่มาจาก ตัวบุคลากรทางแพทย์ ผู้รับบริการ เครื่องมือที่ใช้ในการผ่าตัด ชุดป้องกันหรืออุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เป็นต้น ทั้งนี้ยังมีการนำ Computational Fluid Dynamics (CFD) มาใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหลหรือการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องผ่าตัด เพื่อทดสอบระบบการจัดการอากาศภายในห้องผ่าตัด หรือแม้กระทั่งการจัดทำแนวทางการป้องกันการติดเชื้อภายในห้องผ่าตัดให้กับบุคลากรทางการแพทย์และผู้รับบริการห้องผ่าตัด ให้มีความเสี่ยงจากการติดเชื้อที่มาจากการทำงานหรือเข้ารับบริการ ในห้องผ่าตัดที่ลดลง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- สุทิน อยู่สุข. (2533). การระบายอากาศ ในเอกสารการสอน ชุดวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมพื้นฐาน หน่วยที่ 14 นนทบุรี. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- จักรพันธ์ ภาวิงค์รัตน์. (2546). ระบบปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล. บทความวิชาการ สมาคม วิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย
- วรกมล บุญยโยธิน, ชีรยุทธ เหลืองศรีสกุล. (2561). ระบบระบายอากาศสำหรับควบคุมคุณภาพ อากาศในโรงพยาบาล. บทความวิชาการ ปีที่ 71 ฉบับที่ 1. เวชสารแพทย์ทหารบก หน้า 51-61.
- งานส่งเสริมคุณภาพมาตรฐาน กลุ่มส่งเสริมมาตรฐานวิศวกรรม. (2557). ปัญหาระบบการปรับ อากาศและระบายอากาศห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลศูนย์โรงพยาบาลทั่วไป ใน 8 จังหวัดภาคกลาง. บทความวิชาการ วารสารวิศวกรรมการแพทย์ กองวิศวกรรม การแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. หน้า 22-28
- รชนีกร วีระเจริญ, ณัฐพงศ์ แผละหมั่น และ ชยาพล จงเจริญ. (2563). คุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัดของสถานพยาบาลสองแห่ง. บทความวิชาการ ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 วารสารโรคและภัยสุขภาพ สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 3 กรม ควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.
- สาธิต นฤภัย. (2562). การออกแบบระบบสร้างความดันบวกดันลบต่ำ เพื่อลดการติดเชื้อในห้อง ผ่าตัดขนาดเล็กที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน. บทความวิชาการ ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. หน้า 30-36
- พรชรัฏฐ์ สายยุทธ, กัลยา หาญพิชาญชัย และ จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย. (2562). ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใน อากาศและคุณภาพอากาศในอาคารของ โรงพยาบาล : กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์. เชียงใหม่: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- นภัฐมณ มโนรัตน์ และ นันทกา สิ้นธุพันธ์สกุล. (2562). การศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนและ คุณภาพอากาศในอาคารในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ. บทความวิชาการ ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย
- ปานทิพย์ ธิโนชัย มนทิรา เตี้ยเล็ก และ จิรา คงปราณ. (2561). คุณภาพอากาศภายในอาคาร โรงพยาบาล: กรณีศึกษา โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช.

วารสารวิชาการสาธารณสุข ปีที่ 28 ฉบับที่ 2 สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย
วลัยลักษณ์

ภาษาต่างประเทศ

ASHRAE Application Handbook. (2017). *Health Care Facilities, 2003 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc.*

CDC Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities Center for Disease Control and Prevention Guidelines. (2019). (CDC)

The International Organization for Standardization; ISO, ISO 14644-1: (2015). from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14644:-1:ed-2:v1:en>

Singapore Standard SS 554: 2009 [Code of Practice for Indoor Air Quality for Air-Conditioned buildings]. (2009). from <http://www.enviresearch.co.th/wp-content/uploads/2020/01/Indoor-Air-AD-2009.pdf>

Microbial contamination limits in operating room: Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres: J Hosp Infect. (2002) Jun; 51(2):79-84. Burge HA, Feely JC et al. Guidelines for The Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment. Cincinnati, OH: American Conference of Government Industrial Hygienists, 1989

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ใบรายงานผลการตรวจวัดค่าอนุภาค

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายนอกห้องผ่าตัด 3 (สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure)

จุดที่ 9 ครั้งที่ 1

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:12:55		
User:		
Location:	LOCATION_003	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:07:23	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	2926431	3219328
1.0	224276	292897
3.0	34275	68621
5.0	34346	34346

จุดที่ 9 ครั้งที่ 2

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:12:55		
User:		
Location:	LOCATION_004	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:08:32	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	2977456	3209399
1.0	184452	231943
3.0	28163	47491
5.0	19328	19328

จุดที่ 10 ครั้งที่ 1

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:06:18		
User:		
Location:	LOCATION_001	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:03:41	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	3820813	4419964
1.0	455159	599151
3.0	86890	143992
5.0	57102	57102

จุดที่ 10 ครั้งที่ 2

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:06:18		
User:		
Location:	LOCATION_002	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:04:50	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	3883004	4479046
1.0	451661	596042
3.0	88480	144381
5.0	55901	55901

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายนอกห้องผ่าตัด 3 (สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure)

จุดที่ 9 ครั้งที่ 1

```

S/N:C2818024
2022-03-11 09:12:55
User:
Location: LOCATION_005
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:10:35
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01
SIZE(um) DIFF. CUMUL.
0.5 2908092 3134275
1.0 182968 226183
3.0 24841 43215
5.0 18374 18374
    
```

จุดที่ 9 ครั้งที่ 2

```

S/N:C2818024
2022-03-11 09:12:55
User:
Location: LOCATION_006
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:11:42
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01
SIZE(um) DIFF. CUMUL.
0.5 2877703 3086678
1.0 168092 208975
3.0 24276 40883
5.0 16607 16607
    
```

จุดที่ 10 ครั้งที่ 1

```

S/N:C2818024
2022-03-11 09:17:30
User:
Location: LOCATION_007
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:15:02
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01
SIZE(um) DIFF. CUMUL.
0.5 4283710 5047314
1.0 555901 763604
3.0 107103 207703
5.0 100600 100600
    
```

จุดที่ 10 ครั้งที่ 2

```

S/N:C2818024
2022-03-11 09:17:30
User:
Location: LOCATION_008
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:16:17
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01
SIZE(um) DIFF. CUMUL.
0.5 3349400 3724841
1.0 285371 375441
3.0 49046 90070
5.0 41024 41024
    
```

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (OFF AHU สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure)

ครั้งที่ 1

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 09:41:31
User:
Location: LOCATION_017
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:39:05
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1775972	1843533
1.0	89682	117561
3.0	14028	27879
5.0	13851	13851

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 09:34:29
User:
Location: LOCATION_013
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:32:01
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1611307	1711554
1.0	81343	100247
3.0	11343	18904
5.0	7561	7561

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 09:26:12
User:
Location: LOCATION_009
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:23:30
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1506396	1601731
1.0	76996	95335
3.0	11449	18339
5.0	6890	6890

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 10:10:46
User:
Location: LOCATION_033
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:08:13
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1879188	2006007
1.0	102014	126819
3.0	14912	24805
5.0	9893	9893

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 10:17:31
User:
Location: LOCATION_037
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:14:37
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	2029046	2163922
1.0	107279	134876
3.0	16502	27597
5.0	11095	11095

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 09:47:49
User:
Location: LOCATION_021
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:45:27
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1733887	1840812
1.0	88940	106925
3.0	11307	17985
5.0	6678	6678

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 10:03:16
User:
Location: LOCATION_029
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:00:39
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1742580	1862155
1.0	95053	119575
3.0	14522	24522
5.0	10000	10000

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 09:55:36
User:
Location: LOCATION_025
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:53:14
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1829152	1941872
1.0	92084	112720
3.0	13357	20636
5.0	7279	7279

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (OFF AHU สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure)

ครั้งที่ 2

จุดที่ 1

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:41:31		
User:		
Location:	LOCATION_018	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:40:16	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1818940	1937173
1.0	95972	118233
3.0	13428	22261
5.0	8833	8833

จุดที่ 2

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:34:29		
User:		
Location:	LOCATION_014	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:33:11	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1557951	1654346
1.0	79505	96395
3.0	10636	16890
5.0	6254	6254

จุดที่ 3

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:26:12		
User:		
Location:	LOCATION_010	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:24:48	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1493322	1586784
1.0	75371	93462
3.0	12296	18091
5.0	5795	5795

จุดที่ 4

S/N:C2818024		
2022-03-11 10:10:46		
User:		
Location:	LOCATION_034	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	10:09:22	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1888304	2005088
1.0	96855	116784
3.0	12474	19929
5.0	7455	7455

จุดที่ 5

S/N:C2818024		
2022-03-11 10:17:31		
User:		
Location:	LOCATION_038	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	10:15:45	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1981343	2109788
1.0	104170	128445
3.0	15406	24275
5.0	8869	8869

จุดที่ 6

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:47:49		
User:		
Location:	LOCATION_022	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:46:37	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1762402	1873250
1.0	90495	110848
3.0	12686	20353
5.0	7667	7667

จุดที่ 7

S/N:C2818024		
2022-03-11 10:03:16		
User:		
Location:	LOCATION_030	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	10:01:51	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1700495	1818798
1.0	95724	118303
3.0	12792	22579
5.0	9787	9787

จุดที่ 8

S/N:C2818024		
2022-03-11 09:55:36		
User:		
Location:	LOCATION_026	
Start Date:	2022-03-11	
Start Time:	09:54:21	
Flow Rate:	28.3L/min	
Sample Time:	01:00	
Volume Sampled:	28.3L	
Count Mode:	m3	
Cycles:	01 OF 01	
SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1772791	1883250
1.0	91060	110459
3.0	12544	19399
5.0	6855	6855

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (OFF AHU สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure)

ครั้งที่ 1

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 09:44:15
User:
Location: LOCATION_019
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:41:51
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1823074	1931660
1.0	88304	108586
3.0	12367	20282
5.0	7915	7915

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 09:37:52
User:
Location: LOCATION_015
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:35:32
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1666396	1708445
1.0	82792	102049
3.0	12826	19257
5.0	6431	6431

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 09:30:45
User:
Location: LOCATION_011
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:28:06
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1523993	1611554
1.0	72084	87561
3.0	9788	15477
5.0	5689	5689

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 10:13:36
User:
Location: LOCATION_035
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:11:10
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1912262	2032120
1.0	97456	119858
3.0	14346	22402
5.0	8056	8056

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 10:20:19
User:
Location: LOCATION_039
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:17:50
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1988905	2113781
1.0	101060	124876
3.0	14417	23816
5.0	9399	9399

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 09:51:42
User:
Location: LOCATION_023
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:48:30
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1869576	1981378
1.0	92757	111802
3.0	12791	19045
5.0	6254	6254

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 10:06:56
User:
Location: LOCATION_031
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:03:55
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1753533	1869222
1.0	93711	115689
3.0	13286	21978
5.0	8692	8692

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 09:59:15
User:
Location: LOCATION_027
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:56:25
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1664311	1771978
1.0	88516	107667
3.0	12650	19151
5.0	6501	6501

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (OFF AHU สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure)

ครั้งที่ 2

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 09:44:15
User:
Location: LOCATION_020
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:43:02
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1833710	1944876
1.0	91096	111166
3.0	12615	20070
5.0	7455	7455

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 09:37:52
User:
Location: LOCATION_016
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:36:41
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1598128	1700318
1.0	83710	102190
3.0	11555	18480
5.0	6925	6925

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 09:30:45
User:
Location: LOCATION_012
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:29:13
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1602933	1700636
1.0	81060	97703
3.0	11838	16643
5.0	4805	4805

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 10:13:36
User:
Location: LOCATION_036
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:12:19
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1904523	2021696
1.0	95972	117173
3.0	13852	21201
5.0	7349	7349

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 10:20:19
User:
Location: LOCATION_040
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:18:57
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1987280	2112120
1.0	101554	124840
3.0	15159	23266
5.0	8127	8127

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 09:51:42
User:
Location: LOCATION_024
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:49:43
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1897350	2013321
1.0	94275	115971
3.0	13746	21696
5.0	7950	7950

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 10:06:56
User:
Location: LOCATION_032
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 10:05:07
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1722792	1836360
1.0	92826	113568
3.0	13357	20742
5.0	7385	7385

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 09:59:15
User:
Location: LOCATION_026
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 09:57:56
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1717244	1820353
1.0	85901	103109
3.0	11307	17208
5.0	5901	5901

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure)

ครั้งที่ 1

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 11:21:02
User:
Location: LOCATION_055
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:18:34
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	4311	9045
1.0	2049	4734
3.0	424	2685
5.0	2261	2261

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 11:17:11
User:
Location: LOCATION_053
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:12:25
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	11343	16643
1.0	3110	5300
3.0	565	2190
5.0	1625	1625

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 11:11:27
User:
Location: LOCATION_051
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:08:48
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	10707	12968
1.0	1025	2261
3.0	212	1236
5.0	1024	1024

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 11:35:43
User:
Location: LOCATION_063
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:31:20
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	3251	5830
1.0	1237	2579
3.0	353	1342
5.0	989	989

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 11:06:52
User:
Location: LOCATION_049
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:00:32
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	4770	5088
1.0	283	318
3.0	35	35
5.0	0	0

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 11:24:42
User:
Location: LOCATION_057
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:22:03
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	5654	10141
1.0	1908	4487
3.0	530	2579
5.0	2049	2049

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 11:35:07
User:
Location: LOCATION_061
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:28:46
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1978	3886
1.0	742	1908
3.0	283	1166
5.0	883	883

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 11:34:15
User:
Location: LOCATION_059
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:25:57
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1908	3180
1.0	495	1272
3.0	141	777
5.0	636	636

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure)

ครั้งที่ 2

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 11:21:02
User:
Location: LOCATION_056
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:19:40
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	2226	4346
1.0	884	2120
3.0	141	1236
5.0	1095	1095

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 11:17:11
User:
Location: LOCATION_054
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:15:18
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	5972	9081
1.0	1873	3109
3.0	424	1236
5.0	812	812

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 11:11:27
User:
Location: LOCATION_052
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:09:59
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	8587	10247
1.0	706	1660
3.0	354	954
5.0	600	600

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 11:35:43
User:
Location: LOCATION_064
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:32:27
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1696	2932
1.0	742	1236
3.0	176	494
5.0	318	318

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 11:06:52
User:
Location: LOCATION_050
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:04:25
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	17103	18445
1.0	1024	1342
3.0	212	318
5.0	106	106

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 11:24:42
User:
Location: LOCATION_058
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:23:11
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	2262	4558
1.0	1413	2296
3.0	212	883
5.0	671	671

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 11:35:07
User:
Location: LOCATION_052
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:29:54
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	1413	2579
1.0	636	1166
3.0	142	530
5.0	388	388

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 11:34:15
User:
Location: LOCATION_050
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 11:27:06
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	848	1484
1.0	354	636
3.0	141	282
5.0	141	141

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure)

ครั้งที่ 1

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 16:37:39
User:
Location: LOCATION_085
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:18:04
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	108692	119752
1.0	7244	11060
3.0	1767	3816
5.0	2049	2049

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 16:38:35
User:
Location: LOCATION_087
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:20:36
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	82367	88197
1.0	4452	5630
3.0	672	1378
5.0	706	706

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 16:39:11
User:
Location: LOCATION_089
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:23:14
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	126092	135123
1.0	5795	7031
3.0	636	1236
5.0	600	600

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_091
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:25:56
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	94735	99010
1.0	3569	4275
3.0	494	706
5.0	212	212

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 16:16:37
User:
Location: LOCATION_083
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:13:06
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	157032	167632
1.0	8692	10600
3.0	1202	1908
5.0	706	706

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_093
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:28:42
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	138446	145265
1.0	5088	6819
3.0	919	1731
5.0	812	812

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_095
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:31:25
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	105689	111837
1.0	4700	6148
3.0	706	1448
5.0	742	742

จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_097
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:34:07
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	212721	226678
1.0	9788	13957
3.0	1696	4169
5.0	2473	2473

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 (RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure)

ครั้งที่ 2

จุดที่ 1

S/N:C2818024
2022-03-11 16:37:39
User:
Location: LOCATION_086
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:19:11
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	79611	85229
1.0	4205	5618
3.0	848	1413
5.0	565	565

จุดที่ 2

S/N:C2818024
2022-03-11 16:38:35
User:
Location: LOCATION_088
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:21:51
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	35901	37349
1.0	1130	1448
3.0	177	318
5.0	141	141

จุดที่ 3

S/N:C2818024
2022-03-11 16:39:17
User:
Location: LOCATION_090
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:24:23
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	76007	79681
1.0	2826	3674
3.0	424	848
5.0	424	424

จุดที่ 4

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_092
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:27:08
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	86184	91024
1.0	4134	4840
3.0	424	706
5.0	282	282

จุดที่ 5

S/N:C2818024
2022-03-11 16:16:37
User:
Location: LOCATION_084
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:15:03
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	32614	34098
1.0	1237	1484
3.0	177	247
5.0	70	70

จุดที่ 6

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_094
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:29:50
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	180884	190141
1.0	7137	9257
3.0	1131	2120
5.0	989	989

จุดที่ 7

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_096
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:32:35
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	226714	240636
1.0	10884	13922
3.0	1636	3038
5.0	1342	1342

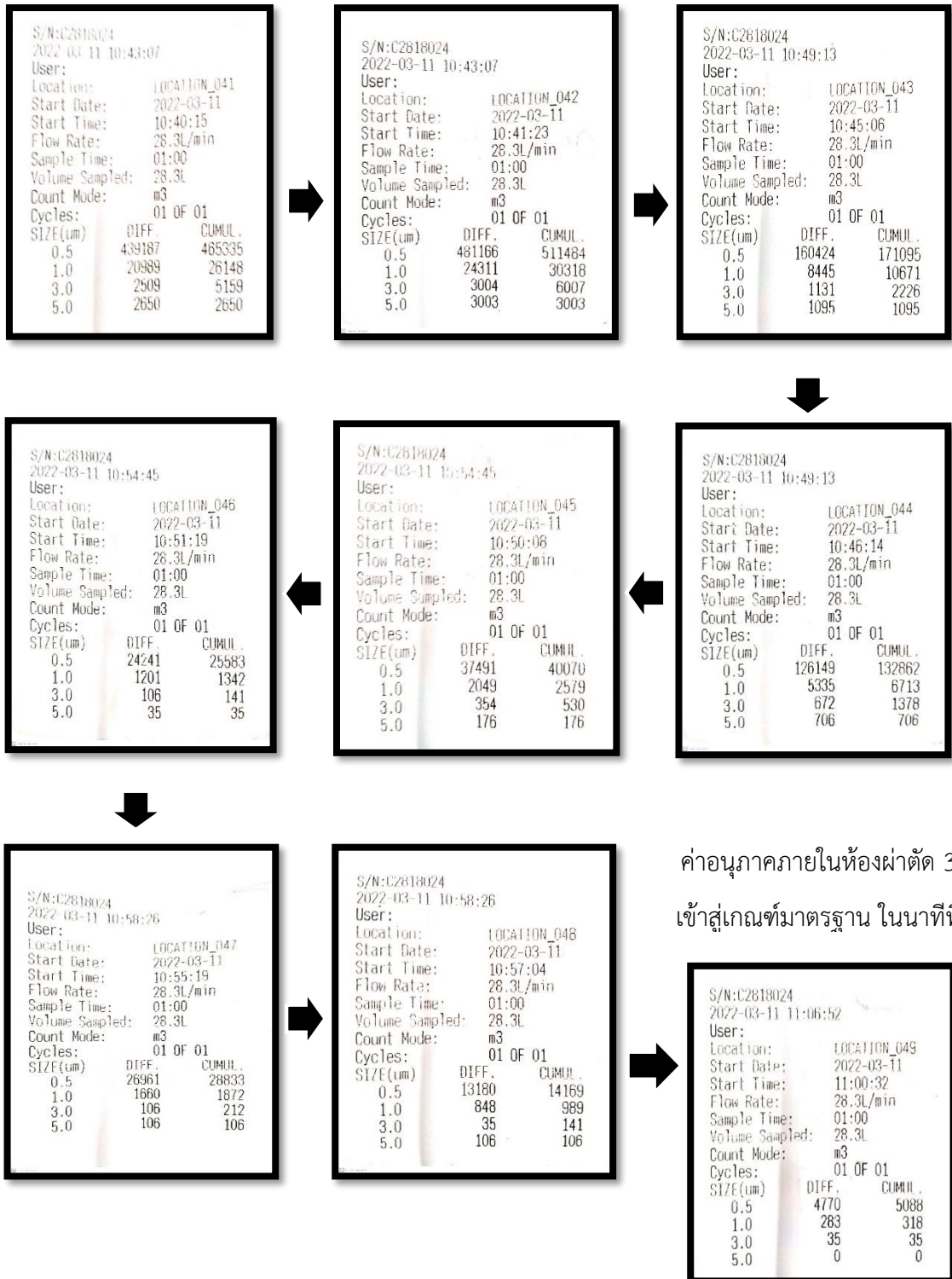
จุดที่ 8

S/N:C2818024
2022-03-11 16:40:55
User:
Location: LOCATION_098
Start Date: 2022-03-11
Start Time: 16:35:16
Flow Rate: 28.3L/min
Sample Time: 01:00
Volume Sampled: 28.3L
Count Mode: m3
Cycles: 01 OF 01

SIZE(um)	DIFF.	CUMUL.
0.5	148834	156325
1.0	5831	7491
3.0	742	1660
5.0	918	918

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 จุดที่ 5 ใน Recovery mode เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่เริ่ม RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Positive Pressure จนค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน

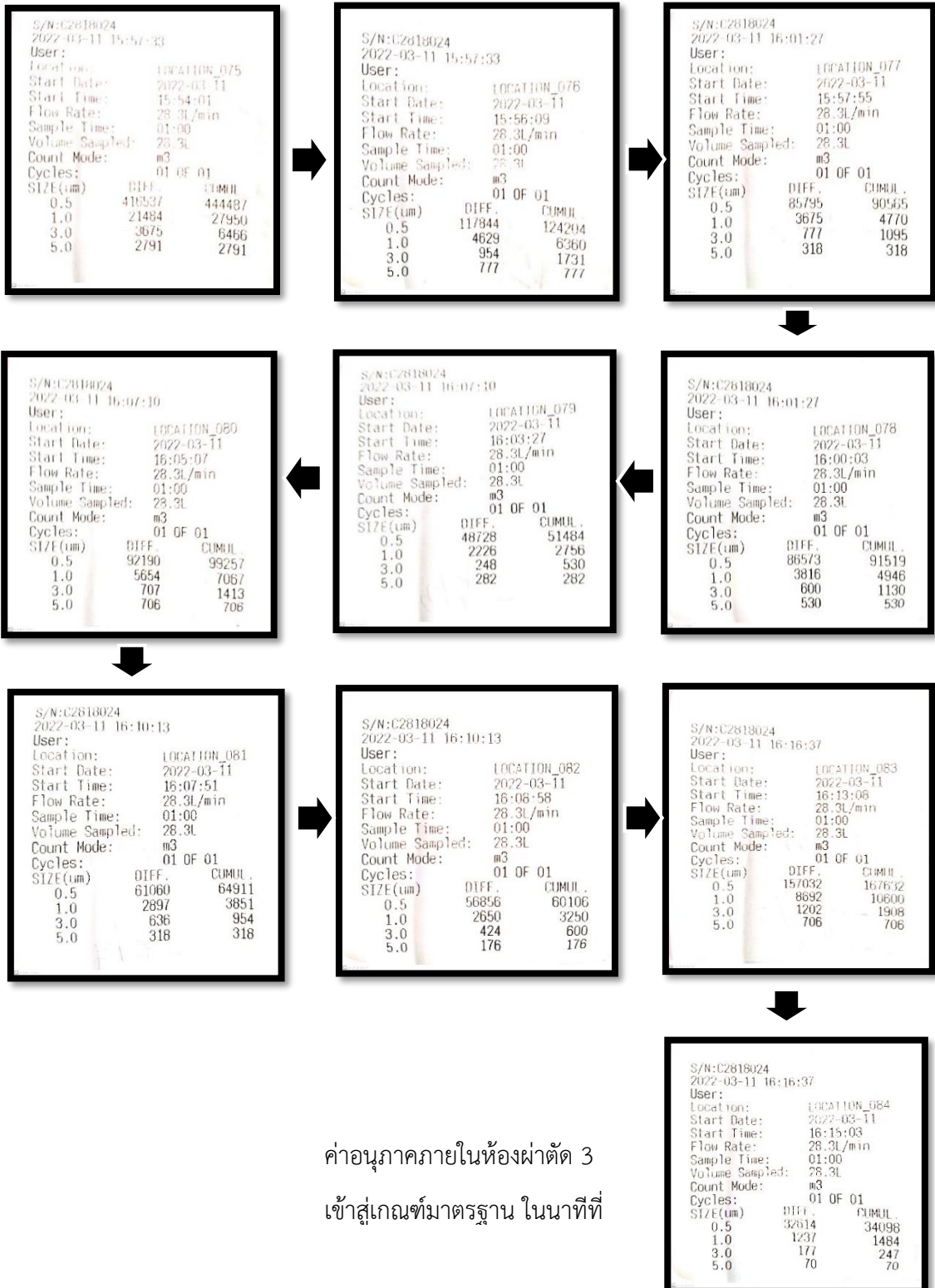
เริ่ม RUN AHU



ค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3
เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน ในนาฬิกาที่

ผลการตรวจวัดค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 จุดที่ 3 ใน Recovery mode เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่เริ่ม RUN AHU สถานะแรงดันห้อง Negative Pressure จนค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3 เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน

เริ่ม RUN AHU



ค่าอนุภาคภายในห้องผ่าตัด 3
เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐาน ในเวลาที่

ภาคผนวก ข

ใบรายงานผลการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศด้านชีวภาพ



NLAC-MU Project for Microbiological Laboratory Service Report

Receiving No. 116/65 Report No. 120/65
 Receiving date 5 April 2022
 Company D CAREPLUS GROUP CO., LTD
 Title Viable airborne particulates counted

Product information

Sample Microbiological culture media (Dichloran-Glycerol (DG18) Agar) were sampled air using the Microbial Air Sampler (MAS-100 NT) to monitor indoor air quality both before and after turning on the pressure system
 Location OR 3, โรงพยาบาลนครธน
 1 ซอย 56 ถนนพระราม 2 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150

Result

Period of test 5 – 7 April 2022
 Methods Cultivation In-house SOP-AS.LAU-01.12
 Result

Specification	Total Mold Count (CFU/m ³)	
	OR 3 ตำแหน่งที่ 1	OR 3 ตำแหน่งที่ 2
1. ก่อนเปิดระบบ	30	30
2. เปิดระบบแรงดันบวก (Positive pressure) 20 นาที	0	0
3. เปิดระบบแรงดันลบ (Negative pressure) 15 นาที	2	1

Reporting date 18 April 2022

Statement of Assurance: We assure for reliability of the result.

จินตนา พลอยสีข้าว
 Mintra Ploysrikeaw
 Scientist
 19/04/22

M K.
 Aekkarin Klinkhamhom
 Laboratory Analysis Supervisor
 20/04/22

Surachai Chantip, DVM.
 Director
 20/04/22

Page 1 of 1

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
 This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.

ภาคผนวก ค
ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องมือ



WK Electric Co.,Ltd.



68/242 Moo 5, Sawaipracharaj Rd., Tumbol Ladsawai, Amphur Lamlukka, Pathumthani 12150
Tel. +66 2993 4773, +66 2153 7132-3 Fax. +66 2994 5509 E-mail : wk.calibrations@gmail.com www.wk-etc.com

Certificate of Calibration

Certificate No.: WK2108-128-1

Page 1 of 2

Customer : Airborn Engineering Co.,Ltd.
51/14 Soi Sirithaworn,Praramkiao Rd.,
Suanluang ,Bangkok 10250

Instrument	: Airborne Particle Counter	Ambient Temperature	: (23.0 ± 2) °C
Manufacturer	: Honri Airclean	Humidity	: (50.0 ±15) %RH
Model	: CLJ-B330	Received Date	: 26-Aug-21
Serial No.	: C2818024	Calibrated Date	: 27-Aug-21
Identity No.	: N/A	Issued Date	: 27-Aug-21
Range	: 0.3 µm to 10 µm	Calibrated Location	: In Lab
Resolution	: 1 count		
Calibration Method	: ISO 21501-4 : 2007		

Reference standard instruments :

Instrument	Serial No.	Certificate No.	Due Date	Traceability to
Flow Meter	140215-134	AD2104-258-0001	29-Apr-23	MIT
Particle Counter	050504004	20200720-01	20-Jul-22	Lighthouse
Monosized Polymer Microspheres	WK-PR-145	PS3808H-0238	2-May-23	NIST

MIT : Miracle International Technology Co.,Ltd.

Lighthouse : Lighthouse Worldwide Solutions Ltd.

NIST : National Institute of Standards and Technology.

This result calibrate was found accurate as shown on date place of calibrate only

This certificate is traceability to the International System of Unit (SI)

The reported uncertainty of measurement was based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2 , providing a level of confidence approximately 95%

Calibrated by : Mr. Chaiyo Obchoei

Approved by :

Ms. Budsagorn Patcha

Authorized Signatory

This certificate may not be reproduced except in full unless permission for the reproduction has been obtained in writing from the laboratory.



68/242 Moo 5, Sawaipracharaj Rd., Tumbol Ladsawai, Amphur Lamlukka, Pathumthani 12150
Tel. +66 2993 4773, +66 2153 7132-3 Fax. +66 2994 5509 E-mail : wk.calibrations@gmail.com www.wk-etc.com

Calibration Results

Certificate No. : WK2108-128-1

Page 2 of 2

Calibration Result of the Accuracy

Function : Flow Rate Measurement Range : 28.3 L/min

Unit : L/min

Function	Nominal Value	STD Reading	Error	Uncertainty (± L/min)
Air Flow Rate	28.3	28.300	0.000	0.0045

Function : Count Particle Measurement 1 count

Test (Count)	Particle Size (µm)	Nominal Value (Count)	UUC Reading (Count)	Error Value (Count)
Zero Count	0.3	0	0	0
	0.5	0	0	0
	0.7	0	0	0
	1.0	0	0	0
	2.0	0	0	0
	3.0	0	0	0
	5.0	0	0	0
	10.0	0	0	0

Function : Counting Efficiency 1 count

Particle Size (µm)	Error (%)	Uncertainty (± %)
0.3	-7.9	2.9
0.5	6.0	2.9
1.0	-7.7	2.9
3.0	8.4	2.9
5.0	8.6	3.4
10.0	-7.8	4.1

(X) Without Adjustment () After Adjustment

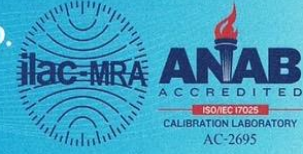
This certificate may not be reproduced except in full unless permission for the reproduction has been obtained in writing from the laboratory.

**** End of Certificate****



THAI HEART CALIBRATION CO., LTD.

112/1 Moo 5, Phraek Sa, Muang, Samut Prakan 10280
Tel. 0-2394-2162, 0-2757-8435, 0-2757-8496 Fax.: 0-2757-8507



CERTIFICATE OF CALIBRATION

Certificate No.: P0-2508001/21 Page 1 of total 2 pages

Customer AIRBORN ENGINEERING CO., LTD.
51/14 Soi Sirithaworn, Praramklao Rd.,
Suanluang, Suanluang, Bangkok 10250

Equipment Digital Manometer
Manufacturer Dwyer **Model** 477AV
Serial No. 005V30 **ID No.** -
Description Range: 1 in. W.C. Resolution: 0.001 in. W.C.

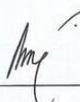
Environmental Conditions Ambient Temperature: (23 ± 3) °C
Relative Humidity: (50 ± 15) %
Atmospheric Pressure: (1 010 ± 10) mbar

Calibration Location Hawkeyes Laboratory (PL)

Received Date 25 August 2021

Calibration Date 26 August 2021

Date of Issue 26 August 2021

Checked by 
Act as Technical Manager

Approved by 
Representative of Managing Director

- | | | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> (Krisyosl K.) | <input type="checkbox"/> (Sakda Y.) | (Dr. Ekachai Puttitwong) |
| <input type="checkbox"/> (Patiphan K.) | <input type="checkbox"/> (Onnapa P.) | |
| <input type="checkbox"/> (Pongsak H.) | <input type="checkbox"/> (Nitiphong K.) | |
| <input type="checkbox"/> (Kanung C.) | <input checked="" type="checkbox"/> (Nonthachai K.) | |
| <input type="checkbox"/> (Pramong P.) | <input type="checkbox"/> (Noppol P.) | |

This calibration certificate shall not be reproduced other than in full except with the prior written approval of the Thai Heart Calibration Co., Ltd.



THAI HEART CALIBRATION CO., LTD.

112/1 Moo 5, Phraek Sa, Muang, Samut Prakan 10280
Tel. 0-2394-2162, 0-2757-8435, 0-2757-8496 Fax.: 0-2757-8507



Certificate No.: P0-2508001/21

Page 2 of total 2 pages

Reference Method:

- The calibration method used was CP-039 based on DKD-R 6-1:03/2014.
- This certificate can be traceable to the national standards, which is realized the shown measurement units according to the International System of Units (SI Units).

Reference Standard Instruments:

Type	Model	Serial No.	Cert. No.	Due Date	Traceability
Pressure Module	700P01	90400108	19P4778	Nov. 18, 2022	TPA
Process Calibrator	743B	6835610			

Remark: This certificate is traceable to the International System of Unit (SI Unit) through:

- TPA, Technology Promotion Association (Thailand-Japan).

Measurement Results: (x) Without Adjustment

UUC Setting (in. W.C.)	Measured Value (in. W.C.)		Mean Value (in. W.C.)	Mean Correction (in. W.C.)	Hysteresis (in. W.C.)	Uncertainty (in. W.C.)
	M1 (up)	M2 (down)	(M1+M2)/2		M2-M1	
0.000	0.000	0.000	0.000 0	0.000 0	0.000	± 0.022
0.200	0.199	0.199	0.199 0	-0.001 0	0.000	± 0.022
0.400	0.399	0.399	0.399 0	-0.001 0	0.000	± 0.022
0.600	0.600	0.600	0.600 0	0.000 0	0.000	± 0.022
0.800	0.799	0.799	0.799 0	-0.001 0	0.000	± 0.022
1.000	0.999	0.999	0.999 0	-0.001 0	0.000	± 0.022

UUC : Unit Under Calibration.

Note : Conversion factor : 1 in. W.C. = 249.089 Pa

The above reported uncertainty of measurement is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty with the coverage factor $k = 2.00$, providing a level of confidence approximately 95%.

- End of Certificate -

Calibrated by Taweewup

REV.02 02/24/21

 MIRACLE INTERNATIONAL TECHNOLOGY CO.,LTD 214 Bangwack Rd. Bangpai Bangkae Bangkok 10160 Tel.: 0-2865-4647-8 Fax: 0-2865-4649 http://www.mit.in.th		
CALIBRATION CERTIFICATE Certificate No. : AD2103-163-0001 Date Issued : 15-Mar-21		
Customer	: Airborn Engineering Co.,Ltd. 51/14 Soi Sirithaworn, Praramklao Rd.,Suanluang, Bangkok 10250	
Equipment	: Air Flow Hood	
	Converter	Detector
Manufacturer	: Testo	Testo
Model	: 420	420
Serial No.	: 50607551	-
ID No./Tag No.	: -	-
Date Received	: 12-Mar-21	
Date Calibrated	: 13-Mar-21	
Calibrated by	: Mr. Kittipob Rungruangsarn	
<u>Calibration Method or Calibration Procedure Used</u>		
In-house method : CP-98 based on IEC-61400-12-1: by direct comparing against Standard Anemometer in Wind Tunnel.		
This certificate is traceable to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).		
<u>Result of Calibration</u>		
The reported uncertainty of measurement was based on standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$, providing a level confidence approximately 95 percent.		
This certificate may not be reproduced other than in full except with the prior written approval of the Technical Manager, Miracle International Technology Company Limited.		
Approved by :	 (Mr. Tassanai Suksukon) Technical Manager	
		Page 1 of 2

Certificate No. : AD2103-163-0001			
Environment : Ambient Temperature : (25 ± 2)°C			
Relative Humidity : (50 ± 15)%RH			
UUC Reading m ³ /h	STD Reading m ³ /h	UUC Error m ³ /h	Measurement Uncertainty (± m ³ /h)
0	0.00	0.00	16
500	504.43	-4.43	18
1002	1031.26	-29.26	25
1501	1536.15	-35.15	21
2004	2045.18	-41.18	47
STD = Standard			
UUC = Unit Under Calibration			
Description of UUC :	Type	AirFlow Hood	
	Range	40-4000 m ³ /h	
Measurement Standards Used & Traceability :			
The International System of Units (SI) through			
Young Calibration Certificate No. C90514, C90495 for Standard Anemometer Serial No. HQS-19902 & HQS-19903, Due 15-May-21			
End of Certificate			
			<i>[Signature]</i> Page 2 of 2



Technology Instruments Co., Ltd.
549/9 Onnut Road., Pravel, Bangkok 10250 Thailand.
Tel : 0-2743-8888 Fax : 0-2743-8880



Calibration Laboratory


Calibration Report

Cert No. : H-2201019

Page 1 of 2

Equipment : Temperature & Humidity Meter with Probe
Model : TH222 with Probe
Serial No : 151105848
ID No. : -
Manufacturer : Daichi
Customer : Nakornthon Hospital Company Limited
Address : 1 Soi Rama II Soi 56, Samaedum, Bangkhunthian,
Bangkok 10150
Location of Calibration : TIC
Ambient Temperature : 23 °C ± 3 °C
Relative Humidity : 55 %RH ± 15 %RH

Calibrated By : Phoowadol Auttarachon
Engineer

Approved By : 
(Khanyarat Jantakhao)
Approved Signatory

Received Date : 20-Jan-22

Calibration Date : 20-Jan-22

Date of Issue : 21-Jan-22

The Certificate may not be reproduced other than in full, without written approval of the director of Technology Instruments Co.,Ltd. Calibration Laboratory.

Calibration Laboratory



Continuation of Calibration Report

Cert. No.: H-2201019

Page 2 of 2

Job No.: 0169-220458

Calibration Procedure: WI-HTC

Calibration Method:

This instrument was calibrated by comparison with standard humidity probe for humidity measurement function and comparison with standard temperature probe for temperature measurement function into humidity/temperature chamber.

Condition of this result of calibration:

1. Reference Standard Instruments Used:

<u>Instrument</u>	<u>Model</u>	<u>Serial No.</u>	<u>Cal. Report No.</u>	<u>Due date</u>	<u>Ref. STD Lab.</u>	<u>Traceability</u>
Hygro Log	HL-NT3-DP	60947089	21H1282	7-Jun-22	TPA	NIMT

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only.

3. This result of calibration was found accurate for this equipment only.

4. This calibration report documents the traceability to national standards, with realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

Result of Calibration: without adjustment

Temperature @ 50 %RH

T1

	<u>STD Value</u>	<u>UUC Reading</u>	<u>Error</u>	<u>Uncertainty(±)</u>
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
#	4.00	4.5	0.50	0.85
#	8.00	8.5	0.50	0.85
	25.00	25.2	0.20	0.85

Humidity @ 25 °C

	<u>STD Value</u>	<u>UUC Reading</u>	<u>Error</u>	<u>Uncertainty(±)</u>
	(%RH)	(%RH)	(%RH)	(%RH)
	40.00	41.2	1.20	2.0
	60.00	59.6	-0.40	2.0
	80.00	79.4	-0.60	2.0

Note : # = Not TISI Accredited

UUC = Unit Under Calibration

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$, providing a level of confidence of approximately 95%

End of Calibration Report

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

ไพศาล ฤทธิ์จันทร์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สาขาการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี

คณะสาธารณสุขศาสตร์

สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมบริการ

บริษัท โรงพยาบาลนครชน จำกัด

ประสบการณ์ทำงานโรงพยาบาล 19 ปี