



การศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ของอาคารสิรินธรใน
โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

A Study of Airborne Infection Isolation Room with Modified of
Sirindhorn in Naresuan University Hospital.

นายธนโชติ	กัญญา	รหัสนิสิต	61361759
นายรวิกร	คำบุญ	รหัสนิสิต	61363371
นายศุภณัฐ	พิมสิงห์	รหัสนิสิต	61364132

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2564



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อหัวข้อโครงการ : การศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง
ของอาคารสิรินธรในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ดำเนินโครงการ : นายธนโชติ กัญยาน รหัสนิสิต 61361759
: นายรวิกร คำบุญ รหัสนิสิต 61363371
: นายศุภณัฐ พิมสิงห์ รหัสนิสิต 61364132

ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2564

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล


คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)


..... กรรมการ

(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ)


..... กรรมการ

(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ของอาคารสิรินธรในมหาวิทยาลัยนเรศวร		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนโชติ	กัญญา	รหัสนิสิต 61361759
	นายรวิกร	คำบุญ	รหัสนิสิต 61363371
	นายศุภณัฐ	พิมสิงห์	รหัสนิสิต 61364132
ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2564		

บทคัดย่อ

โครงการเล่มนี้เป็นการศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ณ ชั้น 5 อาคารสิรินธร โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นงานวิจัยและออกแบบของ ผศ.ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ โดยโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนจากงานวิจัยในการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมให้เป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงที่ได้จากการตรวจวัดสภาวะอากาศต่าง ๆ โดยโครงการนี้ได้อ้างอิงทฤษฎี บทความวิจัย และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ของอาคารสิรินธร โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อที่จะรวบรวมและแนะนำแนวทางในการปรับปรุงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยพบว่า การปรับปรุงห้องแยกผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นเป็นไปตามมาตรฐานที่ศึกษา และจากการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศนั้นพบว่า ระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นสามารถทำงานได้ตามการออกแบบและมาตรฐาน โดยมีในส่วนของความชื้นที่มีค่าสูงเกินกว่าที่ออกแบบและมาตรฐานซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาในเรื่องของกลิ่นอับและเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นได้ใช้กลวิธีการระบายอากาศมาใช้ในการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อ Covid - 19 โดยการระบายอากาศนั้นถือ

เป็นหนึ่งในกลวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งในการยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อ Covid - 19 ซึ่งในปัจจุบันในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อ Covid - 19 ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นให้ความสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยและบุคลากรในสถานพยาบาล โดยมีการรวบรวมแนวทางในการแก้ไขปัญหาทุกปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นจากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นสามารถใช้รองรับผู้ป่วย Covid – 19 ได้ เพื่อให้ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรนั้นเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดไว้ในส่วนต่าง ๆ ที่จะก่อให้เกิดความปลอดภัยและส่งผลดีต่อผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาและบุคลากรภายในสถานพยาบาล



Project title : A Study of Airborne Infection Isolation Room with Modified of Sirindhorn in Naresuan University Hospital.

Name : Mr. Thanachot Kanya ID. 61361759
: Mr. Rawikorn Kumboon ID. 61363371
: Mr. Supanat Pimsing ID. 61364132

Project advisor : Asst. Prof. Dr. Ninnart Rachapradit

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2021

Abstract

This project is a study assemble and analysis of a modified airborne infection isolation room (MAIIR) at the 5th floor of Sirindhorn Building, Naresuan University Hospital which is the research and design of Asst. Prof. Dr. Ninnat Ratchapradit. The objective was to study the process of converting the original patient room into a modified airborne infection isolation room. as well as analyze the air quality in the modified airborne infection isolation room from various air condition measurements. This project references theories, research articles and data obtained from the air condition measurements in the modified airborne infection isolation room. Modified airborne transmission in the Sirindhorn Building Naresuan University Hospital In order to collect and suggest guidelines for renovating the original patient room into a modified airborne infection isolation room. It was found that the renovation of the original patient isolation room to the modified airborne infection isolation room was in accordance with the standards studied. And from studying the weather conditions in the isolation room of airborne infectious patients, it was found that the air conditioning system in the modified airborne infection isolation room can be operated

according to the design and standard. The humidity is higher than designed and standard, which can lead to odor problems and conducive to mold growth. modified airborne infection isolation room employ ventilation strategies to prevent the spread of Covid-19. Ventilation is one of the most effective strategies in Preventing the spread of Covid-19 In the current situation of the Covid-19 virus epidemic, the modified airborne isolation room is a priority for the safety of sick patients and personnel in hospitals. with a collection of guidelines for solving every problem that arises in order to make the isolation room for patients to spread the disease through the air that is modified. Within Naresuan University Hospital, the standards have been set in different sections. This will create safety and benefit the patients who receive treatment and personnel within the hospital.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง “การศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ของอาคารสิรินธร ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร” ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคลากรหลายท่านซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกใคร่ขอขอบพระคุณคือท่าน ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้อนุญาตให้ใช้ผล ข้อมูล และรูปประกอบต่าง ๆ ของงานวิจัยของอาจารย์นำมาศึกษาและแสดงผลรวมถึงให้ความรู้ คำแนะนำการตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนเพื่อให้การเขียนโครงการการศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงของอาคารสิรินธรในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรนี้ออกมาสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบทั้งสองท่านได้แก่ รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ และ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของรูปเล่มโครงการ

ขอขอบพระคุณหน่วยงานของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ สถานที่ และให้ประสบการณ์ในการทำงานร่วมกับบุคคลอื่นได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ กสทช. และกทปส. ที่ให้โอกาสในการศึกษาหาความรู้จากห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

ขอขอบพระคุณภาควิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา หาความรู้และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับโครงการด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้ศึกษาเสมอมาผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายธนโชติ กัญญา

นายรวิกร คำบุญ

นายศุภณัฐ พิมสิงห์

สารบัญ

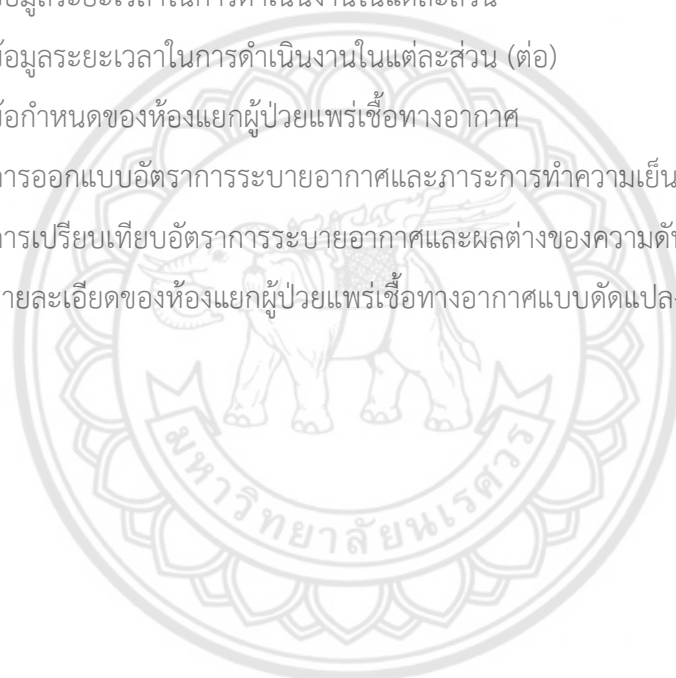
	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การปรับอากาศและชนิดของระบบปรับอากาศ	3
2.2 สิ่งเจือปนในอากาศภายในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล	13
2.3 การระบายอากาศ (Ventilation)	16
2.4 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยว (Isolation Rooms)	27
2.5 สมการคำนวณที่เกี่ยวข้อง	32
2.6 วรรณกรรมปริทัศน์	35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	43
3.1 สถานที่ดำเนินโครงการ	43
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 อุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ	44
3.4 แผนการดำเนินโครงการ	47
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	49
4.1 ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	49
4.2 ศึกษาขั้นตอนการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	54
4.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง	74
4.4 การปรับปรุงจากข้อมูลการใช้งานและแบบสอบถาม	89
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	99
5.1 ผลการศึกษา	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	104
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก ก	108
ภาคผนวก ข	112
ภาคผนวก ค	120
ภาคผนวก ง	129
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	138

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล	18
ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดการระบายอากาศในสถานพยาบาล	23
ตารางที่ 2.4 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในและ ความดันสัมพันธ์	25
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละส่วน	47
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละส่วน (ต่อ)	48
ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	50
ตารางที่ 4.2 การออกแบบอัตราการระบายอากาศและภาระการทำความเย็น	60
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศและผลต่างของความดัน	97
ตารางที่ ข.1 รายละเอียดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง	113



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	3
รูปที่ 2.2 หลักการของวัฏจักรทำความเย็น	4
รูปที่ 2.3 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)	5
รูปที่ 2.4 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged Air Cooled Air Conditioner	6
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged Water Cooled Air Conditioner	6
รูปที่ 2.6 ระบบปรับอากาศแบบ Air Cooled Water Chiller	7
รูปที่ 2.7 ระบบปรับอากาศแบบ Water Cooled Water Chiller	8
รูปที่ 2.8 ระบบปรับอากาศแบบน้ำยาแปรผัน (Variable Refrigerant Flow ; VRF)	9
รูปที่ 2.9 การระบายอากาศ	16
รูปที่ 2.10 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ (แสดงรูปตัดขวาง) ⁷	28
รูปที่ 2.11 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ	29
รูปที่ 2.12 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นบวก (แสดงรูปตัดขวาง) ⁷	30
รูปที่ 2.13 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นบวก	30
รูปที่ 2.14 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นกลาง	31
รูปที่ 3.1 โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์	43
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์	44
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น	45
รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	45
รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดผลต่างความดัน	45
รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วของอากาศ	46
รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นPM _{2.5}	46
รูปที่ 4.1 แบบการแบ่งพื้นที่บริเวณชั้น 5 ของอาคารสิรินธร ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์	54
รูปที่ 4.2 แบบบริเวณห้องที่จะถูกตัดแปลงเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง	56
รูปที่ 4.3 การออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502 - 509	57
รูปที่ 4.4 แบบห้องที่ใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าสู่ห้องโดยตรง	58
รูปที่ 4.5 การใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าห้องโดยตรง	58

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แบบห้องที่ใช้ Fresh air 100% ดึงเข้ามาที่โถงทางเดิน	59
รูปที่ 4.7 การใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าโถงทางเดิน	59
รูปที่ 4.8 การออกแบบระบบปรับอากาศของห้อง 502 และ 503	61
รูปที่ 4.9 การออกแบบระบบปรับอากาศของห้อง 504 - 509	62
รูปที่ 4.10 การออกแบบระบบระบายอากาศของห้อง 502 - 509	62
รูปที่ 4.11 การปรับปรุงห้องพยาบาล (Nurse station)	63
รูปที่ 4.12 แบบบริเวณห้องพักรักษาพยาบาล (Nurse station)	64
รูปที่ 4.13 การสร้างห้อง Ante room	64
รูปที่ 4.14 แบบบริเวณการสร้างห้อง Ante room	65
รูปที่ 4.15 การย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดเข้าใช้งานด้านห้องผู้ป่วย	65
รูปที่ 4.16 แบบบริเวณการย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดเข้าใช้งานด้านห้องผู้ป่วย	66
รูปที่ 4.17 ประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย	66
รูปที่ 4.18 แบบบริเวณประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย	67
รูปที่ 4.19 การใช้พลาสติกใสในการปิดพื้นที่ทำงาน	67
รูปที่ 4.20 การร้อยพ่นกระเบื้อง	68
รูปที่ 4.21 การร้อยฝ้าเพดาน	68
รูปที่ 4.22 การทำความสะอาดพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น	69
รูปที่ 4.23 ท่อลมระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	70
รูปที่ 4.24 การเดินระบบไฟฟ้าเหนือฝ้าเพดาน	70
รูปที่ 4.25 การติดตั้งท่อส่งน้ำเย็นเข้าเครื่องส่งลมเย็น	71
รูปที่ 4.26 การเตรียมพื้นที่ห้องสำหรับปูกระเบื้องยาง	71
รูปที่ 4.27 การติดตั้งฝ้าเพดาน	72
รูปที่ 4.28 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ	72
รูปที่ 4.29 การทดสอบความแม่นยำของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ	73
รูปที่ 4.30 จอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ห้องพยาบาล	73

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน อัตราการแลกเปลี่ยน อากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ และค่าฝุ่นPm _{2.5} ภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว	75
รูปที่ 4.32 ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องและ ภายนอกห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว	76
รูปที่ 4.33 ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฝุ่นPm _{2.5} ภายในห้องและภายนอกห้อง เมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว	77
รูปที่ 4.34 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย โถงทางเดิน สถานีพยาบาล และภายนอก	78
รูปที่ 4.35 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย	79
รูปที่ 4.36 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย	80
รูปที่ 4.37 ผลต่างความดันเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย	81
รูปที่ 4.38 คาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย	82
รูปที่ 4.39 ฝุ่นPm _{2.5} เมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศภายในห้องผู้ป่วย	82
รูปที่ 4.40 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง ปรับลดอัตราการระบายอากาศ	83 ก่อน
รูปที่ 4.41 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง ปรับลดอัตราการระบายอากาศ	84 หลัง
รูปที่ 4.42 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบปรับอากาศ ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศก่อนการปรับปรุงอัตราการระบายอากาศ	85
รูปที่ 4.43 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบปรับอากาศ ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศหลังการปรับปรุงอัตราการระบายอากาศ	85
รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบ ปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง อัตราการระบายอากาศ	86
รูปที่ 4.45 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่เวลากลางวัน และกลางคืน	87

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.46 ค่าความดันและอัตราการระบายอากาศเมื่อเปิดใช้งานเป็นเวลานาน	88
รูปที่ 4.47 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องการช่วยแก้ไข ปัญหาเว้นระยะห่างทางสังคม	89
รูปที่ 4.48 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความปลอดภัย ในการเข้าปฏิบัติงานในห้อง	90
รูปที่ 4.49 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องค่าพารามิเตอร์ และความมั่นใจในการใช้งาน	90
รูปที่ 4.50 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความเหมาะสม ของอุณหภูมิและความชื้น	91
รูปที่ 4.51 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความสะดวก ในการใช้งานห้อง	91
รูปที่ 4.52 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องระบบสั่งงานห้อง จาก Nurse station	92
รูปที่ 4.53 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องการควบคุม ประตูของห้อง	92
รูปที่ 4.54 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องเสียงรบกวน ขณะใช้งานห้อง	93
รูปที่ 4.55 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของการช่วยเรื่องเว้น ระยะห่างทางสังคม	94
รูปที่ 4.56 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของความเหมาะสม ในการเก็บข้อมูล	94
รูปที่ 4.57 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน และปฏิบัติหน้าที่	95
รูปที่ 4.58 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของระบบสั่งงานห้องจาก Nurse station	95
รูปที่ 4.59 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องระบบการควบคุมประตู ห้องแรงดันลบ	96

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.60 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องความปลอดภัยต่อ การเข้าไปปฏิบัติงานในห้อง	96
รูปที่ ค.1 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น	121
รูปที่ ค.2 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ, ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	122
รูปที่ ค.3 เซนเซอร์ตรวจวัดผลต่างของความดัน	123
รูปที่ ค.4 เซนเซอร์วัดความเร็วลม	124
รูปที่ ค.5 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นPM _{2.5}	125
รูปที่ ค.6 ชุด Control และ Datalogger (ด้านหน้า)	126
รูปที่ ค.7 ชุด Control และ Datalogger (ด้านหลัง)	126
รูปที่ ค.8 ชุด Control และ Datalogger (ด้านข้าง)	127
รูปที่ ค.9 ชุด Control และ Datalogger (ด้านบน)	128
รูปที่ ค.10 ชุด Control และ Datalogger (ด้านข้าง)	128
รูปที่ ง.1 การปรับปรุงห้องพยาบาล (Nurse station)	130
รูปที่ ง.2 การสร้างห้อง Ante room	130
รูปที่ ง.3 การย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดเข้าใช้งานด้านห้องผู้ป่วย	131
รูปที่ ง.4 ประตูอัตโนมัติที่ใช้สวิตช์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย	131
รูปที่ ง.5 การใช้พลาสติกใสในการปิดพื้นที่ทำงาน	132
รูปที่ ง.6 การรื้อพื้นกระเบื้อง	132
รูปที่ ง.7 การรื้อฝ้าเพดาน	133
รูปที่ ง.8 การทำความสะอาดพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น	133
รูปที่ ง.9 ท่อลมระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	134
รูปที่ ง.10 การเดินระบบไฟฟ้าเหนือฝ้าเพดาน	134
รูปที่ ง.11 การติดตั้งท่อส่งน้ำเย็นเข้าเครื่องส่งลมเย็น	135
รูปที่ ง.12 การเตรียมพื้นห้องสำหรับปูกระเบื้องยาง	135
รูปที่ ง.13 การติดตั้งฝ้าเพดาน	136
รูปที่ ง.14 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ	136
รูปที่ ง.15 การทดสอบความแม่นยำของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพ	137

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ ง.16 จอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ
ที่ห้องพยาบาล

หน้า

137



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในสถานการณ์ปัจจุบันทั่วโลกได้รับผลกระทบจากวิกฤตการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส covid - 19 ซึ่งจากข้อมูลของมหาวิทยาลัยจอห์นฮอปกินส์ระบุว่า การระบาดใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายน ปี 2018 ในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ ประเทศจีน ซึ่งในเวลาต่อมาทางการจีนและองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ระบุว่า ไวรัสชนิดนี้คือ เชื้อไวรัสโคโรนา ซึ่งในอดีตมีการค้นพบเชื้อชนิดดังกล่าวแล้ว 6 ชนิด โดยคนไทยจะรู้จักไวรัสชนิดนี้ในชื่อที่เรียกกันว่า โรคซาร์ส (Severe Acute Respiratory Syndrome - SARS) โดยเชื้อไวรัสโคโรนา (Coronavirus) เป็นไวรัสที่มีเปลือกหุ้ม (Enveloped virus) มีลักษณะกลมหรือรูปไข่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 ถึง 160 นาโนเมตร มีสารพันธุกรรมชนิด RNA สายเดี่ยว (Single stranded RNA virus) จากการศึกษาศีโรไทป์ (Serotype) และจีโนมของไวรัสโคโรนา ยังสามารถแบ่งออกเป็น 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Alphacoronavirus, Beta coronavirus, Gamma coronavirus และ Delta coronavirus ซึ่งจากรายงานผลการตรวจหาลำดับเบสของสารพันธุกรรมอาร์เอ็นเอส่วนเปลือกของเชื้อไวรัส covid - 19 ที่ได้จากผู้ป่วย พบว่าไวรัสนี้อยู่ในยีนส์ Beta coronavirus ซึ่งเป็นยีนส์เดียวกับ SARS-CoV และ MERS-CoV ซึ่งสถานการณ์ในประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุขประกาศ "โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019" หรือ "โรคโควิด-19" เป็นโรคติดต่ออันตรายตามพระราชบัญญัติโรคติดต่อ พ.ศ. 2558 โดยให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มี.ค. พ.ศ. 2563 โดยไทยพบผู้ติดเชื้อคนแรกเมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2563 โดยเป็นหญิงชาวจีนอายุ 61 ปี และพบผู้ป่วยชาวไทยครั้งแรกเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2563 โดยเป็นเพศหญิง อายุ 73 ปี มีประวัติการเดินทางไปที่เมืองอู่ฮั่น

Airborne infection isolation room (AIIR) หรือห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ เป็นห้องที่ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับผู้ป่วยโรคติดต่อระบบทางเดินหายใจต่าง ๆ โดยห้องแยกผู้ป่วยที่ติดเชื้อทางอากาศใช้เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อสู่พื้นที่อื่น ๆ ภายในสถานพยาบาล ดังนั้นหากมีผู้ป่วยเนื่องจากในสถานการณ์ที่มีการแพร่เชื้อไวรัสโคโรนาดังกล่าวห้องที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในกรณีการดูแลรักษาผู้ป่วยที่มีเชื้อไวรัสโคโรนาจึงเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อสู่ภายนอก ซึ่งค่าใช้จ่ายในการจัดทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศมีราคาสูงแนวทางหนึ่ง

ที่จะลดค่าใช้จ่าย คือ การปรับปรุงห้องผู้ป่วยเดิมของโรงพยาบาลให้มาเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศโดยต้องคำนึงถึงข้อกำหนดและมาตรฐานต่าง ๆ ที่สำคัญและปรับลดข้อปลีกย่อยที่ไม่สำคัญออกเพื่อลดค่าใช้จ่าย

เนื่องจากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรได้รับทุนจาก กสทช. เพื่อจัดทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง (Modified AIIR ; MAIIR) จำนวน 8 ห้อง ซึ่งมี ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นผู้ควบคุมดำเนินการออกแบบและทำการสร้างห้อง เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องจากการก่อสร้างแล้วเสร็จและจำเป็นต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่าง ๆ อีกทั้งการปรับปรุงห้องต่าง ๆ เดิมจะมีความแตกต่างกับการออกแบบห้องใหม่ในสถานที่ที่เตรียมไว้จะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการศึกษางานวิจัยของ ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์ และรวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นองค์ความรู้เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงห้องเดิมของโรงพยาบาลมาเป็นห้องสำหรับใช้งานเฉพาะด้าน เช่น ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับโรงพยาบาลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศห้องแรงดันลบสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502-509 อาคารสิรินธรในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3.2 มาตรฐานที่ใช้ในอ้างอิง จะใช้ CDC, WHO, ASHRAE และวสท.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้จากการศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศทั้งจากห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

1.4.2 ได้ตรวจสอบและรวบรวมองค์ความรู้ของการจัดทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ให้กับโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

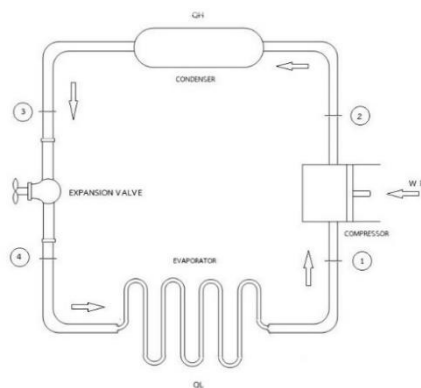
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

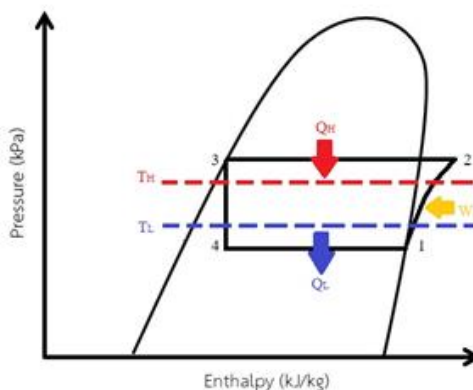
ในการทำโครงการเรื่องห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงจำเป็นต้องใช้องค์ความรู้ในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ในเรื่องของระบบปรับอากาศรวมกับความรู้ด้านอื่น ๆ รวมถึงการศึกษาผลงานต่าง ๆ ที่มีผู้ศึกษาค้นคว้าก่อนหน้านี้ ซึ่งในหัวข้อนี้จะประกอบไปด้วยองค์ความรู้ต่าง ๆ โดยจะแยกเป็นเรื่องของระบบปรับอากาศและชนิดของระบบปรับอากาศ เพื่อศึกษาระบบที่มีความเหมาะสมกับห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง อีกทั้งต้องศึกษาสิ่งเจือปนในอากาศภายในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล เพื่อศึกษาและหาแนวทางการป้องกันการแพร่เชื้อตามมาตรฐาน ศึกษาการระบายอากาศในสถานพยาบาล เพื่อให้สามารถทราบการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ และศึกษาห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ เพื่อศึกษาข้อกำหนดและหลักการในการออกแบบห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศและนำไปรวบรวมเป็นองค์ความรู้ในเรื่องของหลักการการออกแบบของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

2.1 การปรับอากาศและชนิดของระบบปรับอากาศ

การปรับอากาศ หมายถึง การปรับสภาวะของอากาศในบริเวณที่ต้องการปรับอากาศให้มีสภาวะตามต้องการ เพื่อให้เกิดความสบายเชิงความร้อน อาทิเช่น การติดตั้งเครื่องปรับอากาศในที่พักอาศัยหรืออาคารสำนักงาน เป็นต้น ซึ่งการปรับอากาศนั้นจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมที่ปะทะต่อร่างกายและความสะอาดของอากาศที่ปล่อยออกมา



รูปที่ 2.1 วงจรทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 2.2 หลักการของวัฏจักรทำความเย็น

สามารถอธิบายกระบวนการของกราฟในรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้

กระบวนการ 1 - 2 การอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกในเครื่องอัด (compressor) โดยเครื่องอัดจะอัดสารทำความเย็นจากสถานะไออิ่มตัวให้ออกมาเป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheated vapor) โดยมีความดันเท่ากับที่คอนเดนเซอร์

กระบวนการ 2 - 3 การคายความร้อนโดยความดันคงที่ในเครื่องควบแน่น (condenser) โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดจะไหลเข้าคอนเดนเซอร์ จากนั้นจะคายความร้อนและกลั่นตัว จนอยู่ในสถานะของผสม (Mixer)

กระบวนการ 3 - 4 การขยายตัวในวาล์วขยายตัว (Expansion valve) สารทำความเย็นจะไหลผ่านวาล์ว เพื่อลดความดันและอุณหภูมิ โดยจะมีความดันเท่ากับที่เครื่องระเหย

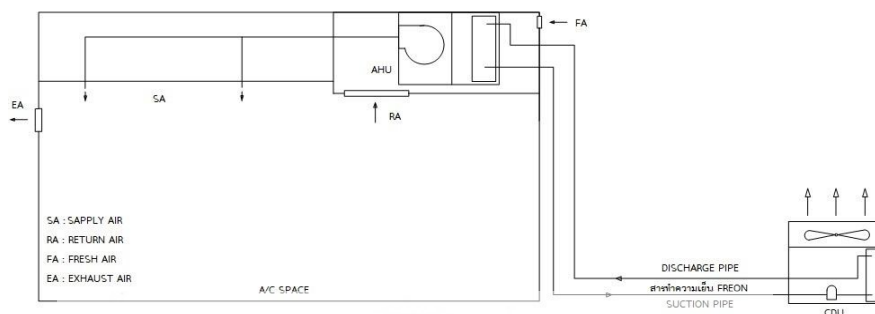
กระบวนการ 4 - 1 การดูดความร้อนโดยความดันคงที่ที่เครื่องระเหย (Evaporator) โดยสารทำความเย็นจะรับความร้อนจนเกิดการระเหยเป็นสถานะไออิ่มตัว

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการปรับอากาศนั้นมีความล้ำหน้าไปเป็นอย่างมาก มีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ๆ อยู่เสมอ ในที่นี้จึงจำแนกประเภทของระบบปรับอากาศตามเครื่องทำความเย็นจะแบ่งออกได้ 4 ประเภทได้แก่

2.1.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)²

ระบบปรับอากาศแบบ Split Type เป็นระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ในที่พักอาศัยขนาดเล็ก เป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Condensing Unit และ Fan Coil Unit โดย Condensing Unit ซึ่งจะติดตั้งภายนอกห้อง โดยจะประกอบไปด้วย พัดลม เครื่องควบแน่น และเครื่องอัด ส่วน Fan Coil Unit นั้นจะติดตั้งอยู่ในห้องโดยประกอบไปด้วยเครื่อง

ระเหยและพัดลม โดยระบบปรับอากาศชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 40,000 Btu/hr

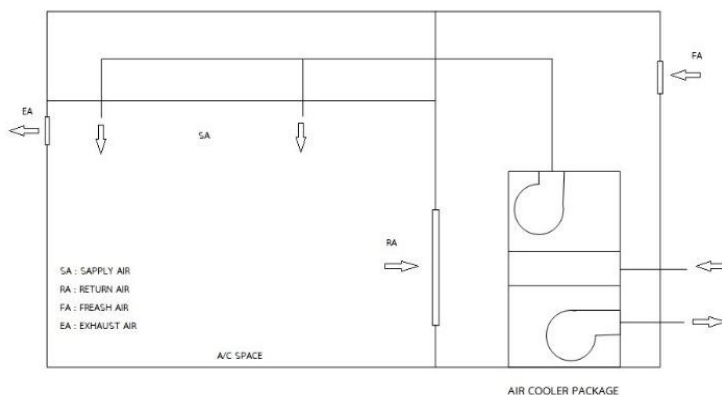


รูปที่ 2.3 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

2.1.2. ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package)³

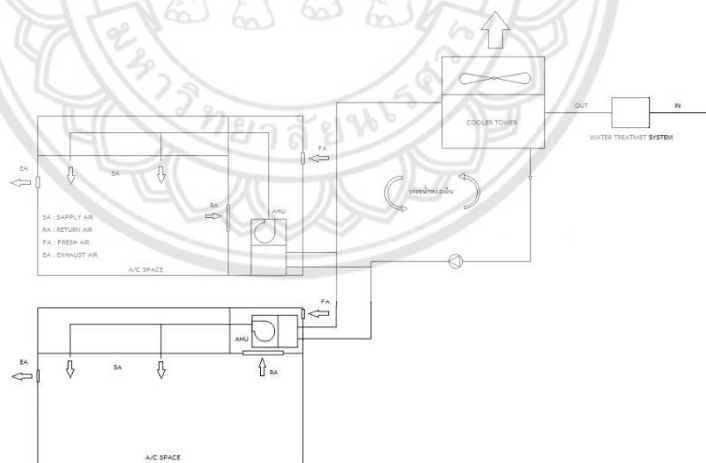
ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจนั้นเหมาะสำหรับใช้ติดตั้งในพื้นที่ขนาดเล็กถึงกลาง และต้องการแบ่งพื้นที่การปรับอากาศเป็นหลาย ๆ พื้นที่ เช่น อาคารสำนักงานขนาดเล็กถึงกลาง อาคารพาณิชย์ เป็นต้น โดยลักษณะการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจนั้นคล้ายกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนตรงที่อากาศนั้นจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นโดยตรง แต่จะต่างที่ระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจนั้นชุดส่วนประกอบของระบบอากาศนั้นจะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน โดยระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจนั้นจะประกอบไปด้วย เครื่องอัด เครื่องควบแน่น เครื่องระเหย และชุดพัดลม โดยชุดปรับอากาศแบบแพ็คเกจนั้นจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร และจะมีการเดินท่อลมเย็น (Supply Air Duct) เพื่อส่งอากาศเย็นไปยังพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return Air Duct) เพื่อนำอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องแล้วกลับสู่ ชุดปรับอากาศแบบแพ็คเกจ เพื่อทำความเย็นอีกครั้ง โดยสามารถจำแนกประเภทของปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจตามการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นได้ 2 ประเภท คือ

1) ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Air Cooled Air Conditioner) ชุดปรับอากาศแบบแพ็คเกจชนิดนี้จะใช้อากาศในการระบายความร้อน โดยมีข้อดี คือ ใช้ได้กับพื้นที่ปรับอากาศที่มีพื้นที่จำกัดในการติดตั้ง โดยส่วนมากนั้นเครื่องปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจนั้นจะมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน และจะมีสมรรถนะอยู่ที่ 1.4 - 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน



รูปที่ 2.4 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged Air Cooled Air Conditioner

2) ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Packaged Water Cooled Air Conditioner) ชุดปรับอากาศแบบแพ็คเกจชนิดนี้จะใช้น้ำในการระบายความร้อน โดยมีข้อดี คือ ให้ขนาดการทำความเย็นที่มากกว่าชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ติดตั้งที่ต้องใช้พื้นที่มากกว่าชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยจะมีสมรรถนะอยู่ที่ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตัน



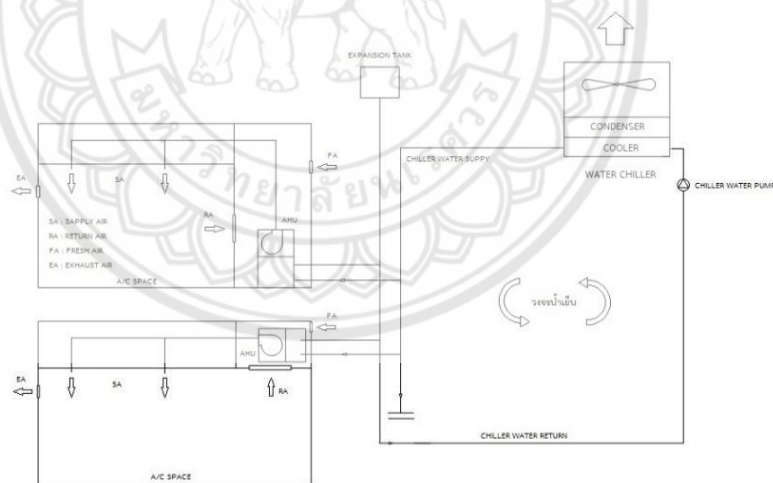
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged Water Cooled Air Conditioner

2.1.3. ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Center System)⁴

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์นั้นเป็นระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ที่สุด กล่าวได้ว่าระบบปรับอากาศชนิดนี้มีขนาดการทำความเย็นมากที่สุด เหมาะกับอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการใช้พื้นที่ในการปรับอากาศพร้อมกันหลาย ๆ พื้นที่ โดยระบบปรับอากาศชนิดนี้จะใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

เป็นกลจักรทำความเย็นซึ่งภายในจะประกอบไปด้วย เครื่องอัด เครื่องระเหย เครื่องควบแน่น และ วาล์วขยายตัวโดยจะใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย ซึ่งส่วนมากจะตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 44 - 47 °F จากนั้นจะส่งน้ำเย็น (Chilled Water Supply ; CHS) ไปยังพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศภายในอาคาร โดยน้ำเย็นจะไหลเข้าเครื่องเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit ; AHU) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ จากนั้นน้ำจะไหลกลับ (Chilled Water Return ; CHR) เข้าเครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้งเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็น โดยสามารถแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่ เครื่องควบแน่นของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

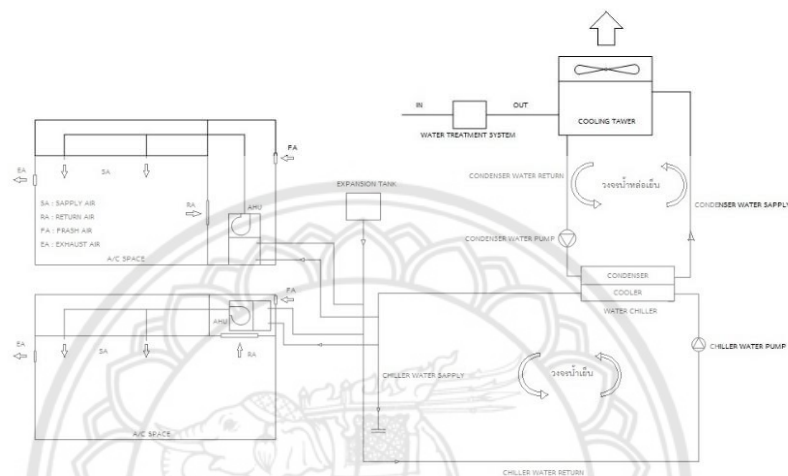
1) ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้จะใช้พัดลมในการหมุนเวียนนำอากาศภายนอกมาระบายความร้อนออกจากเครื่องควบแน่น ซึ่งโดยส่วนมากระบบปรับอากาศประเภททำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ หรือระบบน้ำที่ใช้สำหรับระบายความร้อน โดยประสิทธิภาพสำหรับระบบปรับอากาศประเภททำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 - 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน



รูปที่ 2.6 ระบบปรับอากาศแบบ Air Cooled Water Chiller

2) ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้จะใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นแล้วส่งน้ำไประบายความร้อนที่หอระบายความร้อน (Cooling Tower) ระบบปรับอากาศประเภททำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยจะอยู่ระหว่าง 0.62 - 0.75 กิโลวัตต์ต่อตัน แต่ระบบปรับ

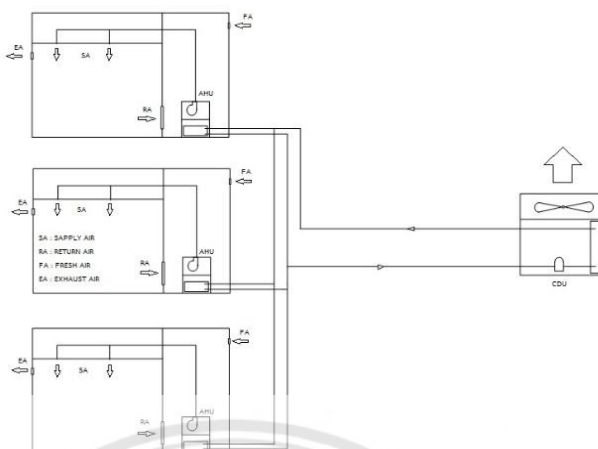
อากาศชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีพื้นที่ติดตั้งขนาดใหญ่และมีการลงทุนที่สูงกว่าเนื่องจากจำเป็นต้องมีการติดตั้งท่อระบายความร้อน เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) อีกทั้งยังต้องหมั่นตรวจสอบและดูแลคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อนและตะกอน ในระบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง



รูปที่ 2.7 ระบบปรับอากาศแบบ Water Cooled Water Chiller

2.1.4. ระบบปรับอากาศแบบน้ำยาแปรผัน (Variable Refrigerant Flow ; VRF)²

ระบบปรับอากาศแบบ VRF เป็นระบบปรับอากาศที่มีลักษณะคล้ายกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด inverter แต่จะมีการใช้ชุด Condensing Unit ที่มีประสิทธิภาพสูงเพียง 1 ชุด แต่จะมีการเดินสารทำความเย็นไปยังชุด Fan Coil Unit หลาย ๆ ชุด ซึ่งสามารถปรับสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นของแต่ละพื้นที่ได้ ส่งผลให้เครื่องอัด ทำงานตามภาระการทำความเย็นที่ใช้งานจริง ทำให้ระบบปรับอากาศแบบ VRF มีค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่ค่อนข้างสูง โดยส่วนใหญ่ระบบนี้จะมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 200 ตัน ใช้ได้ทั้งอาคารขนาดเล็กจนถึงอาคารขนาดใหญ่



รูปที่ 2.8 ระบบปรับอากาศแบบน้ำยาแปรผัน (Variable Refrigerant Flow ; VRF)

ข้อดีของระบบ VRV/VRF

- 1) เป็นระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-410a ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในปัจจุบัน (R-22 และ R-134a) ทำให้ทำงานได้รวดเร็วกว่า และสาร R-410a เป็นสาร HCFC มีค่า ODP เป็น 0 จึงไม่ทำลายชั้นโอโซน
- 2) ประหยัดพลังงานมากกว่าระบบปรับอากาศอื่น ๆ โดยสามารถทำ Part load ได้ต่ำถึง 10%
- 3) มีอุปกรณ์ควบคุมแบบรวมศูนย์ สามารถตั้งเวลาเปิด - ปิดได้
- 4) อาคารสวยงามกว่าระบบปรับอากาศอื่น เนื่องจากไม่ต้องวางชุด Condensing Unit หลายชุด
- 5) เสียงรบกวนน้อย เนื่องจากใช้ระบบ inverter
- 6) มีความทนทาน ไม่ต้องเสียค่าซ่อมบำรุงสูงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มน้ำ และหორะบายความร้อน

ข้อเสียของระบบ VRV/VRF

- 1) ต้นทุนในการติดตั้งสูง เนื่องจากต้องฝังระบบเข้าตู้หรือเพดาน
- 2) ต้องให้ช่างที่มีความชำนาญในการควบคุมดูแล เนื่องจากระบบบำรุงรักษายากเพราะใช้สารทำความเย็นเป็นสารทำงาน การตรวจสอบการรั่วซึมจึงยากกว่านี้

2.1.5 การเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศชนิดต่าง ๆ

ลักษณะการเปรียบเทียบ	ระบบ Split Type (ระบบ CRV)	ระบบ Chiller System	Package	ระบบ VRV/VRF
ขนาดความเย็น	0.75 – 5 ตันความเย็น	Air Cooled Water Chiller ไม่เกิน 500 ตันความเย็น Water Cooled Chiller System ไม่เกิน 1000 ตันความเย็น	Package Water Cooled ไม่เกิน 90 ตันความเย็น Package Air Cooled ไม่เกิน 30 ตันความเย็น	4 – 47 ตันความเย็น
อุปกรณ์และการใช้พื้นที่	ต้องมีพื้นที่วาง FCU กระจายเป็นจุดย่อย ๆ ต้องมีพื้นที่ วาง CDU ซึ่งควรอยู่ใกล้ AHU ที่สุด	Air Cooled Water Chiller พื้นที่ตั้งเครื่องทำน้ำเย็นต้องสามารถระบายอากาศได้ดี ระบายความร้อนด้วยน้ำ Water Cooled Chiller System ต้องมีพื้นที่วางหอระบายความร้อนและเครื่องสูบน้ำสำหรับหอระบายความร้อน	Package Water Cooled ต้องมีพื้นที่วาง Cooling Tower Package Air Cooled ต้องมีพื้นที่สำหรับตั้ง Package ต้องสามารถระบายอากาศออกสู่ภายนอกได้	ต้องมีพื้นที่สำหรับวาง FCU หรือพื้นที่สำหรับการวางท่อลมที่ต่อกับ CDU ต้องมีพื้นที่สำหรับวาง CDU เป็นจุดใหญ่ เนื่องจาก CDU ตัวเดียวสามารถใช้กับ FCU หลายตัวได้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

ลักษณะการเปรียบเทียบ	ระบบ Split Type (ระบบ CRV)	ระบบ Chiller System	Package	ระบบ VRV/VRF
การวางอุปกรณ์ แต่ละส่วน	สามารถเดินท่อสารทำความเย็นขนาดเล็ก แต่ได้ระยะประมาณ 15 เมตรทำให้ต้องจำกัดระยะห่าง CDU และ AHU	Air Cooled Water Chiller สามารถแยก Water FCU, Chiller และ Cooling Tower แต่ละส่วนอยู่ห่างกันได้มากต้องมีพื้นที่วางท่อน้ำขนาดใหญ่กว่าท่อน้ำยาปรับอากาศ Water Cooled Chiller System สามารถแยก Water FCU, Chiller และ Cooling Tower แต่ละส่วนอยู่ห่างกันได้มากต้องมีพื้นที่วางท่อน้ำขนาดใหญ่กว่าท่อน้ำยาปรับอากาศ	Package Water Cooled CDU และ AHU อยู่ติดกันโดย Cooling Tower สามารถอยู่แยกห่างออกมาได้ ไม่ต้องเดินท่อน้ำเย็นหรือท่อสารทำความเย็น โดยมีท่อน้ำเย็นหลักเฉพาะจากเครื่องไปที่ Cooling Tower Package Air Cooled CDU และ FCU อยู่ด้วยกันไม่ต้องเดินท่อสารทำความเย็น มีท่อน้ำจากเครื่อง Package ต่อไปที่ Cooling Tower	สามารถเดินท่อสารทำความเย็นขนาดเล็กระหว่าง FCU และ CDU ทำให้มีระยะห่างสูงสุด 100 เมตร

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

ลักษณะการเปรียบเทียบ	ระบบ Split Type (ระบบ CRV)	ระบบ Chiller System	Package	ระบบ VRV/VRF
ผลกระทบต่อรูปแบบสถาปัตยกรรมภายนอก	ต้องมีเก็ลั้ระบายอากาศทุกส่วนที่ติดตั้ง CDU	Air Cooled Water Chiller ต้องมีพื้นที่ระบายอากาศได้ดีสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น Water Cooled Chiller System ต้องมีพื้นที่สำหรับติดตั้ง Cooling Tower	Package Water Cooled CDU และ AHU อยู่ติดกัน โดย Cooling Tower สามารถอยู่แยกห่างออกมาได้ไม่ต้องเดินท่อน้ำเย็นหรือท่อสารทำความเย็น Package Air Cooled CDU และ AHU อยู่ติดกันไม่ต้องเดินท่อน้ำเย็นหรือท่อสารทำความเย็น	ในอาคารขนาดใหญ่ ผนังภายนอกบางส่วนต้องเปิดเป็นเก็ลั้ระบายอากาศ ในอาคารขนาดเล็กและขนาดกลางสามารถนำ CDU มารวมไว้ในบริเวณเดียวกันได้
การบำรุงรักษา	ใช้ช่างทั่วไปในการซ่อมบำรุง	ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญตรวจสอบ และดูแลทุกวัน	ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ	ต้องมีช่างเทคนิคที่มีความรู้โดยเฉพาะ

2.2 สิ่งเจือปนในอากาศภายในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล

ภายในอากาศมีสิ่งเจือปนอยู่หลากหลายอีกทั้งยังรวมถึงสิ่งมีชีวิตที่แพร่กระจายในอากาศ รวมถึงมลพิษในอากาศ โดยภายในอากาศสามารถแบ่งสิ่งเจือปนในอากาศเป็นสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในอากาศ และสิ่งไม่มีชีวิตที่อยู่ในอากาศ โดยความชื้นในอาคารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยการส่งผลให้เกิดปัญหา คุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องจากหากเกิดความชื้นขึ้นภายในตัวอาคารเองแล้ว ในสภาวะ ความชื้นที่เกิดขึ้นนี้อาจก่อให้เกิดกลิ่นอับและเป็นสภาวะความชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อ โรคหรือสิ่งมีชีวิตที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

2.2.1 สิ่งมีชีวิตในอากาศภายในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล⁵

เชื้อโรคสภาพแวดล้อมของสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาลสามารถจำแนกออกเป็น

3 ประเภท ดังนี้

- 1) เชื้อรา (Fungi)
- 2) ไวรัส (Virus)
- 3) แบคทีเรีย (Bacteria)

1) เชื้อรา (Fungi)

เชื้อรา (Fungi) คือ สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในอาณาจักรเห็ดราหรือฟังไจ (Kingdom Fungi) เดิมเชื้อราถูกจัดให้อยู่ในอาณาจักรเดียวกับพืชแต่เนื่องจากมีลักษณะบางประการที่ไม่ เหมือนกับพืชจึงถูกจัดให้อยู่ในอาณาจักรเห็ดราหรือฟังไจ โดยลักษณะทั่วไปของเชื้อรา จะมีขนาดและ รูปร่างที่แตกต่างไปจากจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น ไวรัส, แบคทีเรีย และปรสิต เป็นต้น เป็นเซลล์ยูคาริโอต มี เยื่อหุ้มนิวเคลียส โดยเชื้อราไม่มีคลอโรพิลล์จึงไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารเองได้ การหาอาหารของเชื้อราจึงต้องหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยสลายจุลินทรีย์ในบริเวณที่เชื้อราอยู่ ได้แก่ ซาก พืชและซากสัตว์ โดยเชื้อราจะสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายเชื้อจุลินทรีย์จากนั้นดูดซึมสารอาหาร ผ่านผนังเซลล์เข้าไปใช้งาน การสืบพันธุ์ของเชื้อรา ส่วนใหญ่เป็น การสร้างสปอร์ที่สามารถแพร่กระจาย ไปอากาศเพื่อเป็นการขยายพันธุ์ของเชื้อราการก่อโรคของเชื้อรา (Fungal Infective)

การก่อโรคของเชื้อราในคนสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1.1 Toxigenic Fungi คือ เชื้อราที่มีสารพิษหรือเชื้อราที่สร้างสารพิษ โดยสารพิษที่สร้างเกิด จากกระบวนการเมตาบอลิซึม

1.2 Allergenic Fungi คือ เชื้อราที่ทำหน้าที่คล้ายกับแอนติเจน (Antigen) โดยแอนติเจนมี หน้าที่กระตุ้นให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีชนิด IgE ส่งผลให้แสดงอาการความผิดปกติคล้ายกับภาวะ หอบหืด

1.3 Invasive Fungi คือ เชื้อราที่สามารถแทรกซึมเข้าไปเพื่อเจริญเติบโตในร่างกายของมนุษย์ได้ การติดเชื้อในลักษณะนี้ เรียกว่า mycoses หรือ mycosis

2) ไวรัส (Virus)

ไวรัส (Virus) คือ สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็ก โดยขนาดของไวรัสเท่ากับ 20 – 300 นาโนเมตร จุลชีพที่สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ (infectious agents) ทั้งในมนุษย์, สัตว์, พืชและ สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เป็นสิ่งมีชีวิตมีเซลล์ (cellular life) ทำให้เกิดโรคที่ส่งผลกระทบต่อกว้างขวาง จึงมีความสำคัญที่จะต้องศึกษาทั้งในทางการแพทย์และทางเศรษฐกิจ ไวรัสเป็นปรสิตอยู่ในร่างของสิ่งมีชีวิตอื่น (obligate intracellular parasite) ไม่สามารถเติบโตหรือแพร่พันธุ์นอกเซลล์อื่นได้ ไวรัสอาจถือได้ว่าเป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะของการเป็นสิ่งมีชีวิตเพียง ประการเดียวคือสามารถแพร่พันธุ์ หรือการถ่ายทอดสาร พันธุกรรมของตนเองจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง

3) แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย (Bacteria) คือ เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กและมีเซลล์เดียว ที่เป็นเซลล์แบบโพรคาริโอต (Prokaryote) มีขนาด 0.5 – 10 ไมโครเมตร โดยรูปร่างทั่วไปของแบคทีเรียมีทั้งหมด 3 แบบ คือ รูปร่างแบบทรงกลม (Coccus), รูปร่างแบบเป็นแท่ง (Bacillus) และรูปร่างแบบเป็นเกลียว (Spirochete) โดยแบคทีเรียขยายพันธุ์ด้วยการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียเองจาก 1 เซลล์ เป็น 2 เซลล์ (Binary Fission) และการแบ่งเซลล์ตามขวาง (Transverse Fission) โดยสามารถพบแบคทีเรียได้ทั่วไป โดยแบคทีเรียมีทั้งมีประโยชน์และแบบที่ทำให้เกิดการติดเชื้อ

โดยการติดเชื้อแบคทีเรียสามารถเข้าสู่ร่างกายและสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้แทบทุกระบบภายในร่างกาย และก่อให้เกิดการติดเชื้อ ดังนี้

1. การติดเชื้อที่ผิวหนัง
2. การติดเชื้อที่ระบบทางเดินหายใจ
3. การติดเชื้อที่ทางเดินปัสสาวะ
4. การติดเชื้อที่ทางเดินอาหาร
5. การติดเชื้อที่ระบบสืบพันธุ์
6. การติดเชื้อที่ระบบประสาท
7. การติดเชื้อในกระแสเลือด

2.2.1 สิ่งไม่มีชีวิตในอากาศภายในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล⁶

มลพิษทางอากาศภายในอาคารจะเป็นการกล่าวถึงสภาวะของบรรยากาศภายในอาคารที่มีการเจือปนของฝุ่นละออง แก๊ส โอโซน กลิ่น ในปริมาณที่มากจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ โดยมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คือ แก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเบากว่าอากาศทั่วไป เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แก๊สนี้จะรวมกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดง เกิดคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ซึ่งลดความสามารถของเม็ดเลือดแดงในการเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ

2) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และหนักกว่าอากาศสามารถละลายน้ำได้ คาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทั่วไปควรอยู่ที่ 400 ppm (Part per Million) แต่ถ้าเป็นในอาคารบ้านเรือนต่างสามารถมีคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึง 1,000 ppm แต่ต้องไม่เกิน 1,500 ppm เพราะถ้าเกินจากค่านี้ไปจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น จะมีเหงื่อออกมาก มีอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงขึ้น และหายใจไม่สะดวก ดังนั้นในอาคารต่าง ๆ จำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศที่ดี มิฉะนั้นจะเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยและส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเด็กอีกด้วย

3) เรดอน (Radon) เป็นสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ทั่วไปทุกหนแห่ง ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสใด ๆ ของมนุษย์ เป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดในมนุษย์ได้เป็นอันดับที่สองรองจากบุหรี่

4) ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter) ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของกรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อมประกอบด้วยสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นของแข็ง และ ของเหลว ที่กระจายอยู่ในบรรยากาศ เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอนไปจนถึงฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน

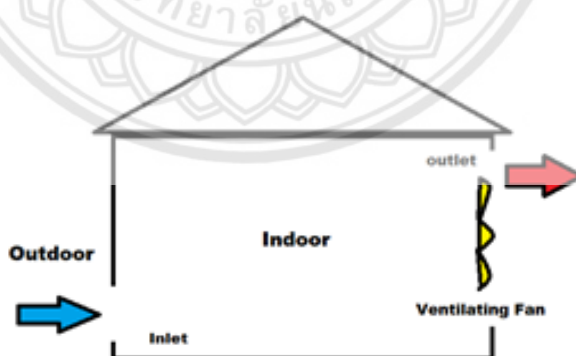
2.3 การระบายอากาศ (Ventilation)

ในการจัดทำโครงการนี้จำเป็นต้องศึกษาหลักการและมาตรฐานของการระบายอากาศ โดยมุ่งเน้นศึกษาการระบายอากาศในสถานพยาบาล

การระบายอากาศ คือ การกระทำที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของอากาศระหว่างอากาศภายในพื้นที่พักอาศัยหรืออาคารและอากาศภายนอก โดยจะมีการออกแบบช่องลมสำหรับให้อากาศถ่ายเทเข้า - ออก โดยอาจจะออกแบบให้อากาศไหลผ่านระบบท่อลม (Air Duct Distributions System) หรือไหลผ่านพัดลมระบายอากาศ (Wall Fan) โดยนอกจากการระบายอากาศแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่ภายในอาคารในปริมาณที่เหมาะสมต่อพื้นที่นั้น ๆ โดยในปัจจุบันมีกฎหมายควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการระบายอากาศออกต้องคำนึงถึงการกรองฝุ่นและมลภาวะก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ โดยสามารถจำแนกการระบายอากาศออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) การระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยการระบายอากาศแบบนี้จะปล่อยให้อากาศไหลเองตามธรรมชาติ ผ่านช่องลมต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบไว้ภายในอาคาร
- 2) การระบายอากาศโดยวิธีทางกล การระบายอากาศแบบนี้จะใช้อุปกรณ์มาบังคับอัตราการไหลของอากาศ เพื่อให้อากาศถ่ายเท เช่น พัดลมระบายอากาศ

โดยทั่วไปตามอาคารสำนักงานหรือโรงงานต่าง ๆ มักจะเลือกใช้การระบายอากาศโดยวิธีทางกลเนื่องจากง่ายต่อการควบคุมปริมาณลมและอัตราการถ่ายเทของอากาศ



รูปที่ 2.9 การระบายอากาศ

2.3.1 หลักในการออกแบบระบบระบายอากาศให้มีประสิทธิภาพ

- 1) เติมอากาศบริสุทธิ์ให้เพียงพอและเหมาะสม
- 2) อัตราการระบายอากาศ(Air change ; ACH) จะถูกกำหนดและออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน วสท.3010 และมาตรฐาน การปรับอากาศและระบายอากาศ ของอเมริกา หรือ “ASHRAE”
- 3) คำนึงถึงสภาวะแรงดันในห้อง อาจเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดและลักษณะการใช้งาน
- 4) คำนึงถึงมาตรฐานการกรองฝุ่นละอองและสารแขวนลอย ในอากาศ โดยจะพิจารณาตามความจำเป็น ข้อกำหนดด้านการผลิต หรือ มาตรฐานที่ผู้ใช้งานต้องการขออนุญาต
- 5) ออกแบบให้มีกำลังการใช้งานที่เหมาะสม มุ่งเน้นให้ให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างสูงที่สุด

2.3.2 ข้อกำหนดมาตรฐานการระบายอากาศ

ในส่วนของสถานพยาบาลและห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศนั้น มีข้อกำหนดของมาตรฐานการระบายอากาศที่ใช้ในการออกแบบซึ่งการระบายอากาศในปัจจุบันมีข้อกำหนดมาตรฐานการระบายอากาศมากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานการระบายอากาศของ หน่วยงานป้องกันโรคติดต่อในสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control ; CDC), องค์การอนามัยโลก (World Health Organization ; WHO), ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)1)

1) ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

ASHRAE เป็นองค์กรเอกชนระหว่างประเทศที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบทำความร้อนระบบระบายอากาศระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็นประกอบอาคาร HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems) เพื่อประโยชน์แก่มนุษยชาติและเป็นการพัฒนาโลกที่ยั่งยืน มุ่งเน้นไปที่การสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่มีคุณภาพอากาศภายในอาคารเย็นและความยั่งยืนในอุตสาหกรรม ซึ่ง ASHRAE ได้ออกมาตรฐานการระบายอากาศสำหรับสถานพยาบาลไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล

สถานที่	ความดันที่สัมพันธ์กับพื้นที่ที่ติดกัน	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกชั้นต่ำ (ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรวมชั้นต่ำ(ACH)	การระบายอากาศในห้องทั้งหมดออกสู่ภายนอกโดยตรง(ACH)	อากาศหมุนเวียนภายในห้อง (ACH)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	อุณหภูมิ (°F/°C)
ห้อง anteroom	สูงกว่าห้อง AIIR และ ต่ำกว่า ภายนอก	ไม่จำเป็นต้องใช้	10	ใช่	ไม่	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้
ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อ(AIIR)	ลบ	2	12	ใช่	ไม่	สูงสุด 60	70-75/21-24
ส่วนรวมAIIR/ห้องโถง PE	สูงกว่าห้อง AIIR และ ต่ำกว่า ภายนอก	ไม่จำเป็นต้องใช้	10	ใช่	ไม่	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล (ต่อ)

สถานที่	ความดันที่สัมพันธ์กับพื้นที่ที่ติดกัน	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกชั้นต่ำ (ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรวมชั้นต่ำ (ACH)	การระบายอากาศในห้องทั้งหมดออกสู่ภายนอกโดยตรง (ACH)	อากาศหมุนเวียนภายในห้อง (ACH)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°F/°C)
ส่วนรวมAIIR/ห้อง PE	บวก	2	12	ใช่	ไม่	สูงสุด60	70-75/21-24
สถานรับเลี้ยงเด็กดูแลต่อเนื่อง	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	6	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่	สูงสุด60	72-78/22-26
ห้องคลอด/พักฟื้น(LDR)	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	6	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	30-60	70-75/21-24
ห้องคลอด/พักฟื้น/หลังคลอด(LDRP)	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	6	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	70-75/21-24

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล (ต่อ)

สถานที่	ความดันที่สัมพันธ์กับพื้นที่ที่ติดกัน	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกชั้นต่ำ(ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรวมชั้นต่ำ (ACH)	การระบายอากาศในห้องทั้งหมดออกสู่ภายนอกโดยตรง (ACH)	อากาศหมุนเวียนภายในห้อง (ACH)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°F/°C)
ห้องนอนเด็กแรกเกิด	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	6	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่	ไม่จำเป็นต้องใช้	72-78/22-26
พื้นที่บำรุงรักษาหรือห้องบำรุงรักษา	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	สูงสุด60	ไม่จำเป็นต้องใช้
ทางเดินของผู้ป่วย	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล (ต่อ)

สถานที่	ความดันที่สัมพันธ์กับพื้นที่ที่ติดกัน	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกชั้นต่ำ(ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรวมชั้นต่ำ(ACH)	การระบายอากาศในห้องทั้งหมดออกสู่ภายนอกโดยตรง (ACH)	อากาศหมุนเวียนภายในห้อง (ACH)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°F/°C)
ห้องผู้ป่วย	ไม่จำเป็นต้องใช้	2	4(y)	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้	สูงสุด 60	70-75/21-24
ห้องโถง PE	สูงกว่าห้อง PE และ ต่ำกว่าภายนอก	ไม่จำเป็นต้องใช้	10	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้
ห้องกักกันเชื้อภายนอก	บวก	2	12	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่	สูงสุด 60	70-75/21-24

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการระบายอากาศในสถานพยาบาล (ต่อ)

สถานที่	ความดันที่สัมพันธ์กับพื้นที่ที่ติดกัน	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกชั้นต่ำ(ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศรวมชั้นต่ำ (ACH)	การระบายอากาศในห้องทั้งหมดออกสู่ภายนอกโดยตรง (ACH)	อากาศหมุนเวียนภายในห้อง (ACH)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°F/°C)
ห้องส้วม	ลบ	ไม่จำเป็นต้องใช้	10	ใช่	ไม่	ไม่จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้

ที่มา : Paul Ninomura, P. E., and P. E. Richard Hermans. "Ventilation standard for health care facilities." *ASHRAE Journal* 50.10 (2008): 52-57.

2) CDC (Centers for Disease Control ; หน่วยงานป้องกันโรคติดต่อในสหรัฐอเมริกา)

CDC เป็นหน่วยงานป้องกันโรคติดต่อในสหรัฐอเมริกา ภายใต้กระทรวงสุขภาพและบริการมนุษย์สหรัฐ ทำหน้าที่ดูแล แก้ไข และหาแนวทางป้องกันโรคติดต่อต่าง ๆ โดย CDC ได้ออกมาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาล ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดการระบายอากาศในสถานพยาบาล

สถานที่	ห้อง AIIR	ห้อง PE	ห้องผู้ป่วยวิกฤต	Isolation anteroom	ห้องผ่าตัด
ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง	ต่ำกว่า	มากกว่า	ต่ำกว่า, มากกว่า, หรือปล่อยตามธรรมชาติ	ต่ำกว่า หรือมากกว่า	มากกว่า
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ(ACH)	≥6 (สำหรับห้องที่มีอยู่เดิม) ≥12 (สำหรับห้องที่ปรับปรุงใหม่หรือสร้างใหม่)	≥12	≥6	≥10	≥15
กันรั่วซึม	ใช่	ใช่	ไม่	ใช่	ใช่
การกรองอากาศ	90%	99.97%	>90%	>90%	>90%
การหมุนเวียนอากาศ	ไม่	ใช่	ใช่	ไม่	ใช่

ที่มา : Chinn, Raymond YW, and Lynne Schulster. "Guidelines for environmental infection control in health-care facilities; recommendations of CDC and Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)." (2003)

3) องค์การอนามัยโลก (World Health Organization ; WHO)

WHO เป็นหน่วยงานชำนาญพิเศษของสหประชาชาติ ซึ่งรับผิดชอบการประสานงานด้านสาธารณสุขระหว่างประเทศ ก่อตั้งเมื่อ 7 เมษายน ค.ศ. 1948 มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

สำหรับมาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลนั้น องค์การอนามัยโลกได้ใช้มาตรฐานเดียวกันกับมาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของหน่วยงานป้องกันโรคติดต่อในสหรัฐอเมริกา มาตรฐานการ

4) วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

ในส่วนของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะกล่าวถึงข้อกำหนดของห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ และมาตรฐานการระบายอากาศ เพื่อใช้ในการหาอัตราการเติมอากาศบริสุทธิ์และอัตราการหมุนเวียนอากาศของห้อง โดยมาตรฐานของ วสท. นั้นผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศเป็นมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเป็นเครื่องมือในการส่งเสริม สนับสนุน และเป็นการประกันคุณภาพงานของวิศวกรและผู้เกี่ยวข้องให้น่าเชื่อถือและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อประโยชน์ต่อความปลอดภัยของสาธารณะชน โดยมาตรฐาน วสท. ประกอบด้วยมาตรฐานที่ใช้ควบคุมหลายหมวดหมู่ ในที่นี้ทางผู้จัดทำจะยกมาเพียงมาตรฐานที่ว่าด้วยระบบปรับอากาศและการระบายอากาศสำหรับสถานพยาบาลเท่านั้น โดยได้ออกมาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลตามกฎหมายกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 39 (พ.ศ.2537) และฉบับที่ 63 (พ.ศ.2551) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ตารางที่ 2.4 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในและความดันสัมพันธ์

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอกไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของของปริมาตรห้องต่อหนึ่งชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของของปริมาตรห้องต่อหนึ่งชั่วโมง	ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	ห้อง nursery	5	12	สูงกว่า
4	หออภิบาลผู้ป่วยวิกฤต (ICU)	5	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน	5	12	สูงกว่า

ตารางที่ 2.4 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในและความดันสัมพันธ์
(ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้า อากาศภายนอกไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของของปริมาตรห้อง ต่อหนึ่งชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียน อากาศภายในห้องไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของของปริมาตรห้อง ต่อหนึ่งชั่วโมง	ความดัน สัมพันธ์กับพื้นที่ ข้างเคียง
7	บริเวณพักคอยสำหรับ แผนกผู้ป่วยนอกและ ห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
8	ห้องพักรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อ ทางอากาศ(AIIR)	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องแยกผู้ป่วยปลอด เชื้อ	2	12	สูงกว่า
11	ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	2	6	ต่ำกว่า

ตารางที่ 2.4 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในและความดันสัมพันธ์
(ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้า อากาศภายนอกไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของของปริมาตรห้อง ต่อหนึ่งชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียน อากาศภายในห้องไม่ น้อยกว่าจำนวนเท่า ของของปริมาตรห้อง ต่อหนึ่งชั่วโมง	ความดัน สัมพันธ์กับพื้นที่ ข้างเคียง
12	ห้องชั้นสูตโรคพ	2	12	ต่ำกว่า

2.4 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยว (Isolation Rooms)

ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยว คือ ห้องที่ถูกออกแบบเพื่อรองรับผู้ป่วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล หรือเพื่อป้องกันเชื้อทางอากาศจากภายนอกสู่ภายในห้อง ของสถานพยาบาล โดยทั่วไปนั้นห้องพักสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจะแบ่งโซนพื้นที่ของห้องเป็น 3 ส่วนคือ

1) ห้องเตรียม (Ante Room) เป็นห้องเก็บวัสดุอุปกรณ์ของเจ้าหน้าที่ก่อนเข้าไปปฏิบัติหน้าที่ในห้องพักผู้ป่วย โดยห้อง Ante Room จำเป็นต้องมีการปรับอากาศก่อนเข้าพักผู้ป่วย เพื่อลดโอกาสการแพร่กระจายของเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่ช่องทางเดินสัญจร

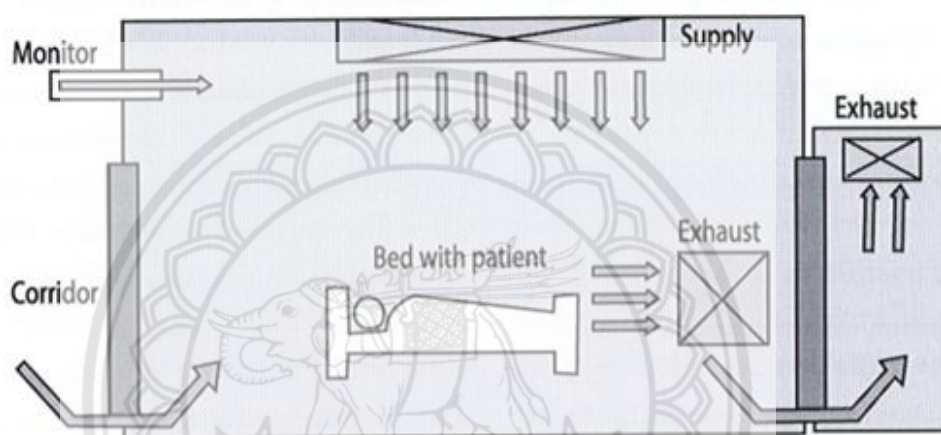
2) ห้องพักผู้ป่วย (Isolate Room) เป็นห้องพักรักษาตัวของผู้ป่วย โดยจะมีระบบระบายอากาศที่บริเวณเหนือหัวเตียงของผู้ป่วย เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไปสู่บริเวณรอบห้อง

3) ห้องน้ำ (Toilet Room) เป็นห้องน้ำสำหรับผู้ป่วยที่พักรักษาตัวในห้องพักสำหรับผู้ป่วย โดยผู้ป่วยสามารถเข้าห้องน้ำได้โดยไม่จำเป็นต้องออกจากห้องควบคุมความดัน เพื่อลดโอกาสการแพร่กระจายของเชื้อทางอากาศภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล โดยห้องน้ำจำเป็นต้องมีระบบกรองอากาศและระบายอากาศที่ได้มาตรฐาน

โดยห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

2.4.1 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ (Negative Pressure Isolation Rooms)

ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ หรือเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (AIIR) คือ ห้องที่มีการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค โดยป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล เนื่องจากจะมีการปรับสภาวะความดันอากาศภายในห้องให้เป็นลบ หรือปรับความดันภายในห้องให้ต่ำกว่าพื้นที่ข้างเคียง



รูปที่ 2.10 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ (แสดงรูปตัดขวาง)⁷

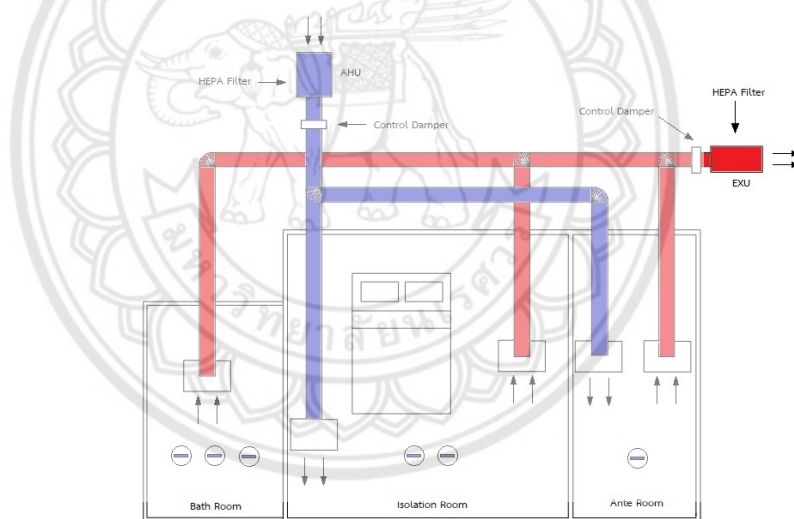
หลักในการออกแบบระบบปรับอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศนั้น ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจะก่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากภายนอกห้องสู่ภายในห้อง อันเป็นผลมาจากความดันที่ต่ำกว่าพื้นที่ข้างเคียง เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล ซึ่งตัวอย่างที่เราจะพบเห็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ เช่น ห้องพักสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ปอด (TB, Tuberculosis) ห้องพักสำหรับผู้ป่วยติดเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID - 19) เป็นต้น ซึ่งผู้ป่วยมีแนวโน้มที่จะแพร่เชื้อสู่ผู้อื่นสูง⁷

โดยทางศูนย์ควบคุมและป้องกันเชื้อโรคของสหรัฐอเมริกา (CDC, Center of Disease Control and Prevention, U.S.A) ให้คำแนะนำว่าอัตราการนำอากาศภายนอกมาใช้ในการระบายอากาศของห้องมีปริมาณอากาศ 12 ACH (Air Change per hour, จำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง) และควรมีห้องพักก่อน (Ante Room) ซึ่งเป็นห้องกั้นระหว่างผู้ป่วยกับช่องทางเดินสัญจรทั่วไป รวมถึงจำกัด ผลกระทบของผู้อื่นที่เดินสัญจรไปมาและการเปิดประตู อากาศที่ถูกดูดทิ้งออกจากห้องจะต้องไหลผ่าน แผงกรองอากาศชนิดประสิทธิภาพสูงเรียกว่า HEPA Filter (High Efficiency Particulate Air) เมื่ออากาศผ่านการกรองแล้วถึงจะถูกนำไปทิ้งออกไปสู่ภายนอกอาคาร โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อ อากาศภายนอกในธรรมชาติ ซึ่งหากจะมีการนำอากาศมา

หมุนเวียนใช้อีกครั้งจำเป็นต้องนำอากาศมาผ่านแผงกรองอากาศอีกครั้ง อีกทั้งต้องผ่านแสงซึ่งมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตสำหรับฆ่าเชื้อโรค⁷

สำหรับผลต่างของความดันระหว่างกำแพงห้องที่ติดกันนั้น ควรให้มีค่าประมาณ 2.5 ปาสคาล ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจำเป็นต้องมีทิศทางการไหลของอากาศเข้ามาในห้อง ซึ่งจะต้องติดตั้งเครื่องมือตรวจสอบความดันหรือทิศทางการไหลของอากาศที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยติดตั้งที่หน้าประตูทางเข้าห้อง ในบางครั้งก็มีข้อกำหนดอย่างอื่น เช่น ต้องรักษาความเร็วลมที่ไหลเข้าสู่ห้อง โดยอัตราความเร็วเท่ากับ 100 ฟุต/นาที หรือดูดอากาศทิ้งไป 10% ของปริมาณอากาศที่เป่าเข้ามาในห้อง⁷

สำหรับระบบระบายอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจะมีอีกหนึ่งบทบาทที่สำคัญ คือ การช่วยควบคุมความดันในห้องผู้ป่วย โดยจะต้องควบคุมให้บริเวณห้องนี้ให้มีความดันต่ำที่สุดนั่นก็คือ มีปริมาณการดูดอากาศออกมากที่สุด รองลงมาคือห้องพักผู้ป่วย รองลงมาคือห้องเตรียม และบริเวณที่มีความดันมากที่สุดก็คือภายนอกห้อง⁸

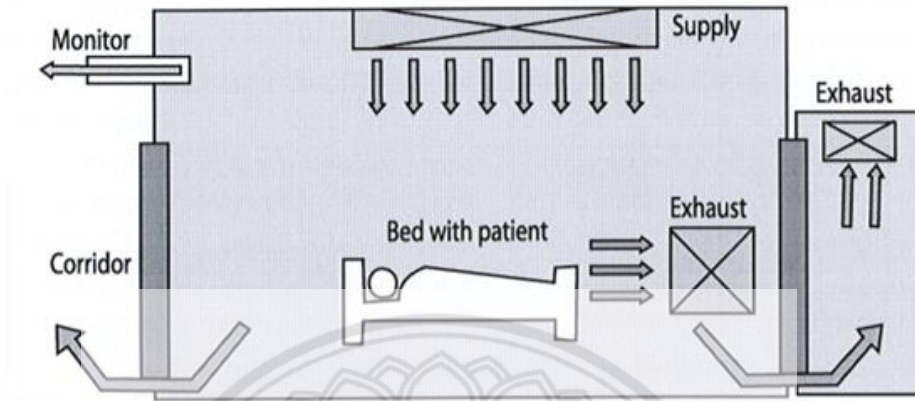


รูปที่ 2.11 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ

2.4.2 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นบวก (Positive Pressure Isolation Rooms)

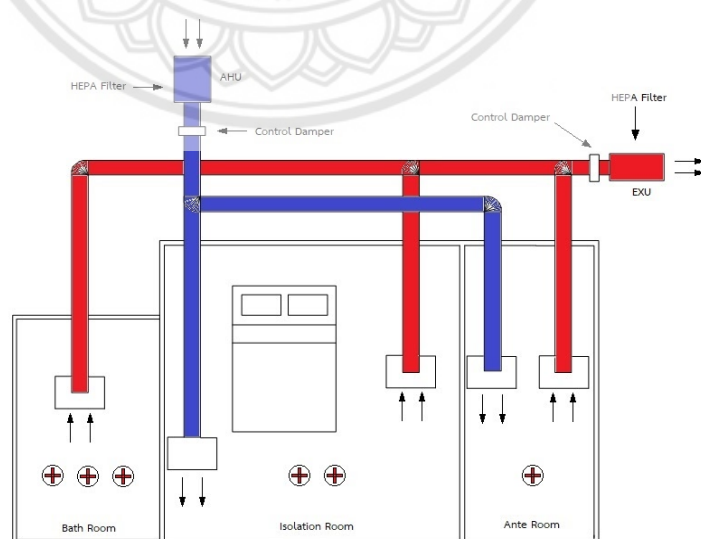
ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นบวก จะก่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากออกจากห้อง อันเป็นผลมาจากความดันที่สูงกว่าพื้นที่ข้างเคียง เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่คนไข้จะได้รับสิ่งปนเปื้อนและจุลชีพที่จะมาทำอันตรายต่อคนไข้ ซึ่งตัวอย่างที่เราจะพบเห็นห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นบวก เช่น ห้องพักสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเอดส์ (HIV) และห้อง

ผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ (Immunodeficiency) ซึ่งสามารถติดเชื้อโรคได้ง่าย สำหรับคนไข้ชั้นวิกฤตที่จำเป็นต้องป้องกันไม่ให้จุลชีพ (Pathogens) เข้ามาถึงคนไข้ได้ รวมถึงป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียที่จะเข้าสู่ร่างกายคนไข้ที่มีสุขภาพดี ซึ่งใช้บริการในโรงพยาบาลหรือทำงานอยู่ในโรงพยาบาล



รูปที่ 2.12 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ (แสดงรูปตัดขวาง)⁷

หลักการในการออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบนั้นคล้ายคลึงกับการออกแบบห้องพักสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศที่มีความดันในห้องเป็นลบ โดยมีส่วนที่เหมือน คือ การส่งอากาศที่เข้าไปในห้องหรือการนำอากาศกลับมาหมุนเวียนในห้อง จะต้องมีการกรองอากาศผ่านแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (HEPA Filter) และผ่านระบบฆ่าเชื้อโรคโดยใช้ระบบ UVGI ส่วนห้อง Ante Room นั้นต้องมี และความแตกต่างของความดันระหว่างห้องนั้น เหมือนกับการออกแบบห้องพักสำหรับผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศที่มีความดันในห้องเป็นลบ⁷

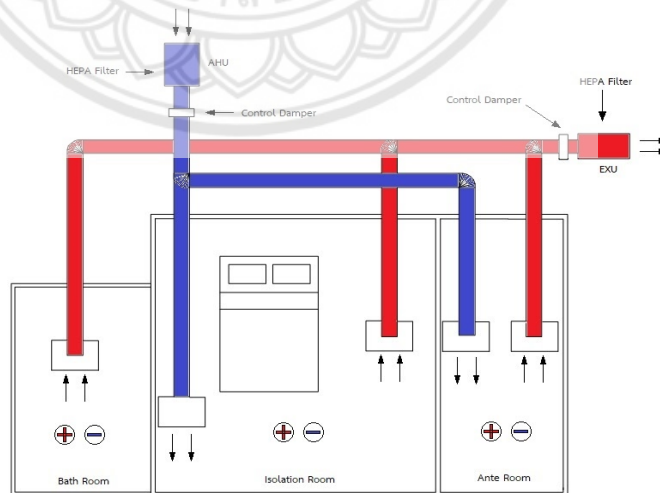


รูปที่ 2.13 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นลบ

2.4.3 ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นกลาง (Neutral Pressure Isolation Rooms)

ห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นกลางนั้น จะไม่มีการควบคุมผลต่างความดันระหว่างภายในห้องกับพื้นที่ข้างเคียง โดยภายในห้องจะมีความดันเท่ากับภายนอกห้องเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคทั่วไปที่ไม่มีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อหรือผู้ป่วยที่เป็นโรคไม่ติดต่อร้ายแรง ผู้ป่วยที่ไม่มีความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากสิ่งปนเปื้อนและจุลชีพภายในอากาศและเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่ต้องพักฟื้นหลังจากการผ่าตัด เช่น โรคหัวใจ เป็นต้น โดยญาติและบุคลากรทางการแพทย์สามารถเฝ้าติดตามอาการของผู้ป่วยได้อย่างใกล้ชิด

หลักการในการออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นกลาง ควรเลือกระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเหนือเพดาน โดยการเดินท่อส่งลมเย็นและจ่ายลมเย็นที่หัวจ่ายลมเย็นที่อยู่บริเวณฝ้าและเพดานและควรมีแผงกรอง อากาศอย่างน้อยระดับ Pre Filter ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 25 - 30 % และระดับ Medium Filter ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 85 - 90 % มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอยู่ที่ 25 °C, 50 %RH มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และมีการดูดอากาศจากภายในห้องภายนอก โดยต้องมีการควบคุมทิศทางไหลของอากาศจากที่สะอาดมากไปยังที่สะอาดน้อย และควรเก็บชุดอุปกรณ์ปราศจากเชื้อและเสื้อผ้าสะอาดสำหรับผู้ป่วยแยกห้องกับห้องผู้ป่วย หากแยกห้องไม่ได้ควรแยกบริเวณจัดเก็บห้องหรือพื้นที่ดังกล่าวควรควบคุมตรวจสอบความสะอาดและความอับชื้นอย่างสม่ำเสมอ และมีระบบควบคุมความสะอาดและสภาวะอากาศเพื่อให้เกิดความอับชื้นและเหมาะต่อการพักรักษาตัวของผู้ป่วย



รูปที่ 2.14 การออกแบบห้องคนไข้แบบแยกเดี่ยวที่มีความดันในห้องเป็นกลาง

2.5 สมการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการคำนวณที่จำเป็นต้องใช้กับโครงการนี้จะใช้สมการต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศโดยสมการที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

2.5.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ⁹

สำหรับการแลกเปลี่ยนอากาศโดยทั่วไปมักจะใช้ค่าของ Air Change (ACH) ในการคำนวณการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับห้องต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$ACH = \frac{Q}{V} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดย

ACH คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเทียบกับปริมาตรห้องในระยะเวลาหนึ่ง ชั่วโมง

Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/hr)

V คือ ปริมาตรห้อง (m³)

2.5.2 อัตราการไหลเชิงปริมาตร³

โดยปกติในงานระบบปรับอากาศตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้มักจะเป็นความเร็วของอากาศซึ่งสามารถนำค่าที่วัดมาหาค่าของอัตราการไหลเชิงปริมาตรได้โดยต้องอาศัยสมการต่อไปนี้

$$Q = V \times A \quad \text{สมการที่ 2.2 a}$$

โดย

v คือ ความเร็วของอากาศ (m/hr)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อระบายอากาศ (m²)

ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรในหน่วย cfm โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$cfm = 0.588 \times Q \quad \text{สมการที่ 2.2 b}$$

โดย

cfm คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (cfm)

2.5.3 อัตราการไหลเชิงมวล³

โดยปกติในงานระบบปรับอากาศตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้มักจะเป็นความเร็วของอากาศซึ่งสามารถนำค่าที่วัดมาหาค่าของอัตราการไหลเชิงมวลได้โดยต้องอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดย

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (Kg/s)
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (Kg/m³)

2.5.4 อัตราการถ่ายเทพลังงานของอากาศ⁹

การเปลี่ยนแปลงพลังงานของอากาศจากสภาวะใด ๆ ไปอีกสภาวะหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพลังงานทั้งพลังงานของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ซึ่งเมื่อนำมารวมกันจะได้เป็นพลังงานความร้อนรวม โดยการหาค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) และพลังงานความร้อนรวม (Total heat) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 a

$$Q_s = 1.02\dot{m}(T_2 - T_1) \quad \text{สมการที่ 2.4 a}$$

โดย

Q_s คือ ความร้อนสัมผัส (kW)
 T_1 คือ อุณหภูมิภายในห้อง (°C)
 T_2 คือ อุณหภูมิภายนอก (°C)

ความร้อนแฝง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 b

$$Q_L = 2548\dot{m}(w_2 - w_1) \quad \text{สมการที่ 2.4 b}$$

โดย

Q_L คือ ความร้อนแฝง (kW)
 w_1 คือ อุณหภูมิภายในห้อง (kg/kg_{da})
 w_2 คือ อุณหภูมิภายนอก (kg/kg_{da})

ความร้อนรวม (Total heat) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 c

$$Q_T = Q_s + Q_L \quad \text{สมการที่ 2.4 c}$$

ซึ่งสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยกิโลวัตต์ได้ด้วยสมการที่ 2.5

$$\text{Power} = Q_T$$

สมการที่ 2.5

โดย

Q_T คือ ความร้อนรวม (kW)
Power คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

2.5.5 ภาระการทำความเย็นจากบริเวณห้อง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6⁹

$$\text{BTU} = \text{พื้นที่ห้อง} \times \text{ตัวแปร}$$

สมการที่ 2.6

โดย

BTU คือ ภาระการทำความเย็น (Btu/hr)
ค่าตัวแปร

- สำหรับห้องนอน หรือห้องที่มีความร้อนน้อย (ห้องที่ไม่โดนแดดหรือโดนเล็กน้อย ฝ้าต่ำ หรือห้องที่ใช้แอร์ช่วงกลางคืน) : 700 – 800
- สำหรับห้องรับแขก หรือห้องที่มีความร้อนปานกลาง - มาก (ห้องที่โดนแดด อยู่ทิศตะวันตก หรือใช้แอร์ช่วงเวลากลางวัน) : 800 – 900
- สำหรับห้องออกกำลังกาย ห้องทำงาน หรือห้องที่มีความร้อนมาก หรือฝ้าสูง (ห้องที่โดนแดด อยู่ทิศตะวันตก อยู่ชั้นบนสุด หรือใช้แอร์ช่วงกลางวัน) : 900 – 1,000
- สำหรับร้านค้า ร้านอาหารที่เปิดปิดประตูบ่อย ร้านทำผม หรือสำนักงานที่มีคนอยู่จำนวนมาก : 1,000 – 1,200

2.6 วรรณกรรมปริทัศน์

Srivatsa, Prajwala และ Amit Pandhare ได้ให้ข้อเสนอสำหรับการแก้ไขปัญหาคอนเนกชันอินเทอร์เน็ตในอาคารโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสิ่งต่าง ๆ รูปแบบการสื่อสาร คำอธิบายผลกระทบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับปานกลางต่อผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ในร่มจะถูกนำเสนอ ระบบที่มีเครือข่ายเซ็นเซอร์และการเปิดใช้งาน internet of things คือเสนอเพื่ออำนวยความสะดวกในการบรรลาระบบคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีประสิทธิภาพ ระบบได้รับการออกแบบให้มีสามพื้นที่หลักของการทำงาน คือ อันดับหนึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่จะให้ระบบและส่วนต่อการอ่านคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องเป็นล้านครั้ง อันดับที่สองข้อมูลนี้จะถูกส่งผ่านจุดเชื่อมต่อไร้สายและถูกถ่ายโอนไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ อันดับสามฝั่งเซิร์ฟเวอร์จะจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลนี้ ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ประกอบด้วยส่วนต่อประสานผู้ใช้และฟังก์ชันระบบแจ้งเตือน¹⁰

Lipinski, Tom และคณะ ได้ศึกษาการระบาดที่ไม่คาดฝันกำลังเผชิญกับโลกที่เกิดจากไวรัสโคโรนาที่เรียกว่า SARS-CoV-2 มากมายมีการใช้มาตรการเพื่อพยายามลดการแพร่กระจายของโรคร้ายแรงนี้ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดการตอบสนองต่อการระบาดเป็นการกักกันจำนวนมากซึ่งเป็นเทคนิคด้านสาธารณสุขที่นำมาจากยุคกลางกลไกการส่งผ่านหลักที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางคือผ่านทางเดินที่มีละออง อย่างไรก็ตามนักวิจัยและการศึกษากำลังพิจารณาว่าไวรัสสามารถแพร่กระจายผ่านทางอากาศและยังคงอยู่ต่อไปถึงสามชั่วโมงในอากาศ สิ่งนี้นำไปสู่คำถามว่ามีการระบายอากาศเพียงพอหรือไม่เพื่อลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายของโรคนี้หรือโรคอื่น ๆ ที่อาจเกิดจากอากาศ การระบายอากาศและอากาศระบบปรับอากาศเป็นจุดสนใจหลักในการถ่ายทอดเชื้อโรคร้ายแรงดังกล่าวและควรได้รับการออกแบบและดำเนินการอย่างเหมาะสม บทความนี้จะทบทวนและประเมินการระบายอากาศในปัจจุบันกลยุทธ์การระบายอากาศที่ใช้ในอาคารเพื่อประเมินความทันสมัยและอธิบายอย่างละเอียดหากมีที่ว่างการพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารที่มีผู้เข้าพักสูงเพื่อลดหรือขจัดความเสี่ยงของการแพร่กระจายของเชื้อโรคการส่งผ่านและปรับมาตรการระบายอากาศกับภัยคุกคามใหม่ ๆ ที่เกิดจากการระบาด¹¹

Nembhard, Melanie D., D. Jeff Burton, and Joel M. Cohen. ได้ศึกษาเกี่ยวกับโรคโคโรนาไวรัส 2019 หรือที่เรียกกันว่า COVID-19 เริ่มต้นในประเทศจีนและกลายเป็นการแพร่ระบาดทั่วโลก ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2020 ธุรกิจที่ไม่จำเป็นในสหรัฐอเมริกาถูกปิดและหลายชุมชนอยู่ภายใต้คำสั่งที่พักพิงในสถานที่ ในเดือนพฤษภาคม 2020 ภาคธุรกิจบางส่วนเริ่มต้นแล้วแม้จะเปิดให้บริการอีกครั้งท่ามกลางความกังวลเรื่องสุขภาพของแรงงานในขณะที่การแพร่ระบาดยังคงดำเนินต่อไป นอกเหนือจากการเว้นระยะทางกายภาพการทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อโรคและการใช้ผ้าปิดหน้าแล้วการสร้างการระบายอากาศยังสามารถเป็นมาตรการลดความเสี่ยงที่สำคัญในการควบคุมการสัมผัส SARS-CoV-2 ภายในอาคาร จำนวนการศึกษาถึงอย่างไรก็ตามวันที่ให้ความสำคัญกับการช่วย

หายใจในสถานพยาบาล เช่นโรงพยาบาล เนื่องจากเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 นั้นสูงกว่าที่นั่น เนื่องจากความใกล้ชิดของคนงานกับผู้ป่วยที่เป็นโรคและขั้นตอนการรักษา มีการศึกษาเพียงไม่กี่ชิ้นที่เน้นไปที่การใช้การระบายอากาศในการตั้งค่าที่ไม่ใช่ทางการแพทย์ (เช่นสำนักงานอาคารและห้องเรียนของโรงเรียน) แม้ว่าจะมีคนงานและสมาชิกในชุมชนจำนวนมากก็ตามสิ่งอำนวยความสะดวก. ในบทความนี้เราจะทบทวนบทบาทหน้าที่การระบายอากาศในอาคารสามารถมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงของโรค SARS-CoV-2 การส่งผ่านในสภาพแวดล้อมที่ไม่ใช่ทางการแพทย์และโปรโตคอลที่แนะนำให้ปฏิบัติตามเพื่อการใช้งานที่เหมาะสมรวมถึงการทำความสะอาดและบำรุงรักษาระบบระบายอากาศสำหรับธุรกิจโรงเรียนและที่อยู่อาศัย¹²

Morawska, Lidia, และคณะ ได้ทำการศึกษาการเสียชีวิตจากโควิด -19 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลกและแม้ว่าจะมีข้อควรระวังที่แนะนำก็ตามคำถามจะถูกเปลี่ยนออกมาเกี่ยวกับเส้นทางการแพร่กระจายของโรคที่กำลังระบาดนี้การสูดดมละอองในอากาศขนาดเล็กคือน่าจะเป็นเส้นทางที่สามของการติดเชื้อนอกเหนือจากการแพร่เชื้อที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายผ่านทางระบบทางเดินหายใจขนาดใหญ่ละอองและการสัมผัสโดยตรงกับผู้ติดเชื้อหรือพื้นผิวที่ปนเปื้อน ในขณะที่ความไม่แน่นอนยังคงอยู่เกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของเส้นทางการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันเรายืนยันว่าหลักฐานที่มีอยู่ยืนยันอย่างแข็งแรงแรงเพียงพอเพื่อรับประกันการควบคุมทางวิศวกรรมที่กำหนดเป้าหมายการแพร่กระจายทางอากาศซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลยุทธ์โดยรวมเพื่อจำกัดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในบ้าน การควบคุมทางวิศวกรรมอาคารที่เหมาะสมรวมถึงการระบายอากาศที่เพียงพอและมีประสิทธิภาพซึ่งอาจเพิ่มขึ้นโดยการกรองอนุภาคและการฆ่าเชื้อโรคในอากาศหลีกเลี่ยงการหมุนเวียนอากาศและหลีกเลี่ยงการแออัดบ่อยครั้งมาตรการดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและไม่มีค่าใช้จ่ายมากนัก แต่หากได้รับการยอมรับว่ามีความสำคัญในการมีส่วนร่วมเท่านั้นเป้าหมายการควบคุมการติดเชื้อ เราเชื่อว่าการใช้การควบคุมทางวิศวกรรมในอาคารสาธารณะรวมถึงโรงพยาบาลร้านค้าสำนักงานโรงเรียนโรงเรียนอนุบาลห้องสมุดร้านอาหารเรือสำราญลิฟต์ห้องประชุมหรือสาธารณะการขนส่งควบคู่ไปกับการประยุกต์ใช้การควบคุมอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการแยกและการกักกันการเว้นระยะห่างทางสังคมและสุขอนามัยของมือ จะเป็นมาตรการที่สำคัญเพิ่มเติมทั่วโลกในการลดโอกาสในการแพร่เชื้อและด้วยเหตุนี้จึงปกป้องบุคลากรทางการแพทย์ผู้ป่วยและประชาชนทั่วไป¹³

Cho, Jinkyun, Kyunghun Woo และ Byungseon S. Kim. ได้ทำการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศของ 3 วิธีการในการควบคุม HVAC สำหรับโรคติดเชื้อในอากาศที่เกิดจากการปนเปื้อนอากาศผ่านการหายใจออกจากผู้ป่วยในห้องแยกเชื้อในอากาศ (AIIR) บทความนี้ตรวจสอบเส้นทางการไหลของอากาศและการกระจายของสารมลพิษในอากาศโดยสร้างแบบจำลองพลศาสตร์เชิงคำนวณและการวัดภาคสนาม ในโรงพยาบาลเสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสในอากาศการแพร่กระจายส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมกรรมการไหลของอากาศและการเปลี่ยนแปลงทิศทางที่เกิดจาก

จัดหาตำแหน่งอากาศและอากาศเสีย วิธีการระบายอากาศในห้องแยกที่ติดตั้งได้รับการพัฒนาและพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนขึ้นอยู่กับการสังเกตและผลการจำลองจากระบบระบายอากาศสามระบบ¹⁴

Chinn, Raymond YW, and Lynne Schulster. ได้ทำการศึกษาสภาพแวดล้อมจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บจุลินทรีย์หลายชนิด แต่ก็ไม่ค่อยมีส่วนเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของโรคยกเว้นในประชากรที่มีภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง การเปิดรับแสงโดยไม่ได้ตั้งใจกับเชื้อโรคในอากาศ ในสิ่งแวดล้อม เช่น *Aspergillus spp.* และ *Legionella spp.* หรือเชื้อโรคในอากาศ เช่น *Mycobacterium tuberculosis* และ *varicella-zoster virus* อาจส่งผลให้เกิดการติดเชื้ออย่างมีนัยสำคัญความเจ็บป่วยและการเสียชีวิต ขาดการยึดมั่นในมาตรฐานและแนวทางที่กำหนดไว้ เช่น คุณภาพน้ำในการฟอกไตการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ดูแลเฉพาะเช่นห้องผ่าตัดและการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับเชื้อ อาจส่งผลให้เกิดผลลัพธ์ที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ป่วยในสถานพยาบาล¹⁵

Marko Hyttinen และ Anna Rautio ได้ศึกษาแนวทางการระบายอากาศสำหรับห้องแยกผู้ป่วยแพ้เชื้อทางอากาศ (AIIRs) ซึ่งมีความหลากหลายอย่างมากในแต่ละประเทศ ซึ่งบ่งชี้ว่าขาดความรู้ความเข้าใจที่แท้จริงเกี่ยวกับข้อแนะนำที่จำเป็น อย่างไรก็ตามแนวทางของสหรัฐอเมริกาสำหรับห้อง AIIR นั้นกว้างขวางและได้รับการนำไปใช้อย่างกว้างขวางนอกสหรัฐอเมริกา ประสิทธิภาพของ AIIR อีกทั้งได้รับการประเมินจากการการศึกษาจำนวนมาก เป็นระยะเวลานาน โดยจุดมุ่งหมายส่วนใหญ่คือการประเมินว่าห้อง AIIR ที่มีอยู่นั้นได้มาตรฐานตรงตามแนวทางของสหรัฐอเมริกาอย่างน้อยเพียงใด ด้วยเหตุผลทางประวัติศาสตร์การระบายอากาศแบบผสมจึงได้รับการเน้นและให้ความสำคัญกับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศแม้ว่าจะมีการตรวจสอบการใช้อุปกรณ์เสริมเช่นเครื่องฟอกอากาศในห้องแบบพกพาและระบบฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต เมื่อเร็ว ๆ นี้ขอบเขตของการสืบค้นได้กว้างขึ้น ปัญหาที่สำคัญที่สุดคือการลดโอกาสในการแพร่กระจายของโรคและป้องกันการรั่วซึมของอากาศที่ปนเปื้อนจากห้อง AIIR ซึ่งทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในห้อง AIIR ก็มีความสำคัญเช่นกันและห้อง AIIR จะลดการรั่วไหลของอากาศเพื่อประหยัดพลังงาน ในทางกลับกันมีการสังเกตว่าการกันรั่วซึมของอากาศที่มีประสิทธิภาพสามารถทำได้แม้จะใช้โครงสร้างที่เรียบง่ายและราคาไม่แพงโดยพิจารณาจากความแตกต่างของความดันและรูปแบบการไหลของอากาศ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อช่วยโรงพยาบาลในการปรับปรุงความพร้อมในการรับมือกับภัยคุกคามจากการระบาดของโรคโดยการสร้างและใช้ห้อง AIIR ที่มีประสิทธิภาพ¹⁶

A.P. Jones ได้ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีผลต่อสุขภาพโดยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามีความกังวลเพิ่มขึ้นในชุมชนวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับผลกระทบของคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีต่อสุขภาพ การเปลี่ยนแปลงในการออกแบบอาคารที่คิดค้นขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน อีกทั้งยังทำให้บ้านและสำนักงานสมัยใหม่มีอากาศถ่ายเทได้ดีกว่าโครงสร้างเก่า นอกจากนี้

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการก่อสร้างทำให้เกิดการใช้วัสดุก่อสร้างสังเคราะห์มากขึ้น ในขณะที่การปรับปรุงเหล่านี้นำไปสู่อาคารที่สะดวกสบายมากขึ้นโดยมีต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำลง แต่ยังมีสภาพแวดล้อมภายในอาคารซึ่งก่อให้เกิดสารปนเปื้อนได้ง่ายและอาจสร้างความเข้มข้นสูงกว่าที่พบภายนอกได้มาก บทความนี้ทบทวนความเข้าใจในปัจจุบันของเราเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศภายในอาคารกับสุขภาพ มลพิษในร่มสามารถเล็ดลอดออกมาได้จากแหล่งต่างๆ มีการตรวจสอบผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในอาคารจากการให้ความร้อนการปรุงอาหารและการสูบบุหรี่ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงอาการที่เกี่ยวข้องกับมลพิษที่ปล่อยออกมาจากวัสดุก่อสร้าง สิ่งที่สำคัญเป็นพิเศษอาจเป็นสารที่เรียกว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเกิดขึ้นจากแหล่งต่างๆ เช่น สีเคลือบเงา ตัวทำละลาย และสารกันบูด นอกจากนี้หากโครงสร้างของอาคารเมื่อเริ่มเสื่อมสภาพการสัมผัสกับแร่ใยหินอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับโรคทางเดินหายใจเรื้อรัง ผลกระทบต่อสุขภาพของอนุภาคทางชีวภาพที่หายใจเข้าอาจมีความสำคัญเนื่องจากมีวัสดุชีวภาพจำนวนมากในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร มีการพิจารณาบทบาทของพวกเขาในการก่อให้เกิดความเจ็บป่วยผ่านกลไกภูมิคุ้มกัน การติดเชื้อและความเป็นพิษโดยตรง แหล่งที่มาของอากาศภายนอกอาคารสามารถเป็นตัวการสำคัญในเรื่องของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนบางชนิดในร่มที่มีความสำคัญอย่างยิ่งซึ่งก็คือ Radon ซึ่งเป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากภายนอกแต่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ร้ายแรงเมื่อพบภายในอาคารเท่านั้น ปัจจุบันเรดอนและผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวได้ ได้รับการยอมรับว่าเป็นสารมลพิษภายในอาคารที่สำคัญและมีการสำรวจผลกระทบ อีกทั้งยังพิจารณาถึงปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Sick Building Syndrome (SBS) ซึ่งผู้อยู่อาศัยในอาคารที่ได้รับผลกระทบบางแห่งอธิบายเหมือนกัน ถึงข้อร้องเรียนด้านสุขภาพที่คลุมเครือและมักเป็นเรื่องส่วนตัว สิ่งเหล่านี้มักเกิดจากคุณภาพอากาศที่ไม่ดี อย่างไรก็ตามหลายกรณีของ SBS ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับปัญหาที่ผู้ตรวจสอบพยายามสร้างสาเหตุ เราทราบเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศภายในอาคารน้อยกว่าที่เราทำเกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกิดจากการปนเปื้อนของอากาศภายนอก ความไม่สมดุลนี้จะต้องได้รับการแก้ไขโดยการจัดหาเงินทุนที่เพียงพอและการพัฒนาความมุ่งมั่นที่แข็งแกร่งในการดำเนินการทั้งในภาครัฐและเอกชน เป็นที่ชัดเจนว่าการตอบสนองความท้าทายและการแก้ไขความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับปัญหาคุณภาพอากาศในสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะเป็นเรื่องที่ต้องดำเนินการอย่างมาก¹⁷

Chien-Cheng Jung และคณะได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศภายในโรงพยาบาลในพื้นที่ต่าง ๆ และตรวจสอบว่าระบบปรับอากาศเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร โดยการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โอโซน (O₃) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) ฟORMALดีไฮด์ (HCHO) ฝุ่นละออง (PM_{2.5} และ PM₁₀) และเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจาก 96 แห่งใน 7 พื้นที่ทำงานที่แตกต่างกัน ภายใต้ระบบปรับ

อากาศ 4 ประเภทจาก 37 โรงพยาบาลที่สุ่มเลือกทั่วไต้หวัน จากการศึกษา พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) ในหอผู้ป่วยมีค่าสูง แผนกเภสัชกรรมมีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) สูงเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โอโซน (O₃) ฟORMALดีไฮด์ (HCHO) ฝุ่นละออง (PM_{2.5} และ PM₁₀) แบคทีเรีย และเชื้อราไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างพื้นที่ทำงานต่าง ๆ โดยระดับของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าสูงในโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศแบบเครื่องกล ไม่ว่าจะเป็นโรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศ (AHU), ระบบพัดลมระบายความร้อน (FCU) หรือชนิดผสม¹⁸

Culp Jr, William C. ได้กล่าวถึงหน้าที่ดูแลผู้ป่วยจะทำให้เจ้าหน้าที่ดูแลสุขภาพต้องเผชิญกับโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงโคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) หลายคนกังวลเกี่ยวกับการสัมผัสกับครอบครัวในภายหลังโดยเฉพาะอย่างยิ่งสมาชิกในครอบครัวที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดภาวะแทรกซ้อนหรือการเสียชีวิต ในที่นี้จะอธิบายถึงห้องแยกชั่วคราวที่สามารถสร้างขึ้นภายในบ้านซึ่งจะช่วยลดการสัมผัสกับสิ่งมีชีวิตต่อสมาชิกในครอบครัว การออกแบบเป็นเรื่องง่ายสะดวกและสามารถสร้างขึ้นด้วยวัสดุราคาไม่แพงที่มาจากท้องถิ่น หน้าต่างการดูและการเข้าถึงช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิสัมพันธ์ในครอบครัวที่ปลอดภัยและลดต้นทุนทางอารมณ์ในการแยกตัวในขณะที่จัดหาเส้นทางเพื่อส่งผ่านรายการต่างๆตามความจำเป็น¹⁹

Tom Lipinski, Darem Ahmad, Nicolas Serey และ Hussam Jouhara ได้ทบทวนและประเมินโดยใช้วิจารณ์เกี่ยวกับกลวิธีการระบายอากาศในปัจจุบันที่ใช้ในอาคารเพื่อประเมินความทันสมัยและอธิบายอย่างละเอียดว่าสามารถการพัฒนาเพิ่มเติมหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารที่มีผู้อยู่อาศัยสูง เพื่อลดหรือขจัดความเสี่ยงของการแพร่กระจายของเชื้อโรคและปรับมาตรการระบายอากาศให้เหมาะสม จากภัยคุกคามใหม่ที่เกิดจากการระบาดครั้งใหญ่²⁰

Kenichi Azum และคณะ ได้เขียนบทความสรุปปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการแพร่เชื้อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (SARS-CoV-2) รวมถึงกลวิธีในการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารโดยเชื้อโคโรนาสามารถอยู่บนพื้นผิวที่สามารถแพร่เชื้อ ได้อย่างน้อย 3 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพ หาก เชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ถูกพ่นโดยเจตนา เชื้อจะสามารถอยู่ได้เป็นเวลาอย่างน้อยหลายชั่วโมง เชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ถูกทำลายอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวที่มีแสงแดดส่องถึง การแพร่กระจายของละอองลอยที่สัมผัสใกล้ชิดผ่านอนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กกว่านั้นมีแนวโน้มที่จะถูกรวมเข้ากับละอองทางเดินหายใจและการส่งผ่านการสัมผัสในสภาพแวดล้อมในร่มที่คับแคบ แออัดและอากาศถ่ายเทได้ไม่ดี ตามที่แนะนำโดยบางกลุ่ม แม้ว่าหลักฐานของผลกระทบของการแพร่กระจายของละอองลอยจะมีจำกัดและยังคงมีความไม่แน่นอนอยู่ แต่จำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันที่เพียงพอเพื่อควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมในร่มตามแนวทางการป้องกันไว้ก่อน เนื่องจาก

โควิด-19 ได้สร้างความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อสาธารณสุข ชุมชน และเศรษฐกิจสังคมทั่วโลก คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญสำหรับเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้ให้ความสำคัญกับ "3 Cs" คือ "พื้นที่ปิดที่มีการระบายอากาศไม่ดี" "พื้นที่แออัดที่มีผู้คนจำนวนมาก" และ "การติดต่ออย่างใกล้ชิด" นอกจากนี้กระทรวงสาธารณสุข แรงงาน และสวัสดิการแห่งประเทศญี่ปุ่นได้แนะนำให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอในทุกพื้นที่ปิด ตามมาตรฐานที่มีอยู่ของกฎหมายว่าด้วยการบำรุงรักษาสุขอนามัยในอาคาร ซึ่งเป็นหนึ่งในการดำเนินการทางการเมืองเบื้องต้นเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019. อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการแนะนำมาตรฐานเฉพาะสำหรับการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและความไม่แน่นอนทางวิทยาศาสตร์จำนวนมากยังคงมีอยู่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของการติดเชื้อและโหมดของการแพร่เชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในพื้นที่ปิดในร่ม จำเป็นต้องมีการวิจัยและประเมินผลเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบและบทบาทของการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายอากาศ²¹

Rouleau, Jean และ Louis Gosselin ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในการการใช้ชีวิตนี้อาจส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร การล็อกดาวน์จากโควิด-19 ยังเร่งการเปลี่ยนผ่านไปสู่การทำงานทางไกล ซึ่งเป็นแนวโน้มที่หลายคนคาดว่าจะคงอยู่ต่อไป การเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานภายใต้การล็อกดาวน์จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการคาดการณ์ว่าพลังงานจะถูกนำมาใช้ภายในอาคารในอนาคตได้อย่างไร ในที่นี้ เราตั้งเป้าที่จะหาจำนวนผลกระทบของการล็อกดาวน์ของ COVID-19 ที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารที่พักอาศัย (ไฟฟ้า น้ำร้อน และระบบทำความร้อนในอากาศ) โดยตอบคำถามสองข้อนี้: (1) การล็อกดาวน์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการใช้พลังงานทั้งหมดหรือไม่ และ (2) การล็อกดาวน์นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้พลังงาน (เช่น ช่วงเวลาของวันที่ใช้พลังงาน) หรือไม่? ในการดำเนินการดังกล่าว เราเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่วัดได้ในอาคารที่อยู่อาศัย 40 หลังที่ตั้งอยู่ในควิเบกซิตี (แคนาดา) ในช่วงสี่เดือนของการล็อกดาวน์กับเดือนก่อนการล็อกดาวน์ พบว่ารูปแบบการใช้ไฟฟ้าและน้ำร้อนเปลี่ยนแปลงไปในช่วง 2 เดือนแรกของการล็อกดาวน์ เมื่อมีการใช้มาตรการล็อกดาวน์ที่เข้มข้นที่สุด การใช้พลังงานโดยรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งสองนี้ แต่การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญกว่าคือการใช้พลังงานเกิดขึ้นตลอดทั้งวันแทนที่จะมีการใช้งานที่มากในตอนเย็นตามที่ได้สังเกตก่อนการปิดเมือง ผลลัพธ์ให้ความกระจ่างเกี่ยวกับผลกระทบของการล็อกดาวน์ของด้านค่าพลังงานสำหรับผู้บริโภคและวิธีที่ระบบอาจเรียกกรังค่าสาธารณูปโภคด้านพลังงานในช่วงเวลาประเภทนี้²²

Miller และ Shelly L ได้ทำการศึกษา ออกแบบการใช้งาน และตรวจสอบพื้นที่แยกส่วนในสถานพยาบาล เพื่อลดการแพร่กระจายของโรคระหว่างผู้อยู่อาศัยและพนักงานภายในสถานที่ โดยจะ

สร้างพื้นที่แยกโดยการปรับเปลี่ยนระบบ HVAC ที่มีอยู่ของ SNF โดยจะวัดความดันในสถานที่ทำงาน และใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลและการสร้างแบบจำลองตามอนุภาค Lagrangian เพื่อทดสอบการกักเก็บและขอบเขตการแพร่เชื้อที่เป็นไปได้เนื่องจากพื้นที่แยกถือว่ามีความดันต่ำกว่าแต่ละห้อง²³

Shobha S.SubhashMS และคณะ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกักกันในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (AIIR) ของโรงพยาบาลที่มีห้องที่ออกแบบอย่างเหมาะสมที่ความดันที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2.5 ถึง 20 Pa โดยมีเงื่อนไขในกรณีที่มีไม่มีการสัญจรไปมาของบุคลากรทางการแพทย์ และในกรณีที่มีการสัญจรไปมาของบุคลากรทางการแพทย์จำนวนมาก โดยนำ Fluorescent microspheres ถูกปล่อยเข้าสู่ห้อง AIIR เพื่อจำลองการติดเชื้อและวัดสภาพอากาศภายในห้อง AIIR ,anteroom ประตูทางเดินและห้องโถง ทั้งมีและไม่มีบุคลากรทางการแพทย์อยู่ภายในห้อง ภายใต้สภาวะความดันแตกต่างกันที่ 2.5 11 และ 20 Pa และส่องตัวอย่างบนตัวกรอง โดยการนับผ่าน fluorescent microscopy เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการกักกันเชื้อที่ผลต่างความดันต่างๆ ทั้งที่มีและไม่มีบุคลากรทางการแพทย์²⁴

Shobha S.SubhashMS และคณะ ได้ทำการอธิบายถึงความสำคัญของห้อง Anteroom ต่อการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโดยระบบควบคุมการติดเชื้อในอากาศแบบครอบคลุมในสถานบริการสุขภาพประกอบด้วย การควบคุมทางวิศวกรรม การควบคุมการบริหาร การควบคุมการปฏิบัติงาน และอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ไม่มีองค์ประกอบใดในการป้องกันความล้มเหลว แต่การควบคุมที่ซับซ้อนถือเป็นกลยุทธ์ที่เป็นประโยชน์มากที่สุด ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแนะนำมาตรการบริหารการป้องกันระบบทางเดินหายใจ และการควบคุมทางวิศวกรรม (หรือสิ่งแวดล้อม) เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของวัณโรค การติดเชื้อในอากาศต้นแบบ ในสถานพยาบาล ใน "ลำดับขั้นของการควบคุม" เพื่อจัดการกับอันตรายในสถานที่ทำงาน สำนักงานความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแนะนำให้จัดลำดับความสำคัญของมาตรการทางวิศวกรรมเหนือสิ่งอื่นใด อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมในการดูแลสุขภาพแตกต่างจากอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยที่แหล่งที่มาและธรรมชาติของอันตรายจากการสูดดม (เช่น ละอองลอยที่ติดเชื้อ) มักจะไม่ได้กำหนดในทันที ดังนั้นเป้าหมายหลักของมาตรการควบคุมการบริหารในการตั้งค่าการดูแลสุขภาพคือการวางผู้ป่วยที่อาจติดเชื้อในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมซึ่งสามารถใช้การควบคุมทางวิศวกรรมและการป้องกันระบบทางเดินหายใจส่วนบุคคลได้ การควบคุมทางวิศวกรรมสนับสนุนการดำเนินการเปลี่ยนแปลงถาวรที่ไม่ขึ้นกับพฤติกรรมของมนุษย์และคุ้มค่าที่สุด 2 ห้องแยกการติดเชื้อในอากาศ (AIIR) และ Anteroom ที่อยู่ติดกับ AIIR นั้นจัดอยู่ในหมวดหมู่ของการควบคุมทางวิศวกรรมอย่างชัดเจน²⁵

Yungang Pan, Chenqiu Du , Zhuzhou Fu และ Mushu Fu ได้ทำการศึกษาการดำเนินงานระบบปรับอากาศในอาคารที่เหมาะสมจากประสบการณ์ด้านวิศวกรรม เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมในร่มที่ปลอดภัยและดีต่อสุขภาพสำหรับการทำงานและการใช้ชีวิต และเพื่อตอบสนองต่อการป้องกันการแพร่เชื้อ COVID-19 ในอาคาร การศึกษาได้ทบทวนการศึกษาเชิงทฤษฎีก่อนหน้านี้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นและการแพร่กระจายของไวรัส โดยการศึกษาเชิงทฤษฎีก่อนหน้านี้ได้กล่าวว่าการเพิ่มการระบายอากาศยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งในการป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสในอาคาร การศึกษานี้จึงสรุปลักษณะเฉพาะของระบบปรับอากาศต่างๆ ในปัจจุบันภายในอาคารและเสนอวิธีการดำเนินงานตามเป้าหมายตามลำดับ ซึ่งเพิ่มอัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพ และในขณะเดียวกันก็ช่วยให้การทำงานของระบบปรับอากาศในอาคารเป็นไปอย่างปกติ ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบการป้องกันการแพร่ระบาดสำหรับอาคารที่สร้างขึ้นใหม่ได้ถูกนำเสนอเพิ่มเติม โดยผลลัพธ์ของการศึกษาวิธีการในการทำงานของระบบปรับอากาศจะเป็นประโยชน์ในการแนะนำการทำงาน of ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมในอาคารสำหรับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส²⁶



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 สถานที่ดำเนินโครงการ

โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร อาคารสิรินธรชั้น 5 โดยแบ่งออกเป็นห้อง MAIIR สถานีพยาบาล และโถงทางเดิน โดยในการดำเนินการนี้ศึกษาเฉพาะห้อง MAIIR ตั้งแต่ห้อง 502 ถึง 509 โดยมีพื้นที่รวม 216 ตารางเมตรและแต่ละห้องมีความสูงอยู่ที่ 2.5 เมตร



รูปที่ 3.1 โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 3.2.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับห้อง AIIR
- 3.2.2 ศึกษาการออกแบบห้อง MAIIR
- 3.2.3 ศึกษาจากการไปดูหน้างานจริงที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร
- 3.2.4 เก็บข้อมูลของสภาวะอากาศจากชุดเซนเซอร์ภายในห้อง MAIIR ตั้งแต่ห้อง 502 – 509 และทำการวิเคราะห์
- 3.2.5 จัดทำรายงานเพื่อเป็นองค์ความรู้ของการจัดทำห้อง MAIIR ให้กับโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรและโรงพยาบาลอื่นต่อไป

3.3 อุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ

ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศและเก็บข้อมูลของสภาวะอากาศภายในห้อง MAIIR มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลของสภาวะอากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์ในบทที่ 4 โดยประกอบไปด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น โดยเครื่องมือวัดดังกล่าวจะแสดงผลในหน่วย ppm ซึ่งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทั่วไปควรอยู่ที่ 400 ppm ซึ่งถ้าหากมีค่ามากไปจะส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อควบคุมคุณภาพของอากาศภายในอาคาร



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์

3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

อุณหภูมิและความชื้น เป็นตัวแปรพื้นฐานที่จำเป็นต้องควบคุมเพื่อให้เหมาะสมต่อการอยู่อาศัย หากอุณหภูมิและความไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ในภายหลัง โดยเครื่องมือวัดดังกล่าวจะแสดงผลอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (°C) และแสดงผลความชื้นในหน่วย %RH



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.3.3 ชุดเซนเซอร์วัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ชุดเซนเซอร์จะประกอบด้วย เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยเซ็นเซอร์ตัวนี้จะแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$), %RH และ ppm ตามลำดับ เซ็นเซอร์ตรวจวัดผลต่างความดัน โดยเซ็นเซอร์ตัวนี้จะแสดงผลต่างความดันระหว่างสองจุดในหน่วยปาสคาล (Pa) เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วของอากาศ โดยเซ็นเซอร์จะแสดงความเร็วของอากาศในหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s) และเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ เซ็นเซอร์จะแสดงผลค่าฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในหน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยชุดเซนเซอร์ที่กล่าวมานี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลสถานะอากาศภายในห้อง MAIIR ตามเวลาจริง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดผลต่างความดัน



รูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วของอากาศ รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นPM_{2.5}



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานเรื่องห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง จะเป็นผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ซึ่งทางผู้จัดทำจะแบ่งส่วนที่ทำการศึกษออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาข้อกำหนดที่ใช้ในการทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาขั้นตอนการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ส่วนที่สามเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง และส่วนที่สี่เป็นการศึกษาจากผลตอบรับจากการเก็บรวบรวมแบบประเมินของบุคลากรทางการแพทย์และฝ่ายซ่อมบำรุง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ คือ ห้องที่ถูกออกแบบเพื่อรองรับผู้ป่วยโรคติดต่อระบบทางเดินหายใจต่าง ๆ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล

ในการศึกษาห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบปรับปรุง อาคารสิรินธร ภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จำเป็นต้องศึกษาถึงข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศของสถาบันต่าง ๆ เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบมาตรฐานของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง และรวบรวมเป็นองค์ความรู้ในเรื่องของข้อกำหนดมาตรฐานของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานของห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจากหน่วยงานป้องกันโรคติดต่อในสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control ; CDC), ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) และกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข โดยรวบรวมข้อกำหนดจากสถาบันต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

ลำดับ	ข้อกำหนด	ASHRAE	CDC	วสท	กองแบบ แผน
1	ความดันภายในห้องผู้ป่วยเป็นความดันลบ	<-2.5 Pa	<-2.5 Pa	<-2.5 Pa	
2	ความชื้นภายในห้องผู้ป่วย	< 60%	< 60%	< 60%	
3	อุณหภูมิภายในห้องผู้ป่วย	21-24°C	21-24°C	21-24°C	
4	อัตราการเปลี่ยนอากาศที่ห้องผู้ป่วย	12 ACH	12 ACH	12 ACH	
5	ต้องมี Ante room	มี	มี	มี	มี
6	อัตราการเปลี่ยนอากาศที่ห้องโถง	10 ACH			
7	ต้องมีห้องน้ำภายในห้อง	มี	มี	มี	มี
8	ช่องปล่อยอากาศเสียอยู่สูงจากหลังคา	> 3 m	> 3 m	> 3 m	
9	ช่องระบายอากาศเสียจะต้องอยู่ห่างจากช่องรับอากาศภายนอก	> 8 m	> 8 m	> 8 m	
10	ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างที่มาพร้อมตัวกรอง	มี	มี	มี	มี
11	ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดความชื้น	มี	มี	มี	มี
12	พื้นผิวของอุปกรณ์กระจายอากาศต้องเหมาะสมกับการทำความสะอาด	มี	มี	มี	
13	อุปกรณ์กระจายอากาศต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งเพื่อให้สามารถทำความสะอาดภายในได้	มี	มี	มี	
14	การบำรุงรักษาแอมเปอร์ต้องเข้าถึงง่ายทั้งหมดทุกจุด	มี	มี	มี	
15	ตำแหน่งของแอมเปอร์ทั้งหมดต้องถูกแสดงไว้ในแบบการออกแบบ	มี	มี	มี	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

ลำดับ	ข้อกำหนด	ASHRAE	CDC	วสท	กองแบบ แผน
16	ระบบการถ่ายเทอากาศจะต้องมีแอดมเปอร์เพื่อการเปิดใช้งานจะไม่ทำให้ท่อเสียหาย	มี	มี	มี	
17	การออกแบบการระบายอากาศจะไหลจากบริเวณที่สะอาดมากไปยังบริเวณที่สะอาดน้อยกว่า	มี	มี	มี	
18	ต้องมีอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างระหว่างห้องผู้ป่วยและโถงทางเดิน	มี	มี	มี	
19	อากาศจากห้องผู้ป่วย,ห้องโถง และห้องน้ำจะต้องถูกนำสู่ชั้นบรรยากาศโดยตรงโดยไม่สัมผัสกับส่วนอื่น*	มี	มี	มี	
20	หน้ากากระบายอากาศออกจากห้องจะต้องติดตั้งอยู่เหนือหัวเตียงผู้ป่วยบนเพดานหรือผนังห้อง	มี	มี	มี	
21	เครื่องจ่ายอากาศ (Supply Air) จะต้องอยู่เหนือเตียงผู้ป่วย	มี	มี	มี	
22	ประตูที่ใช้การเปิด/ปิดด้วยระบบไฟฟ้า		มี	มี	
23	ประตูควรมี 2 ประตูและติดประเก็นเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ		มี	มี	
24	หากไม่มีการหมุนเวียนอากาศจากห้องผู้ป่วยควรติดตั้งแผ่นกรอง HEPA ที่ท่อลมออกก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ	มี	มี	มี	
25	ระบบกล้องวงจรปิด (CCTV System) มีความละเอียดสูง ประเภทไอพีเน็ตเวิร์ค				มี
26	แผงกรองอากาศขั้นต้น (Pre Filter) มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 25-30% ที่ดักจับระบายอากาศ	มี	มี	มี	มี

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (ต่อ)

ลำดับ	ข้อกำหนด	ASHRAE	CDC	วสท	กองแบบ แผน
27	แผงกรองอากาศชั้นกลาง (Medium Filter) มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 90% ที่ตู้ระบายอากาศ	มี	มี	มี	มี
28	แผงกรองอากาศชั้นสุดท้าย (HEPA Filter) มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 99.97% ที่ตู้ระบายอากาศ	มี	มี	มี	มี
29	ระบบไฟฟ้าสำรอง	มี	มี	มี	มี
30	สัญญาณเตือนเมื่อกระแสไฟฟ้าหลักขัดข้อง	มี	มี	มี	มี
31	ต้องจัดให้มีสวิตช์ควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศและระบายอากาศอยู่ภายนอกห้อง	มี	มี	มี	มี
32	ระบบปรับอากาศและระบายอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศต้องแยกอิสระจากส่วนอื่นของอาคาร	มี	มี	มี	
33	ห้ามออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ เป็นห้องที่สามารถปรับความดันให้เป็นบวกได้			มี	
34	ก่อนจ่ายลมเข้ามาในห้อง อากาศต้องผ่านการกรองด้วยแผงกรองอากาศประเภทที่ 1			มี	
35	ต้องมีการนำอากาศจากภายนอกเข้ามาในห้องไม่น้อยกว่าอัตราที่กำหนดในตารางอัตรากรนำเข้าอากาศจากภายนอก			มี	
36	อากาศระบายทิ้งจากห้องผู้ป่วยแยกเชื้อทางอากาศต้องผ่านการกรองด้วยแผงกรองอากาศประเภทที่ 1 ก่อนทิ้งสู่บรรยากาศภายนอก			มี	
37	ต้องเปลี่ยนแผงกรองอากาศเมื่อความดันแตกต่างคร่อมแผงกรองอากาศสูงเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนด			มี	
38	การติดตั้งแผงกรองอากาศเป็นไปตามที่ผู้ผลิตแนะนำ และต้องไม่มีการรั่วของอากาศผ่านกรอบหรือโครงของแผงกรองอากาศ			มี	

ที่มา

1. ASHRAE. 2010. ANSI/ASHRAE Standard 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta:ASHRAE.
2. Chinn, Raymond YW, and Lynne Sehulster. "Guidelines for environmental infection control in health-care facilities; recommendations of CDC and Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)." (2003).
3. คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. (2558). มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

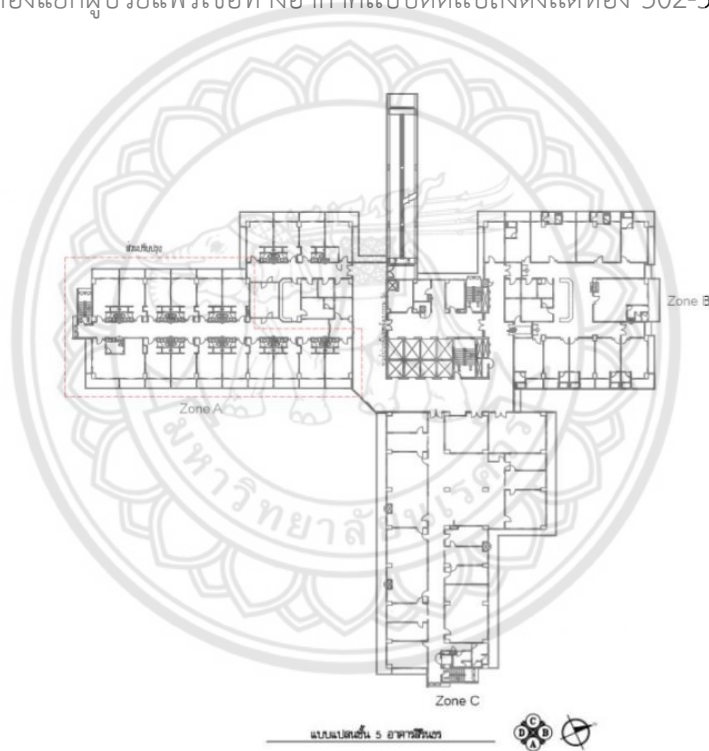


4.2 ศึกษาขั้นตอนการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

จากปัญหาโรคระบาด COVID-19 ซึ่งเป็นโรคที่แพร่เชื้อทางอากาศในรูปแบบละอองจากระบบทางเดินหายใจของผู้ป่วยเมื่อผู้ป่วยไอหรือจาม ดังนั้นผู้ป่วยที่เป็นโรค COVID-19 จึงควรต้องมีห้องพักแยกกับผู้ป่วยอื่นนั่นก็คือ ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (Airborne Infection Isolation Room) โดยทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ได้มีนโยบายที่จะดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

4.2.1 ศึกษาการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง (MAIIR)

บริเวณชั้น 5 ของอาคารสิรินธรนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ Zone A, Zone B และ Zone C โดยห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502-509 จะอยู่ใน Zone A ดังรูป



รูปที่ 4.1 แบบการแบ่งพื้นที่บริเวณชั้น 5 ของอาคารสิรินธร ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ซึ่งตามมาตรฐานของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงจำเป็นต้องมีห้อง Ante room ในการออกแบบห้อง 502 - 509 จึงมีการออกแบบให้ทำการกั้นห้องบริเวณด้านหน้าห้องผู้ป่วยเดิมที่ติดกับโถงทางเดินมาสร้างเป็นห้อง Ante room โดยการออกแบบการดึงอากาศเข้ามาในห้องนั้นห้อง 502 และ 503 ได้ถูกออกแบบให้มีการดึง Fresh air 100% ดึงเข้าห้องโดยตรง และห้อง 504 - 509 ได้ถูกออกแบบให้ดึง Fresh air 100% มาเก็บไว้ที่โถงทางเดินก่อนกระจายเข้าสู่ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

1. การออกแบบห้อง 502 และ 503

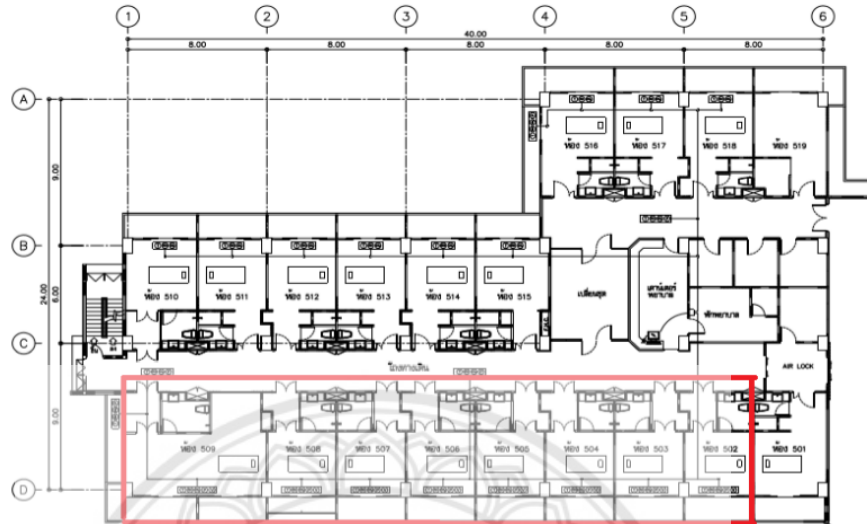
ห้อง 502 และ 503 ถูกออกแบบให้มีการดึงอากาศ Fresh air 100% ดึงเข้าห้องโดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาภาระการทำความเย็น (cooling load) ของห้องซึ่งเกิดจาก 2 ส่วน คือ ภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ และภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ ในส่วนของภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศนั้นกำหนดให้ประมาณ 700 Btu/hr ต่อตารางเมตร โดยอากาศภายนอกจะใช้ที่อุณหภูมิ 37 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61% ซึ่งจะต้องทำให้อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55% โดยในส่วนของภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ ห้อง 502 ถูกออกแบบให้มีการดึงอากาศ 12 ACH ตามมาตรฐาน โดยอากาศจะผ่าน HEPPA filter ก่อนที่อากาศจะถูกทิ้งสู่ภายนอก

2. การออกแบบห้อง 504-509

ห้อง 504-509 นั้นถูกออกแบบให้มีการดึงอากาศ Fresh air 100% เข้ามาเก็บไว้ที่โถงทางเดินก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ภายในห้อง ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นของห้องซึ่งเกิดจาก 2 ส่วน คือ ภาระการทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ และ ภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ โดยในส่วนของภาระการทำความเย็นที่พื้นที่ปรับอากาศนั้นกำหนดให้ประมาณ 700 Btu/hr ต่อตารางเมตร โดยอากาศภายนอกจะใช้ที่อุณหภูมิ 37 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61% ซึ่งจะต้องทำให้อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55% โดยในส่วนของภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ ห้อง 502 ถูกออกแบบให้มีการดึงอากาศ 12 ACH ตามมาตรฐาน โดยอากาศจะผ่าน HEPPA filter ก่อนที่อากาศจะถูกทิ้งสู่ภายนอก

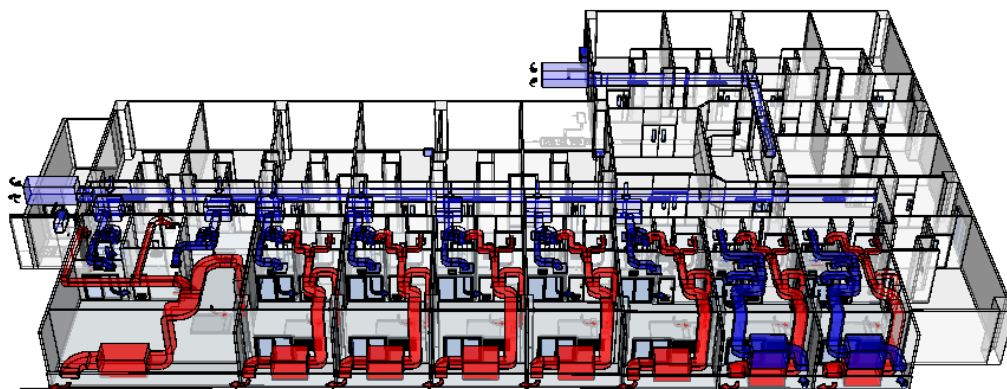
1) การออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

การออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง เป็นการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมบริเวณชั้น 5 ของอาคารสิรินธร ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยดัดแปลงห้องผู้ป่วยตั้งแต่ห้อง 502 - 509 ให้เป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.2 แบบบริเวณห้องที่จะถูกตัดแปลงเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

จากรูปที่ 4.2 เป็นแบบบริเวณที่จะถูกตัดแปลงเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยทฤษฎีจะต้องทำการออกแบบห้องใหม่ โดยต้องทำการกั้นห้อง Ante room เพื่อใช้เป็นห้องเตรียมตัวปรับสภาพแรงดันกับห้องผู้ป่วยและเป็นห้องที่ใช้ในการป้องกันเชื้อแพร่กระจายสู่ภายนอกและการเปลี่ยนประตูทางเข้าห้องน้ำเปลี่ยนจากประตูทางเข้าฝั่งห้อง Ante room เปลี่ยนไปเข้าด้านภายในห้องผู้ป่วย เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยออกไปด้านนอกแพร่เชื้อทำให้เป็นอันตรายต่อบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลอื่นที่เข้ามาใช้บริการการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โดยห้อง 502 และ 503 จะทำการออกแบบโดยการใช้ Fresh air 100% ในการดึงอากาศมาใช้ภายในห้อง และห้อง 504 - 509 เป็นการนำ Fresh air 100% มาเก็บไว้ที่โถงทางเดินก่อนที่จะกระจายลมเย็นเข้าสู่ห้อง โดยแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

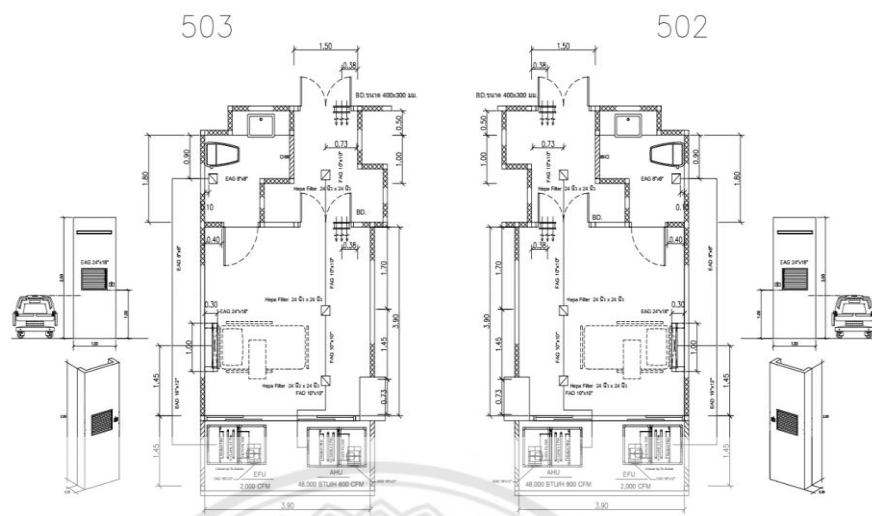


รูปที่ 4.3 การออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502 - 509

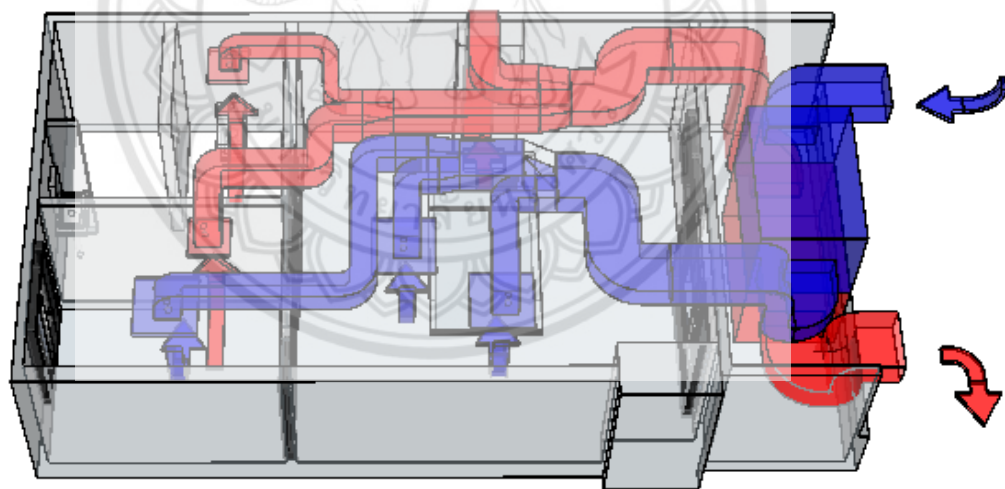
ในการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงทางโรงพยาบาลต้องการให้ออกแบบเป็น 2 กรณี โดยกรณีที่ 1 เป็นการออกแบบโดยการดึง Fresh air 100% เข้าสู่ห้องโดยตรง ซึ่งกรณีที่ 1 นี้ใช้ในการออกแบบห้อง 502 และ 503 กรณีที่ 2 เป็นการออกแบบโดยการดึง Fresh air 100% เข้ามาภายในโถงทางเดินก่อนที่จะกระจายอากาศเย็นเข้าสู่ห้อง ซึ่งกรณีที่ 2 นี้ใช้ในการออกแบบห้อง 504 - 509

กรณีที่ 1 การออกแบบโดยการดึง Fresh air 100% เข้าสู่ห้องโดยตรง

การออกแบบโดยการใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าสู่ห้องโดยตรงจากอากาศภายนอก จะต้องคำนวณหาโหลดภายในห้อง โดยจะต้องกำหนดภาระการทำความร้อนภายในประมาณ 700 ต่อตารางเมตรตามทฤษฎีมารวมกับ Fresh air 100% ที่ดึงเข้ามาจากอากาศภายนอก โดยที่อากาศภายนอกที่ใช้มีอุณหภูมิที่ 37 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61 % ซึ่งในห้องผู้ป่วยต้องการให้มีอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55 % การระบายอากาศออกต้องออกแบบตามมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 12 ACH โดยก่อนที่จะนำอากาศไปทิ้งนอกอาคารจะต้องผ่านแผงกรอง HEPA ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองอยู่ที่ 99.97 % โดยแบบและการออกแบบห้องในกรณีที่ 1 เป็นไปดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



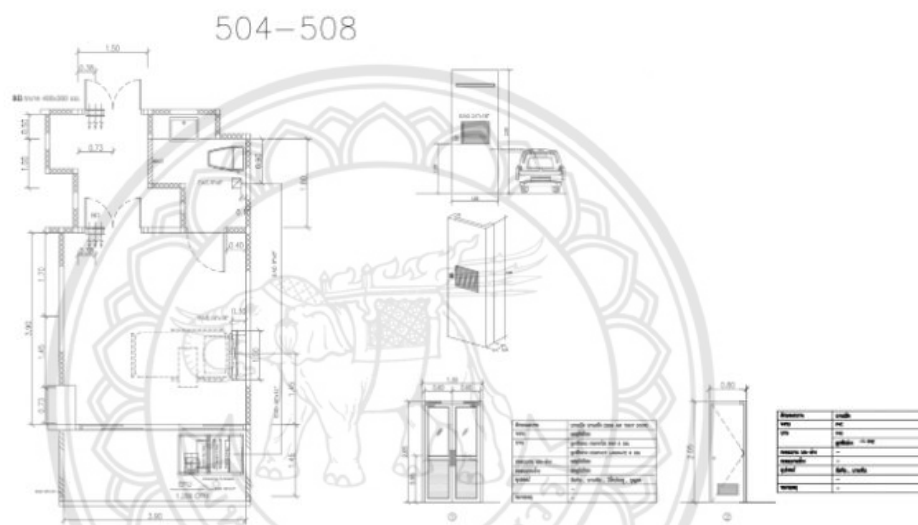
รูปที่ 4.4 แบบห้องที่ใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าสู่ห้องโดยตรง



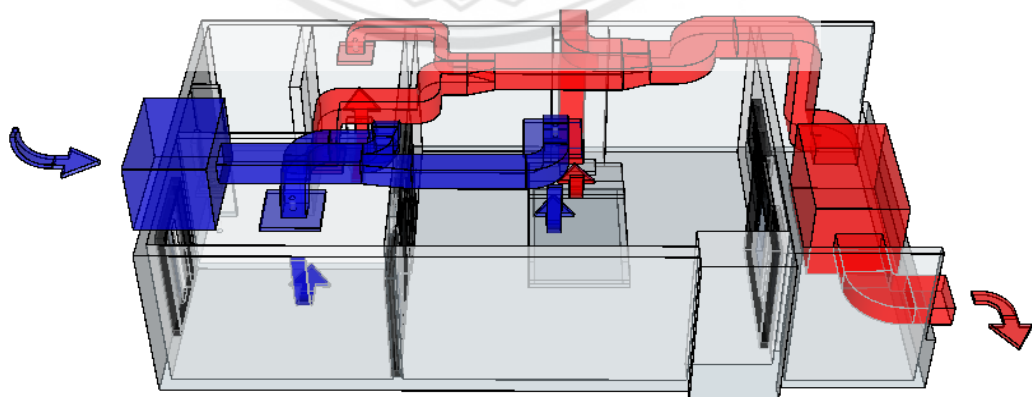
รูปที่ 4.5 การใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าห้องโดยตรง

กรณีที่ 2 การออกแบบโดยการใช้ Fresh air 100% ดึงมาเก็บไว้ที่โถงทางเดิน

การออกแบบโดยการใช้ Fresh air 100% ดึงมาเก็บไว้ที่โถงทางเดินและกระจายอากาศเข้าสู่ห้องผู้ป่วย โดยในกรณีนี้ ต้องการภาระการทำความเย็นจากการดึงอากาศจากภายนอก โดยอากาศภายนอกที่ใช้มีอุณหภูมิที่ 37 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61 % ซึ่งในห้องผู้ป่วยต้องการให้มีอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55 % การระบายอากาศออกต้องออกแบบตามมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 12 ACH โดยก่อนที่จะนำอากาศไปทิ้งนอกรอาคารจะต้องผ่านแผงกรอง HEPA ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองอยู่ที่ 99.97 % โดยแบบและการออกแบบห้องในกรณีที่ 2 เป็นไปดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 แบบห้องที่ใช้ Fresh air 100% ดึงเข้ามาที่โถงทางเดิน



รูปที่ 4.7 การใช้ Fresh air 100% ดึงเข้าโถงทางเดิน

โดยการคำนวณการออกแบบห้องในกรณีที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณภาระการทำความเย็นและอัตราการระบายอากาศได้ดังตารางที่ 4.2

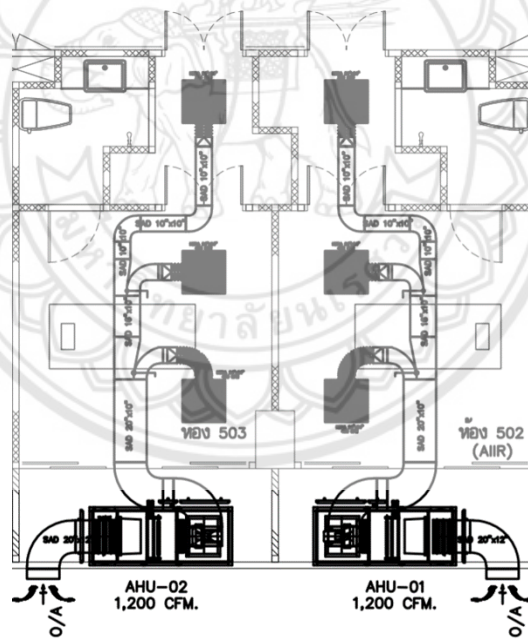
ตารางที่ 4.2 การออกแบบอัตราการระบายอากาศและภาระการทำความเย็น

ห้อง	อัตราการระบายอากาศ (cfm)	ภาระการทำความเย็นภายในห้อง (btu/hr)	ภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ (btu/hr)	ภาระการทำความเย็นรวม (btu/hr)
502	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
503	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
504	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
505	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
506	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
507	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
508	300.81	10,647	37,803.58	48,450.58
509	768.23	27,191.5	75,610.90	102,802.4

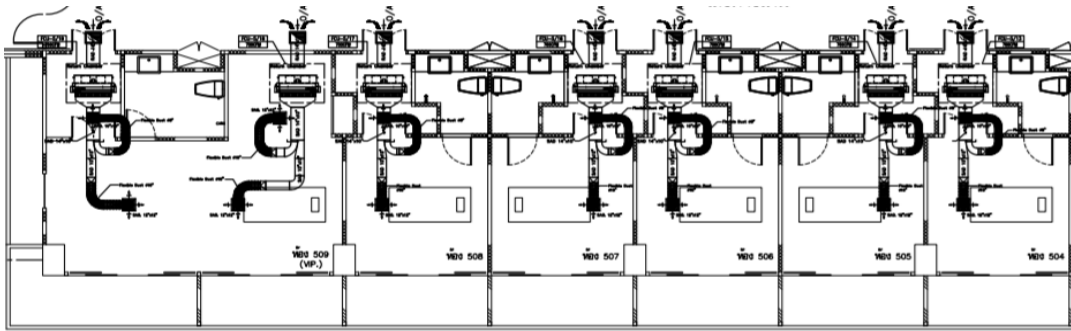
จากตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราการระบายอากาศตามการออกแบบโดยมีข้อกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศตามมาตรฐาน ที่ 12 ACH โดยสามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศของห้อง 502 – 508 ที่ 300.81 cfm และห้อง 509 คำนวณอัตราการระบายอากาศได้ที่ 768.23 cfm และสามารถคำนวณภาระการทำความเย็น โดยการออกแบบให้ห้อง 502 – 509 มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 25 °C และ 55 %RH ตามลำดับ โดยสามารถคำนวณภาระการทำความเย็นรวมของห้อง 502 – 508 ได้ 48,450.58 btu/hr และห้อง 509 สามารถคำนวณภาระการทำความเย็นรวมได้ 102,802.4 btu/hr

2) การเลือกระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

จากการศึกษาการเลือกระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงโดยทางโรงพยาบาลในมหาวิทยาลัยนเรศวรใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยใช้เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit :AHU) เป็นอุปกรณ์ส่งลมเย็นในส่วนต่าง ๆ โดย AHU ต้องมีการเลือกขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ของแต่ละห้อง โดยในกรณีที่ 1 ห้อง 502 และ 503 มีการเลือก AHU ที่มีขนาด 48,000 Btu/hr. หรือ 1,200 cfm ซึ่งเป็น AHU ที่สามารถปรับค่าความเร็วรอบของพัดลมได้ และในกรณีที่ 2 ห้อง 504 - 509 มีการใช้ FCU ที่มีขนาด 28,000 Btu/hr. หรือ 700 cfm และห้อง 509 มีการออกแบบด้วยการติดตั้ง FCU ขนาด 700 cfm จำนวน 2 เครื่อง โดยในกรณีที่ 1 จะมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากในกรณีที่ 1 เป็นการออกแบบโดยการใช้เครื่องปรับอากาศใหม่ และกรณีที่ 2 เป็นการใช้อุปกรณ์ปรับอากาศเดิม ซึ่งทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบเป็น 2 กรณี เพราะจะได้ช่วยทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรลดต้นทุนการก่อสร้างห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง



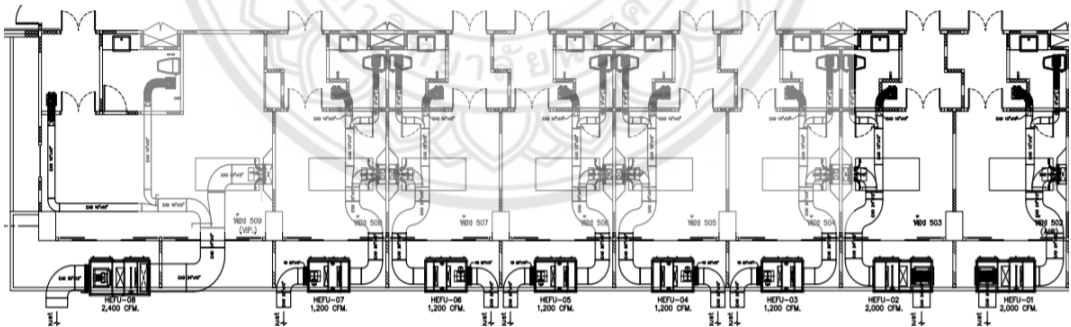
รูปที่ 4.8 การออกแบบระบบปรับอากาศของห้อง 502 และ 503



รูปที่ 4.9 การออกแบบระบบปรับอากาศของห้อง 504 - 509

3) การเลือกระบบระบายอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

จากการศึกษาการเลือกระบบระบายอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยที่กรณีที่ 1 ห้อง 502 และ 503 มีการเลือกเครื่องระบายอากาศ (Exhaust Fan Unit ; EFU) ที่มีขนาด 2,000 cfm ซึ่ง EFU และในกรณีที่ 2 ห้อง 504 - 508 จากการออกแบบมีการเลือกเครื่องระบายอากาศ ขนาด 1,200 cfm และห้อง 509 จากการออกแบบมีการเลือกเครื่องระบายอากาศขนาด 2,400 cfm โดยเครื่องระบายอากาศทั้งหมดสามารถปรับความเร็วรอบของพัดลมได้ และภายในเครื่องระบายอากาศมีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศทั้ง 3 ชั้นเพื่อกรองอากาศก่อนทิ้งสู่ภายนอกและมีหลอดไฟรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้สำหรับการกำจัดเชื้อโรค



รูปที่ 4.10 การออกแบบระบบระบายอากาศของห้อง 502 - 509

4.2.2 ศึกษาขั้นตอนการดัดแปลงห้องผู้ป่วยธรรมดาเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ
ตามการออกแบบ

1) การปรับปรุงพื้นที่ก่อนทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

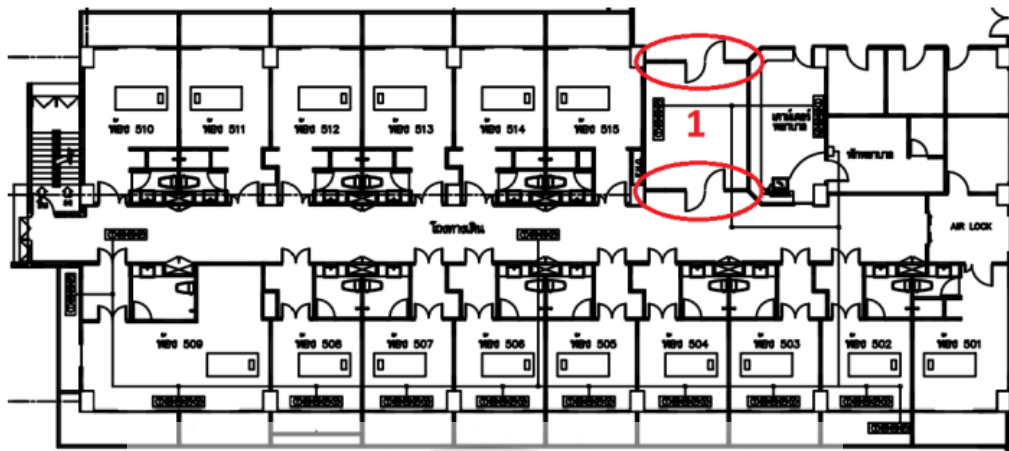
การปรับปรุงห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง จะต้องทำการปรับปรุงพื้นที่ก่อนที่จะทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ เพื่อให้ห้องนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โดยมีรายละเอียดการปรับปรุงพื้นที่ก่อนทำได้นี้

ส่วนที่ 1 การปรับปรุงพื้นที่ห้องพยาบาล (Nurse station)

ห้องพยาบาล จะเป็นการปรับปรุงห้องโดยจากเดิมไม่ได้มีการสร้างห้องสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ โดยมีเพียงเคาน์เตอร์สำหรับบุคลากรทางการแพทย์ไว้ใช้ในการทำงาน และได้ทำการปรับปรุงจากเดิมมาเป็นห้องพักสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ โดยใช้กระจก โดยแสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งทำการปรับปรุงบริเวณดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 การปรับปรุงห้องพยาบาล (Nurse station)



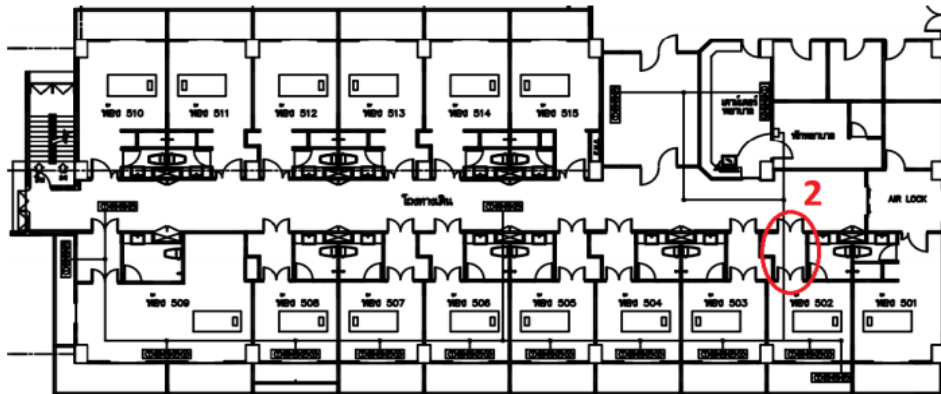
รูปที่ 4.12 แบบบริเวณห้องพักพยาบาล (Nurse station)

ส่วนที่ 2 การสร้างห้อง Ante room

ห้อง Ante room จะเป็นการปรับปรุงจากเดิมเป็นทางเข้าเดินเชื่อมเข้าห้องผู้ป่วยโดยตรง และได้มีการปรับปรุงโดยการกั้นเป็นห้อง Ante room เพื่อใช้เป็นห้องเตรียมก่อนเข้าห้องผู้ป่วย ประตูจะใช้เป็นประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิด เพื่อป้องกันการออกมาภายนอกห้องของผู้ป่วย โดยแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งทำการปรับปรุงบริเวณดังรูปที่ 4.14



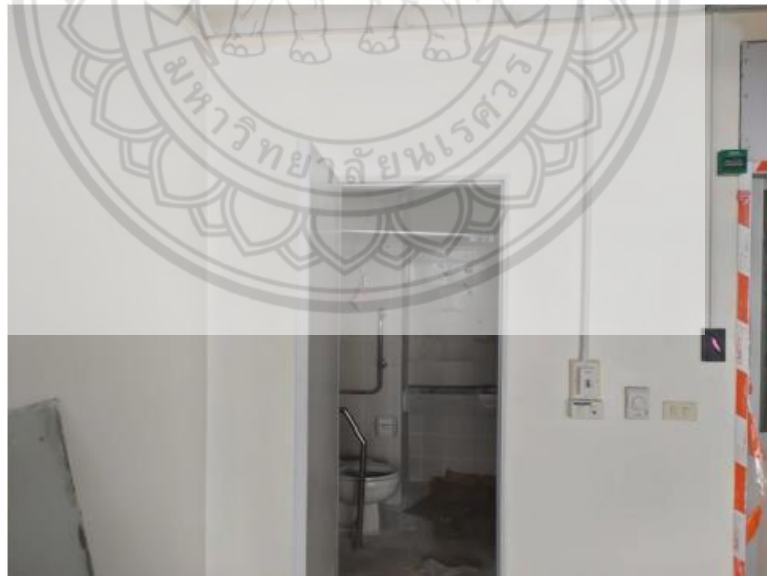
รูปที่ 4.13 การสร้างห้อง Ante room



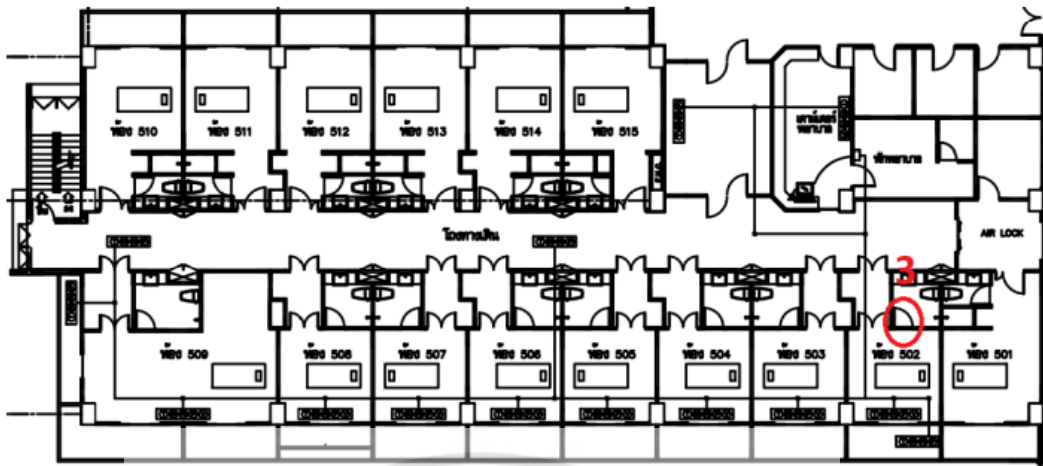
รูปที่ 4.14 แบบบริเวณการสร้างห้อง Ante room

ส่วนที่ 3 การย้ายประตูห้องน้ำ

การปรับปรุงในส่วนของทางเข้าใช้งานห้องน้ำโดยจากแบบเดิมประตูจะอยู่ในส่วนของห้อง Ante room เมื่อปรับปรุงเพื่อสร้างห้อง Ante room มา จึงทำให้ต้องเปลี่ยนประตูทางห้องน้ำเข้าไปไว้ฝั่งด้านในห้องผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยอยู่ภายในห้องและไม่ออกมาด้านนอกห้อง โดยแสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งทำการปรับปรุงบริเวณดังรูปที่ 4.16



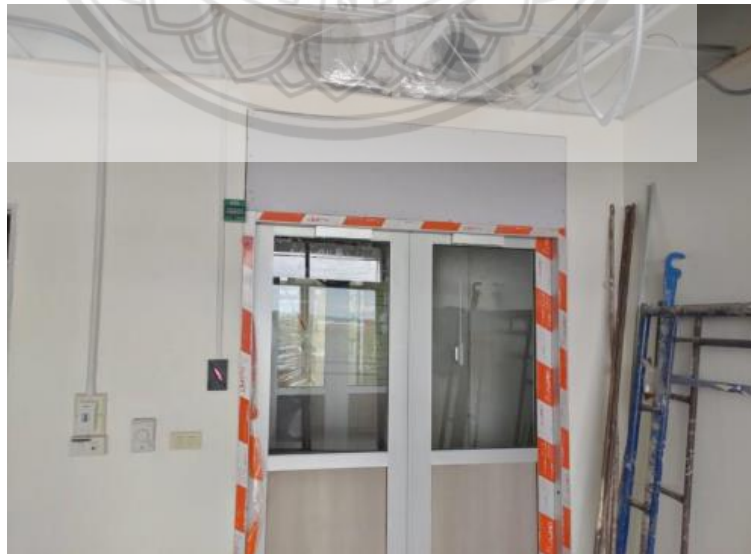
รูปที่ 4.15 การย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดใช้งานด้านห้องผู้ป่วย



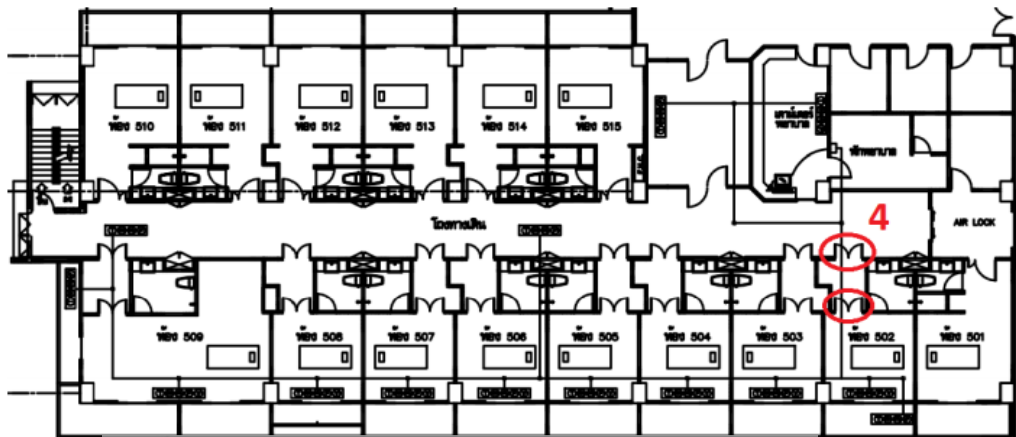
รูปที่ 4.16 แบบบริเวณการย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดใช้งานด้านห้องผู้ป่วย

ส่วนที่ 4 การปรับปรุงประตูห้องพักรักษาผู้ป่วย

การปรับปรุงห้องพักรักษาผู้ป่วยเป็นการปรับปรุงประตูทางเข้าห้องผู้ป่วยจากเดิมเป็นประตูที่สามารถเปิดได้ทั้งจากด้านนอกและด้านในห้องผู้ป่วยเป็นแบบลูกบิด โดยเปลี่ยนเป็นประตูอัตโนมัติเปิดประตูด้วยคีย์การ์ด เพื่อป้องกันผู้ป่วยออกจากห้องและลดการสัมผัส โดยแสดงดังรูปที่ 4.17 ซึ่งทำการปรับปรุงบริเวณดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย



รูปที่ 4.18 แบบบริเวณประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย

2) ขั้นตอนการตัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมให้เป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

ในการดำเนินการตัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเพื่อให้เป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศต้องมีขั้นตอนการทำงานตั้งแต่การปิดพื้นที่เพื่อปรับปรุงห้องไปจนกระทั่งห้องเสร็จสมบูรณ์ โดยได้มีขั้นตอนการปรับปรุงห้องผู้ป่วยแยกเชื้อทางอากาศออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การปิดพื้นที่ห้องพักผู้ป่วยสำหรับปรับปรุงเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

เป็นการใช้พลาสติกใสในการกั้นเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ทำงานและเพื่อป้องกันฝุ่นละอองที่เกิดจากการทำงานฟุ้งกระจายไปยังบริเวณภายนอก โดยการปิดพื้นที่จะทำให้การทำงานสะดวกและปลอดภัยขึ้น โดยแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การใช้พลาสติกใสในการปิดพื้นที่ทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 การรื้อฝ้าเพดานและพื้นห้อง

การรื้อฝ้าเพดานและพื้นห้อง เป็นการเตรียมการเพื่อที่จะติดตั้งระบบท่อส่งลมเย็นและท่อระบายอากาศ การติดตั้งระบบไฟฟ้า และเซนเซอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 การรื้อพื้นกระเบื้อง



รูปที่ 4.21 การรื้อฝ้าเพดาน

ขั้นตอนที่ 3 การทำความสะอาดพัดลม

เป็นการนำพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น (Air handing unit ; AHU) มาทำความสะอาด เพื่อกำจัดฝุ่นละอองที่ติดอยู่ภายในพัดลม ซึ่งเป็นพัดลมของเครื่องส่งลมเย็นของห้อง 504 - 509 โดยแสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การทำความสะอาดพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น

ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งระบบท่อและอุปกรณ์ภายในห้อง

เป็นการติดตั้งท่อลมตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยการวางท่อลมที่เป็นท่อส่งลมเย็นและท่อสำหรับระบายอากาศ และได้ติดตั้งระบบไฟฟ้าโดยการวางสายไฟภายใต้ฝ้าเพดาน เช่นเดียวกับระบบท่อ โดยแสดงดังรูปที่ 4.23 รูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.23 ท่อลมระบบปรับอากาศและระบายอากาศ



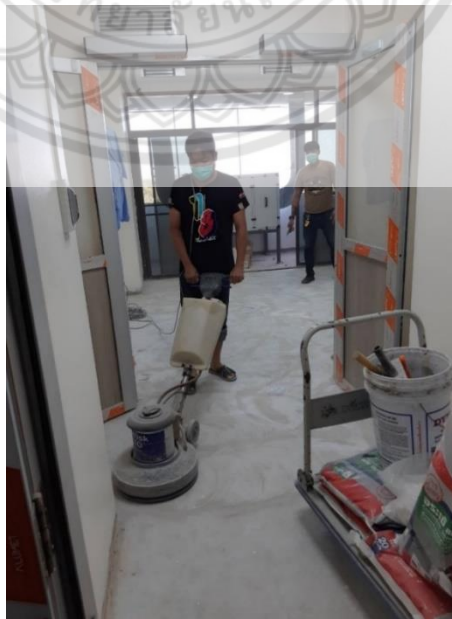
รูปที่ 4.24 การเดินระบบไฟฟ้าเหนือฝ้าเพดาน



รูปที่ 4.25 การติดตั้งท่อส่งน้ำเย็นเข้าเครื่องส่งลมเย็น

ขั้นตอนที่ 5 การทำฝ้าเพดานและกระเบื้อง

เป็นการทำฝ้าเพดานและกระเบื้องให้เป็นไปตามข้อกำหนดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โดยที่ฝ้าเพดานต้องเป็นแบบเรียบไม่มีรอยต่อ และกระเบื้องต้องเป็นกระเบื้องยางที่ไม่มีรอยต่อ เพื่อป้องกันเชื้อโรคสะสมตามรอยต่อของกระเบื้องและฝ้าเพดาน โดยแสดงดังรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 การเตรียมพื้นห้องสำหรับปูกระเบื้องยาง



รูปที่ 4.27 การติดตั้งฝ้าเพดาน

ขั้นตอนที่ 6 การติดตั้งชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้อง

เป็นการติดตั้งชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผู้ป่วย โดยชุดเซนเซอร์นี้ประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดผลต่างของความดัน เซนเซอร์วัดความเร็วลม เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซนเซอร์วัดความชื้น โดยเซนเซอร์นี้มีการติดตั้งที่บริเวณเหนือหัวเตียงผู้ป่วยและทาสีเก็บความเรียบร้อยภายในห้อง โดยแสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบความเรียบร้อยและติดตามผลการใช้งานของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

เป็นการตรวจสอบระบบต่าง ๆ ภายในห้องผู้ป่วย อาทิเช่น ระบบไฟฟ้า ระบบของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ เป็นต้น และจอแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศภายในห้องพยาบาล โดยแสดงดังรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 การทดสอบความแม่นยำของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ



รูปที่ 4.30 จอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ห้องพยาบาล

จากการศึกษาการออกแบบและการดัดแปลงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ได้มีการศึกษาตั้งแต่การเตรียมการปรับปรุงห้องพักผู้ป่วย การออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศภายในห้อง และการดัดแปลงห้องพักผู้ป่วยเดิมเป็นห้องพักผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงและวิเคราะห์ผลโดยแสดงในหัวข้อที่ 4.3 และได้มีการเก็บรวบรวมความคิดเห็นจากการใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงจริงจากบุคคลากรทางการแพทย์ และฝ่ายซ่อมบำรุง โดยจะแสดงข้อมูลของแบบสอบถามในหัวข้อที่ 4.4

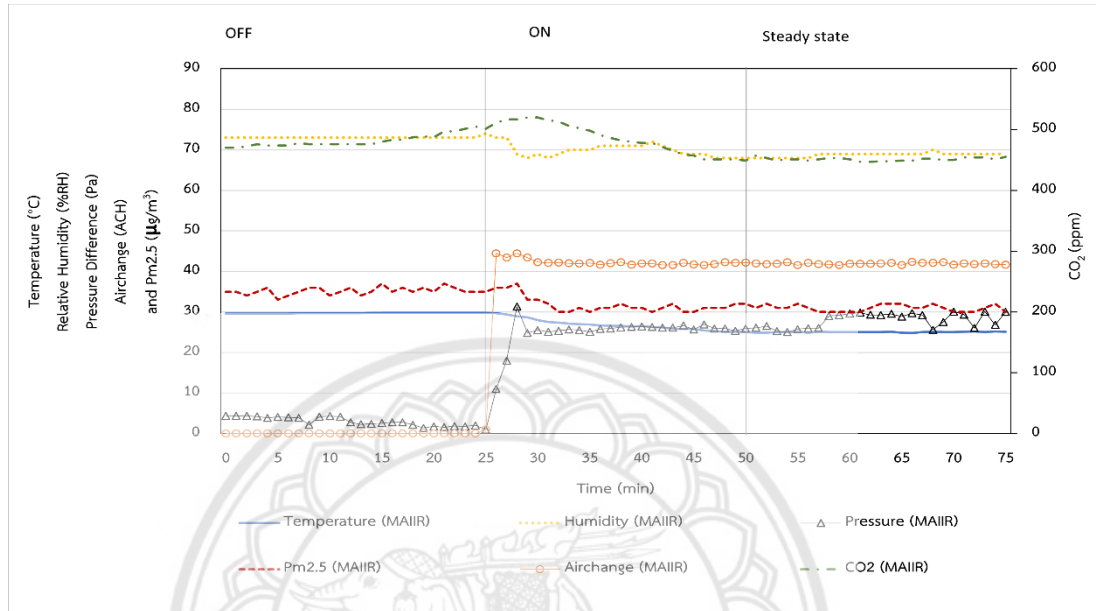
4.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงได้มีการติดตั้งชุดเซนเซอร์วัดสภาวะอากาศไว้ เพื่อที่จะตรวจสอบสภาวะอากาศภายในห้อง โดยข้อมูลที่ได้จากชุดเซนเซอร์นี้ได้นำมาศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ในทุกพารามิเตอร์ของชุดเซนเซอร์ โดยเป็นการวิเคราะห์สภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานจนถึงสภาวะคงตัว คุณภาพเฉลี่ยของสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ อัตราการใช้พลังงานเมื่อมีการเปิดใช้งานห้อง สภาวะอากาศภายในห้องเมื่อมีการเปิดใช้ระบบปรับอากาศในเวลากลางวันและกลางคืน อัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้อง MAIR เมื่อมีการใช้งานห้องเป็นเวลานาน

4.3.1 สภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state)

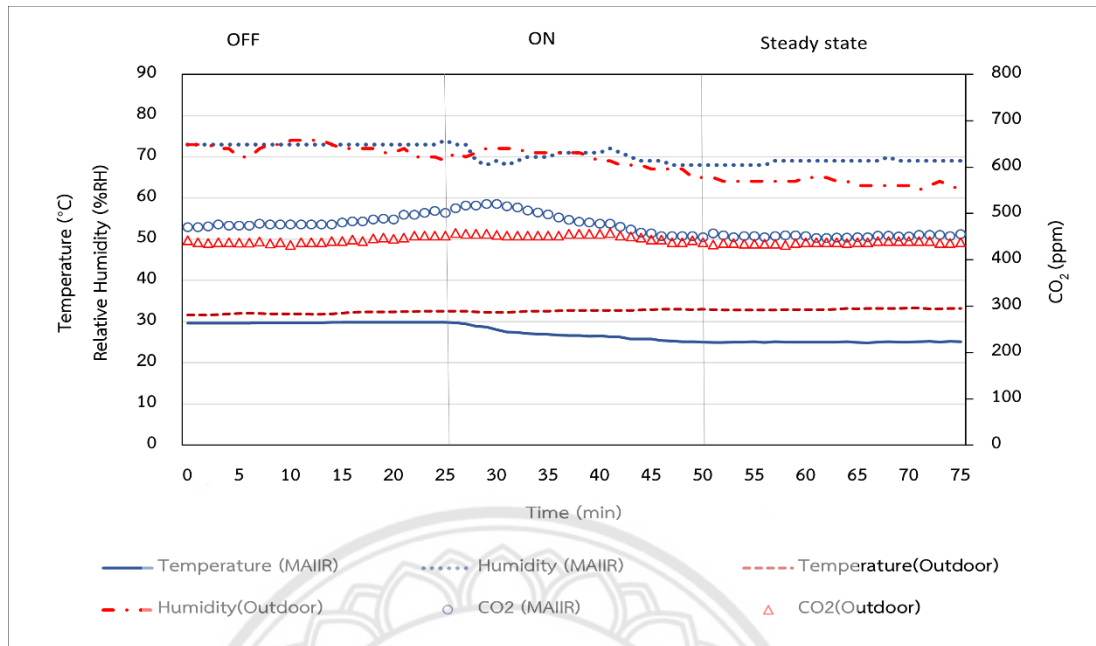
โดยจากการศึกษาข้อมูลสภาวะอากาศภายในห้องในช่วงที่ไม่มีการใช้งาน เริ่มเปิดใช้งานจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัวซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ และค่าฝุ่น $Pm_{2.5}$ ทั้งภายในห้องและภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 4.31, 4.32 และ 4.33 โดยจากรูปที่ 4.31 จะแสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าฝุ่น $Pm_{2.5}$ ภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยจะนำข้อมูลในวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ.2564 เวลา 8:45 น. จนถึงเวลา 9:50 น. ของห้อง 502 โดยจากรูปจะพบว่าที่เวลา 0 จนถึง 25 นาทีนั้นเป็นช่วงที่ยังไม่เปิดใช้งานระบบปรับอากาศ อุณหภูมิภายในห้องมีค่าอยู่ที่ประมาณ $30^{\circ}C$ และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 73 % ในขณะที่ความดันภายในห้องมีค่าไม่เกิน 5 Pa และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมีค่าเป็น 0 ในขณะที่ค่าคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าไม่เกิน 600 ppm และมีค่าฝุ่นไม่เกิน $38 \mu g/m^3$ โดยหลังจากเวลาที่ 25 นาที มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศภายในห้องโดยสังเกตได้จากค่าของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีค่าประมาณ 40 ACH โดยหลังจากนั้นประมาณ 5 นาที อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน

ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นPm_{2.5} ภายในห้องมีค่าลดลงจนหลังนาที่ที่ 50 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน คาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นPm_{2.5} มีค่าที่คงที่ โดยมีค่าประมาณ 25 °C, 70 %, 25 Pa, 450 ppm และ 30 µg/m³



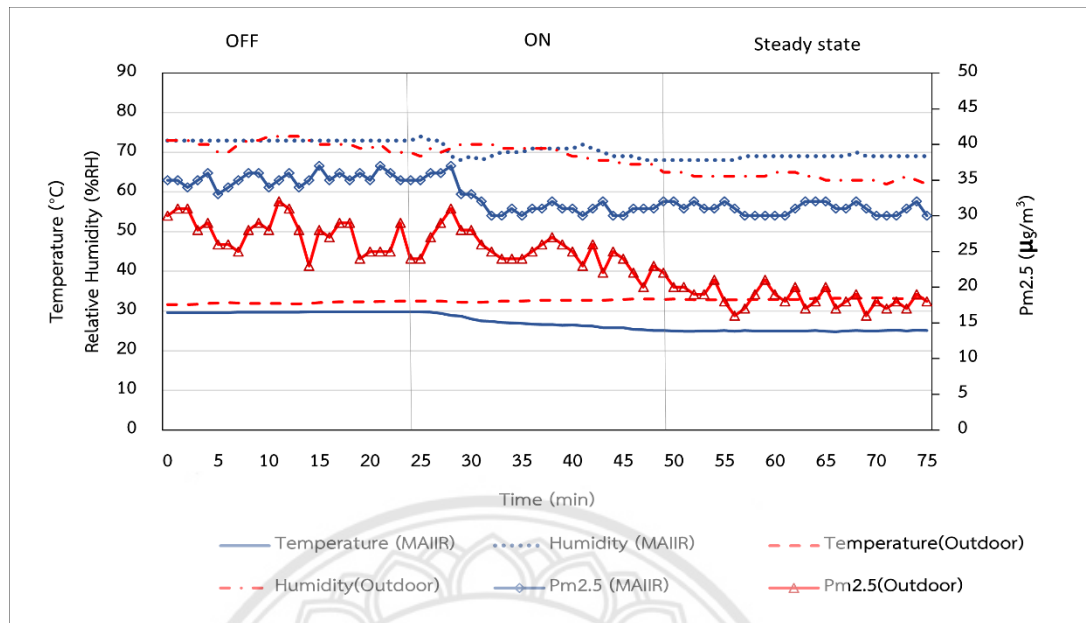
รูปที่ 4.31 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ และค่าฝุ่นPm_{2.5} ภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

จากรูปที่ 4.32 จะแสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในห้องและภายนอกห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่าที่เวลา 0 จนถึง 25 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่ยังไม่ได้เปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 530 ppm ซึ่งยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารในขณะที่ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกห้องมีค่าประมาณ 450 ppm จากนั้นนาที่ที่ 25 เมื่อเริ่มทำการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ซึ่งจะมีการเปิดใช้งาน ตู้ระบายอากาศ และเครื่องส่งลมเย็น อากาศภายในห้องจะถูกดูดออก และจะมีการเติมอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในห้องส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงโดยหลังเปิดใช้งานระบบปรับอากาศเป็นเวลา 25 นาที ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีค่าประมาณ 460 ppm เป็นผลมาจากการระบายอากาศภายในห้องและการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าห้อง



รูปที่ 4.32 ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องและภายนอกห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

จากรูปที่ 4.33 จะแสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฝุ่นPm_{2.5} ภายในห้องและภายนอกห้อง เมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าที่เวลา 0 จนถึง 25 นาทีซึ่งเป็นช่วงที่ยังไม่ได้เปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นฝุ่นPm_{2.5}ในอากาศนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 35 µg/m³ ซึ่งยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารในขณะที่ค่าฝุ่นPm_{2.5} ภายนอกห้องมีค่าประมาณ 30 µg/m³ ตลอดที่ทำการสังเกต จากนั้นนาที่ที่ 25 เมื่อทำการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ซึ่งจะมีการเปิดใช้งานตู้ระบายอากาศและเครื่องส่งลมเย็นอากาศภายในห้องจะถูกดูดออก และจะมีการเติมอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในห้องส่งผลให้ฝุ่นPm_{2.5} ภายในห้องลดลงโดยหลังเปิดใช้งานระบบปรับอากาศเป็นเวลา 25 นาที ฝุ่นPm_{2.5} ในอากาศมีค่าประมาณ 30 µg/m³ เป็นผลมาจากการระบายอากาศภายในห้องและการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าห้อง



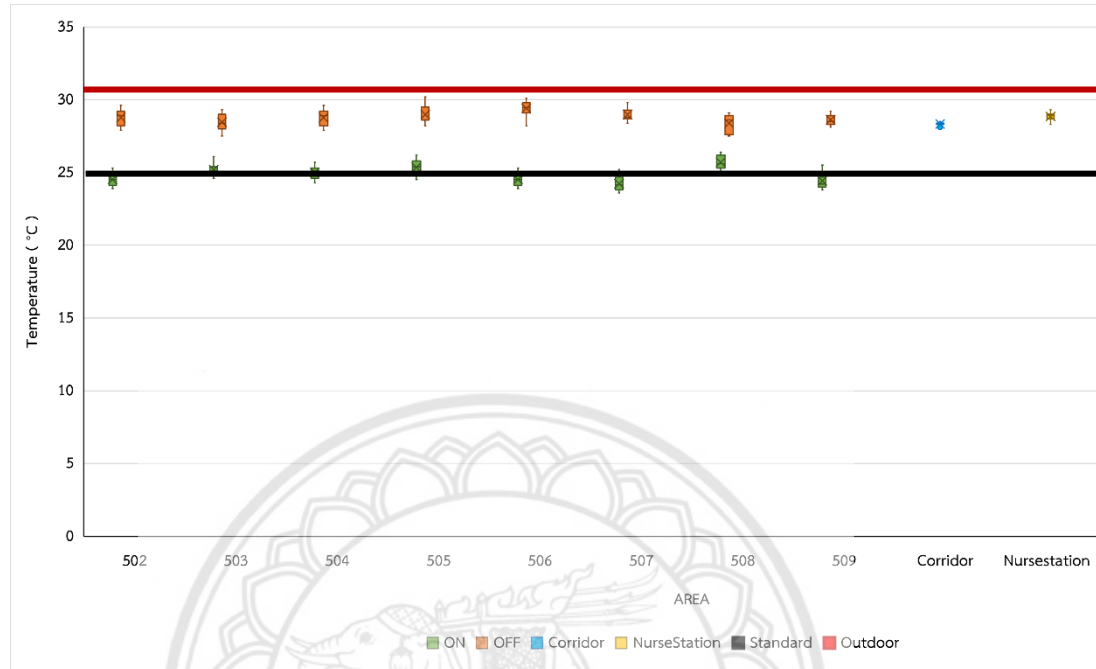
รูปที่ 4.33 ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฝุ่นPm_{2.5} ภายในห้องและภายนอกห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

4.3.2 คุณภาพเฉลี่ยของสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ

โดยในการศึกษาหัวข้อดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำจะมีการนำข้อมูลสภาวะอากาศที่มีการรวบรวมมาจาก บริเวณห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โถงทางเดิน สถานีพยาบาล และด้านนอกอาคารสิรินธร มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้วิเคราะห์จะเป็นค่าเฉลี่ยตลอดทั้งสัปดาห์ โดย ณ ที่นี้ได้เลือกข้อมูลในช่วงวันที่ 20 – 27 มิถุนายน พ.ศ.2564 มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งพารามิเตอร์จะประกอบไปด้วยอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นPm_{2.5}

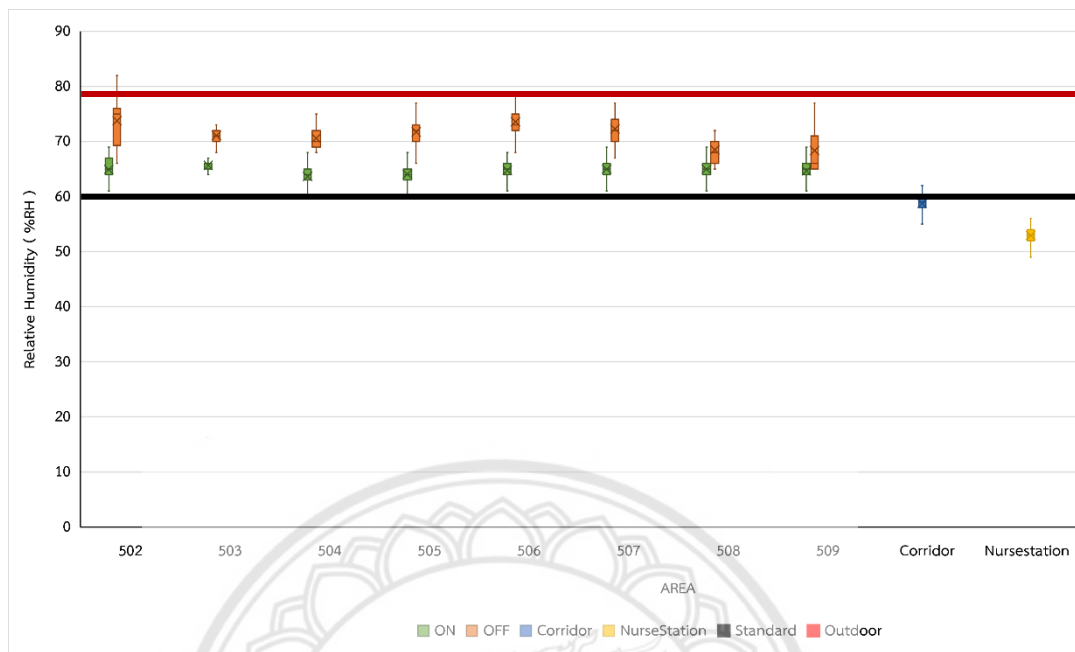
จากการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502 - 509 โถงทางเดิน และสถานีพยาบาลนั้นมีค่าประมาณ 24.9, 25.2, 24.7, 25.8, 25.1, 25.7, 24.9, 26.4, 28.7 และ 29.4 °C ตามลำดับ ในขณะที่ภายนอกมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 31 °C ซึ่งในส่วนของห้อง 508 นั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้เล็กน้อยดังรูปที่ 4.34 แต่ในส่วนของห้อง 502, 503, 504, 505, 506, 507, และ 509 นั้นอุณหภูมิเฉลี่ยนั้นได้มาตรฐานคุณภาพอากาศ และสามารถทำความเย็นได้ตามที่มีการออกแบบ และเมื่อปิดการใช้งานห้องนั้นพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502 - 509 มีค่าประมาณ 28.4, 28.5, 28.5, 29.9, 28.8, 28.7 และ 28.2 °C ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิ

ในขณะที่ไม่ได้เปิดใช้งานห้องนั้นมีความสูงกว่าขณะที่ใช้งานห้องและมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก



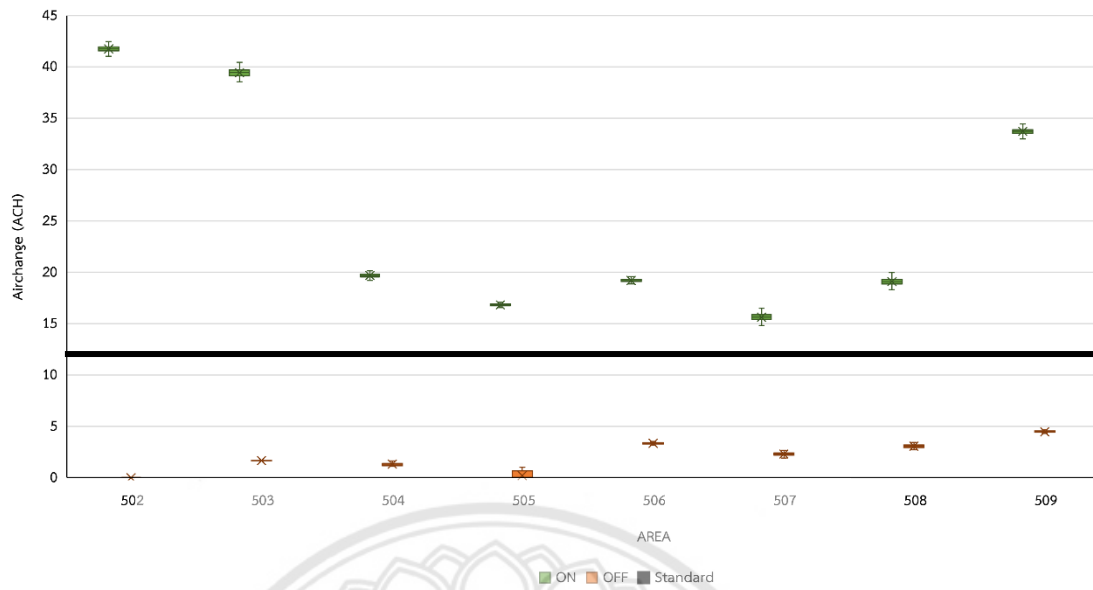
รูปที่ 4.34 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศภายในห้องผู้ป่วย โถงทางเดิน
สถานีพยาบาล และภายนอก

จากรูปที่ 4.35 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โถงทางเดิน สถานีพยาบาล และภายนอก พบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงขณะเปิดใช้งานตั้งแต่ห้อง 502-509 มีค่า 64.9, 65.7, 63.6, 64.1, 64.7, 65.0 65.0 และ 64.7 ตามลำดับ และในขณะที่ปิดใช้งานค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่ห้อง 502-509 มีค่า 73.7, 71.1, 70.6, 71.8, 73.6, 72.3, 68.5 และ 68.4 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความชื้นภายในโถงทางเดิน สถานีพยาบาล และภายนอกมีค่าประมาณ 58.8, 53.0 และ 78.5 ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงขณะเปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นจะน้อยกว่าขณะปิดใช้งานแต่จากค่าที่วัดได้นั้นพบว่าแม้จะมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศแล้วห้องก็ยังไม่สามารถลดความชื้นได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยสาเหตุอาจเกิดจากภาระการทำความเย็นที่มากเกินไป ขนาดของ AHU ไม่เพียงพอ หรือการตั้งอุณหภูมิที่คอยล์เย็นสูงเกินไป ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป



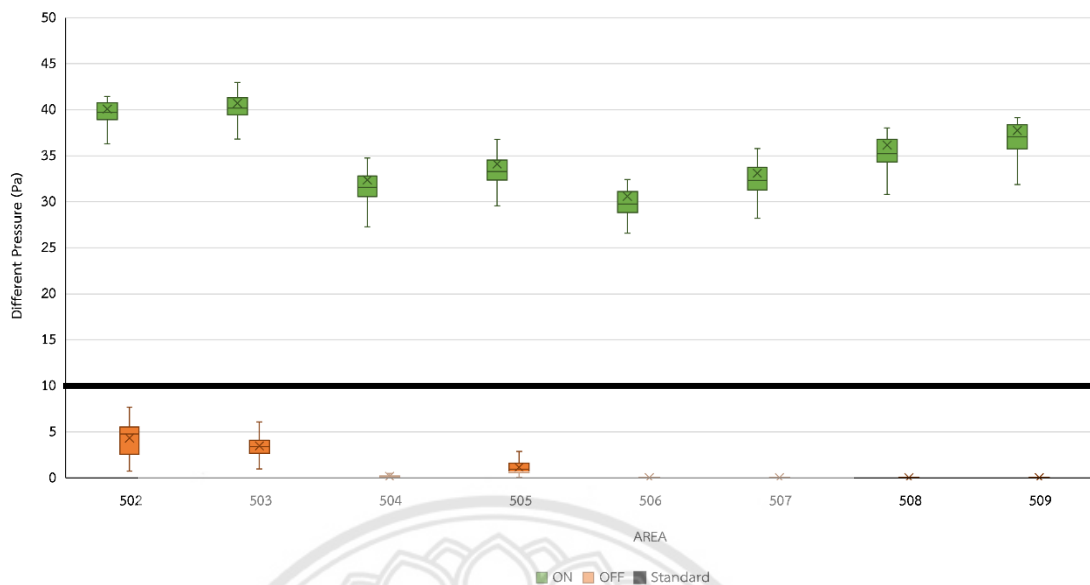
รูปที่ 4.35 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย

จากรูปที่ 4.36 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง เมื่อเปิดและปิดการใช้งานระบบปรับอากาศ โดยใช้ข้อมูลของเดือนมิถุนายน พ.ศ.2564 พบว่าเมื่อมีการเปิดใช้ระบบปรับอากาศค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนั้นสูงกว่าเมื่อปิดการใช้งาน โดยทุกห้องสามารถระบายอากาศได้เกินกว่ามาตรฐานโดยห้อง 502 และ 503 มีค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อเปิดใช้งานห้องอยู่ที่ประมาณ 40 ACH และห้อง 504 – 508 มีค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อเปิดใช้งานห้องอยู่ที่ประมาณ 20 ACH และห้อง 509 มีค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อเปิดใช้งานห้องอยู่ที่ประมาณ 35 ACH ซึ่งการระบายอากาศนั้นเป็นหัวใจสำคัญที่จะช่วยกำจัดละอองฝอยของเชื้อไวรัสที่ปะปนในอากาศได้ดีที่สุดแต่จากกราฟแสดงให้เห็นว่าห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศทุกห้องนั้นมีการระบายอากาศที่มากเกินไป ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะการทำความเย็นจากการระบายอากาศเกินความจำเป็นซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับอัตราการระบายอากาศของห้องเพื่อให้ไม่ใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง



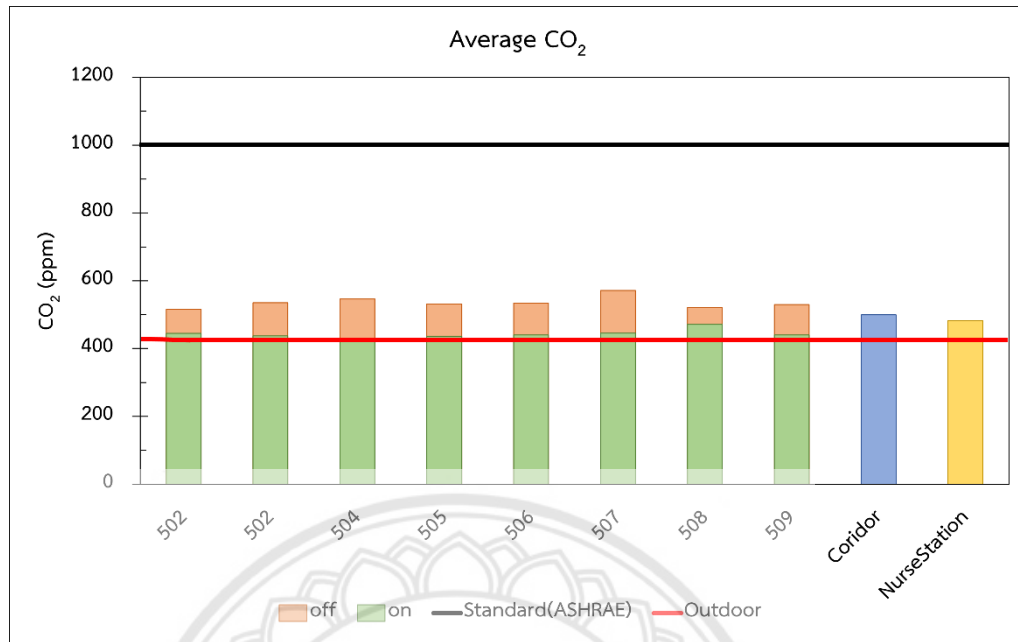
รูปที่ 4.36 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย

จากรูปที่ 4.37 แสดงผลต่างความดันภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยใช้ข้อมูลของเดือนมิถุนายน พ.ศ.2564 พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างความดันเมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศตั้งแต่ห้อง 502 - 509 มีค่า 40.1, 40.7, 32.4, 34.1, 30.6, 33.1, 36.2 และ 37.8 Pa ตามลำดับ 4.3, 3.5, 0.2, 1.2, 0.0, 0.0, 0.0 และ 0.0 Pa ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างความดันเมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ นั้นมีค่าสูงกว่าขณะปิดและสูงกว่ามาตรฐาน รวมถึงค่าที่ออกแบบไว้โดยความดันภายในห้องนั้นจะแปรผันตามอัตราการระบายอากาศซึ่งจากรูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37 จะพบว่าเมื่ออัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นความดันในห้องจะลดลงแต่เนื่องมาจากการระบายอากาศที่มากเกินไปจนความจำเป็นส่งผลให้ผลต่างความดันมีค่ามากเกินไปจนความจำเป็นเช่นกัน

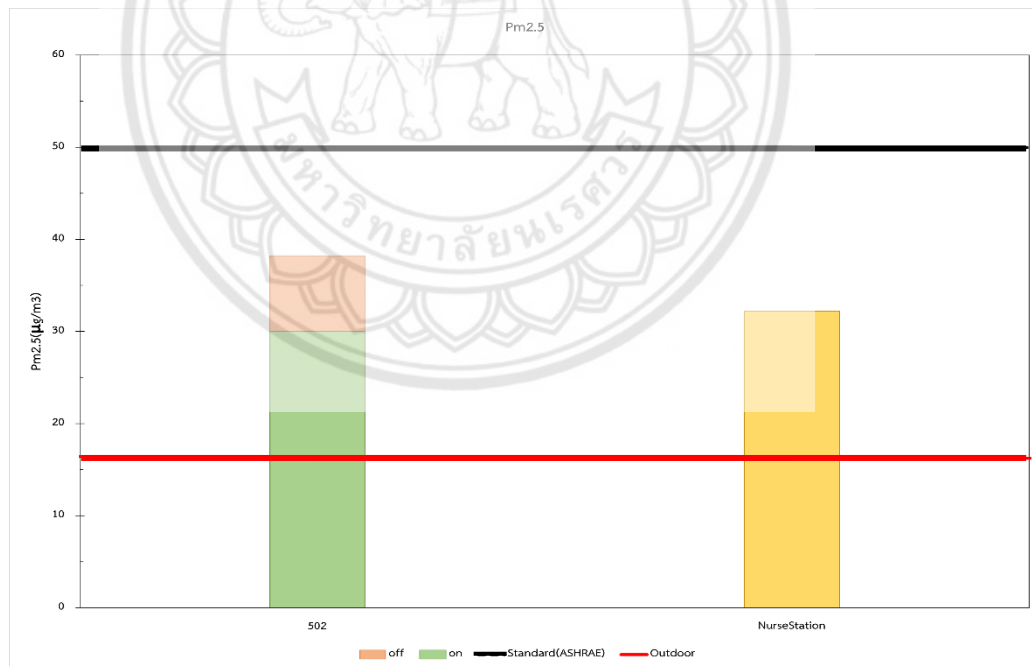


รูปที่ 4.37 ผลต่างความดันเมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย

จากรูปที่ 4.38 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โถงทางเดิน สถานีพยาบาล และภายนอก และจากรูปที่ 4.38 พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะเปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นมีค่า 444.4, 437.1, 423.8, 406.4, 420.0, 445.4, 471.5 และ 439.7 ตามลำดับ และพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นมีค่า 515.4, 534.9, 545.9, 531.4, 533.9, 571.3, 521.1 และ 529.9 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโถงทางเดิน สถานีพยาบาล และภายนอกมีค่าประมาณ 500.6, 488.0 และ 474.1 ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นต่ำกว่าขณะปิดใช้งานและใกล้เคียงกับอากาศภายนอก ซึ่งได้มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร และจากรูปที่ 4.39 แสดงค่าเฉลี่ยฝุ่น $Pm_{2.5}$ ในอากาศของห้อง 502 สถานีพยาบาล และภายนอก พบว่าค่าเฉลี่ยฝุ่น $Pm_{2.5}$ ภายในห้อง 502 ในขณะที่มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศมีค่าประมาณ $30.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และพบว่าค่าเฉลี่ยฝุ่น $Pm_{2.5}$ ภายในห้อง 502 ในขณะที่มีการปิดใช้งานระบบปรับอากาศมีค่าประมาณ $38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สันเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยฝุ่น $Pm_{2.5}$ ภายในห้อง 502 ในขณะที่มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นจะมีค่าต่ำกว่าขณะปิดการใช้งานซึ่งได้มาตรฐานในเรื่องของคุณภาพอากาศภายในอาคาร



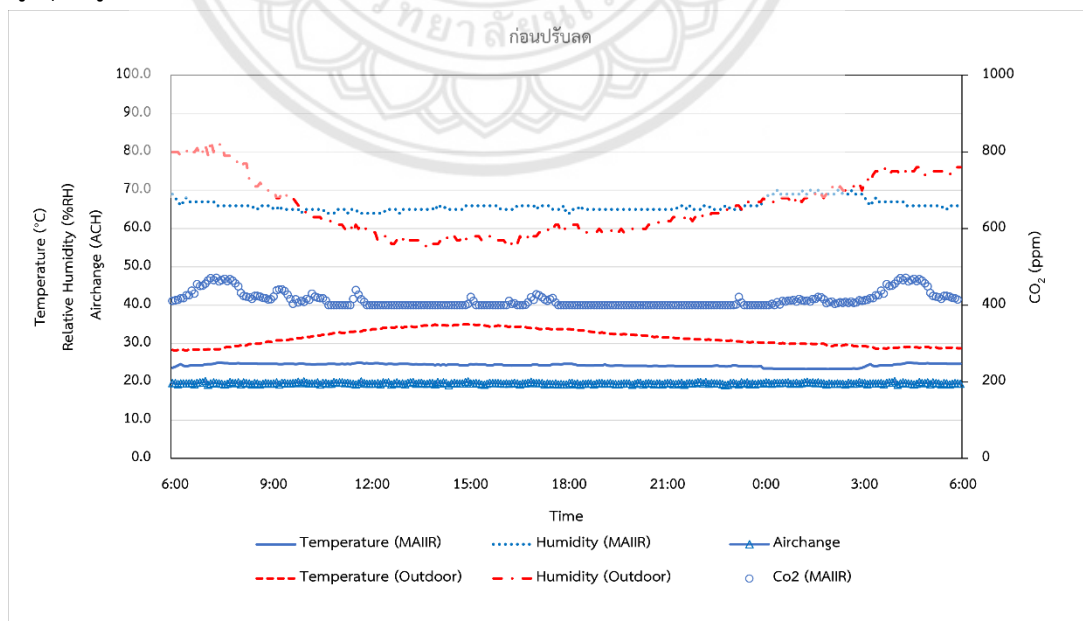
รูปที่ 4.38 คาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศ ภายในห้องผู้ป่วย



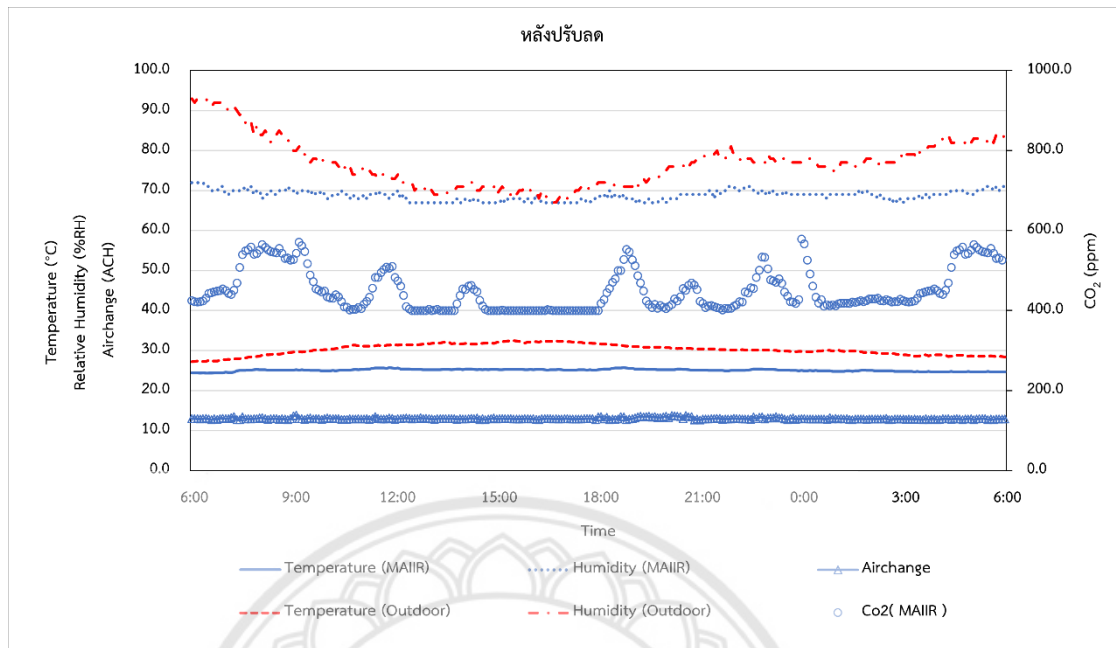
รูปที่ 4.39 ฝุ่นPm_{2.5} เมื่อเปิดและปิดใช้งานระบบปรับอากาศภายในห้องผู้ป่วย

4.3.3 อัตราการใช้พลังงานเมื่อมีการเปิดใช้งานห้อง

โดยในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบในวันที่มีสภาวะแวดล้อมซึ่งส่งผลต่อสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบตัดแปลง ซึ่งได้แก่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน โดยจะเปรียบเทียบระหว่างห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบตัดแปลงก่อนปรับลดอัตราการระบายอากาศและหลังปรับลดอัตราการระบายอากาศ ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ โดยจากรูปที่ 4.40 จะแสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของวันที่ 19 จนถึง 20 มิถุนายน พ.ศ.2564 ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่จะปรับลดอัตราการระบายอากาศ และรูปที่ 4.41 จะแสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของวันที่ 1 จนถึง 2 สิงหาคม พ.ศ.2564 เป็นช่วงหลังจากปรับลดอัตราการระบายอากาศ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมงนั้นลดลง โดยก่อนจะปรับลดนั้นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง ขณะเปิดใช้งานห้องจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 20 ACH โดยหลังจากปรับปรุง อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง ขณะเปิดใช้งานห้องจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 12 ACH ซึ่งได้ตรงตามมาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ลดลงส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยก่อนปรับอัตราการระบายอากาศนั้นความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 480 ppm ขณะที่หลังปรับลดอัตราการระบายอากาศนั้นมีความเข้มข้นอยู่ที่ 590 ppm

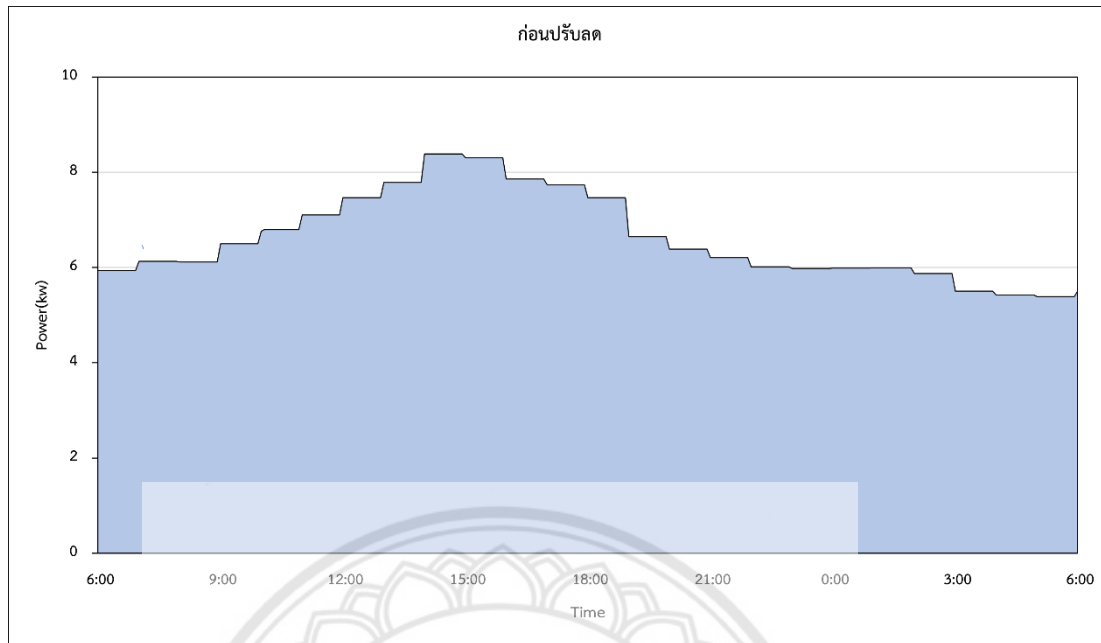


รูปที่ 4.40 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง ก่อนปรับลดอัตราการระบายอากาศ

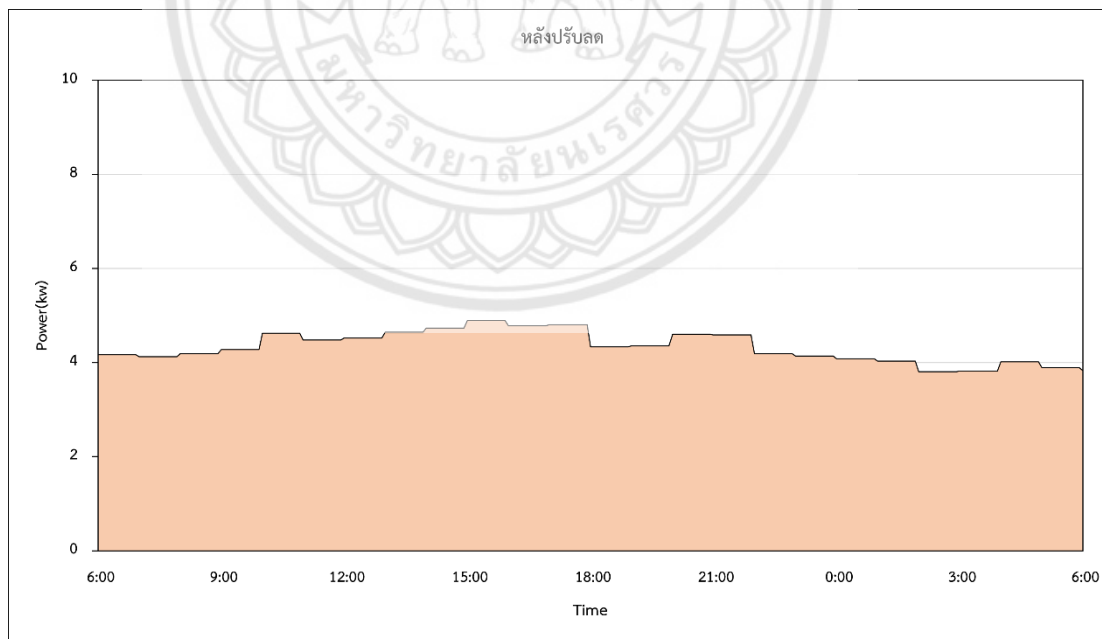


รูปที่ 4.41 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน 1 ชั่วโมง หลังปรับลดอัตราการระบายอากาศ

โดยในส่วนของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานของระบบปรับอากาศในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้น เป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่ภายในห้องนั้นเกิดจากการระบายอากาศเนื่องมาจากห้องจำเป็นต้องระบายอากาศจำนวนมากเพื่อรักษาความดันในห้องและป้องกันไม่ให้อุณหภูมิกระจายออกสู่ภายนอกดังนั้นต้องทำการระบายอากาศออกตลอดเวลาที่เปิดใช้งานห้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.42 และ 4.43 ซึ่งแสดงอัตราการใช้พลังงานเมื่อเปิดใช้งานห้องเนื่องจากการระบายอากาศ คือ การแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องและภายนอกห้อง ซึ่งในการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นมีการออกแบบให้ถึง Fresh air 100% เข้ามาภายในห้องโดยไม่มีการหมุนเวียนอากาศภายในห้องมาใช้ซ้ำ โดยอากาศจำนวนอย่างน้อย 12 ACH จะถูกดึงออก โดยใช้การระบายอากาศผ่านตู้ระบายอากาศ

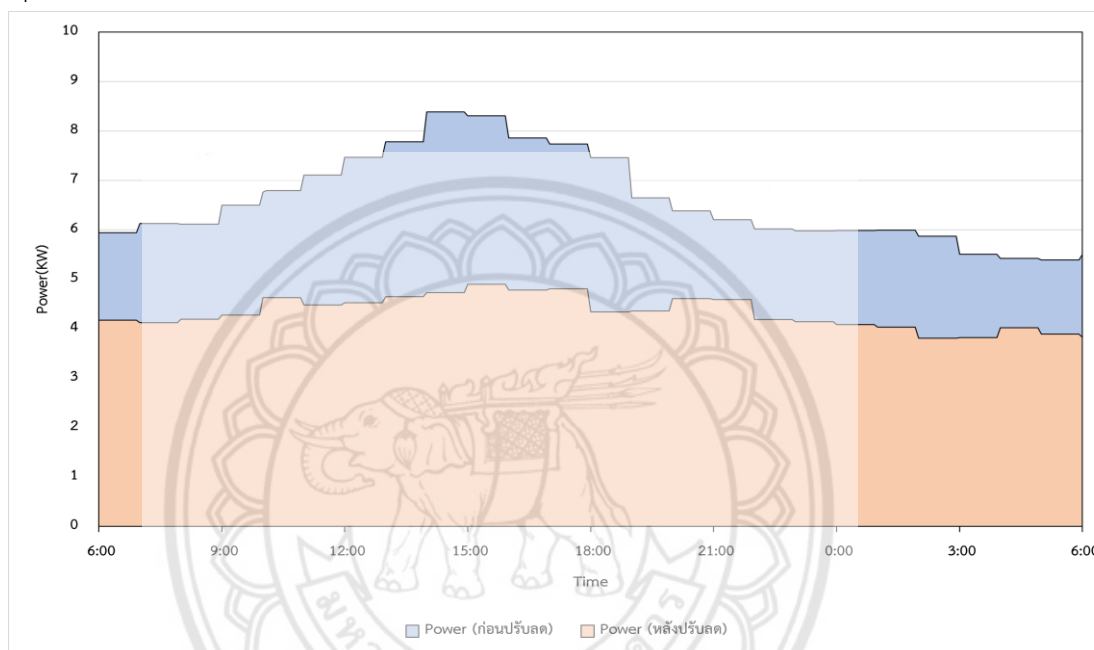


รูปที่ 4.42 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศก่อนการปรับปรุงอัตราการระบายอากาศ



รูปที่ 4.43 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศหลังการปรับปรุงอัตราการระบายอากาศ

โดยจากรูปที่ 4.42 โดยในช่วงเวลากลางคืนนั้นอัตราการใช้พลังงานนั้นมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าประมาณ 6.2 กิโลวัตต์ โดยอาจมีการกระเพื่อมซึ่งเกิดจากสภาวะอากาศแวดล้อมโดยหลังจากนั้นในช่วง 9:00 - 12:00 น. อัตราการใช้พลังงานจะค่อยสูงขึ้น จนสูงที่สุดในช่วง 12:00 - 15:00 น. ซึ่งมีค่ามากที่สุดถึง 7.8 กิโลวัตต์ จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง โดยจากรูปที่ 4.43 นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.42 คือ ในเวลากลางคืนนั้นอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน และจะมีอัตราการใช้พลังงานสูงที่สุดในช่วง 12:00 - 15:00 น. ซึ่งมีค่าประมาณ 5.8 กิโลวัตต์

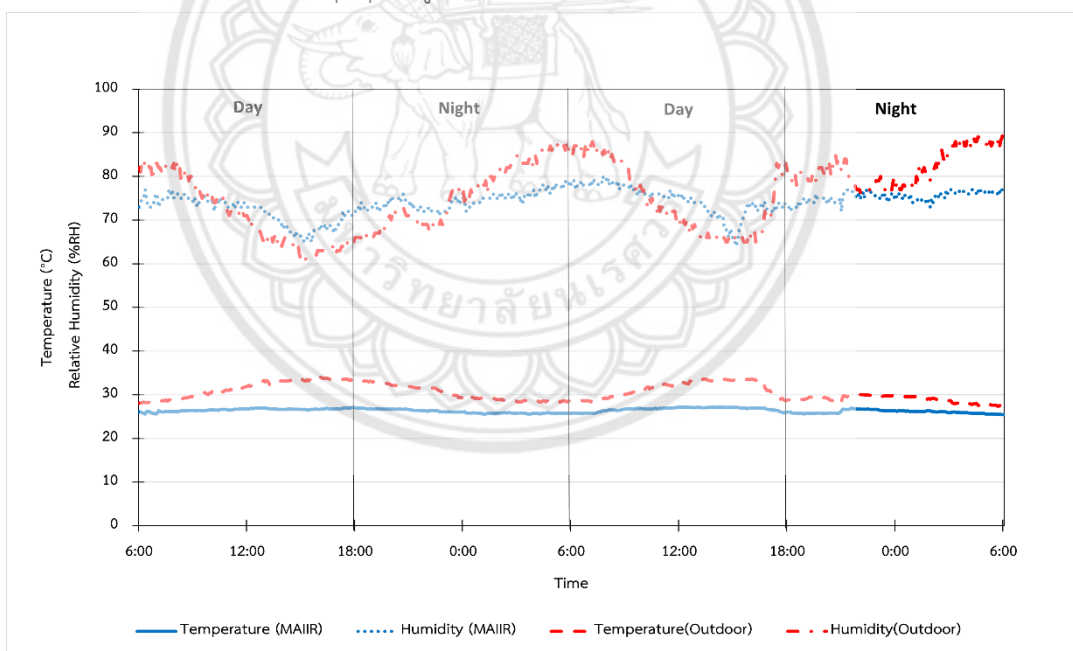


รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการระบายอากาศของระบบปรับอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงอัตราการระบายอากาศ

โดยจากรูปที่ 4.44 จะสังเกตเห็นได้ว่าอัตราการระบายอากาศนั้นมีผลโดยตรงกับอัตราการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นดังนั้นในส่วนวันที่ก่อนจะปรับลดอัตราการระบายอากาศนั้นจะมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่าในวันหลังจากการปรับลดอัตราการระบายอากาศ เนื่องจากมีอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่าทำให้ระบบปรับอากาศภายในห้องต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจากการระบายอากาศ โดยในวันก่อนปรับลดอัตราการระบายอากาศนั้นอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 6.75 กิโลวัตต์ และมีการใช้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 162.63 กิโลวัตต์ โดยในวันหลังปรับลดอัตราการระบายอากาศนั้นอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 4.4 กิโลวัตต์ และมีการใช้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 106.64 กิโลวัตต์ ซึ่งลดการใช้พลังงานถึง 34.43 %

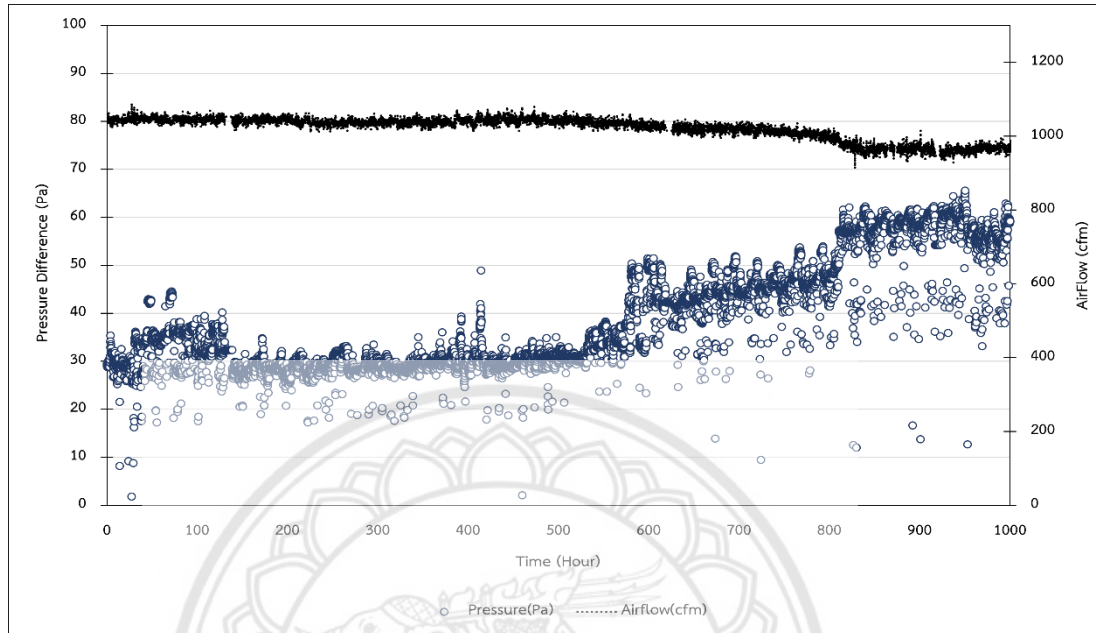
4.3.4 สภาพอากาศภายในห้องเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเวลากลางวันและกลางคืน

เมื่อพิจารณาในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวรได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงได้มีการติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น โดยเครื่องส่งลมเย็นนั้นมีการทำงานโดยการปรับอุณหภูมิแล้วยังสามารถดึงความชื้นออกจากอากาศอีกด้วยโดยรูปที่ 4.45 แสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงและภายนอก เมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ โดยใช้ข้อมูลของวันที่ 25 – 27 มิถุนายน พ.ศ.2564 จะเห็นได้ว่าระดับความชื้นในอากาศภายในห้องผู้ป่วย (Humidity 502) ในอากาศไม่คงที่ โดยในช่วงเวลากลางวันมีระดับความชื้นที่ต่ำกว่าระดับความชื้นในช่วงเวลากลางคืนและความชื้นภายนอก (Humidity outdoor) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความชื้นภายในห้องผู้ป่วยและความชื้นภายนอกนั้น ทำให้ทราบว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องผู้ป่วยนั้นมีการแปรผันตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโดยอุณหภูมิภายในห้องผู้ป่วยนั้นค่อนข้างจะคงที่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศได้มีการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.45 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่เวลากลางวันและกลางคืน

4.3.5 อัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้อง MAIR เมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเป็นเวลานาน



รูปที่ 4.46 ผลต่างความดันและอัตราการระบายอากาศเมื่อเปิดใช้งานเป็นเวลานาน

จากรูปที่ 4.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและผลต่างของความดันภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเป็นระยะเวลานาน โดยข้อมูลในส่วนนี้ได้ใช้ข้อมูลตั้งแต่มิถุนายน พ.ศ.2564 จนถึง สิงหาคม พ.ศ.2564 ของห้อง 502 โดยพบว่าในช่วงการใช้งาน 0 - 100 ชั่วโมงแรกนั้น อัตราการระบายอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1,045 cfm และมีผลต่างความดันในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35 Pa จากนั้นในช่วง 100 - 500 ชั่วโมง อัตราการระบายอากาศนั้นมีค่าคงที่แต่ผลต่างความดันนั้นมีค่าลดลงโดยมีค่าอยู่ที่ 29 Pa จากนั้นในช่วง 500 - 800 ชั่วโมง อัตราการระบายอากาศมีค่าลดลงแต่ผลต่างความดันภายในห้องมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงช่วง 800 - 1,000 ชั่วโมง อัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้องมีค่าคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 900 cfm และ 50 Pa ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วงหลังจากชั่วโมงที่ 500 อัตราการระบายอากาศมีค่าเท่าเดิมแต่ผลต่างความดันภายในห้องมีค่าสูงขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 800 อัตราการระบายอากาศลดลงและผลต่างของความดันภายในห้องสูงขึ้น ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน

4.4 การปรับปรุงจากข้อมูลการใช้งานและแบบสอบถาม

เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด Covid - 19 ได้มีการเปิดใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงเพื่อรับผู้ป่วยที่มีการแพร่เชื้อทางอากาศ ทำให้ได้มีการเก็บข้อมูลการใช้งานห้อง และมีการเก็บรวบรวมข้อเสนอแนะจากบุคลากรทางการแพทย์ และฝ่ายซ่อมบำรุง รวมถึงการปรับปรุงพารามิเตอร์เนื่องจากการวิเคราะห์การทำงานที่ผ่านมา เพื่อที่ใช้ในการปรับปรุงให้ดีขึ้น

4.4.1 แบบสอบถามและแนวทางแก้ไข

จากการสอบถามจากการเข้าใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ทำให้ทราบถึงความพึงพอใจในแต่ละหัวข้อและทราบถึงข้อเสนอแนะในการใช้งานจริง โดยสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ แบบประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ และแบบประเมินความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุง

1) แบบประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์

แบบประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ เป็นการรวบรวมการประเมินความพึงพอใจและข้อเสนอแนะของแพทย์และพยาบาล ที่เข้าใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยมีจำนวนของบุคลากรทางการแพทย์ที่ประเมินจำนวน 15 คน โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

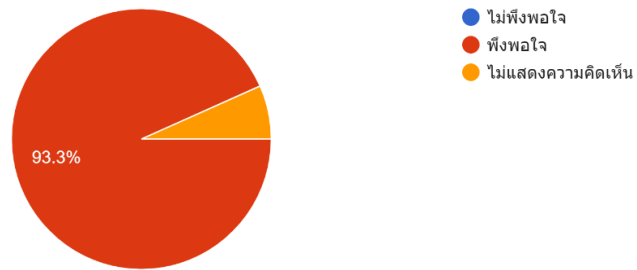
ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการเว้นระยะห่างทางสังคม (Social Distancing)

15 responses



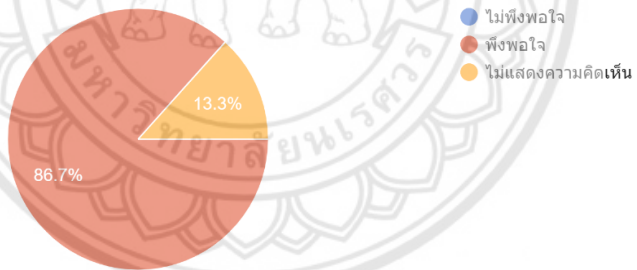
รูปที่ 4.47 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องการช่วยแก้ไขปัญหาเว้นระยะห่างทางสังคม

ความปลอดภัยต่อการเข้าไปปฏิบัติงานในห้อง
15 responses



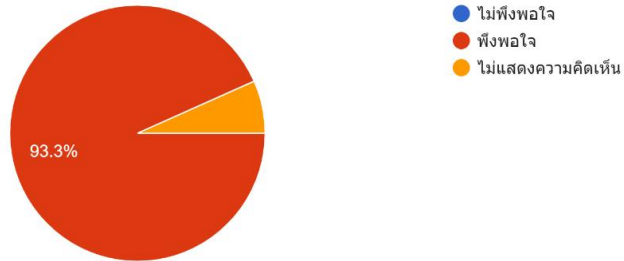
รูปที่ 4.48 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความปลอดภัยในการเข้าไปปฏิบัติงานในห้อง

ค่าพารามิเตอร์แสดงผลแบบ Real Time ทำให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยในการทำงาน
15 responses

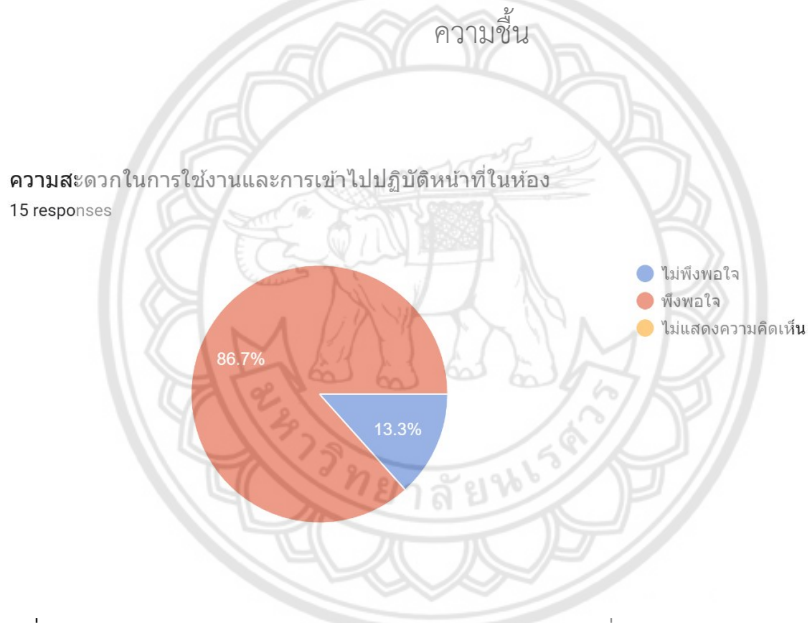


รูปที่ 4.49 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องค่าพารามิเตอร์และความมั่นใจในการใช้งาน

ความเหมาะสมของอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง
15 responses

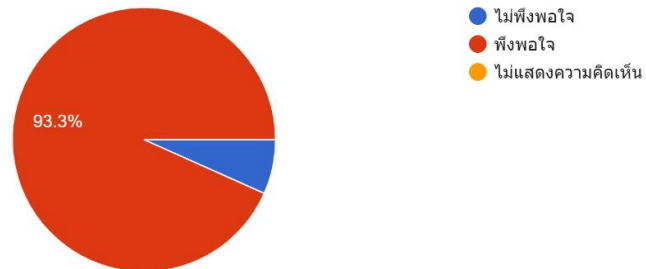


รูปที่ 4.50 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความเหมาะสมของอุณหภูมิและ



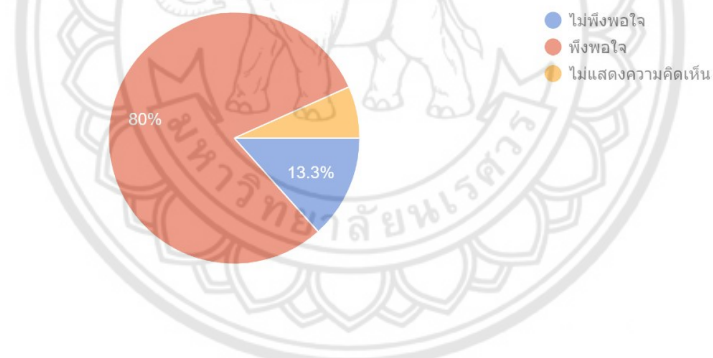
รูปที่ 4.51 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องความสะดวกในการใช้งานห้อง

ระบบการสั่งงานห้องแรงดันลบจาก Nurse Station
15 responses



รูปที่ 4.52 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องระบบสั่งงานห้องจาก Nurse station

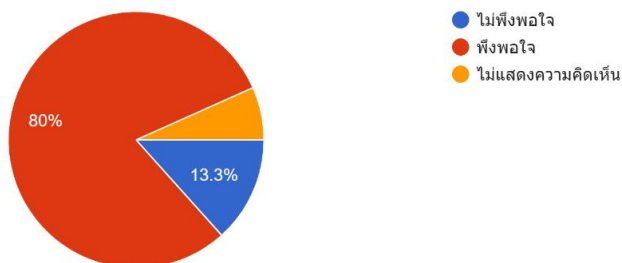
ระบบการควบคุมประตูห้องแรงดันลบมีความเหมาะสม
15 responses



รูปที่ 4.53 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องการควบคุมประตูของห้อง

เสียงรบกวนขณะมีการใช้ห้อง

15 responses



รูปที่ 4.54 ความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ในเรื่องเสียงรบกวนขณะใช้งานห้อง

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่า บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในแต่ละหัวข้อที่ได้ทำการประเมินและพบว่ามีบุคลากรทางการแพทย์ประเมินไม่พึงพอใจในหัวข้อความสะดวกในการใช้งานและการเข้าไปปฏิบัติหน้าที่ในห้อง พบว่ามีการประเมินไม่พึงพอใจ 2 คน คิดเป็น 13.3 % ของบุคลากรที่ประเมินทั้งหมด หัวข้อระบบการสั่งงานของห้องแรงดันลบจาก Nurse station พบว่ามีการประเมินไม่พึงพอใจ 1 คน คิดเป็น 6.7 % หัวข้อระบบการควบคุมประตูห้องแรงดันลบ และหัวข้อเสียงรบกวนขณะมีการใช้งานห้อง พบว่ามีการประเมินไม่พึงพอใจ 2 คน คิดเป็น 13.3 % โดยในการประเมินมีการเก็บรวบรวมข้อเสนอแนะของบุคลากรทางการแพทย์ โดยบุคลากรทางการแพทย์ต้องการทราบถึงช่องทางติดต่อฝ่ายซ่อมบำรุงเมื่อมีการใช้งานของห้องที่ผิดปกติไปเสียงรบกวนเนื่องจากการทำงานของฝ่ายซ่อมบำรุง คู่มือการใช้งานห้องและป้ายแสดงปุ่มควบคุมต่าง ๆ ที่ง่ายต่อการใช้งาน และได้มีการแจ้งปัญหาที่เกิดขึ้นโดยเป็นปัญหาเมื่อเปิดใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงจะทำให้บริเวณ Nurse station มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และอับชื้นและขนาดของห้อง Anteroom ที่แคบจนเกินไป

2) แบบประเมินความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุง

แบบประเมินความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นการประเมินความสะดวกและความเหมาะสมสำหรับการทำงานและการซ่อมบำรุงในส่วนต่าง ๆ ภายในห้อง โดยมีฝ่ายซ่อมบำรุงที่ทำแบบประเมินทั้งหมด 4 คน โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการเว้นระยะห่างทางสังคม (Social Distancing)
4 responses



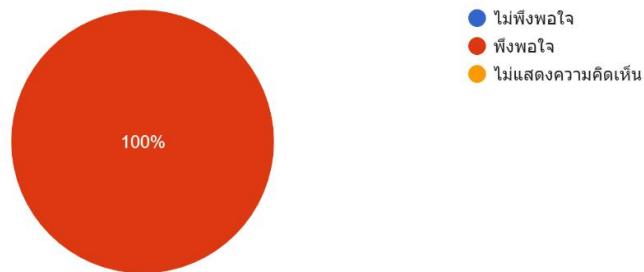
รูปที่ 4.55 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของการช่วยเรื่องเว้นระยะห่างทางสังคม

ความเหมาะสมในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ซ่อมบำรุง
4 responses



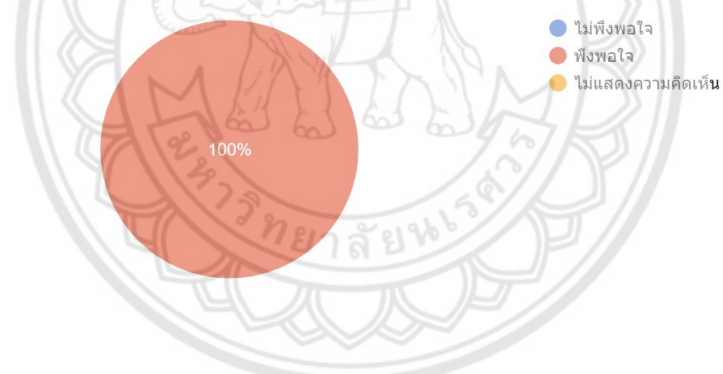
รูปที่ 4.56 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของความเหมาะสมในการเก็บข้อมูล

ความสะดวกในการใช้งานและการเข้าไปปฏิบัติหน้าที่ในห้อง
4 responses



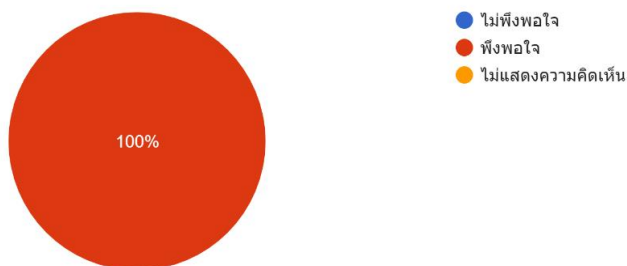
รูปที่ 4.57 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องความสะดวกในการใช้งานและปฏิบัติหน้าที่

ระบบการส่งงานห้องแรงดันลบจาก Nurse Station
4 responses



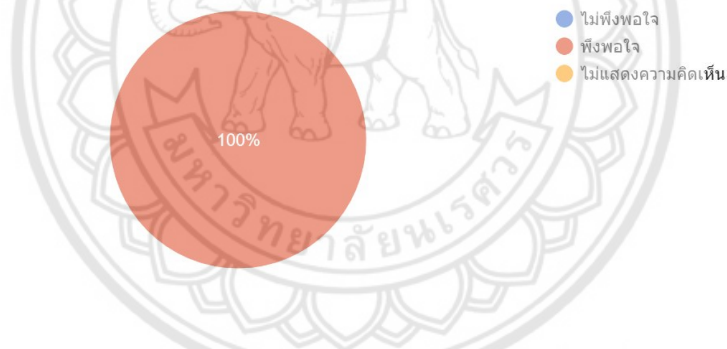
รูปที่ 4.58 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องของระบบส่งงานห้องจาก Nurse station

ระบบการควบคุมประตูห้องแรงดันลบมีความเหมาะสม
4 responses



รูปที่ 4.59 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องระบบการควบคุมประตูห้องแรงดันลบ

ความปลอดภัยต่อการเข้าไปปฏิบัติงานในห้อง
4 responses



รูปที่ 4.60 ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในเรื่องความปลอดภัยต่อการเข้าไปปฏิบัติงานในห้อง

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่า ความพึงพอใจของฝ่ายซ่อมบำรุงในหัวข้อต่าง ๆ มีความพึงพอใจเป็นอย่างมากในเรื่องของความปลอดภัยของการเข้าใช้งานห้อง เรื่องของการเว้นระยะห่างทางสังคม และรวมถึงความเหมาะสมของการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการซ่อมบำรุง

จากข้อเสนอแนะของบุคลากรทางการแพทย์ทำให้ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้งาน และมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่พบได้ดังนี้

- 1) จัดทำคู่มือของการใช้งานสำหรับการควบคุมต่าง ๆ เพื่อให้มีความเข้าใจในการเข้าใช้งานห้องที่ถูกต้องและปลอดภัย
- 2) จัดทำและรวบรวมช่องทางการติดต่อของฝ่ายซ่อมบำรุง

- 3) ติดตั้งเครื่องปรับอากาศใน Nurse station เพื่อลดกลิ่นอับชื้นภายในห้อง
- 4) ขอความร่วมมือฝ่ายซ่อมบำรุงเรื่องการใช้เสียงเนื่องจากเสียงดังรบกวนบุคลากรทางการแพทย์

4.4.2 การปรับปรุงพารามิเตอร์เนื่องจากการวิเคราะห์การทำงานที่ผ่านมา

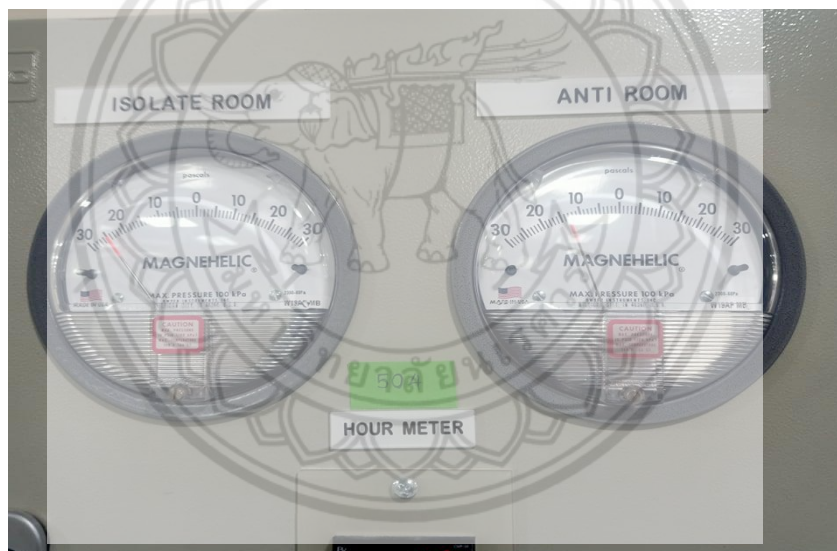
จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากหัวข้อที่ 4.3 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลจากพารามิเตอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ทำให้ทราบค่าของแต่ละพารามิเตอร์ที่มากเกินความจำเป็น โดยจะต้องมีการปรับลดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้เป็นการประหยัดพลังงานและงบประมาณโดยพารามิเตอร์ที่ควรปรับ คือ อัตราการระบายอากาศ โดยฝ่ายซ่อมบำรุงได้มีการปรับ gravity damper เพื่อให้มีอัตราการระบายอากาศที่ลดลงโดยฝ่ายซ่อมบำรุงมีการดำเนินงานปรับลดอัตราการระบายอากาศในวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2564 โดยปรับตั้งแต่ห้อง 504 ถึง 509 เนื่องจากอัตราการระบายอากาศก่อนหน้าที่มีการปรับนั้นมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน ทำให้การเปิดใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงมีการสิ้นเปลืองพลังงานเกินกว่าที่จำเป็น ดังนั้นการปรับการปรับให้การระบายอากาศลดลงจะส่งผลต่อความดันภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง โดยสามารถแสดงผลจากการปรับลดอัตราการระบายอากาศได้ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 4.61 และรูปที่ 4.62 แสดงตู้ควบคุมก่อนปรับค่าความดันภายในห้องผู้ป่วยและหลังปรับค่าความดันภายในห้องผู้ป่วย ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศและผลต่างของความดัน

เดือน	พารามิเตอร์	ห้อง							
		502	503	504	505	506	507	508	509
มิถุนายน (ก่อนปรับ)	Q (cfm)	1047	989	493	422	481	392	510	2181
	P (Pa)	-35	-41	-42	-49	-41	-33	-36	-40
สิงหาคม (หลังปรับ)	Q (cfm)	983	945	317	220	412	265	479	2059
	P (Pa)	-54	-48	-25	-22	-23	-22	-28	-38



รูปที่ 4.61 หน้าจอแสดงผลของค่าความดันภายในห้องผู้ป่วยก่อนมีการปรับอัตราการระบายอากาศ



รูปที่ 4.62 หน้าจอแสดงผลของค่าความดันภายในห้องผู้ป่วยหลังมีการปรับอัตราการระบายอากาศ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการศึกษาที่ได้จากการรวบรวมและศึกษาข้อมูลของสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง และวิเคราะห์ผลการศึกษาก่อน ๆ พร้อมทั้งได้ทำการวิเคราะห์และอธิบายข้อมูลสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง เพื่อเป็นประโยชน์แก่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

5.1 ผลการศึกษา

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศและระบายอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง รวมถึงการวิเคราะห์ผลจากการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องผู้ป่วย โดยได้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อาทิ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ผลต่างของความดัน, อัตราการไหลของอากาศ, ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณของฝุ่นPm_{2.5} และนำไปวิเคราะห์เพื่อให้ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นมีความเหมาะสมและได้มาตรฐานตามที่สถาบันต่าง ๆ ได้กำหนดไว้

5.1.1 ข้อกำหนดห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศนั้นซึ่งได้แก่ ASHRAE CDC WHO วสท. และ แบบกองช่าง พบว่ามาตรฐานทั้งหมดนั้นมีความใกล้เคียงและเป็นไปในทางทิศเดียวกัน คือ จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ไม่ควรมีการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยในบางรายละเอียด

5.1.2 การออกแบบและการสร้างแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

โดยการออกแบบห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นต้องคำนึงถึงมาตรฐานของห้องแยกเชื้อทางอากาศจากสถาบันต่าง ๆ อาทิเช่น ASHRAE CDC WHO และวสท. โดยได้มีการออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศ โดยการปรับปรุงห้องผู้ป่วยเดิมเป็นห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นในส่วนของการออกแบบห้อง 502 - 503 ถูกออกแบบให้ดึง Fresh Air 100% จากด้านนอก และห้อง 504 - 509 ถูกออกแบบให้ดึง Fresh Air 100% จากโถงทางเดิน ซึ่งในส่วนห้อง 502 และ 503 นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้ง AHU เครื่องใหม่ แต่ห้อง 504 - 509 นั้นจะใช้ AHU ตัวเดิมของทางโรงพยาบาล หลังจากนั้นจะเริ่มทำการปรับปรุงห้องตามที่ได้มีการออกแบบ

โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การปรับปรุงพื้นที่ก่อนที่จะทำห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง และการปรับปรุงห้องผู้ป่วยเดิมให้เป็นห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ โดยมีรายละเอียดดังในหัวข้อการศึกษาที่ 4.2 โดยพบว่าการออกแบบและการปรับปรุงห้องนั้นได้ตรงตามมาตรฐาน

5.1.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง

โดยจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงตั้งแต่เดือนมิถุนายนจนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2564 สามารถสรุปได้ ออกเป็น 4 ส่วน คือ สภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานจนเข้าสู่สภาวะคง, คุณภาพเฉลี่ยของสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ, สภาวะอากาศภายในห้องเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเวลากลางวันและกลางคืน และอัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้อง MAIRR ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเป็นเวลานาน

โดยจากการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเริ่มเปิดใช้งานจนเข้าสู่สภาวะคง โดยศึกษาสภาวะอากาศตั้งแต่ก่อนเปิดใช้งานหลังเปิดใช้งานและปิดการใช้งาน โดยใช้ข้อมูลของห้อง 502 วันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2564 พบว่าที่เวลา 0 จนถึง 25 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่ยังไม่ได้เปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ผลต่างความดัน และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนั้นมีค่าประมาณ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 73 \%RH , 0 Pa , และ 0 ACH ตามลำดับซึ่งไม่ได้มาตรฐานตามหัวข้อการศึกษาที่ 4.1.1 และพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 530 ppm ซึ่งยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารในขณะที่ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกห้องมีค่าประมาณ 450 ppm ตลอดที่ทำการสังเกต จากนั้นนาที่ที่ 25 - 50 เมื่อทำการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศพบว่าอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ และ ฝุ่น $\text{Pm}_{2.5}$ ลดลง และค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกับค่าผลต่างความดันนั้นมีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของระบบปรับอากาศเพื่อปรับสภาวะอากาศภายในห้องให้เหมาะสม โดยอุณหภูมิและความชื้นที่ลดนั้นเป็นผลมาจากการทำงานของ AHU ที่ทำหน้าที่ปรับอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง ในส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่น $\text{Pm}_{2.5}$ ที่ลดลงนั้นเกิดจากการระบายอากาศ โดยมีจะดึงอากาศที่ไม่ดีภายในห้องและนำอากาศ Fresh Air จากด้านนอกมาเติมส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่น $\text{Pm}_{2.5}$ ภายในห้องลดลง ในส่วนของผลต่างความดันที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากอัตราการระบายอากาศ โดยผลต่างความดันภายในห้องนั้นแปรผันตรงกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยหลังจากนาที่ที่ 50

พบว่าสภาวะอากาศภายในห้องนั้นมีค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงตามเวลา จึงสรุปได้ว่าห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นจำเป็นต้องใช้เวลาขั้นต่ำ 25 นาทีในการปรับสภาวะอากาศภายในห้องให้ได้สภาวะอากาศที่พร้อมใช้งาน ดังนั้นหากจะมีการใช้งานห้องควรมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศขั้นต่ำอย่างน้อย 25 นาที เพื่อความปลอดภัย แต่จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษานั้นได้แนะนำให้มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนการเข้าใช้งาน เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ที่ทำงานภายในอาคาร

ในการศึกษาหัวข้อคุณภาพเฉลี่ยของสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ โดยจะนำข้อมูลเฉลี่ย 1 สัปดาห์ซึ่งมีข้อมูลทั้งในช่วงวันที่มีการเปิดใช้งานและปิดการใช้งานห้อง พบว่าเมื่อทำการเปิดใช้งานห้อง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่น $Pm_{2.5}$ นั้นต่ำกว่าในตอนที่ไม่มีการเปิดใช้งานห้อง แต่ในส่วนของความชื้นนั้นยังสูงเกินกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นที่สูงเกินไป ทำให้ไม่สามารถดึงความชื้นได้ตามที่ต้องการ จึงสรุปได้ว่าเมื่อเปิดใช้งานระบบปรับอากาศนั้นคุณภาพอากาศเฉลี่ยภายในห้องนั้นถูกปรับสภาวะให้ดีกว่าขณะปิดใช้งานทั้งในแง่ของความสบายเชิงความร้อน และในแง่ของความปลอดภัยต่อทั้งตัวผู้ป่วยเองและบุคลากรทางการแพทย์ โดยเป็นไปตามมาตรฐานดังที่ศึกษาในหัวข้อที่ 4.1

ในการศึกษาอัตราการใช้พลังงานเมื่อมีการเปิดใช้งานห้อง โดยการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องและอัตราการใช้พลังงานเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่างๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ คุณภาพอากาศภายในห้อง และอัตราการใช้พลังงาน โดยจะเปรียบเทียบในวันที่มีการใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH และ 20 ACH พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศนั้นมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในห้อง โดยความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศของภายในห้องที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH นั้นจะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 20 ACH แต่พบว่าอัตราการใช้พลังงานเมื่อเปิดใช้งานห้องที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH นั้นจะมีค่าต่ำกว่าที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 20 ACH จึงสรุปได้ว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มาก จะทำให้คุณภาพอากาศนั้นดีขึ้นแต่ก็จะทำให้เกิดอัตราการใช้พลังงานที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นในการเลือกอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง ควรคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก โดยอ้างอิงตามมาตรฐานและมาตรการการป้องกันการแพร่ระบาด จึงสรุปได้ว่าห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้น มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงเกินความจำเป็น ควรมีการปรับลดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้เหมาะสม โดยเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อลดอัตราการใช้พลังงานที่สูงเกินความจำเป็น

ในการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเวลากลางวันและกลางคืน โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างภายในห้องและนอกห้องขณะที่มีการเปิดการใช้งานระบบปรับอากาศนั้น เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะอากาศภายในห้องและสภาวะอากาศด้านนอก พบว่าในเวลากลางคืนอุณหภูมิภายนอกจะลดต่ำลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ในห้องนั้นอุณหภูมิจะคงที่ แต่ความชื้นสัมพัทธ์นั้นจะสูงขึ้นเช่นเดียวกับภายนอก และในตอนกลางวันอุณหภูมิภายนอกจะมีค่าสูงขึ้นแต่ความชื้นสัมพัทธ์จะลดต่ำลง ในขณะที่ในห้องนั้นอุณหภูมิจะคงที่ แต่ความชื้นสัมพัทธ์นั้นจะต่ำลงเช่นเดียวกับภายนอก จึงสรุปได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในห้องและนอกห้องนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยความชื้นภายในห้องนั้นจะแปรผันตามด้านนอกซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรั่วซึมของอากาศและที่อุณหภูมิภายในห้องนั้นคงที่ไม่แปรผันตามอุณหภูมิภายนอกนั้นเป็นผลมาจากการทำงานของระบบปรับอากาศโดยระบบจะรักษาอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่

ในการศึกษาอัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้อง MAIRR ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปิดใช้งานห้องเป็นเวลานาน โดยการเก็บข้อมูลอัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันภายในห้องในขณะที่เปิดใช้งานห้องเป็นระยะเวลา 2 เดือน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและผลต่างความดันกับเวลาที่ใช้งาน พบว่าตลอดระยะเวลา 3 เดือนนั้นมีการเปิดใช้งานห้องประมาณ 1,000 ชั่วโมง และพบว่าในช่วง 0 - 800 ชั่วโมงนั้นอัตราการระบายอากาศคงที่และจะมีค่าลดลงหลังการใช้งานไป 800 ชั่วโมง ในขณะที่ในช่วง 0 - 500 ชั่วโมงแรกผลต่างความดันภายในห้องนั้นมีค่าใกล้เคียงกันจนหลังชั่วโมงที่ 500 นั้นผลต่างความดันภายในห้องนั้นมีค่าสูงขึ้น หรือกล่าวคือ ภายในห้องมีความดันเป็นลบสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่าอัตราการระบายอากาศที่ลดลงนั้นเป็นผลมาจากการอุดตันของแผงกรองอากาศ แต่ในส่วนที่ผลต่างความดันเพิ่มขึ้นนั้นยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดซึ่งผลต่างความดันในห้องนั้นแปรผันตรงกับผลต่างระหว่างอัตราการระบายอากาศและอัตราการเติมอากาศ โดยหนึ่งในสาเหตุที่คาดการณ์ คือ อาจเกิดการอุดตันของแผงกรองอากาศในส่วนของ AHU ซึ่งส่งผลให้อัตราการเติมอากาศมีค่าลดลง ทำให้ผลต่างระหว่างอัตราการระบายอากาศและอัตราการเติมอากาศมีค่าสูงขึ้นทำให้ผลต่างความดันนั้นมีค่าสูงขึ้นด้วยนั่นเอง อย่างไรก็ตามแนะนำให้มีการตรวจสอบอย่างแน่ชัดเพื่อยืนยันสาเหตุที่แท้จริง โดยการวัดอัตราการเติมอากาศจาก AHU

5.1.4 การปรับปรุงจากข้อมูลการใช้งานและแบบสอบถาม

จากการสำรวจความพึงพอใจต่อการใช้งานห้องจากบุคลากรทางการแพทย์และฝ่ายซ่อมบำรุง โดยการจัดทำแบบสอบถามออนไลน์ในหัวข้อความพึงพอใจต่อการใช้งานห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศให้แก่บุคลากรทางการแพทย์ และฝ่ายซ่อมบำรุง พบว่าได้รับความพึงพอใจจากทั้ง

บุคลากรทางการแพทย์ และฝ่ายซ่อมบำรุง โดยในส่วนของบุคลากรทางการแพทย์ได้เสนอแนะข้อคิดเห็นที่จะช่วยปรับปรุงการใช้งานห้องให้เป็นที่น่าพอใจมากขึ้นซึ่งได้แก่แนะนำให้จัดทำคู่มือของการใช้งานสำหรับการควบคุมต่าง ๆ เพื่อให้มีความเข้าใจในการเข้าใช้งานห้องที่ถูกต้องและปลอดภัย แนะนำให้จัดทำและรวบรวมช่องทางการติดต่อของฝ่ายซ่อมบำรุง แนะนำติดตั้งเครื่องปรับอากาศใน Nurse station เพื่อลดกลิ่นอับขึ้นภายในห้อง และขอความร่วมมือฝ่ายซ่อมบำรุงเรื่องการใช้เสียงเนื่องจากเสียงดังรบกวนบุคลากรทางการแพทย์ จึงสรุปได้ว่านั้นการใช้งานห้อง MAIR นั้นเป็นที่พึงพอใจต่อบุคลากรทางการแพทย์ และฝ่ายซ่อมบำรุง

และจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.3 พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและผลต่างความดันภายในห้องนั้นสูงเกินกว่ามาตรฐานมากส่งผลให้ใช้พลังงานเกินความจำเป็น จำเป็นต้องมีการปรับลดอัตราการระบายอากาศเพื่อให้เหมาะสม โดยการปรับที่แอดมเปอร์ที่ตู้ระบายอากาศโดยจะปรับของห้อง 504 - 509 พบว่าหลังจากมีการปรับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและผลต่างความดันภายในห้อง 504 - 508 ลดลงจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่ห้อง 509 นั้นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและผลต่างความดันมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ยังสูงเกินความจำเป็น

ซึ่งจากการศึกษานั้นสามารถสรุปได้ว่าห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงที่จัดทำบริเวณชั้น 5 ของอาคารสิรินธร ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร นั้นสามารถรองรับผู้ป่วย Covid-19 และผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศจากโรคอื่น ๆ ได้ เนื่องจากระบบปรับอากาศภายในห้องได้ถูกออกแบบและสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานดังที่ศึกษาในหัวข้อที่ 4.1 โดยผู้ออกแบบได้คำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ซึ่งห้องสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อละอองลอยที่สามารถแพร่กระจายผ่านระบบปรับอากาศได้ โดยห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงนั้นได้ใช้วิธีการระบายอากาศซึ่งถือเป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดวิธีหนึ่งในการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัส โดยห้องจะไม่มีกรนำอากาศที่ใช้แล้วมาหมุนเวียนใช้งานอีกครั้ง และแต่ละห้องนั้นจะแยกระบบปรับอากาศจากกันอย่างชัดเจนกล่าวคือ เครื่องส่งลมเย็นกับตู้ระบายอากาศจะถูกใช้ภายในห้องเท่านั้น จะไม่มีการส่งลมเย็นหรือดึงอากาศข้ามห้องมารวมกัน เพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์การแพร่เชื้อข้ามพื้นที่ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ที่มีสุขภาพปกติที่ต้องทำงานในอาคาร ซึ่งจากการศึกษานี้ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงสำหรับสถานพยาบาลอื่น ๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้อมูลและจัดทำโครงการในครั้งนี้ ทางผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะดังนี้

- 1) ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลงทุกห้องยังคงมีความชื้นที่สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ควรลดอุณหภูมิที่คอยล์เย็น เพื่อที่จะสามารถดึงความชื้นออกได้มากขึ้น
- 2) การทำงานของเครื่อง AHU และ EFU มีเสียงที่ดัง ควรหามาตรการในการลดเสียงรบกวนจากเครื่อง AHU และ EFU
- 3) ควรติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วของอัตราการไหลของอากาศของเครื่อง AHU เพื่อให้ครอบคลุมในการวิเคราะห์ข้อมูล



บรรณานุกรม

1. ยูเนส เอ เซนเกล และ ไมเคิล เอ. โบลีส, เทอร์โมไดนามิกส์, แปลโดย รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา และ ผศ.ดร.ขวัญจิต วงษ์ขารี (กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ แมคกรอ-ฮิล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ แอลแอลซี 2554), หน้า 413
2. สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2543). เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.
3. พูลพร แสงบางปลา. (2558). ความรู้พื้นฐานวิชาชีพอวิศวกรรมเครื่องกล. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)
4. H. Yang, J. Burnett, K. Lau and L. Lu. (2001). Comparing Central and SplitAir[1]Conditioning System. ASHRAE Journal. 36-38
5. รศ.แมนสรวง วุฒิอุดมเลิศ. (16 กันยายน 2555). เชื้อที่มากับมลพิษในอาคาร: รา. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/index.php>
6. ยุวศรี ต่ายคำ.3 พฤศจิกายน 2553.มลพิษทางอากาศ (Air Pollution).สืบค้นเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://www.scimath.org/article-chemistry/item/1341-air-pollution>
7. สุพจน์ เดชะอำนวยวิทย์. การออกแบบห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วย (Isolation Room Design). บทความวิชาการชุดที่ 17 สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย
8. กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.คู่มือแนวทางการพัฒนาห้องแยกโรคผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2 .หน้าที่ 1-7
9. นินนาท ราชประดิษฐ์. (2561). วิศวกรรมการปรับอากาศและระบายอากาศ. เอกสารประกอบการในวิชาAir-Conditioning and Ventilation Engineering. ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. Srivatsa, Prajwala, and Amit Pandhare. "Indoor air quality: IoT solution." Proceedings of the National Conference NCPCI. 2016.

11. Lipinski, Tom, et al. "Review of ventilation strategies to reduce the risk of disease transmission in high occupancy buildings." *International Journal of Thermofluids* (2020): 100045.
12. Nembhard, Melanie D., D. Jeff Burton, and Joel M. Cohen. "Ventilation use in nonmedical settings during COVID-19: Cleaning protocol, maintenance, and recommendations." *Toxicology and industrial health* 36.9 (2020): 644-653
13. Morawska, Lidia, et al. "How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?." *Environment international* 142 (2020): 105832
14. Cho, Jinkyun, Kyunghun Woo, and Byungseon S. Kim. "Removal of airborne contamination in airborne infectious isolation rooms." *ASHRAE Journal* 61.2 (2019): 8-21.
15. Chinn, Raymond YW และ Lynne Schulster "แนวทางการควบคุมการติดเชื้อในสิ่งแวดล้อม ในสถานพยาบาลคำแนะนำของ CDC และ Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)" (2546).
16. Hyttinen, Marko, et al. "Airborne infection isolation rooms—a review of experimental studies." *Indoor and Built Environment* 20.6 (2011): 584-59
17. Jones, Andy P. "Indoor air quality and health." *Atmospheric environment* 33.28 (1999): 4535-4564.
18. Jung, Chien-Cheng, et al. "Indoor air quality varies with ventilation types and working areas in hospitals." *Building and Environment* 85 (2015): 190-195.
19. Culp Jr, William C. "Coronavirus disease 2019: In-home isolation room construction." *A&a Practice* 14.6 (2020): e01218.

20. Rouleau, Jean, and Louis Gosselin. "Impacts of the COVID-19 lockdown on energy consumption in a Canadian social housing building." *Applied Energy* 287 (2021): 116565.
21. Miller, Shelly L., et al. "Implementing a negative pressure isolation space within a skilled nursing facility to control SARS-CoV-2 transmission." *American journal of infection control* 49.4 (2021): 438-446.
22. Subhash, Shobha S., et al. "Isolation anterooms: Important components of airborne infection control." *American journal of infection control* 41.5 (2013): 452-455.
23. Adams, Noah J., David L. Johnson, and Robert A. Lynch. "The effect of pressure differential and care provider movement on airborne infectious isolation room containment effectiveness." *American journal of infection control* 39.2 (2011): 91-97.
24. Azuma, Kenichi, et al. "Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control." *Environmental health and preventive medicine* 25.1 (2020): 1-16.
25. Lipinski, Tom, et al. "Review of ventilation strategies to reduce the risk of disease transmission in high occupancy buildings." *International Journal of Thermofluids* (2020): 100045.
26. Pan, Yungang, et al. "Re-thinking of engineering operation solutions to HVAC systems under the emerging COVID-19 pandemic." *Journal of Building Engineering* (2021): 102889.

ภาคผนวก ก
การคำนวณระบบปรับอากาศของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบ
ตัดแปลง



ตัวอย่าง การคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air change)

การคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

สำหรับการแลกเปลี่ยนอากาศโดยทั่วไปมักจะใช้ค่าของ Air change (ACH) ในการคำนวณการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับห้องต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$ACH = \frac{Q}{V} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

เลือกใช้ชุดข้อมูลวันที่ 10 เมษายน พ.ศ.2564 เวลา 13:00 น. ของห้อง 502 มีค่าอัตราการไหลของอากาศ (Airflow) ที่ 17,645 m³/hr และปริมาตรของห้องผู้ป่วย คือ 42.588 m³ ซึ่งสามารถหาปริมาตรได้จากแบบห้องผู้ป่วย โดยสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรได้จากสมการที่ 2.2

$$Q = v A \quad \text{สมการที่ 2.2a}$$

โดยที่

ความเร็วของอากาศ $v = 17,645 \text{ m/hr}$

พื้นที่หน้าตัดของท่อ $A = 0.1032256 \text{ m}^2$

จะได้

อัตราการไหลเชิงปริมาตร $Q = 1,821.415 \text{ m}^3/\text{hr}$

สามารถคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรในหน่วย cfm ได้จากสมการที่ 2.2b

$$\text{cfm} = 0.588 \times Q \quad \text{สมการที่ 2.2b}$$

ดังนั้น $\text{cfm} = 1,070.992 \text{ cfm}$

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) = $1,821.415 / 42.588 = 42.76 \text{ ACH}$

ดังนั้น อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเทียบกับปริมาตรห้องในระยะเวลา 1 ชั่วโมง (ACH) เท่ากับ 42.76 ACH

ตัวอย่าง การคำนวณอัตราการถ่ายเทพลังงานของอากาศ

อัตราการถ่ายเทพลังงานเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานของอากาศจากสภาวะใด ๆ ไปอีก สภาวะหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพลังงานทั้งพลังงานของความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) ซึ่งเมื่อนำมารวมกันจะได้เป็นพลังงานความร้อนรวม (Total heat)

การคำนวณภาระการทำความเย็นจากบริเวณห้อง

กำหนด

- กำหนดค่าตัวแปรเท่ากับ 700 btu/hr * m²
- ขนาดของห้องผู้ป่วย 15.21 m²

จาก ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากบริเวณห้อง = ภาระการทำความเย็น * พื้นที่

จะได้ ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากบริเวณห้อง = 700 * 15.21

ดังนั้น ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากบริเวณห้อง = 10,647 btu/hr

การคำนวณอัตราการถ่ายเทพลังงานของอากาศเนื่องจากการระบายอากาศ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$Q_s = 1.02\dot{m}(T_2 - T_1)$$

$$Q_L = 2548\dot{m}(w_2 - w_1)$$

เลือกใช้ชุดข้อมูลวันที่ 10 เมษายน พ.ศ.2564 เวลา 13:00 น. ของห้อง 502 มีค่าอัตราการไหลของอากาศ (Airflow) ที่ 17,645 m³/hr อุณหภูมิภายในห้อง (T₁) คือ 27.1 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 74 %RH และค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก (T₂) คือ 34.4 °C และ 61 %RH ตามลำดับ ทำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มา plot ใน Psychometric chart จะได้ w₂ และ w₁ ที่ 0.021074 kg/kg_{da} และ 0.016738 kg/kg_{da} ตามลำดับ

จากสมการ $Q_s = 1.02\dot{m}(T_2 - T_1)$

สามารถแทนค่าได้ดังนี้ $Q_s = 1.02(609.7)(34.4 - 27.1)$

ดังนั้น $Q_s = 4.54 \text{ kW}$ หรือ 15,503.345 btu/hr

จากสมการ $Q_L = 2548\dot{m}(w_2 - w_1)$

สามารถแทนค่าได้ดังนี้ $Q_L = 2548(609.7)(0.021074 - 0.016738)$

ดังนั้น $Q_L = 6.59 \text{ kW}$ หรือ 22,509.819 btu/hr

จากสมการ $Q_T = Q_s + Q_L$

สามารถแทนค่าได้ดังนี้ $Q_T = 15,503.345 + 22,509.819$

ดังนั้น อัตราการถ่ายเทพลังงานของอากาศเนื่องจากการระบายอากาศรวม คือ 38,013.164 Btu/hr

จากสมการ $\text{Power} = (2.93 \times 10^{-4})(\text{OATH})$

สามารถแทนค่าได้ดังนี้ $\text{Power} = 11.137 \text{ kW}$





ภาคผนวก ข
ตารางข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดของห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศแบบดัดแปลง (ต่อ)

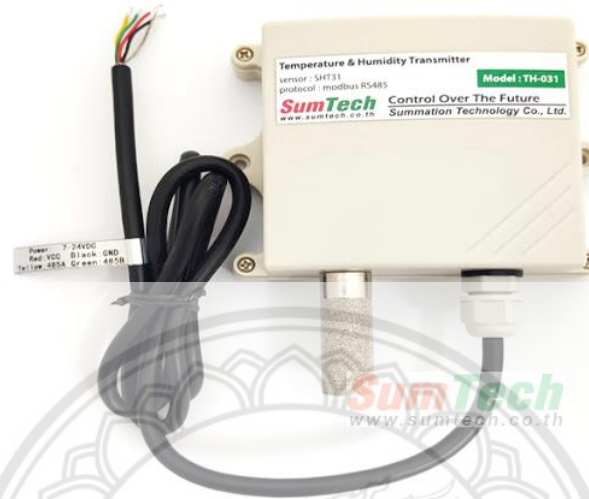
ลำดับ	รายการ	502	503	504	505	506	507	508	509
	19.11 มีระบบ User Login และการจัดเก็บข้อมูลแจ้งเตือนแบบ Alarm Log	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี





รายละเอียดทางเทคนิคของเซ็นเซอร์

1. อุณหภูมิ / ความชื้น : TH-031



รูปที่ ค.1 ชุดเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

DC power supply: 10 - 30 VDC

Maximum power consumption: RS485 output 0.4 W

Accuracy: Humidity: $\pm 3\%$ RH (5% RH ~ 95% RH, 25 °C) Temperature: ± 0.5 °C (25°C)

transmitter circuit operating temperature: -20°C ~ 60°C, 0% RH ~ 80% RH

Probe Operating temperature: -40 °C ~ 80 °C

Probe Humidity: 0 % RH ~ 100 % RH

Long-term stability:

Humidity: ≤ 1 % RH / y

Temperature: ≤ 0.1 C / y

Response time:

Humidity: ≤ 6 s (1 m / s wind speed)

Temperature: ≤ 18 s (1 m / s wind speed)

Output: Current output: rs485 output

2. อุณหภูมิ / ความชื้น / คาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ ค.2 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ, ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

DC power supply: 10 - 30 VDC

Maximum power consumption: 0.4 W

Humidity 0 % RH ~ 100 % RH

Temperature: -40 - 80 °C

Measuring range:

CO2 concentration: 0-5000 ppm

Accuracy: + - (40 ppm + 3 % F.S) 25C

Operating Temperature: -20 °C - 60 °C, 0% RH-80% RH

Long-term stability: <= 30 PPM / Y

CO2 Response time: <= 10 s

Temperature Response time <= 18 s

humidity Response time <= 6 s

System Warm-up time: 2 min (available) (maximum precision 10 min)

output signal: 485

3. ความดัน



รูปที่ ค.3 เซนเซอร์ตรวจวัดผลต่างของความดัน

Medium: non-combustible, non-corrosive air, insensitive to moisture, dust, condensation and oil

Working Temp.: -20~70 °C

Medium Temp.: 0 - 60 °C

Compensated Temp.: 0 - 50 °C

Working pressure: 1, 2, 5 or 10Kpa for different ranges, overload 10xFS, burst 15xFS

Process Connection: 1/8" ID tubing

Display: 5 digit LCD, with unit indication, field upgradable

Output: 0~10V, 4~20mA (2 wires), RS485 selectable

Output Load: $\leq 500\Omega$ (current), $\geq 2K\Omega$ (voltage)

Accuracy: DPT: $\pm 1.0\%FS$, DPTL: $\pm 2.0\%FS$

Long term stability: $\pm 0.5\%FS$ /Year

Temp. Drift: $< 0.05\%FS/^\circ C$

Response time: 0.5 - 30 s, can be set by button keys

Power: 15~28V AC/15~36 VDC

Protection: IP54

4. ความเร็วลม



รูปที่ ค.4 เซนเซอร์วัดความเร็วลม

Power Supply : 24V DC

Measure Range : 0-10 m/s

Output : Rs485{modbus-RTU}

Measure Accuracy : $\pm\{0.2 \text{ m/s} + 3 \% \text{ of MV}\}$

Consumption : 2.5 W

Protection Rating : IP65

Response Latency : 0.2 s

Resolution : 0.01 m/s

Sensing Elements : Thermal film sensor

Working Environment : Temperature: -40 - 80°C Humidity : 5%-95%

Probe Length : Installation of flange :150 mm / Customization

Material of Probe : ABS Engineering plastic

5. PM 2.5

รูปที่ ค.5 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นPM_{2.5}

Sampling object : PM_{2.5}

Range : 0-1000 ug/m³

Accuracy : ±3 %FS@25°C

Supply : 12-24 VDC

Output: RS485

Power Consumption : <50mA@24V(4-20mA)

Warm Up Time : 3 min

Response Time : <90 s

Temperature Drift : ≤0.2 %FS/°C

Stability : <±2 %FS

Repeatability : <±1 %FS

Operating Temperature : -20°C -+ 50°C@15-80%RH

Storage : -40 - 60°C@20%-90%RH

Indoor use : wall-mounted installation

6. ชุด Control และ Datalogger

6.1 ส่วนที่ 1 แสดงผล และการตั้งค่า โดย ปุ่มหมุนการตั้งค่า จะมี 2 ปุ่มหมุนให้สามารถปรับค่าได้



รูปที่ ค.6 ชุด Control และ Datalogger (ด้านหน้า)

6.2 ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ต่อกับ เซ็นเซอร์ โดยสามารถต่อเซ็นเซอร์ได้ 10 ชุด แบ่งออกเป็น การสื่อสารแบบ 485 จำนวน 9 ช่อง และ Analog จำนวน 1 ช่อง ซึ่งห้ามเสียบสลับเป็นอันขาด การสื่อสารกับ เซ็นเซอร์ 485 สามารถเสียบช่องใดก็ได้ จาก 9 ช่อง



รูปที่ ค.7 ชุด Control และ Datalogger (ด้านหลัง)

6.3 ส่วนที่ 3 เป็นส่วนการบันทึกข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนบันทึกข้อมูล ลงสู่ SD-Card และ เข้า Cloud โดยข้อมูลทั้ง 2 ชนิดที่บันทึก จะมีเวลาบันทึกโดยตลอด ซึ่งใช้ ไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ CR 2032



รูปที่ ค.8 ชุด Control และ Datalogger (ด้านข้าง)

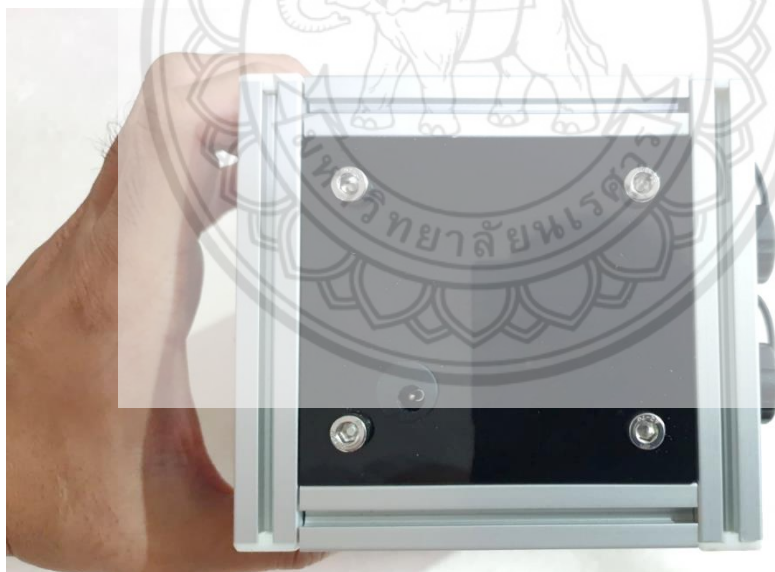
6.4 ส่วนที่ 4 เป็นส่วน Output ขอสัญญาณ ที่สามารถนำไปควบคุมมอเตอร์ หรืออุปกรณ์ ไฟฟ้ากระแสตรง ไม่เกิน 30A โดยสามารถเลือกไฟเลี้ยงในการใช้อุปกรณ์ได้ แต่**ไม่ต้อง**เกิน 24V

ช่องสัญญาณ	ความหมาย
VS-	ไฟเลี้ยง -
VS+	ไฟเลี้ยง +
MB	มอเตอร์ -
MA	มอเตอร์ +



รูปที่ ค.9 ชุด Control และ Datalogger (ด้านหลัง)

6.5 ส่วนที่ 5 ในส่วนนี้เป็นช่องสำหรับจ่ายไฟ 24V เพื่อเลี้ยงให้กับระบบ และ เซ็นเซอร์ใน
การใช้งาน

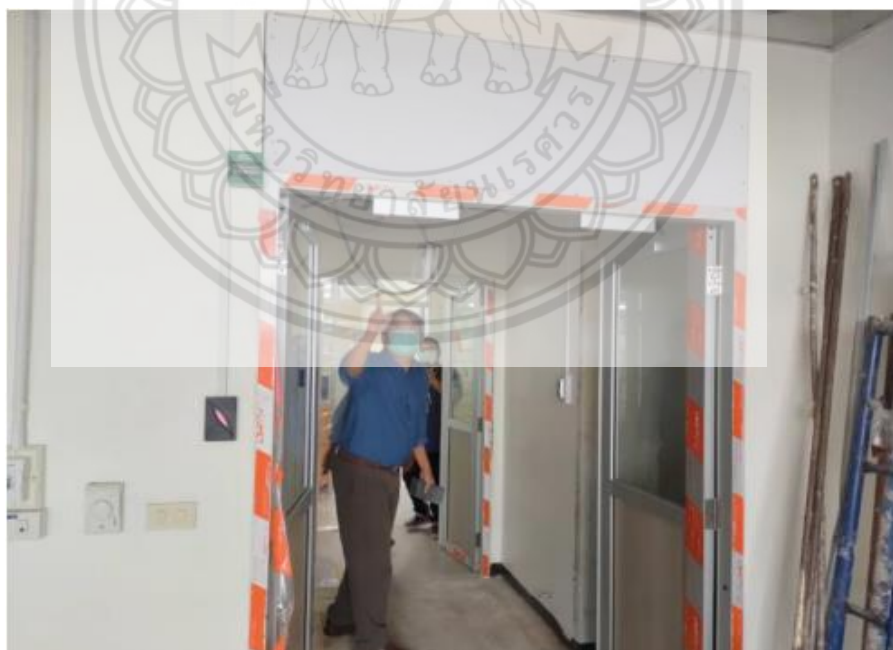


รูปที่ ค.10 ชุด Control และ Datalogger (ด้านข้าง)





รูปที่ ง.1 การปรับปรุงห้องพยาบาล (Nurse station)



รูปที่ ง.2 การสร้างห้อง Ante room



รูปที่ ง.3 การย้ายประตูห้องน้ำให้เปิดเข้าใช้งานด้านห้องผู้ป่วย



รูปที่ ง.4 ประตูอัตโนมัติที่ใช้คีย์การ์ดในการเปิดภายในห้องผู้ป่วย



รูปที่ ง.5 การใช้พลาสติกใสในการปิดพื้นที่ทำงาน



รูปที่ ง.6 การรื้อพื้นกระเบื้อง



รูปที่ ง.7 การร้อยฝ้าเพดาน



รูปที่ ง.8 การทำความสะอาดพัลลมของเครื่องส่งลมเย็น



รูปที่ ง.9 ท่อลมระบบปรับอากาศและระบายอากาศ



รูปที่ ง.10 การเดินระบบไฟฟ้าเหนือฝ้าเพดาน



รูปที่ ง.11 การติดตั้งท่อส่งน้ำเย็นเข้าเครื่องส่งลมเย็น



รูปที่ ง.12 การเตรียมพื้นห้องสำหรับปูกระเบื้องยาง



รูปที่ ง.13 การติดตั้งฝ้าเพดาน



รูปที่ ง.14 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ



รูปที่ ง.15 การทดสอบความแม่นยำของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพ



รูปที่ ง.16 จอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากชุดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ห้องพยาบาล