การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล

โดย

นายกิตติคุณ ยกทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล

โดย

นายกิตติคุณ ยกทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ENHANCEMENT OF VENTILATION IN MULTIPLE-BEDS WARD OF HOSPITAL

BY

MR KITTIKUN YOKSAP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE

ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายกิตติคุณ ยกทรัพย์

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก _____
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร. ดารุณี จารีมิตร)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล
ชื่อผู้เขียน	นายกิตติคุณ ยกทรัพย์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change rate per Hour, ACH) และอายุของอากาศ (Age of Air, AGE) ก่อนและหลังการติดตั้งระบบกลระบายอากาศของผังหอผู้ป่วยรวมมาตรฐานแต่ละประเภท การวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ (1) การสำรวจผังอาคารหอผู้ป่วยรวมเพื่อกำหนดเป็นผังอาคารมาตรฐาน พบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก และผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (2) การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) ชื่อ PHOENICS FLAIR พบว่า ในเวลากลางวันมีค่า ACH AGE และความเร็วลมสูงกว่าเวลากลางคืน (3) การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางต่อการไหลของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม พบว่าเมื่อสิ่งกีดขวางมีความยาวเพิ่มขึ้น ค่า ACH และความเร็วลม มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า AGE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเกินกว่าค่าอายุของอากาศมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 600 วินาที อยู่ที่ 2257.2 วินาที เมื่อสิ่งกีดขวางมีความยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวพื้นที่หอผู้ป่วย โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางซึ่งมีอากาศไหลวนและมีความเร็วลมต่ำ (4) การจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศ ด้วยระบบกลระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัด และระบบท่ออากาศ พบว่าค่า ACH เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศจากเดิม 9.24 -20.33 เพิ่มขึ้นเป็น 16.12 – 36.49 มีความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.13 เมตร/วินาที เป็น 0.30-0.36 เมตร/วินาที ยกเว้นผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่ใช้ระบบท่ออากาศ จะมีความเร็มลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับอายุของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลพบว่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีค่าลดลงจากเดิม 108.1 – 430.0 วินาที เหลือ 95.8 – 100.5 วินาที แต่ในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางและแบบข้ามฟาก เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศแบบพัดลม

ประเภทใบพัด จะมีค่าอายุของอากาศสูงสุดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการไหลวนของอากาศในพื้นที่ที่ไม่ใช่ตำแหน่งเตียงเพิ่มขึ้น และผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบท่ออากาศยังมีพื้นที่ทางเดินหลักมีอายุของอากาศเกินมาตรฐาน จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้ โดยสามารถเพิ่มค่า ACH และค่าความเร็วลม รวมทั้งลดอายุของอากาศในพื้นที่ระบบระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัดสามารถเพิ่มความเร็วอากาศภายในพื้นที่ให้สูงขึ้น และระบบท่ออากาศสามารถลดอายุของอากาศได้ ทั้งนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศกับอาคารประเภทอื่นๆและแนวทางในการใช้ระบบกลระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัดรวมกับระบบท่ออากาศ

คำสำคัญ: การระบายอากาศ, การระบายอากาศธรรมชาติ, การระบายอากาศระบบกล, ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ, อายุของอากาศ, โรงพยาบาล, หอผู้ป่วยรวม

Thesis Title	Enhancement of Ventilation in Multiple-Beds Ward of Hospital
Author	MR Kittikun Yoksap
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Chalermwat Tantasavasdi
Academic Years	2015

ABSTRACT

This experimental research is aimed at the enhancement of ventilation in multiple-beds wards of hospitals in Thailand. The research compared the air change rate per hour (ACH) and the age of air (AGE) in each types of standard ward plans. The study progresses through four stages: (1) A sample of ward plans are surveyed and categorized into three types based on ventilation mechanism; two-way ventilation plans, cross ventilation plans, and hybrid ventilation plans. (2) PHOENICS/FLAIR simulation is used for CFD (computational fluid dynamics) airflow analysis of the plans. Results indicate that ACH, AGE, and airflow velocity are higher during day time. (3) Effects of airflow obstruction in hybrid ventilation plan. It is found that growth of obstruction size causes AGE to increase and ACH and air velocity to decline. Specifically, in a simulated scenario where flow of air is blocked along more than half the length of an area, AGE rises to 2,257.2 seconds, significantly exceeding the standard value of 600 seconds. (4) Mechanical ventilation, utilizing propeller fans and air ducts, is integrated into each plan's system. Simulations show considerable increases in average ACH from 9.24 - 20.33 to 16.12 – 36.49, and average bed-zone air velocity from 0.13 m/s to 0.3 - 0.36 m/s. This excludes cases of air duct integrated cross ventilation plans where inflow of air is partially obstructed, where the average bed-zone air velocity is only slightly increased. The range of AGE values shifts from 108.1 - 430 seconds to 95.8 - 100.5 seconds. Two-way ventilation plans and cross ventilation plans that utilize propeller fans are exceptions to this change, in which cases the simulations display an increase in

maximum AGE value, an outcome of added swirling of air around bed areas. Simulations of hybrid plans with air ducts also produce undesirable AGE values around main pathways that exceed the standard. From these findings, it is concluded that, through the introduction of mechanical ventilation, greater effectiveness of existing systems can be achieved. Extra boosts of air velocity are made possible with propeller fans, while air ducts assist in air renewal. Additionally, the study proposes guidelines on the application of mechanical ventilation with other types of buildings, and on the joint utilization of propeller fans and air ducts.

Keywords: Ventilation, Natural Ventilation, Mechanical Ventilation, Air change rate per Hour, Age of Air, Hospital, Multiple-beds Ward

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นผู้ที่คอยแนะแนวทางในการวิจัยและจุดประเด็นความคิดในการค้นหาคำตอบและการเดินการวิจัย ขอขอบคุณ ดร.ดารณี จารีมิตร ที่เป็นผู้จุดแนวความคิดเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารและคอยแนะแนวทางในการดำเนินวิจัย และขอบขอบคุณ ผศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่คอยขัดเกลาสิ่งที่ได้รับจากการวิจัยให้มีความชัดเจนมากขึ้น สิ่งที่ผู้วิจัยได้รับจากคณะอาจารย์ที่ปรึกษา นอกจากจะเป็นความรู้ทางด้านวิชาการ และการทำวิจัย ผู้วิจัยยังได้รับแนวความคิดและแรงบันดาลใจในการศึกษาต่อยอดด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารและการระบายอากาศ และเป็นแรงบันดาลใจในด้านการทำงาน

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอาจารย์กลุ่มเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณ โรงพยาบาลสงขลานครินทร จังหวัดสงขลา โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช และโรงพยาบาลลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่เอื้อเฟื้อให้เข้าเก็บข้อมูลผังอาคาร ขอขอบคุณ คุณสุทธิพร ปรีชา จากกองสนับสนุนสุขภาพ กระทรวงสาธารณะสุข และ กรมยุทธโยธาธิการทหารบกที่เอื้อเฟื้อผังอาคารหอผู้ป่วยรวมในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านที่คอยอำนวนความสะดวกในการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณกิติศักดิ์ จันทร์เกษม ที่ให้คำปรึกษาด้านภาษาทำให้มีความเข้าใจในการอ่านบทความและแปลบทความมากขึ้น ขอขอบคุณศุภกิจ บัวดิษฐ์ คุณจิราพร หอมหวล และคุณพรธันวา เหล่าทองมีสกุล ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือตลอดการวิจัย และสุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวยกทรัพย์ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจจนผู้วิจัยสามารถฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

นายกิตติคุณ ยกทรัพย์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	6
1.6 นิยามศัพท์	7
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ	9
2.1.1 ประวัติการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ	9
2.1.2 ขนาดอนุภาคและการลอยตัวของอนุภาค	9
2.2 การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาล	11
2.2.1 การป้องกันและแนวทางในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ	11
2.2.2 การปรับใช้แนวทางการควบคุมการติดเชื้อจากระบบปรับอากาศ	14
2.3 การระบายอากาศ	15
2.3.1 การระบายอากาศธรรมชาติ	15

2.3.2 การระบายอากาศด้วยระบบกล 17
2.3.3 การระบายอากาศแบบผสม 18
2.4 งานวิจัยด้านการระบายอากาศธรรมชาติภายในโรงพยาบาล 20
2.4.1 การระบายอากาศในโรงพยาบาลที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ 20
2.4.2 บทบาทของแสงแดดต่อการค่าเชื้อในอากาศ 26
2.4.3 รูปแบบระบบกลระบายอากาศที่ใช้ในโรงพยาบาล 27
2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล 29
2.5.1 มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของสมาคมวิศวกรรมทำความร้อนและระบบปรับอากาศสหรัฐฯ 31
2.5.2 อายุของอากาศ 30

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 31

3.1 การดำเนินการวิจัย 31
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 31
3.3 ตัวแปรงานวิจัย 31
3.4 คำถามงานวิจัย 32
3.5 สมมติฐานงานวิจัย 32
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 32
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 34
3.8 การดำเนินการวิจัย 35

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย 36

4.1 การศึกษาผังอาคารหอผู้ป่วยรวมเพื่อหารูปแบบมาตรฐานของหอผู้ป่วยรวม 36
4.2 การกำหนดค่าแบบจำลอง และการจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติ 45
4.3 การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติของผังอาคารมาตรฐาน 57
4.4 การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศของผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 68
4.5 การศึกษาการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลระบายอากาศ 72
4.6 สรุปผลการทดลอง 90

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 99

รายการอ้างอิง 113

ภาคผนวก 116

ภาคผนวก ก เชื้อโรคและการแบ่งประเภทเชื้อโรคที่แพร่กระจายในอากาศ 117
ภาคผนวก ข คุณภาพและมาตรฐานอากาศของวสท.และสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ
แห่งประเทศไทย 120
ภาคผนวก ค ค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารประเภทต่างๆ 123
ภาคผนวก ง อายุของอากาศ 131

ประวัติผู้เขียน 140

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและระยะเวลาในการตกสู่พื้น 11

2.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างระบบระบายอากาศธรรมชาติ ระบบกลระบายอากาศและระบบระบายอากาศแบบผสม 19

2.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและเวลาในการกำจัดละอองเชื้อ 21

2.4 ตารางแสดงส่วนประกอบของอาคารและค่าการเปลี่ยนแปลงอากาศของขอผู้ป่วยรวม 26

2.5 ตารางแสดงอัตราการระบายอากาศและค่ากำลังไฟฟ้าของพัดลมตามมาตรฐาน มอก.710-2535 29

4.1 เปรียบเทียบอัตราการและเปลี่ยนอากาศระหว่างผังอาคารประเภทต่างๆ 44

4.2 ลำดับการจำลองและจุดประสงค์ในการจำลองการไหลของอากาศ 56

4.3 แสดงค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศ เปรียบเทียบระหว่างกลางวันและกลางคืน 66

4.4 แสดงค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศ ในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อมีอากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่มีระดับต่างๆ 70

4.5 ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศจากการจำลองเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โรงพยาบาลที่หอผู้ป่วยรวมใช้ระบบปรับอากาศ	3
1.2 โรงพยาบาลที่หอผู้ป่วยรวมใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ	3
2.1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและปริมาณอนุภาคที่ปลดปล่อย	10
2.2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและระยะทางในการกระจายในอากาศ	10
2.3 การระบายอากาศแบบข้ามฟาก (Cross ventilation)	16
2.4 การระบายอากาศด้วยปล่องความร้อน (Stack ventilation)	16
2.5 การระบายอากาศทางเดี่ยว (Single-side ventilation)	17
2.6 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการระบายอากาศธรรมชาติและระบบผสม	18
2.7 วิธีการระบายอากาศด้วยธรรมชาติและวิธีกล	20
2.8 กราฟเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในโรงพยาบาลที่ล้อมรอบด้วยธรรมชาติ และล้อมรอบด้วยอาคารสูง	22
2.9 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงอากาศที่ส่งผลต่อช่องเปิด และความสัมพันธ์ของเวลาที่ลดลง เมื่อมีค่าการแปลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น	23
2.10 การวางตำแหน่งอาคารส่งผลต่อค่าการแปลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร	23
2.11 โรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วยรวม	24
2.12 โรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติร่วมกับระบบกลระบายอากาศ	24
2.13 ผังอาคารและความเร็วลมภายในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรามชาติกับพัดลม เพดานพบว่ามีความเร็วลมต่ำกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที	25
2.14 ผังอาคารและความเร็วลมภายในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติร่วมกับ ระบบกล	25
2.15 พัดลมชนิดแบบใบพัด	27
2.16 พัดลมระบายอากาศชนิดติดเพดาน	28
2.17 พัดลมระบายอากาศชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	28
4.1 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติจาก Natural Ventilation In Thai Hospital	37
4.2 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมโรงพยาบาลทหาร	37

4.3 หอผู้ป่วยนารีเวชทั่วไป โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ 38
4.4 หอผู้ป่วยพุทธรักษา โรงพยาบาลลานสกา 39
4.5 หอผู้ป่วยศัลยกรรมและอายุรกรรม โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช 39
4.6 ผังอาคารหอผู้ป่วย 156 เตียง 40
4.7 ผังอาคารหอผู้ป่วย 114 เตียง 40
4.8 หน้าต่างบานเกล็ด หน้าต่างบานเลื่อน และหน้าต่างบานเปิดที่พบในหอผู้ป่วย 41
4.9 ผังอาคารแบบระบายอากาศสองทิศทาง 42
4.10 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 42
4.11 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 44
4.12 รูปแบบและขนาดของหน้าต่างและประตู 45
4.13 การจัดวางตำแหน่งหน้าต่าง ประตู และความสูง 46
4.14 ตำแหน่งช่องท่องานระบบก๊าซและไฟฟ้าสำหรับเตียงผู้ป่วย 46
4.15 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 47
4.16 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 47
4.17 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 48
4.18 การระบายอากาศด้วยพัดลดประเภทใบพัด 50
4.19 การควบคุมทิศทางให้อากาศบริสุทธิ์ไหลผ่านเตียงผู้ป่วยและดูดกลับด้านบนของอาคาร 51
4.20 การกำหนดตำแหน่งช่องลมเข้า(INLET)และช่องลมออก(OUTLET) และความเร็วลมตั้งต้น 53
4.21 ค่าความผิดพลาดและความเสถียรของผลการทดสอบจากโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล 53
4.22 ความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากการจำลอง 54
4.23 อายุเฉลี่ยของอากาศ 55
4.24 แนวการติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 55
4.25 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 57
4.26 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 58
4.27 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 59
4.28 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 60
4.29 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบาย

อากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 62
4.30 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน 63
4.31 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ระบายอากาศธรรมชาติเมื่อลมไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางในเวลากลางวันและกลางคืน 64
4.32 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ระบายอากาศธรรมชาติเมื่อลมไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางในเวลากลางวันและกลางคืน 65
4.33 ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ 67
4.34 ค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ 67
4.35 ค่าอายุของอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ 68
4.36 ภาพจำลองเปรียบเทียบผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางในระดับต่างๆ 69
4.37 ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ 70
4.38 ค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ 71
4.39 ค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ 71
4.40 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 73
4.41 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 74
4.42 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 74
4.43 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 75
4.44 เปรียบเทียบอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 76
4.45 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 77

4.46 จำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 78
4.47 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 78
4.48 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 79
4.49 เปรียบเทียบอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 80
4.50 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 81
4.51 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 82
4.52 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 83
4.53 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 84
4.54 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและการระบายอากาศผ่านท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 84
4.55 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 85
4.56 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 86
4.57 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 87
4.58 ภาพเปรียบเทียบค่าแลกเปลี่ยนอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 88
4.59 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 89
4.60 ภาพเปรียบเทียบค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 89
4.61 ภาพเปรียบเทียบค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 90

4.62 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด 93
4.63 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด 93
4.64 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่ติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด 94
4.65 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่ติดตั้งท่ออากาศ 94
4.66 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 95
4.67 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 96
4.68 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 97
4.68 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ต่อ) 98

5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศการระบายอากาศสองทิศทางและข้ามฟากเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัด 101
5.2 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง 105
5.3 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก 106
5.4แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม 107
5.5 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลาง 108
5.6 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางมุมอาคารสองด้าน 109
5.7 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลางสองด้าน 110
5.8 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารพื้นที่ใช้งานล้อมรอบสิ่งกีดขวาง 111

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

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

การติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial infection) เป็นสภาวะที่ผู้ใช้บริการโรงพยาบาลได้รับเชื้อโรคที่เกิดขึ้นภายในโรงพยาบาลทั้งจากการรับการรักษาหรือการใช้บริการในพื้นที่โรงพยาบาล ซึ่งพบว่ามีผู้ติดเชื้อในโรงพยาบาลถึงร้อยละ 6.9 ของจำนวนผู้ใช้บริการโรงพยาบาล หรือประมาณ 3 ล้านคน (พ.ศ.2554) ทั้งนี้พบว่าในจำนวนผู้ติดเชื้อเป็นผู้ป่วยติดเชื้อดื้อยามากกว่า 1 แสนรายต่อปีและเสียชีวิตมากถึง 38,400 รายต่อปี การติดเชื้อภายในโรงพยาบาลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ใช้เวลาในการรักษาตัวเพิ่มขึ้น สิ้นเปลืองบุคลากรทางการแพทย์ ค่ายาปฏิชีวนะในการรักษาการติดเชื้อและเชื้อดื้อยาถึง 2,500-6,000 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 0.6-1.6 ของค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของคนไทย โดยลักษณะการติดเชื้อในโรงพยาบาลมีหลายรูปแบบโดยพบการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจมากที่สุด ถึงร้อยละ43.2 รองลงมาเป็น การติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะ ร้อยละ 25 การติดเชื้อจากบาดแผลผ่าตัด ร้อยละ20.5 และการติดเชื้ออื่นๆเช่นการติดเชื้อที่ผิวหนัง ร้อยละ 11.3 โดยการติดเชื้อภายในโรงพยาบาลมักพบการติดเชื้อจากเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด โดยมักพบเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อในปอด (Klebsiella spp.) ร้อยละ25 และโรคปอดอักเสบ (Pseudomonas aeruginosa) ร้อยละ 6.9 และในโรงพยาบาลขนาดใหญ่มักพบเชื้ออีโคไล (Escherichia coli) ที่ทำให้เกิดโรคท้องร่วงสูงถึงร้อยละ

6.9 แต่สำหรับโรงพยาบาลในไทย เชื้อวัณโรค (Tuberculosis ; TB) เป็นเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศที่เป็นปัญหาสำคัญในโรงพยาบาลในไทย และพบว่าเชื้อวัณโรคที่ตรวจพบในโรงพยาบาลเป็นเชื้อที่ดื้อยาอีกด้วย

การติดเชื้อทางอากาศภายในโรงพยาบาลเป็นรูปแบบการติดเชื้อที่มีโอกาสมากที่สุดของผู้ที่เข้าทำการรักษาและใช้บริการพื้นที่ภายในโรงพยาบาล จึงจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพอากาศภายในพื้นที่โรงพยาบาลให้ได้มาตรฐาน โดยสามารถใช้วิธีการปรับอากาศ (ภาพที่ 1.1) หรือวิธีการระบายอากาศธรรมชาติ (ภาพที่ 1.2) ซึ่งในโรงพยาบาลที่ใช้ระบบปรับอากาศจะสามารถควบคุมคุณภาพของอากาศให้เป็นไปตามมาตฐานกำหนด ปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่ห้อง ความกดอากาศภายในพื้นที่ รวมทั้งทิศทางการไหลของอากาศ ทำให้อัตราการติดเชื้อลดลงได้ ซึ่งแตกต่างจากโรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุณภาพของอากาศและทิศทางการไหลของอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานตลอดเวลา การติดเชื้อในโรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติจึงมีโอกาสสูงกว่าโรงพยาบาลที่ใช้ระบบปรับอากาศซึ่งมักพบในพื้นที่หอผู้ป่วยในแผนกต่างๆซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงถึงสูงมากในการติดเชื้อ ทั้งนี้การเลือกใช้ระบบระบายอากาศของโรงพยาบาลขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งของโรงพยาบาล ปริมาณของผู้ใช้บริการ และงบประมาณในการติดตั้งบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

การแก้ไขปัญหาการติดเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติจึงจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขและพัฒนาเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อผู้ใช้บริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีผู้ป่วยจำนวนมากเช่น หอผู้ป่วยรวม (Multiple-bed ward) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงในการส่งผ่านเชื้อระหว่างผู้ป่วย เนื่องจากผู้ป่วยมีจำนวนมาก และหนาแน่น การทำกิจกรรมที่ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีสารปนเปื้อนเช่นการหายใจ พูด ไอ หรือจามจะสามารถปลดปล่อยอนุภาคที่มีสารปนเปื้อนซึ่งสามารถส่งผ่านไปยังผู้ป่วยหรือบุคคลโดยรอบผ่านทางอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคโดยที่ไม่สามารถควบคุมการกระจายตัวได้ ซึ่งหากสามารถนำเอาคุณสมบัติของการใช้ระบบปรับอากาศมาใช้กับการระบายอากาศธรรมชาติเช่น การควบคุมทิศทางด้วยระบบกลเติมอากาศที่เหมาะสมกับรูปแบบผังของอาคารจะช่วยลดโอกาสในการติดเชื้อ ซึ่งสามารถพิจารณาจากรูปแบบการไหลของ และการเปลี่ยนแปลงอายุเฉลี่ยของอากาศในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของอากาศในอาคาร

ภาพที่ 1.1 โรงพยาบาลที่หอผู้ป่วยรวมใช้ระบบปรับอากาศ. จาก *โรงพยาบาลรามาธิบดี: หอผู้ป่วยรวมศัลยกรรมชาย*. โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

ภาพที่ 1.2 หอผู้ป่วยรวมใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ. จาก *โรงพยาบาลสงขลานครินทร : หอผู้ป่วยรวมนารีเวชทั่วไป*. โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการระบายอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในประเทศไทยที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

1.2.2 ศึกษารูปแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ

1.2.3 พัฒนาแนวทางในการควบคุมการไหลของอากาศ เพื่อเป็นแนวทางออกแบบและปรับปรุงสถาปัตยกรรม เพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศภายในอาคารที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

1.2.4 เป็นแนวทางในการประยุกค์ใช้ระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติที่มีผังอาคารลักษณะอื่นๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยฉบับนี้แบ่งออกเป็นขอบเขตของการวิจัยเชิงทฤษฎี และขอบเขตของการวิจัยเชิงทดลอง ดังนี้

1.3.1 ขอบเขตของการวิจัยเชิงทฤษฎี

1.3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor air quality) และการระบายอากาศ (Ventilation)

1.3.1.2 ศึกษาการติดเชื้อในโรงพยาบาล โดยมุ่งเน้นศึกษาการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศและการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ และแนวความคิดในการออกแบบพื้นที่ปลอดเชื้อภายในโรงพยาบาล

1.3.1.3 ศึกษารูปแบบและประเภทเครื่องกลระบายอากาศในโรงพยาบาล

1.3.2 ขอบเขตการวิจัยเชิงทดลอง

1.3.2.1 การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคารของหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ

1.3.2.2 พื้นที่ตัวอย่างในการศึกษาเป็นโรงพยาบาลในประเทศไทยที่มีหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ

1.3.2.3 ในการทดลองกำหนดให้มีการเปิดหน้าต่างตลอดเวลาในการทดสอบ

1.3.2.4 ทิศทางลมในการทดสอบกำหนดให้ตั้งฉากกับช่องเปิดของพื้นที่ทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

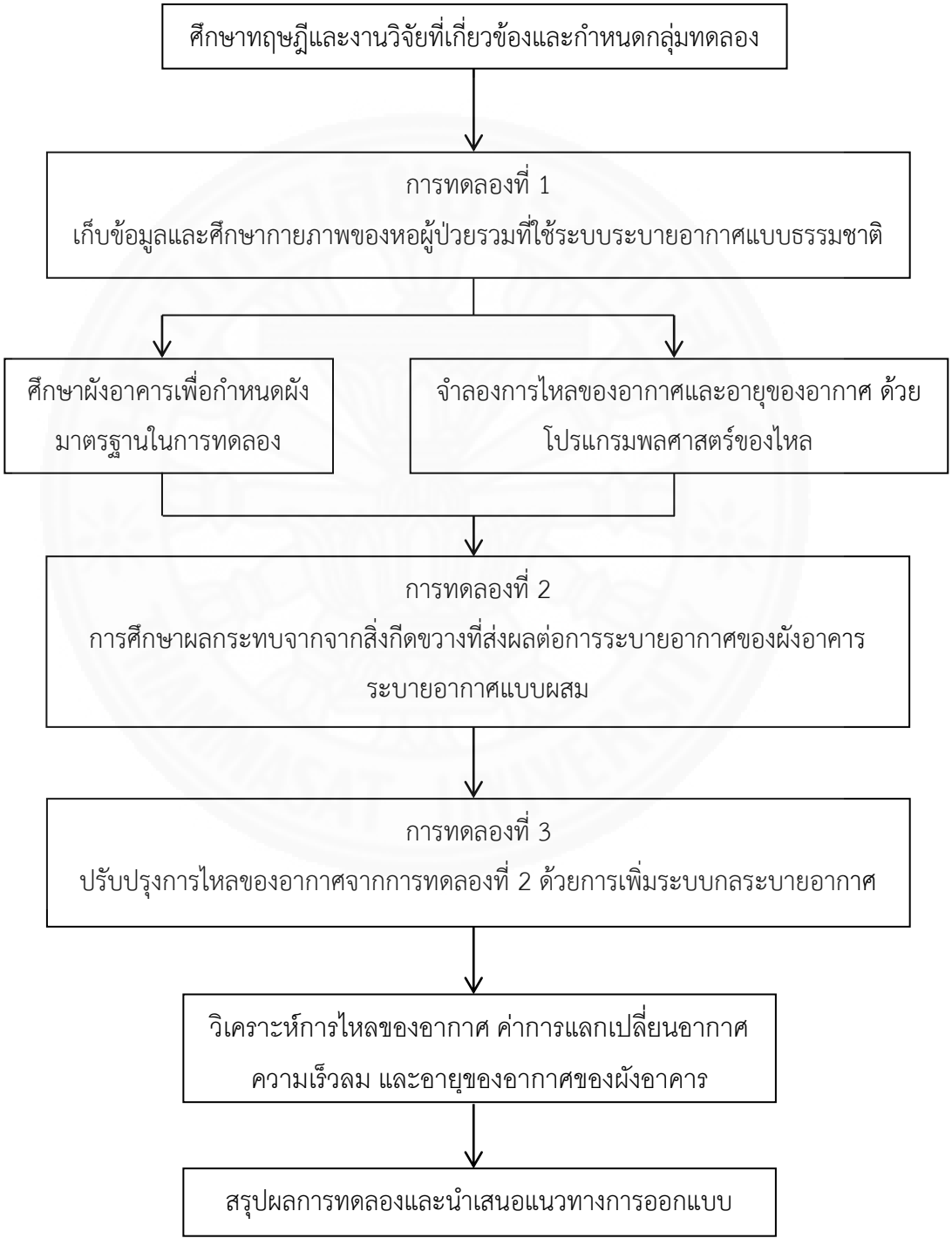
1.4.1 เป็นแนวทางในการออกแบบหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติให้เหมาะสมกับรูปแบบระบบกลระบายอากาศ

1.4.2 การควบคุมทิศทางอากาศในการระบายอากาศธรรมชาติจะสามารถช่วยลดการติดเชื้อและแพร่กระจายเชื้อทางอากาศได้มากขึ้น

1.4.3 รูปแบบผังอาคารและระบบกลระบายอากาศที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารหอผู้ป่วยที่มีลักษณะที่แตกต่างจากการทดลอง

1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้รวมของโรงพยาบาล สามารถแบ่งการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้



1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change rate per hour ; ACH) หมายถึงปริมาตรอากาศทั้งหมดภายในห้องที่ถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เข้ามาใหม่ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง โดยหอผู้ป่วยในโรงพยาบาลกำหนดให้มีอัตราแลกเปลี่ยนอากาศไม่ต่ำกว่า 6 ACH

1.6.2 ละอองฝอย (Droplets) หมายถึง อนุภาคที่ปลดปล่อยออกมาจากทางเดินหายใจที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร หากได้รับละอองที่มีเชื้ออาจทำให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนบน

1.6.3 ละอองฝอยแห้ง (Droplet nuclei) หมายถึง อนุภาคที่น้ำระเหยออกไป มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร สามารถลอยได้ไกล และหากได้รับละอองเข้าสู่ร่างกายอาจทำให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง

1.6.4 การแพร่เชื้อทางอากาศ (Airborne transmission) หมายถึง การส่งต่อและแพร่กระจายของละอองที่มีเชื้อทางอากาศที่สามารถลอยไปได้ไกลและเป็นเวลานาน โดยโรคที่แพร่กระจายทางอากาศเป็นหลัก (Obligate airborne transmission) เช่น วัณโรคปอด และโรคที่แพร่กระจายทางอากาศในบางสภาวะ (Preferential airborne transmission) เช่น โรคหัด และ โรคอีสุกอีใส

1.6.5 การระบายอากาศ (Ventilation) หมายถึง การให้อากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคารและแพร่กระจายไปในส่วนอื่นๆ จุดประสงค์เพื่อให้อากาศในอาคารดีขึ้นและเหมาะสมต่อการหายใจโดยการเจือจางมลพิษในอากาศที่เกิดขึ้นภายในอาคาร นอกจากนี้ยังใช้สำหรับการควบคุมกลิ่น ฝุ่น ละออง และสภาพอากาศเช่นอุณหภูมิและความชื้น

1.6.6 การระบายอากาศธรรมชาติ (Natural ventilation) หมายถึง การใช้พลังธรรมชาติเพื่อที่จะนำอากาศและจ่ายอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายใน หรือจากภายในออกสู่ภายนอก โดยอาศัยหลักการสร้างความแตกต่างของความกดดันอากาศที่เกิดขึ้นเองหรือสร้างแรงกดดันอากาศขึ้นเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายในและภายนอก

1.6.7 อายุของอากาศ (Age of air) หมายถึง ระยะเวลาที่อากาศภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศในบริเวณที่ศึกษา โดยอายุของอากาศสูงสุดภายในห้องที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่กำหนด

บทที่2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศในพื้นที่ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดเชื้อและการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ การป้องกันกันแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศมาตฐานคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาล งานวิจัยด้านการระบายอากาศธรรมชาติภายในโรงพยาบาล รวมทั้งรูปแบบระบบกลเติมอากาศที่ใช้ภายในโรงพยาบาลโดยแบ่งหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

2.1.1 ประวัติของการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ

2.1.2 ขนาดอนุภาคและการลอยตัวของอนุภาค

2.2 การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาล

2.2.1 การป้องกันและแนวทางในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ

2.2.2 การปรับใช้แนวทางการควบคุมการติดเชื้อจากระบบปรับอากาศ

2.3 การระบายอากาศ

2.3.1 การระบายอากาศธรรมชาติ

2.3.2 การระบายอากาศด้วยระบบกล

2.3.3 การระบายอากาศแบบผสม

2.4 งานวิจัยด้านการระบายอากาศธรรมชาติภายในโรงพยาบาล

2.4.1 การระบายอากาศในโรงพยาบาลที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

2.4.2 บทบาทของแสงแดดต่อการฆ่าเชื้อ

2.4.3 รูปแบบระบบกลเติมอากาศที่ใช้ในโรงพยาบาล

2. 5 มาตรฐานคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล

2.5.1 คุณภาพและมาตรฐานอากาศในโรงพยาบาล

2.5.2 มาตฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของสมาคมวิศวกรรมระบบทำความร้อนและปรับอากาศสหรัฐอเมริกา ASHRAE Standard 170 – Ventilation Health Care Facilities

2.5.3 อายุของอากาศ (Age of Air)

2.1 การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

2.1.1 ประวัติการศึกษาการติดเชื้อทางอากาศ

ความรู้ด้านการติดเชื้อผ่านทางอากาศได้มีการเริ่มต้นการศึกษาในช่วงทศวรรษที่1930 โดยการริเริ่มการศึกษาของ วิลเลี่ยม เฟริธ เวลล์ (William Firth Wells)วิศวกรสุขาภิบาล ทำการศึกษาร่วมกับกรมสาธารณะสุขของรัฐแมซซาซูเซทส์ (Massachusetts Department of Public Health) ศึกษาวิจัยโอกาสที่จะมีการติดเชื้อทางเดินหายใจ อันเนื่องมาจากละอองของน้ำที่ใช้ในกระบวนการกำจัดฝุ่นละอองในโรงงานทอผ้า โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอากาศจากบริเวณต่างๆภายในโรงงาน จากการตรวจสอบอากาศภายในห้องปฏิบัติการพบว่ามีเชื้อแบคทีเรียอยู่ในอากาศที่เก็บมาทดสอบ เวลส์ได้ทำวิจัยร่วมกับ ริชาร์ด ไรเลย์ (Richard Riley) นักศึกษาแพทย์ที่ร่วมทำการศึกษาได้ร่วมกันสรุปผลได้ 2ประเด็นที่เป็นก้าวสำคัญทางด้านการป้องกันการติดเชื้อทางอากาศคือ

2.1.1.1 อนุภาคในอากาศที่มีจุลชีพ (Microorganism) คือ ส่วนแห้งที่เหลืออยู่ของละอองเปียกที่น้ำระเหยออกจนหมดเรียกว่า ละอองฝอยแห้ง (Droplet nuclei) ที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมีชีวิตภายนอกร่างกาย และลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน

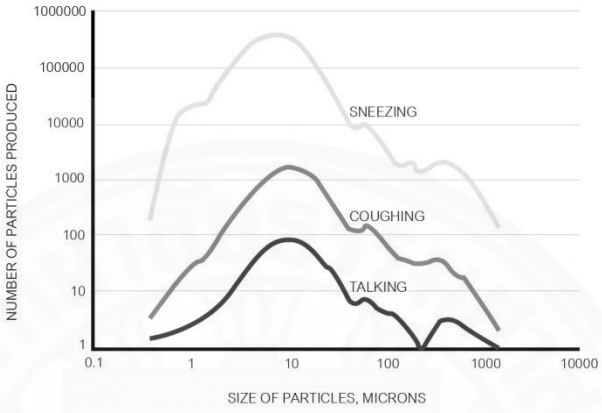
2.1.1.2 ละอองฝอยแห้ง เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการติดเชื้อระหว่างคนสู่คนผ่านทางอากาศ เช่นโรคหัด และวัณโรค โดยจะก่อให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนบนและระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง

จากการที่พิสูจน์ได้ว่าอากาศสามารถเป็นพาหะของเชื้อโรคได้ เวลส์และไรเลย์จึงได้ศึกษาต่อเนื่องเพื่อหาวิธีการทำให้อากาศปลอดเชื้อ (Air disinfection) เป็นเวลาหลายสิบปีในการทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม และได้สร้างรากฐานทางวิทยาศาสตร์ด้านชีววิทยาที่ศึกษาการกระจายตัวทางอากาศของสารอินทรีย์ (Aerobiology) ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้ปฏิบัติจนถึงปัจจุบัน

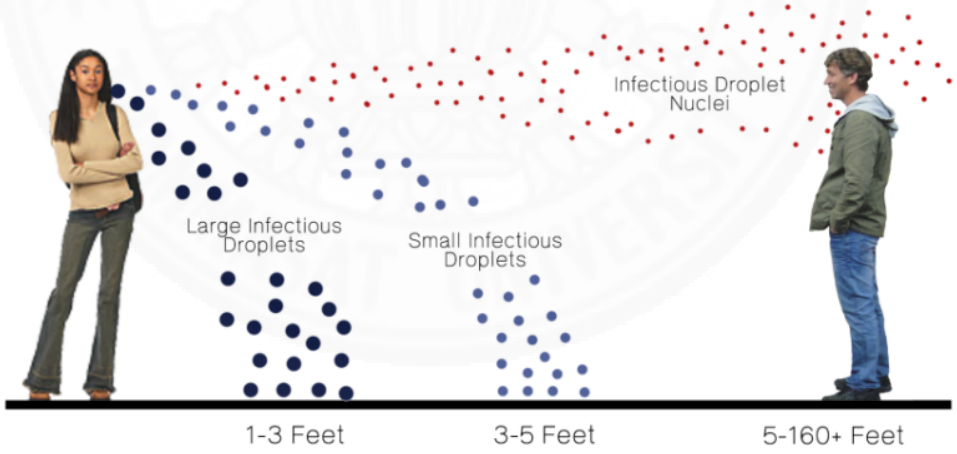
2.1.2 ขนาดอนุภาค และการลอยตัวของอนุภาค

ร่างกายของมนุษย์มีการปลดปล่อยอนุภาคที่มีของเหลวเป็นสารประกอบตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นทางผิวหนัง การพูด หรือลมหายใจ โดยมีขนาดและจำนวนของอนุภาคที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งการพูดคุยปกติจะปล่อยจำนวนอนุภาคน้อยกว่าการไอและการจามตามลำดับดังภาพที่ 2.2 โดยขนาดที่อนุภาคที่ปลดปล่อยมีขนาดตั้งแต่ 0.06 – 1,000 ไมโครเมตร ซึ่งโดยปกติแล้วอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตรสามารถลอยเข้าถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างตั้งแต่กล่องเสียงถึงปอด จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการติดเชื้อจากการหายใจหากอนุภาคที่หายใจเข้าไปนั้นมีเชื้อโรคติดไปด้วย โดยขนาดของละอองมีความสัมพันธ์กับระยะในการกระจายและเวลาที่สามารถลอยตัวได้ในอากาศของละอองซึ่งละอองที่มีขนาดใหญ่จะกระจายไปได้ไกล 0.30 – 1.00 เมตร และลอยในอากาศได้

ต่ำกว่า 1 นาที แต่หากละอองมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตรจะสามารถกระจายไปได้ไกลและลอยอยู่ในอากาศได้นานเนื่องจากมีน้ำหนักเบามาก (ภาพที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.1) โดยอนุภาคขนาด 1-5 ไมโครเมตรจะมีอัตราในการตกลงสู่พื้น 90 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมโครเมตรซึ่งมีคุณสมบัติการลอยตัวคล้ายก๊าซ



ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและปริมาณของอนุภาคที่ปล่อย จาก *Journal of Heating: Airborne respiratory diseases andmechanical systems for control of microbes.* Kowalski, WJ., and Bahnfleth, W. 1998.



ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงว่าสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและระยะทางในการกระจายในอากาศ จาก *H1N1 Influenza a vius, It's transmission in indoor air and Role of HVAC*. Anjum Hashmi. 2013

ตารางที่ 2.1

ภาพแสดงว่าสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและระยะเวลาในการตกสู่พื้น

Diameter in micron	Time required for deposition from a height of 3 meters
100	10 sec.
40	1 min
20	4 min
10	17 min
6 to 10	A few hours
0.06 to 10	Several hours

หมายเหตุ. จาก *Guide on respiratory protection against bioaerosols: Behavior of bioaerosols in the air*. Yassi, Bryce. 2004

2.2 การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาล

2.2.1 การป้องกันและแนวทางในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ

หลักการสำคัญในการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคในโรงพยาบาลของไทยในปัจจุบันใช้หลักการเดียวกับการควบคุมวัณโรคในโรงพยาบาล โดยแบ่งออกเป็น 3 ประการหลักสำคัญดังนี้

2.2.1.1 การบริหารการจัดการการติดเชื้อของโรงพยาบาล(Administrative controls) เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่ทุกโรงพยาบาลและสถานพยาบาลทุกแห่งต้องปฏิบัติดังนี้

2.2.1.1.1 โรงพยาบาลและสถานพยาบาลจะต้องเห็นความสำคัญและมีนโยบายเพื่อป้องกันและควบคุมโรคที่แพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ

2.2.1.1.2 มีการให้ความรู้และแนวทางในการปฏิบัติที่ถูกต้องแก่บุคลากร

2.2.1.1.3 จัดทำการประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อทางอากาศของพื้นที่ต่างๆในโรงพยาบาล

2.2.1.1.4 มีแนวทางในการคัดกรองผู้ป่วยที่อาจมีการแพร่เชื้อของโรคทางอากาศรวมทั้งแนวทางในการปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการดูแลและแยกผู้ป่วย

2.2.1.1.5 ให้ความสำคัญและปฏิบัติตามหลักการป้องกันการไอ จาม และระบบทางเดินหายใจ (Respiratory and Cough etiquette) ว่าด้วยการ

แยกผู้ป่วยต้องสงสัย การควบคุมแหล่งแพร่เชื้อและการป้องกันกิจกรรมที่ก่อให้เกิดละอองฝอย

2.2.1.1.6 การให้และจัดทบทวนการปฏิบัติแก่บุคลากร รวมทั้งการให้คำแนะนำที่ถูกต้องแก่ญาติของผู้ป่วย

2.2.1.2 การควบคุมสภาพแวดล้อม (Environmental controls)

การควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่มีจุดประสงค์เพื่อลดความเข้มข้นของเชื้อที่อยู่ในรูปของละอองฝอยแห้ง (Droplet nuclei) ในอากาศโดยใช้หลักการของวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมโดยแบ่งออกเป็นสองระดับคือ

2.2.1.2.1 การควบคุมสภาพแวดล้อมขั้นปฐมภูมิ (Primary environmental controls) คือ การควบคุมแหล่งแพร่เชื้อโดยใช้การระบายอากาศแบบเฉพาะที่และกำจัดเชื้อโดยการใช้ระบบระบายอากาศปกติของอาคาร

2.2.1.2.2 การควบคุมสภาพแวดล้อมขั้นทุติยภูมิ

(Secondary environmental controls) คือ การควบคุมอากาศโดยรอบบริเวณแหล่งเชื้อโรค การควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ และการกรองอากาศด้วยแผงกรองอากาศที่เป็นไปตามมาตรฐาน

2.2.1.3 การป้องกันทางเดินหายใจ (Respiratory-protection controls)

เมื่อควบคุมด้วยวิธีบริหารจัดการและการควบคุมด้วยสภาพแวดล้อมแล้ว สิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่จะมีมีการปนเปื้อนเชื้อโรคที่แพร่กระจายในอากาศลดลง แต่บุคลากรที่ต้องปฏิบัติหน้าที่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยหรือแหล่งกำเนิดเชื้อยังมีความเสี่ยง จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือป้องกันการติดเชื้อและก่อให้เกิดละอองฝอย รวมทั้งให้ความรู้แก้ผู้ป่วยในการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วย

การจากศึกษาการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาลของผู้วิจัย พบว่าการวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อให้โอกาสในการติดเชื้อทางอากาศลดลง จึงทำการศึกษาและสรุปแนวทางการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในสภาพแวดล้อมได้ 6 แนวทาง ดังนี้

(1) การป้องกันเชื้อเข้าหรือออกจากห้อง

เป็นการป้องกันขั้นพื้นฐานเพื่อไม่ให้เชื้อผ่านเข้าออกห้อง โดยการปิดรูรั่วหรือช่องทางอากาศไหลผ่านได้ และใช้หลักความแตกต่างของความดันระหว่างห้องโดยมี

ความแตกต่างไม่หน่อยกว่า 2.5 ปาสกาล (Pa) และมีเครื่องตรวจสอบค่าความกดอากาศที่แสดงผลชัดเจน

(2) การกำจัดเชื้อออกจากอากาศ

การกำจัดเชื้อออกจากอากาศเป็นการกำจัดเชื้อโดยการหมุนเวียนปริมาณอากาศจำนวนมากเข้าไปในห้อง โดยอากาศที่ผ่านเข้ามาจะต้องผ่านระบบกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง แล้วจึงปล่อยเข้าสู่พื้นที่ภายในห้อง

(3) การเจือจางเชื้อในอากาศ

เป็นกระบวนการเติมอากาศภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศภายในห้อง ทำให้ความเข้มข้นของเชื้อในอากาศลดลง แต่อากาศที่เข้ามาผสมกับอากาศภายในจะต้องผ่านระบบกรองอากาศก่อนที่จะไหลผ่านเข้าสู่ห้อง

(4) การควบคุมทิศทางจากพื้นที่สะอาด

เพื่อไม่ให้อากาศพาเชื้อจากบริเวณที่มีอากาศสกปรกไปสู่บริเวณที่อากาศสะอาด การจ่ายอากาศจากพื้นที่สะอาดอากาศที่ไหลออกมาจะต้องผ่านระบบกรองอากาศแล้ว และดูดอากาศออกโดยการควบคุมทิศทาง

(5) การป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อ

เพื่อควบคุมจำนวนจุลชีพที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความชื้น จึงจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในห้องไม่ให้สูงเกิน 60% และป้องกันไม่ให้พื้นที่ผิวใดๆในห้องเปียกชื้น โดยเลือกใช้วัสดุผิวเรียบหรือทำความสะอาดง่ายเพื่อลดการสะสมและการเจริญเติบโตของเชื้อ

(6) การฆ่าเชื้อในอากาศ

การใช้แสงอัลตราไวโอเลตฆ่าเชื้อในอากาศมักนิยมใช้แสงอัลตราไวโอเลตประเภทซี (UV-C) ที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยจะติดตั้งหลอดรังสีไว้ในท่อลมนำอากาศเข้าเพื่อทำการฆ่าเชื้อ หรือติดไว้ในส่วนบนของห้องโดยมีแผ่นป้องกันไม่ให้แสงส่องถึงตัวผู้ป่วย แต่หากอากาศมีความชื้นมากกว่า 70% การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจะได้ผลน้อยลงและไม่ควรใช้ทดแทนการกรองอากาศด้วยแผ่นกรองอากาศ HEPA

2.2.2 การปรับใช้แนวทางการควบคุมการติดเชื้อจากระบบปรับอากาศ

ในการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพื้นที่การแพร่กระจายของเชื้อในอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล ซึ่งหลายโรงพยาบาลมีการแยกห้องผู้ป่วยที่สามารถแพร่เชื้อหรือติดเชื้อได้ง่ายไว้โดยมีทั้งการใช้ระบายอากาศธรรมชาติและการใช้ระบบปรับอากาศ ซึ่งในระบบปรับอากาศของห้องแยกผู้ป่วยที่สามารถแพร่กระจายเชื้อหรือติดเชื้อได้ง่ายจะใช้หลักการเกี่ยวกับความดันอากาศและการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศภายในห้อง จึงทำการศึกษาหลักการดังกล่าวจากห้องแยกปลอดเชื้อและห้องแยกติดเชื้อของระบบปรับอากาศ

2.2.2.1 ห้องแยกปลอดเชื้อ (Protective isolation room)

ห้องแยกปลอดเชื้อเป็นห้องสำหรับผู้ป่วยที่มีภูมิต้านทานของร่างกายที่ผิดปกติเช่น ผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายไขกระดูกหรืออวัยวะ โรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว ซึ่งมีโอกาสสูงที่จะติดเชื้อจากภายนอกเนื่องจากได้รับการกดภูมิต้านทานของร่างกายเพื่อกระบวนการรักษา โดยระบบปรับอากาศภายในห้องควรมีปริมาณอากาศไหลเวียนไม่น้อยกว่า 15ACH และมีการเติมอากาศจากภายนอกที่ผ่านการกรองด้วยแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 90% ไม่น้อยกว่า 2ACH เพื่อกำจัดและลดความเข้มข้นของเชื้อในอากาศ ซึ่งลักษณะของห้องแยกปลอดเชื้อแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

2.2.2.1.1 กรณีผู้ป่วยมีภูมิต้านทานต่ำแต่ไม่เป็นโรคติดต่อที่แพร่เชื้อได้ ควรจ่ายอากาศสะอาดจากผู้ป่วยและดูดกลับบริเวณญาติผู้ป่วย

2.2.2.1.2 กรณีผู้ป่วยมีภูมิต้านทานต่ำและเป็นโรคติดเชื้อชนิดแพร่เชื้อได้ ควรรักษาความดันอากาศภายในห้องให้เป็นลบเพื่อป้องกันเชื้อกระจายออกสู่ภายนอกและให้ลมสะอาดไหลผ่านตัวผู้ป่วยและดูดกลับบริเวณเหนือเตียงผู้ป่วย

2.2.2.2 ห้องแยกติดเชื้อ (Infectious isolation room)

ห้องสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคติดต่อที่สามารถแพร่เชื้อได้ โดยออกแบบให้ความดันภายในห้องมีค่าเป็นลบตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อกระจายออกสู่พื้นที่อื่น และอากาศที่ระบายทิ้งจากห้องต้องผ่านแผ่นกรองอากาศชนิด HEPA ก่อนทิ้งออกสู่ภายนอกเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อทางอากาศ การจ่ายอากาศภายในห้องควรจ่ายอากาศสะอาดที่บริเวรใกล้ทางเข้า และดูดออกที่หัวเตียงของผู้ป่วยที่ระดับใกล้พื้น เพื่อให้อากาศไหลผ่านจากเจ้าหน้าที่หรือญาติไปยังผู้ป่วยและถูกดูดออกจากห้องไปยังระบบกรองอากาศและจ่ายออกสู่ภายนอก

2.3 การระบายอากาศ

การระบายอากาศเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่อาคารหรือพื้นที่ห้อง และเข้าแทนที่อากาศภายในอาคารหรือห้อง ซึ่งจุดประสงค์หลักของการระบายอากาศในอาคารคือเพื่อให้อากาศที่มีดีพอสำหรับการหายใจ พร้อมทั้งเจือจางมลพิษที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่และการกำจัดมลพิษออกจากอาคาร โดยการระบายอากาศในอาคารประกอบด้วย 3 องค์ประกอบพื้นฐานดังนี้

(1) อัตราการระบายอากาศ (Ventilation rate) คือ ปริมาตรอากาศภายนอกที่ไหลเข้าสู่พื้นที่และเป็นอากาศที่มีคุณภาพ

(2) ทิศทางการไหลของอากาศ (Airflow direction) คือ การคำนึงถึงทิศทางการไหลของอากาศโดยรวมภายในอาคาร โดยอากาศควรจะไหลจากพื้นที่ที่สะอาดไปยังพื้นที่ที่สกปรก

(3) การกระจายตัวของอากาศ (Air distribution) คือ อากาศภายนอกควรเข้าถึงทุกพื้นที่และระบายเอามลพิษในอากาศออกไปอย่างมีประสิทธิภาพ

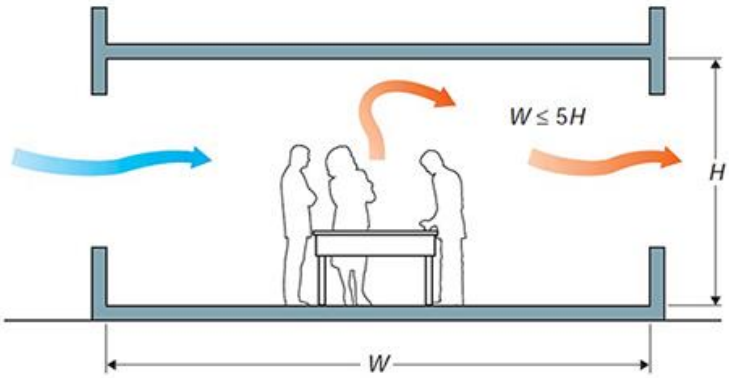
โดยการระบายอากาศภายในอาคารแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ การระบายอากาศธรรมชาติ การระบายอากาศด้วยระบบกล และการระบายอากาศแบบผสม

2.3.1 การระบายอากาศธรรมชาติ (Natural ventilation)

การระบายอากาศธรรมชาติเป็นการระบายอากาศที่ใช้แรงจากธรรมชาติ เช่น ลม ความแตกต่างของอุณหภูมิ และความแตกต่างของความดันอากาศ ซึ่งจะทำให้อากาศไหลผ่านเข้าออกทางช่องเปิดของอาคาร โดยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ การออกแบบอาคาร และพฤติกรรมในการใช้งานอาคารของมนุษย์ การระบายอากาศธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.3.1.1 การระบายอากาศข้ามฟาก (Cross ventilation)

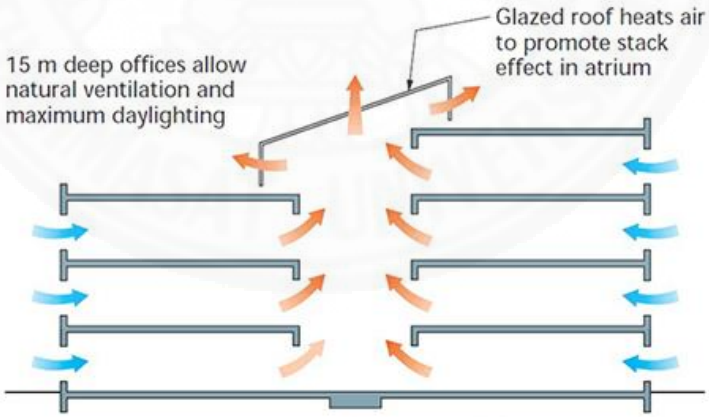
การระบายอากาศแบบข้ามฟากเกิดขึ้นโดยการเปิดช่องเปิดของเปลือกอาคารสองด้านตรงข้ามกันซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศที่ช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออกทำให้อากาศไหลผ่านอาคาร แต่ข้อจำกัดของการไหลของอากาศคือลักษณะของแปลนและความซับซ้อนซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความร้อนและมลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยความกว้างของพื้นที่ที่แนะนำจะต้องไม่เกิน 5 เท่าของความสูงภายในพื้นที่นั้น



ภาพที่2.3 การระบายอากาศแบบข้ามฟาก (Cross ventilation) จาก *Automatic Natural ventilation*. Andrew Dyke. 2014

2.3.1.2 การระบายอากาศด้วยปล่องความร้อน (Stack ventilation)

การระบายอากาศด้วยปล่องความร้อนเป็นการระบายอากาศที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ (Buoyancy effect) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่อลมภายนอกมีความเร็วต่ำ และบริเวณช่องอากาศออกจะมีความร้อนที่สูงกว่าส่วนอื่นๆ โดยอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นและอากาศที่เย็นกว่าจะเข้าไปแทนที่ทำให้เกิดการไหลของอากาศภายในอาคาร แต่การไหลของอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ไหลผ่านจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้หลักการความแตกต่างของอุณหภูมิ

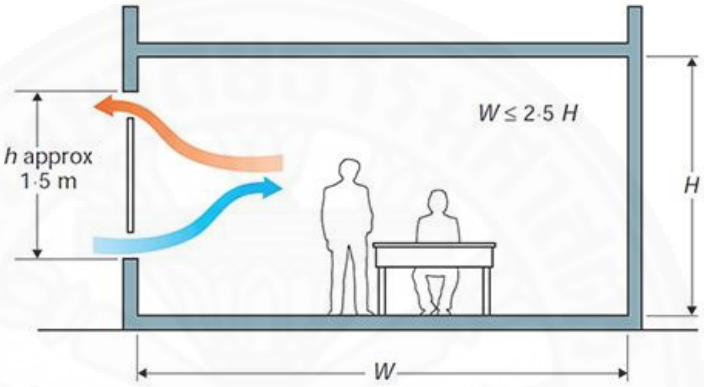


ภาพที่2.4 การระบายอากาศด้วยปล่องความร้อน (stack ventilation) จาก *Automatic Natural ventilation*. Andrew Dyke. 2014

2.3.1.3 การระบายอากาศทางเดียว (Single-sided ventilation)

การระบายอากาศทางเดียวมักพบเห็นในห้องเดียวเช่นห้องพักคอนโดมิเนี่ยมสำนักงานหรือห้องที่มีช่องเปิดด้านเดียว โดยการไหลของอากาศเกิดจากความแตกต่าง

ของอุณหภูมิภายในพื้นที่เป็นส่วนใหญ่และอาศัยหลักความแตกต่างของความดันอากาศเพียงเล็กน้อย โดยอากาศที่มีความร้อนจะลอยสูงขึ้นและไหลออกทางช่องด้านบนของช่องเปิดและอากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่ไหลออกไป โดยความกว้างของพื้นที่ใช้งานที่มีระบบระบายอากาศแบบทางเดียวที่ใช้หลักการความแตกต่างของอุณหภูมิ (Buoyancy effect) ต้องกว้างไม่เกิน 2.5 เท่าของความสูงของพื้นที่ และไม่เกิน 2 เท่าของความสูงของพื้นที่หากเป็นการระบายอากาศทางเดียวที่ใช้หลักความแตกต่างของความดันอากาศในการระบายอากาศ



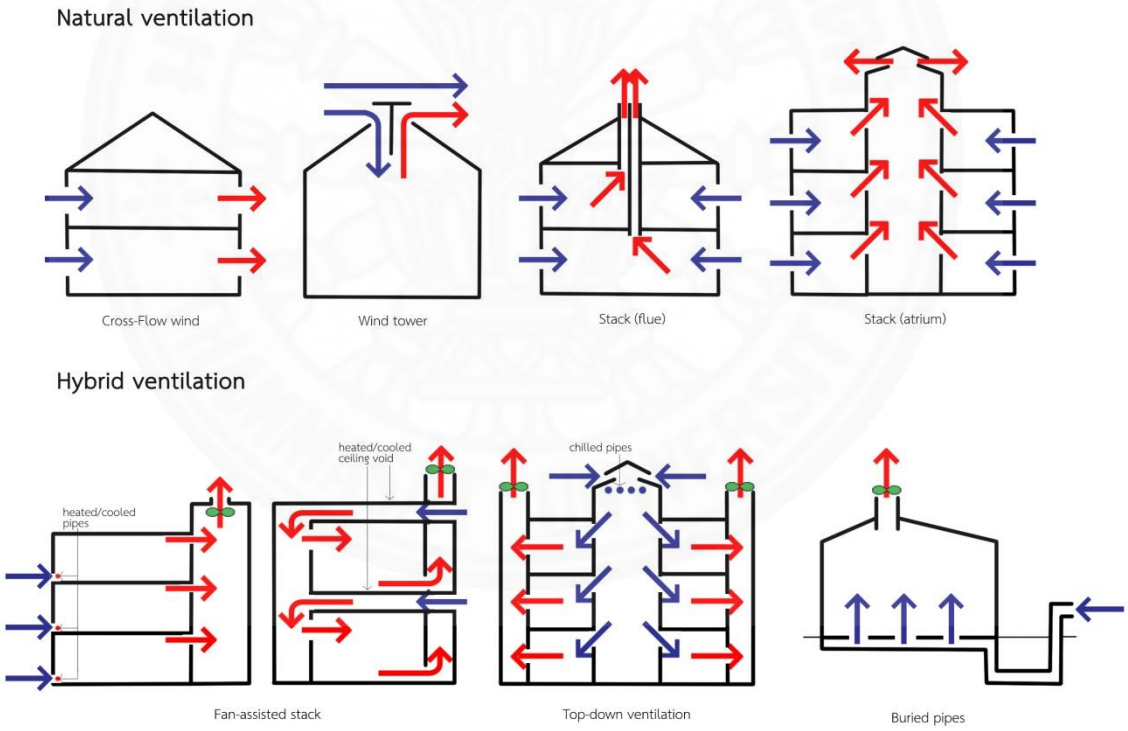
ภาพที่2.5 การระบายอากาศทางเดียว (single-side ventilation) จาก *Automatic Natural ventilation*. Andrew Dyke. 2014

2.3.2 การระบายอากาศด้วยระบบกล (Mechanical Ventilation)

การนำเอาระบบกลเช่น พัดลม มาติดตั้งบนพนัง หรือบริเวณหน้าต่าง หรือการระบายอากาศผ่านทางระบบท่อเพื่อให้อากาศมีการไหลเวียนภายในพื้นที่ โดยรูปแบบของระบบกลขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ โดยสามารถติดตั้งระบบกรองอากาศเผื่อดักจับเศษฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศ หรือติดตั้งตัวดักจับความชื้นในอากาศหากในพื้นที่มีความชื้นสูง โดยระบบกลระบายอากาศสามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศได้ดีกว่าการระบายอากาศธรรมชาติ และยังสามารถควบคุมความกดอากาศภายในห้องให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

2.3.3 การระบายอากาศแบบผสม (Hybrid Ventilation)

ด้วยข้อจำกัดของการระบายอากาศแบบธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอกเช่น ลมภายนอกที่เบาเกินไป หรืออุณภูมิภายนอกที่สูงเกินไป จึงทำให้ความในการใช้การระบายอากาศธรรมชาติลดลง การใช้การระบายอากาศแบบผสมคือระหว่างธรรมชาติและระบบกลจึงเป็นวิธีอย่างง่ายในการจัดการการระบายอากาศซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานให้เหมาะสมกับหลายสภาพอากาศ โดยรูปแบบหลักในการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมมี 3 รูปแบบ คือ การปรับสลับใช้ระหว่างการระบายอากาศธรรมชาติและระบบกล การใช้พัดลมในการระบายอากาศธรรมชาติ และการใช้งานร่วมกันของระบบระบายอากาศธรรมชาติและระบบกล การระบายอากาศแบบผสมสามารถปรับใช้ได้กับอาคารที่มีทางเดินเดียว (Single corridor) อาคารที่มีทางเดินกลาง (Central corridor) อาคารที่มีโถงสูง (Atrium) และช่องระบายอากาศด้วยความร้อน (Chimney) ซึ่งสามารถนำระบบกลเข้าไปปรับใช้เพื่อช่วยในการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้น และที่สำคัญยังสามารถออกแบบและควบคุมทิศทางได้อีกด้วย



ภาพที่2.6 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการระบายอากาศธรรมชาติและการระบายอากาศแบบผสม จาก *Natural ventilation for Infection Control in health-care settings.* โดย Martin Liddament. 2010. World health organization.

ระบบระบายอากาศธรรมชาติแต่ละประเภทจะเหมาะสมต่อการใช้งานขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ สภาพพื้นที่ภายในอาคาร รวมทั้งงบประมาณในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบระบายอากาศ โดยได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบระบายอากาศแต่ละประเภทในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่2.2

เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างระบบระบายอากาศธรรมชาติ ระบบกลระบายอากาศ และระบบระบายอากาศแบบผสม

	ระบบระบายอากาศธรรมชาติ	ระบบกลระบายอากาศ	ระบบระบายอากาศแบบผสม
ข้อดี	เหมาะสำหรับพื้นที่ที่อากาศอบอุ่นและเย็น	เหมาะสำหรับทุกสภาพภูมิอากาศและปรับใช้กับระบบปรับอากาศได้	เหมาะสำหรับทุกสภาพภูมิอากาศ
	ใช้เงินทุนในการดำเนินการและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ต่ำ	สามารถควบคุมและสร้างสภาวะความสบายในสภาพแวดล้อมได้	ประหยัดพลังงาน
	ให้อัตราการระบายอากาศสูง	สามารถควบคุมได้ในช่วงสั้นเช่นในห้อง	สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานให้เหมาะสมได้ทุกสภาพแวดล้อม
	สามารถควบคุมได้ในช่วงกว้าง		
ข้อเสีย	ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศภายนอกหรือพฤติกรรมจากผู้ใช้งานได้ง่าย	มีค่าใช้จ่านในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูง	อาจมีค่าใช้จ่ายสูง
	ยากในการคาดการ วิเคราะห์ และออกแบบ	อาจเกิดสภาวะที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศไม่เป็นไปตามมาตรฐาน	ยากในการออกแบบ
	ไม่สามารถสร้างความสบายให้ผู้ใช้เมื่ออากาศร้อน ชื้น หรือหนาวเกินไป	อาจเกิดเสียงรบกวนจากอุปกรณ์	

หมายเหตุ. จาก *Natural ventilation for Infection Control in health-care settings.* โดย Atkinson, James. Yves C., Camen L., Paul L.. 2010. World health organization.

2. 4 งานวิจัยด้านการระบายอากาศธรรมชาติภายในโรงพยาบาล

2.4.1 การระบายอากาศในโรงพยาบาลที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

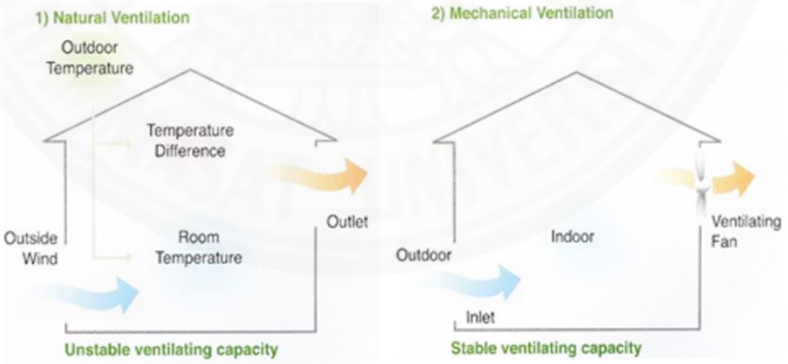
การระบายอากาศในอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศมี 2 รูปแบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ การระบายอากาศอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และ การระบายอากาศด้วยวิธีกล

2.4.1.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

เป็นการระบายอากาศด้วยอากาศธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ซึ่งให้อากาศไหลผ่านอาคารเพื่อระบายอากาศภายในออกมาสู่ภายนอกโดยขึ้นอยู่กับความเร็วลมและอุณหภูมิ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถความคุมให้คงที่ตลอดเวลาได้ โดยห้องหรืออาคารที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติต้องมีผนังอย่างน้อย 1 ด้านที่มีช่องเปิดออกสู่ภายนอกและต้องมีพื้นที่ที่ลมสามารถไหลผ่านได้สุทธิไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับพื้นที่

2.4.1.2 การระบายอากาศด้วยวิธีกล

เป็นการนำเอาเครื่องกลที่ช่วยขับเคลื่อนอากาศหรือระบายอากาศซึ่งสามารถใช้กับพื้นที่ใดๆก็ได้ โดยอุปกรณ์ขับเคลื่อนอากาศเพื่อทำให้เกิดการนำอากาศภายนอกเข้าสู่ห้องหรือบริเวณนั้น โดยมีอัตราไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ตามข้อกำหนดคุณภาพอากาศและมาตรฐานอากาศของโรงพยาบาลโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร หรือ ASHRAE 170-2008 โดยปริมาณอากาศที่ระบายจะมีค่าที่คงที่ตลอดเวลา



ภาพที่2.7 วิธีการระบายอากาศด้วยธรรมชาติและวิธีกล จาก *ปัญหาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข* โดย อานุภาพ ละออ. 2558. นครสวรรค์:ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 3.

ความต้องการอัตราการไหลเวียนอากาศที่สูงนั้นส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สูงตามไปด้วยหากโรงพยาบาลนั้นใช้ระบบปรับอากาศภายในโรงพยาบาล ซึ่งแตกต่างจากการระบายอากาศธรรมชาติที่เกิดการไหลของอากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความกดดันอากาศในบริเวณนั้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าระบบปรับอากาศและได้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่สูงกว่าการใช้ระบบ

ปรับอากาศ ซึ่งทำให้ความเสี่ยงในการติดเชื้อทางอากาศลดลง โดยเมื่อมีการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น เวลาที่จะนำเอาเชื้อโรคออกไปจากพื้นที่นั้นมีค่าน้อยลง แต่ข้อเสียของการระบายอากาศแบบธรรมชาติคือความไม่คงที่ของสภาพแวดล้อมโดยรอบซึ่งส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่คงที่ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2.3

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและเวลาในการกำจัดละอองเชื้อ

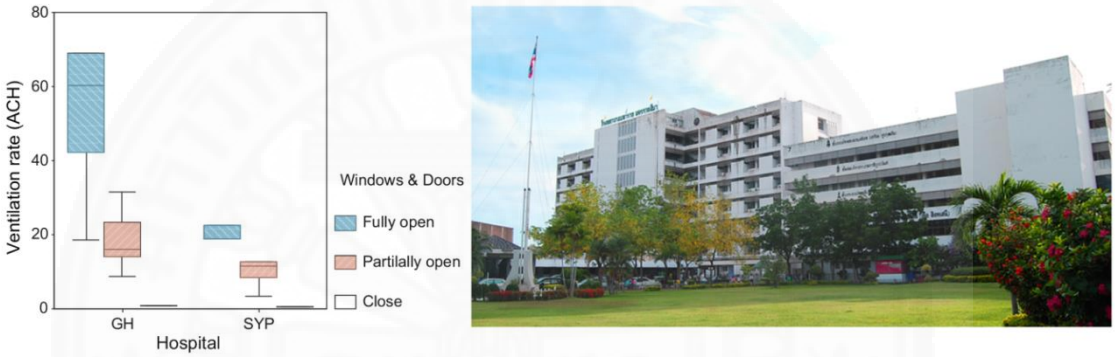
ACH	Minutes required for a removal efficiency of :		
	90%	99%	99.90%
1	138	276	414
2	69	138	207
3	46	92	198
4	35	69	104
5	28	55	83
6	23	46	69
7	20	39	59
8	17	35	52
9	15	31	46
10	14	28	41
11	13	25	38
12	12	23	35
13	11	21	32
14	10	20	30
15	9	18	28
20	7	14	21
25	6	11	17
30	5	9	14
40	3	7	10
50	3	6	8

หมายเหตุ. จาก *การออกแบบห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วย* โดย สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. 2551. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

การศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air change rate) จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาปริมาตรอากาศที่สามารถช่วยลดปริมาตรของอนุภาคเชื้อในอากาศลงได้ โดยสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยนอากาศมีดังนี้

(1) อิทธิพลของสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

สภาพแวดล้อมโดยรอบของอาคารส่งผลต่อการไหลและความเร็วของอากาศ โดยอาคารที่ล้อมรอบด้วยสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่ธรรมชาติเช่นต้นไม้ สนามหญ้า หรือบ่อน้ำจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าและให้คุณภาพอากาศที่ดีกว่าโรงพยาบาลที่ล้อมรอบด้วยอาคารหรือกลุ่มอาคาร และอาคารสูง



ภาพที่2.8 กราฟเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในโรงพยาบาลที่ล้อมรอบด้วยธรรมชาติและล้อมรอบด้วยอาคารสูง จาก *Building and environment: Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals* . โดย Hua Qian, Yuguo Li. 2010. USA: Elsevier

(2) อิทธิพลของช่องเปิดอาคารและการใช้เครื่องกลอากาศ

หน้าต่างและประตูส่งผลต่ออัตราการไหลเวียนอากาศภายในห้อง จากการศึกษาพบว่าการใช้วิธีการระบายอากาศธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะได้การระบายอากาศที่ไม่คงที่และอาจมีบางช่วงที่ต่ำหากไม่มีการไหลของอากาศ ซึ่งเมื่อมีการใช้ระบบกลเข้ามาช่วยในการระบายอากาศทำให้มีการไหลเวียนอากาศที่สูงขึ้นและยังสามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศได้ในบางส่วนของพื้นที่ห้อง โดยผลการศึกษาพบว่า เมื่อปิดหน้าต่างและประตูจะมีการแลกเปลี่ยนอากาศ 0.6-0.71 ACH เมื่อเปิดประตูห้องสู่โถงทางเดินการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 3.4-8.7 ACH แต่เมื่อปิดประตูแล้วเปิดหน้าต่างสู่พื้นที่ภายนอกพบว่าได้การไหลเวียนอากาศที่มากกว่าถึง 14-31.6 ACH และถ้าหากเปิดประตูและหน้าต่างรวมทั้งพัดลมดูดอากาศจะได้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดถึง 69.0 ACH และเมื่อมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นสามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้ดีมากขึ้นและใช้เวลาน้อยลง

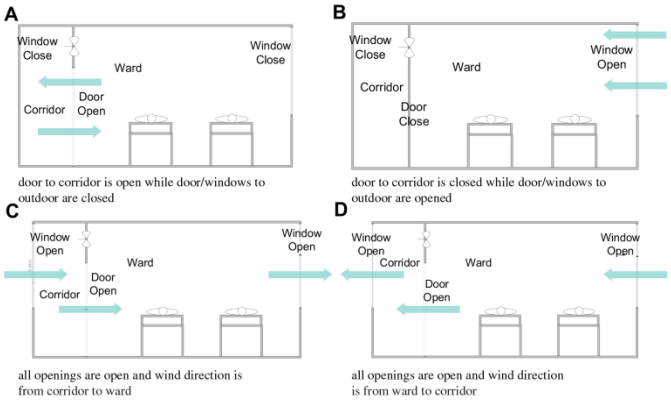


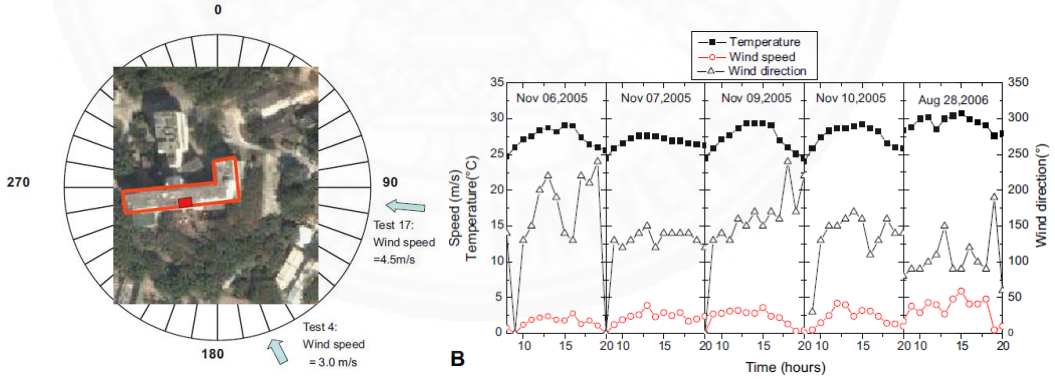
Table 2
Decay of droplet nuclei concentration for different ventilation rates and duration of time in a room.

Time (min)	Ventilation rate (%)			
	6 ACH	12 ACH	18 ACH	24 ACH
0	100	100	100	100
5	60.7	36.8	22.37	13.5
10	36.8	13.5	5.0	**1.8**
15	22.3	5.00	**1.1**	0.3
20	13.5	**1.8**	0.3	0.03
25	8.2	0.7	0.06	0.00
30	5.0	0.3	0.01	0
40	**1.8**	0.03	0	0
50	0. 7	0	0	0
60	0.3	0	0	0

ภาพที่2.9 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงอากาศที่ส่งผลต่อช่องเปิด และความสัมพันธ์ของเวลาที่ลดลงเมื่อมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น จาก *Building and environment: Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals* . โดย Hua Qian, Yuguo Li. 2010. USA: Elsevier

(3) อิทธิพลของลมและทิศทางลมในพื้นที่

การคำนึงถึงอิทธิพลของลมและทิศทางของลมเป็นเรื่องสำคัญตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบโรงพยาบาลให้ลมไหลผ่านหากต้องการใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ โดยความเร็วลมและทิศทางของลมที่เข้ามาปะทะกับตัวอาคารเป็นเรื่องที่สำคัญ เพราะหากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย



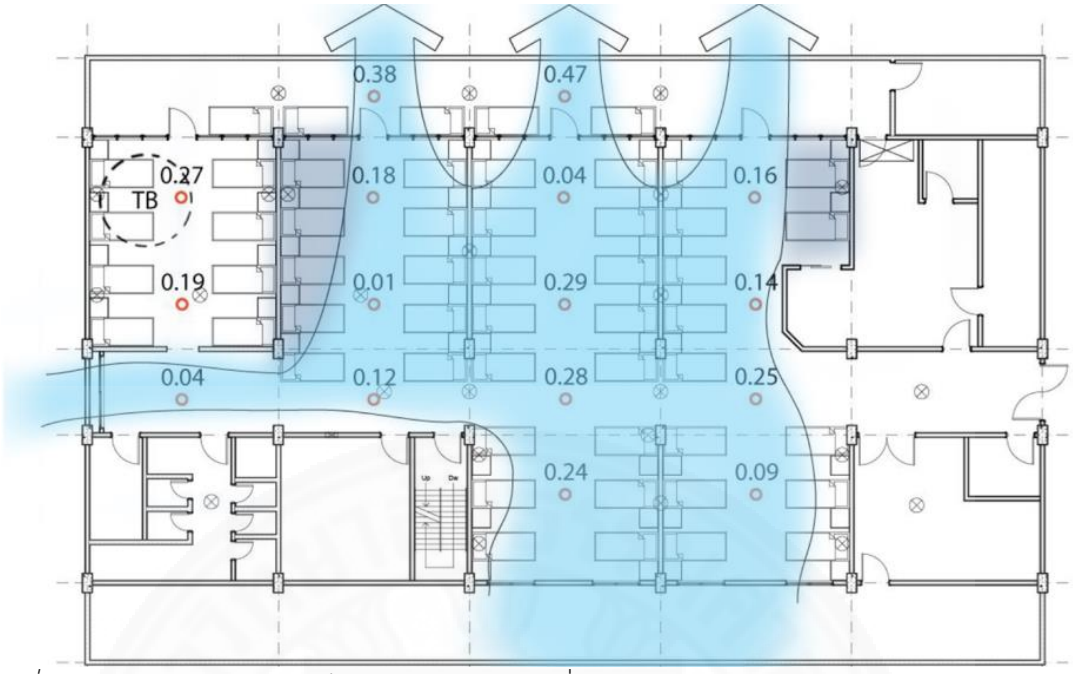
ภาพที่2.10 การวางตำแหน่งอาคารส่งผลต่อค่าแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร จาก *Building and environment: Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals* . โดย Hua Qian, Yuguo Li. 2010. USA: Elsevier

โดยส่วนใหญ่โรงพยาบาลในไทยที่สร้างตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ.2523 จะไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศในพื้นที่ปฏิบัติงานของพยาบาลและภายในหอผู้ป่วย ซึ่งจะใช้วิธีเปิดหน้าต่างเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศที่ไหลเวียนสูงสุด จากการศึกษาพบว่าในโรงพยาบาลบางแห่งมีพื้นที่ปฏิบัติงานของพยาบาลอยู่ใน

ตำแหน่งขวางทิศทางลมซึ่งทำให้พื้นที่ปฏิบัติงานได้รับลมเต็มที่แต่จะทำให้ในพื้นที่พักของผู้ป่วยได้รับลมที่น้อยลง นอกจากนี้พบว่าการใช้การระบายอากาศธรรมชาติเพียงอย่างเดียวเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมความเร็วลมและอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง เมื่อสังเกตความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเข้ามาพบว่าความเร็วลมบริเวณมุมอาคารหรือกลางอาคารมีความเร็วลมที่ต่ำน้อยกว่า 0.3 เมตร/วินาที หรือในบางพื้นที่ไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ การใช้พัดลมเติมอากาศหรือดูดอากาศจึงเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มความเร็วลมและควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ

ภาพที่2.11 โรงพยาบาลที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ. จาก *โรงพยาบาลสงขลานครินทร: หอผู้ป่วยรวมนารีเวชทั่วไป*. โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

ภาพที่2.12 โรงพยาบาลที่ใช้วิธีระบายอากาศธรรมชาติร่วมกับระบบกล จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok



ภาพที่2.13 ผังอาคารและความเร็วลมในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติกับพัดลมเพดาน พบว่าความเร็วลมต่ำกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok

ภาพที่2.14 ผังอาคารและความเร็วลมภายในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติกับพัดลมดูดอากาศ พบว่าความเร็วบริเวณทางเดินและกลางห้องมีความเร็วต่ำมาก แต่เมื่อผ่านพื้นที่ที่ติดตั้งพัดลมความเร็วลมจึงเพิ่มขึ้น จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok

ตารางที่ 2.4

ตารางแสดงส่วนประกอบของอาคารและค่าการเปลี่ยนแปลงอากาศของหอผู้ป่วยรวม พบว่าขนาดของช่องเปิดและความเร็วลมส่งผลต่อค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น และเมื่อมีการใช้พัดลมดูดอากาศร่วมด้วยทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศสูงขึ้นและความเร็วลมที่สูงขึ้นด้วย

Hospital	NO. of Beds	Volume (m3)	Area of smaller opening (m2)	Average air flow at opening (m/s)	Calculated Air Change Rate (ACH)	Additional ventilation system
A	28	428	6	0.42	16.98	Ceiling fans
B	38	931	4	0.52	6.43	Ceiling fans
C	28	714	4	1.1	17.75	Exhaust fans
D	47	980	8	1.14	26.8	Exhaust fans
E1	47	897	6	0.63	12.14	Ceiling fans
E2	40	955	4	0.32	3.86	Ceiling fans
E3	43	897	4	0.24	3.08	Ceiling fans
E4	43	955	4	0.27	3.26	Ceiling fans
F	31	805	6	0.75	16.1	Ceiling fans

หมายเหตุ. จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok

สิ่งที่ต้องคำนึงในการใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมภายในอาคารให้คงที่ได้ตลอดเวลา การออกแบบที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและอากาศจะทำให้อากาศไหลผ่านได้ดียิ่งขึ้น การควบคุมความดันและทิศทางการไหลของอากาศเป็นแนวทางในการป้องกันการกระจายตัวของอนุภาคเชื้อในอาคารซึ่งเป็นเพียงการเจือจางเชื้อและการนำเชื้อออกจากพื้นที่เพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศ โดยการระบายอากาศธรรมชาติจะไม่สามารถควบคุมสภาวะความสบาย (Thermal comfort) ได้และจะต้องประยุกค์ใช้กับเครื่องปรับอากาศเป็นจุด (Spot air condition) หรือ พัดลมเพดานเพื่อให้คุณภาพอากาศดีขึ้น

2.4.2 บทบาทของแสงแดดต่อการฆ่าเชื้อ

การใช้แสงอาทิตย์และอากาศธรรมชาติเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยป้องกันการติดเชื้อทางอากาศ โดยการอยู่รอดของเชื้อนอกจากขึ้นอยู่กับตัวเชื้อเองแล้ว สิ่งที่ส่งผลคือสภาพแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงอัตราไวโลเลต และมลพิษในอากาศ การใช้แสงอาทิตย์ในการฆ่าเชื้อจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่องค์การอนามัยโลกแนะนำให้กำจัดเชื้อในอากาศ โดยเมื่อเชื้อที่ลอยอยู่ในอากาศได้รับแสงแดดโดยตรงจะสามารถฆ่าเชื้อได้ภายในเวลาไม่กี่นาทีถึงไม่กี่ชั่วโมงขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อนั้นๆ แต่ถ้าหากแสงส่องผ่านกระจก

ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อจะขึ้นอยู่กับความหนาและคุณสมบัติของกระจก โดยเชื้อโรคที่อยู่บนสิ่งของที่วางไว้ใกล้หน้าต่างจะตายใน 5-7 วัน เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตและความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้เชื้อหมดสภาพและไม่สามารถก่อให้เกิดโรคได้ ปัจจุบันมีการประยุกค์ใช้แสงอัลตราไวโอเลตในการฆ่าเชื้อในอากาศ โดยนิยมใช้แสงอัลตาไวโอเลตชนิดซี (UVC) ที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร หรือการใช้แสงสเปกตรัมความเข้มสูง (High-Intensity narrow spectrum light) ทำให้เชื้ออยู่ในสภาวะถูกยับยั้ง (Inactivate) ซึ่งจะไม่สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อ

2.4.3 รูปแบบกลระบายอากาศที่ใช้ในโรงพยาบาล

ในการระบายอากาศธรรมชาตินอกจากการใช้ลมธรรมชาติเพียงอย่างเดียวแล้วการนำเอาระบบกลมาใช้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มปริมาณอากาศให้ไหลเข้าหรือออกพื้นที่ได้มากขึ้น และการใช้ระบบกลยังสามารถช่วยควบคุมทิศทางการไหลของอากาศได้เพิ่มขึ้นด้วย โดยการติดตั้งทิศทางของพัดลมขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของพื้นที่ว่าต้องการระบายอากาศออกหรือต้องการปริมาณอากาศเพิ่ม ซึ่งรูปแบบที่พบในหอผู้ป่วยมีดังนี้

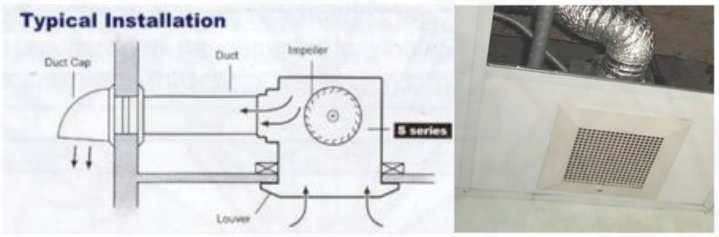
2.4.3.1 พัดลมชนิดแบบใบพัด (Propeller fan)

พัดลมที่มีลักษณะใบพัดเหมือนใบพัดเรือที่ขับเคลื่อนโดยตรงหรือขับเคลื่อนด้วยสายพาน พัดลดดูดอากาศแบบใบพัดได้รับการถ่วงสมดุลด้วยวิธีทางสแตติกและไดนามิคเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด มีประดับเสียงปานกลางและใช้ไฟฟ้าน้อย สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงสุดถึง 50 องศาเซลเซียส ชนิดนี้ส่วนมากใช้ระบายอากาศในห้อง ซึ่งพัดลมสามารถติดตั้งได้ทั้งผนังและกระจกซึ่งโดยทั่วไปมักพบใน ห้องผู้ป่วยพิเศษ หอพักผู้ป่วย หรือสำนักงาน โดยสามารถระบายอากาศได้ตั้งแต่ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป

ภาพที่2.15 พัดลมชนิดแบบใบพัด จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok

2.4.3.2 พัดลมแบบติดฝ้าเพดาน (Ceiling ventilator)

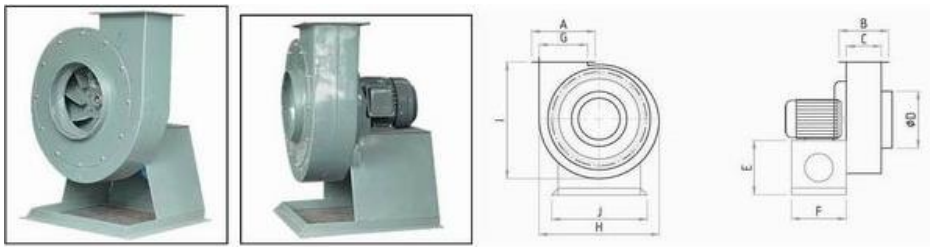
พัดลมระบายอากาศชนิดติดตั้งบนเพดานสามารถเลือกใช้พัดลมประเภทใบพัดขับเคลื่อนโดยตรง หรือ ใบพัดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยพัดลมประเภทนี้ต้องทนต่อสภาพอากาศ ในส่วนของท่อลมออกจะต้องมีตะแกรงกันนกทำด้วยอลูมิเนียม พัดลมแบบติดหลังคามักพบในพื้นที่ที่ห่างจากช่องเปิดหรือพื้นที่ปิดที่ไม่สามารถระบายอากาศได้ด้วยลมธรรมชาติ โดยลมจะถูกดูดผ่านแผงกรองฝุ่นผ่านพัดลมส่งผ่านเข้าสู่ท่อและปล่อยออกสู่ภายนอก พัดลมประเภทนี้มักพบในหอผู้ป่วย อาคารผู้ป่วยนอก โดยสามารถระบายอากาศได้ตั้งแต่ 90-400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่2.16 พัดลมระบายอากาศชนิดเพดาน จาก *ปัญหาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข* โดย อานุภาพ ละออ. 2558. นครสวรรค์: ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 3.

2.4.3.3 พัดลมระบายอากาศชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal fan)

พัดลมชนิดนี้ประกอบด้วยใบพัดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โครงพัดลม มอเตอร์ สายพาน ที่ป้องกันสายพาน และโครงเหล็ก โครงสร้างพัดลมจะต้องทนต่อสภาพอากาศและติดตั้งบนอุปกรณ์ป้องกันแรงสั่นสะเทือน พัดลมประเภทนี้สามารถปรับความเร็วได้ การระบายอากาศตั้งแต่ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงขึ้นไปและมีข้อดีคือลมที่ได้มีความเร็วสูงและสามารถจ่ายอากาศได้ไกลด้วยการติดตั้งท่อส่งอากาศ แต่ข้อเสียคือมีเสียงดัง พัดลมประเภทนี้มักพบในหอผู้ป่วย อาคารผู้ป่วยนอก หรืออาคารชั้นล่างที่ถูกอาคารปิดล้อม



ภาพที่2.17 พัดลมระบายอากาศชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จาก *ปัญหาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข* โดย อานุภาพ ละออ. 2558. นครสวรรค์: ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 3.

พัดลมแต่ละประเภทจะมีค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อใช้กำหนดเป็นค่าพื้นที่ฐานของพัดลมในแต่ละรุ่น ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าตามมาตฐานผลิตภัณฑ์อุตสารกรรมของพัดลมดูดอากาศ มอก. 710-2535 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5

ตารางแสดงอัตราการระบายอากาศและค่ากำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน มอก.710-2535

ขนาดใบพัด (นิ้ว)	อัตราการระบายอากาศ (ลบ.ม./ชม.)	กำลังไฟฟ้าเข้าสูงสุด (วัตต์)
6	270 (216)	22
8	360 (336)	33
10	600	40
12	900	46
16	1680	80
20	2700	120

หมายเหตุ. จาก *ปัญหาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข* โดย อานุภาพ ละออ. 2558. นครสวรรค์: ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 3.

2.5 มาตฐานคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล

2.5.1 มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของสมาคมวิศกรรมระบบทำความร้อนและปรับอากาศสหรัฐอเมริกา

มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของ ASHRAE Standard 170-2008 Ventilation of health care facilities ได้กล่าวเกี่ยวกับการนำอากาศภายนอกมาใช้ การระบายอากาศและข้อกำหนดโดยส่วนใหญ่จะใช้ในระบบปรับอากาศดังนี้

2.5.1.1 การนำอากาศภายนอกมาใช้

ช่องที่นำอากาศเข้าจะต้องห่างจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนในอากาศอย่างน้อย 25 ฟุต หรือ 8 เมตร และมีความสูงไม่ต่ำกว่า 2 เมตร หรือ 1 เมตรเหนือระดับหลังคา โดยทุกช่องนำอากาศเข้าจะต้องออกแบบเกี่ยวกับการไหลของลม การป้องกันฝนและการระบายความชื้น นอกจากนี้ยังต้องมีแผงป้องกันไม่ให้นกหรือสิ่งแปลกปลอมตกลงไปอีกด้วย

2.5.1.2 การระบายอากาศออก

ช่องระบายอากาศที่ออกจากห้องหรือพื้นที่ติดเชื้อเช่น ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อ ห้องฉุกเฉิน หรือห้องทดลองทางการแพทย์ การออกแบบจะต้องทำให้ความดันในท่อเป็นลบเพื่อให้อากาศภายในไหลออกมาสู่ภายนอก และมีความสูงอย่างน้อย 3 เมตร เหนือระดับหลังคา ช่องนำอากาศเข้า หรือพื้นที่เปิดโล่งสาธารณะ และคำนึงไม่ให้อากาศที่ปล่อยออกไปไหลวนกลับเข้ามาในอาคารหรือเข้าสู่อาคารข้างเคียงด้วย โดยหอผู้ป่วยจะต้องมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศไม่ต่ำกว่า 6 ACH

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas (n)	Minimum Outdoor ach	Minimum Total ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoors (j)	Air Recirculated by Means of Room Units (a)	RH (k), %	Design Temperature (l), °F/°C
INPATIENT NURSING							
Patient room (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70–75/21–24
Toilet room	Negative	N/R	10	Yes	No	N/R	N/R
Newborn nursery suite	N/R	2	6	N/R	No	30–60	72–78/22–26
Protective environment room (f), (n), (t)	Positive	2	12	N/R	No	max 60	70–75/21–24
AII room (e), (n), (u)	Negative	2	12	Yes	No	max 60	70–75/21–24
AII isolation anteroom (t) (u)	N/R	N/R	10	Yes	No	N/R	N/R
Labor/delivery/recovery/postpartum (LDRP) (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70–75/21–24
Labor/delivery/recovery (LDR) (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70–75/21–24
Corridor	N/R	N/R	2	N/R	N/R	N/R	N/R

Note: N/R = no requirement

ภาพที่2.18 แสดงคุณลักษณะของอากาศในพื้นที่ในโรงพยาบาล จาก *ASHRAE Standard 170-2008: Ventilation of health care facilities.* โดย ASHRAE. 2008. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

2.5.2 อายุของอากาศ (Age of Air)

การวิเคราะห์อายุของอากาศ (Age of Air Analysis) เป็นการประเมินคุณภาพอากาศภายในพื้นที่วิธีหนึ่ง โดยศึกษาระยะเวลาของมวลอากาศที่ลอยเข้าตั้งแต่ช่องทางเข้าเพื่อมาแทนที่อากาศตรงบริเวณที่ทำการศึกษา โดยระยะเวลาที่ใช้ในการแทนที่ของอากาศสูงสุดขึ้นอยู่กับค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีข้อกำหนดให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศขึ้นอยู่กับการใช้งานและสภาพทางกายภาพของพื้นที่เช่น พื้นที่ห้องพักผู้ป่วย ASHRAE 170 ได้กำหนดให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงไม่ต่ำกว่า 6 ACH กล่าวคืออากาศจะต้องไหลเข้าและออกพื้นที่หอพักผู้ป่วยอย่างน้อยจำนวน 6 รอบภายใน 1 ชั่วโมง ซึ่งทำให้อายุของอากาศภายในห้องมีค่า 60 นาที ต่อ 6 รอบต่อชั่วโมง จึงทำให้อายุของอากาศที่มีค่ามากสุดที่ทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH คือ 10 นาที หากพื้นที่ใดในห้องที่ใช้เวลาในการแทนที่ของอากาศนานกว่า 10 นาที หรือ 600 วินาที แสดงว่าจุดนั้นเป็นจุดอับอากาศ และในพื้นที่นั้นมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มช่องเปิดเพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านเพิ่มขึ้น หรือการเพิ่มพัดลมหรือหัวจ่ายอากาศบริสุทธิ์ ซึ่งส่งผลต่อทิศทางและระยะทางของกระแสลมภายในห้อง

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของอากาศและการกระจายของเชื้อโรคในอากาศภายในหอผู้ป่วยรวม ร่วมกับระบบกลเติมอากาศเพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศ โดยเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงอากาศ และอายุเฉลี่ยของอากาศเพื่อพิจารณาพื้นที่ที่มีโอกาสในการสะสมของเชื้อโรคในอากาศเช่น พื้นที่ที่มีอากาศหมุนวน มีความเร็วลมที่ต่ำ หรือใช้เวลาในการแทนที่ของอากาศที่นานเกินไป เพื่อใช้เป็นจุดสังเกตในการปรับปรุงการไหลของอากาศ ด้วยการปรับปรุงสถาปัตยกรรมและการเพิ่มระบบกลเติมอากาศ เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบของระบบกลเติมอากาศที่เหมาะสมกับรูปแบบผังอาคารมาตรฐานของหอผู้ป่วยรวมสำหรับโรงพยาบาล ส่งผลให้โรงพยาบาลมีการระบายอากาศที่ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการติดเชื้อทางอากาศที่ลดลงด้วย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากร : โรงพยาบาลในประเทศไทยที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วยรวม
กลุ่มตัวอย่าง : หอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ

3.3 ตัวแปรงานวิจัย

ตัวแปรต้น	ประเภทผังอาคารมาตรฐาน
	รูปแบบและตำแหน่งเครื่องกลระบายอากาศ
ตัวแปรควบคุม	ทิศทางและความเร็วลมธรรมชาติ
ตัวแปรตาม	ลักษณะการไหลของอากาศ
	ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ
	อายุเฉลี่ยของอากาศ

การกำหนดค่าตัวแปรควบคุมในการจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยค่าความเร็วลมธรรมชาติโดยใช้ค่าเฉลี่ยความเร็วลมกรุงเทพฯ และความเร็วลมในระบบกลใช้ค่ามาตรฐาน มอก.710-2535

3.4 คำถามงานวิจัย

แนวทางการปรับใช้การระบายอากาศธรรมชาติร่วมกับระบบกลระบายอากาศเป็นอย่างไร เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบผังอาคารหอผู้ป่วยรวมและลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศ

3.5 สมมติฐานงานวิจัย

1. การใช้การระบายอากาศธรรมชาติที่มีปริมาตรและคุณภาพที่เหมาะสม สามารถลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศได้
2. ระบบกลระบายอากาศทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ เพิ่มความเร็วลม และลดอายุของอากาศในพื้นที่ที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติลงได้

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ศึกษาค่าความเร็วลมตั้งต้นกลางวันและกลางคืน และและลักษณะผังอาคารมาตรฐาน แล้วนำค่าที่ได้จากการสำรวจและคำนวณมาจำลองด้วยโปรแกรมโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics ; CFD) PHOENICS FLAIR ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้การการจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเพื่อพิจารณาทิศทางและความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ และศึกษาอายุเฉลี่ยของอากาศเพื่อพิจารณาคุณภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ยังมีสมการเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์สภาพการไหลของอากาศภายในหอพักผู้ป่วยรวม

3.6.1 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ (Volumetric Flow rate)

$$Q = Cd \times A \times v$$

Q = อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

A = พื้นที่ช่องระบายอากาศ (ตารางเมตร)

v = ความเร็วลม (เมตร / วินาที)

Cd = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศผ่านหน้าต่าง

3.6.2 การคำนวณค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air changes per hour) คือ ค่าปริมาณอากาศที่ถ่ายเท คิกเป็นจำนวนเท่าของปริมาณห้องภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง

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

ACH = ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (ACH)
A = พื้นที่ช่องระบายอากาศ (ตารางเมตร)
v = ความเร็วลม (เมตร / วินาที)
V = ปริมาตรของห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

3.6.3 อัตราการระบายอากาศ (Ventilation rate) คือ อัตราค่าปริมาณอากาศที่ถ่ายเทต่อหนึ่งชั่วโมง

$$Ve = ACH \times V$$

Ve = อัตราการระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตร / ชั่วโมง)
ACH = ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง
V = ปริมาตรของห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

3.6.4 การคำนวณอายุเฉลี่ยของอากาศ (Local mean ages of air) คือ เวลาที่อากาศเดินทางจากช่องอากาศเข้าสู่พื้นที่ที่ทำการศึกษาภายในห้องที่มีการไหลเวียนอากาศ

$$\tau_i = \int_0^\infty \left[1 - \frac{C_i(t)}{C_i(\infty)}\right] dt$$

τ_i= อายุเฉลี่ยของอากาศที่บริเวณศึกษา (วินาที)
$C_i(t), C_i(\infty)$= ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในพื้นที่ตัวอย่างที่ตำแหน่ง iที่เวลา t และที่เวลาอนันต์ (กิโลกรัมสารปนเปื้อน / กิโลกรัมสารผสม)
t= เวลา (วินาที)

3.6.5 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air change effectiveness) คือค่าที่สามารถอธิบายการกระจายอากาศ และความสามารถในการระบายอากาศในอาคารหรือในพื้นที่ โดยเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ค่าคงที่ของอายุของอากาศและอายุของอากาศเฉลี่ย

$$ACE_i = \frac{\tau_n}{\tau_i}$$

ACE_i = ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศ
τ_n = ค่าอายุของอากาศคงที่ (Norminal time constant) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรห้อง (Domain volume m^3) ต่อปริมาตรอากาศที่ไหลเข้าพื้นที่ (Supply air volume to domain m^3/s)
τ_i = อายุของอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งที่ศึกษา

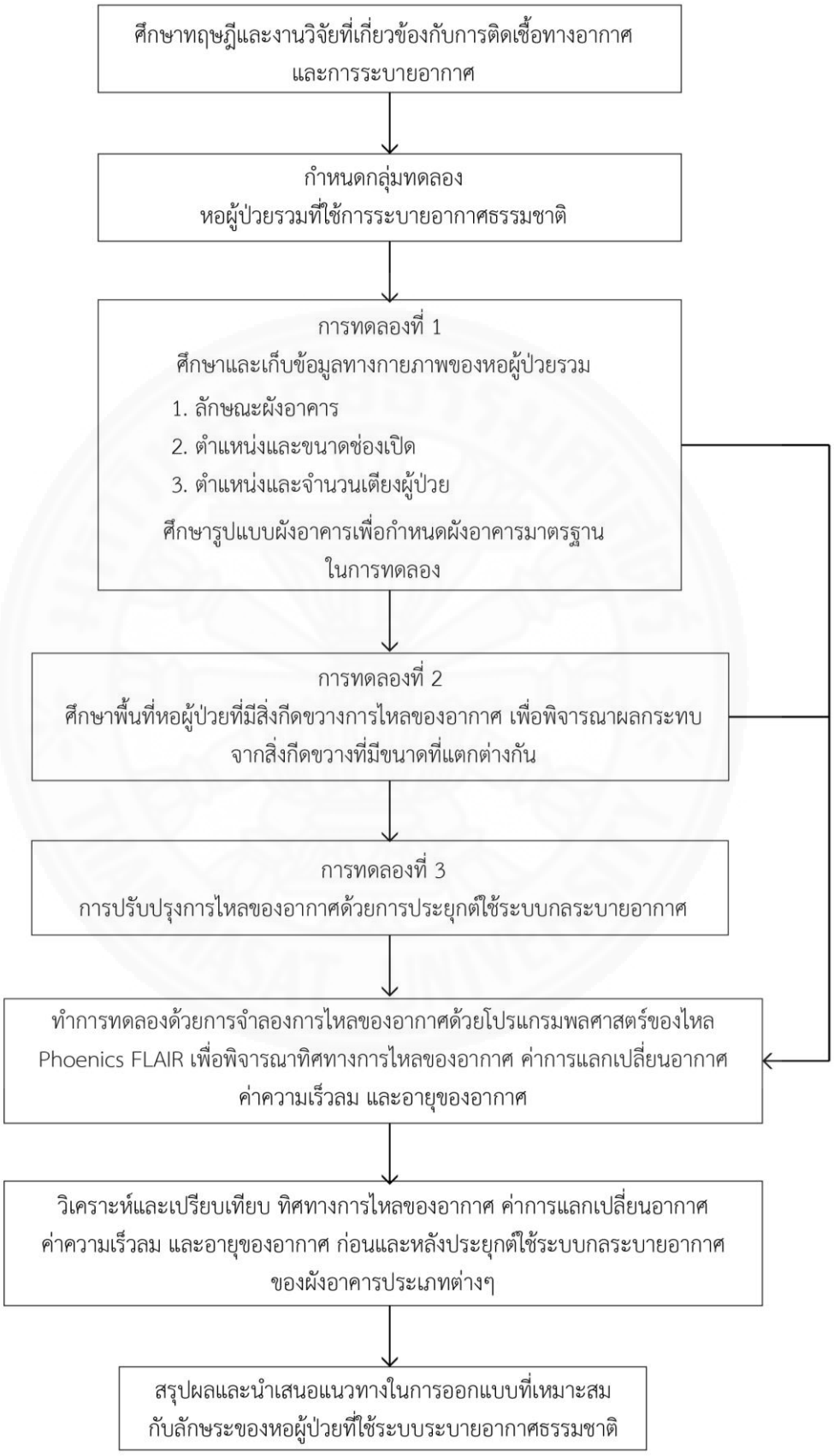
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน คือ
ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะของผังอาคารหอผู้ป่วยรวมและสิ่งกีดขวางภายในพื้นที่ ตำแหน่งและรูปแบบช่องเปิดเพื่อศึกษาเป็นกรณีศึกษาและจัดทำเป็นผังมาตรฐานสำหรับการจำลองการไหลของอากาศ

ส่วนที่ 2 วิเคราะห์คุณภาพของอากาศภายในห้องด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) PHOENICS FLAIR เพื่อศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ อายุของอากาศ ความเร็วลม และทิศทางการไหลของอากาศ พิจารณาพื้นที่ที่มีอากาศไหลวนและมีการสะสมของเชื้อในอากาศที่สูง และทำการปรับปรุงคุณภาพอากาศด้วยระบบกลระบายอากาศ

ส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงอากาศ อายุเฉลี่ยของอากาศ ความเร็วลม ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพอากาศด้วยระบบกลระบายอากาศ

3.8 การดำเนินการวิจัย



บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วน ส่วนแรกคือการศึกษาผังอาคารหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพเช่น ช่องเปิด การจัดวางตำแหน่งเตียงของผู้ป่วยแล้วนำไปพิจารณาเป็นผังอาคารมาตรฐาน ส่วนที่สองคือการกำหนดค่าแบบจำลองและการนำผังอาคารมาตรฐานที่ได้จากการดำเนินการวิจัยส่วนที่หนึ่งจำลองการไหลของอากาศ เพื่อศึกษาการไหลของอากาศ และอายุเฉลี่ยของอากาศ และผลกระทบจากสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศ และส่วนที่สามคือการศึกษาการไหลและอายุของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลระบายอากาศ

4.1 การศึกษาผังอาคารหอผู้ป่วยรวมเพื่อหารูปแบบมาตรฐานของหอผู้ป่วยรวม

เนื่องจากสภาพแวดล้อมและตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะการวางตำแหน่งอาคาร และช่องเปิด ทำให้รูปแบบผังหอผู้ป่วยมีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงทำการสำรวจและศึกษาผังอาคารหอผู้ป่วยรวมจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยมีตัวอย่างหอผู้ป่วยเช่น

4.1.1 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมจากการศึกษาการระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วย จากการศึกษาพบว่ามีความหลายหลายของผังอาคาร เช่น ผังอาคารสิ่งกีดขวางการระบายอากาศทำให้มีช่องหน้าต่างน้อยลง ผังอาคารที่มีสิ่งกีดขวางอยู่กึ่งกลางหอผู้ป่วย และผังอาคารที่มีช่องหน้าต่างด้านเดียว

4.1.2 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลทหาร กรมยุทธโยธาทหารบก จากการศึกษาหอผู้ป่วยของโรงพยาบาลทหารพบว่าโดยรวมแล้ว หอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลทหารมีลักษณะทางเดินกลางและมีช่องหน้าต่างสองด้าน และผังอาคารที่มีช่องหน้าต่างด้านเดียว

ภาพที่4.1 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติ จาก *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study* โดย Vorapat Inkarojrit . Bangkok

ภาพที่4.2 ผังอาคารหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลทหาร จาก กองสถาปัตยกรรม กรมยุทธโยธาธิการทหารบก

4.1.3 ผังหอผู้ป่วยรวม นารีเวชทั่วไป โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

หอผู้ป่วยรวมนี้อยู่บนชั้น 7 ของอาคารหลังแรกของโรงพยาบาล โดยมีลักษณะช่องหน้าต่างเปิดสองด้าน และมีสิ่งกีดขวางอยู่กึ่งกลางหอผู้ป่วย ทำให้อากาศที่ไหลผ่านถูกบีบและเกิดจุดอับลมภายในหอผู้ป่วย

ภาพที่4.3 หอผู้ป่วยนารีเวชทั่วไป โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ จาก *โรงพยาบาลสงขลานครินทร: หอผู้ป่วยรวมนารีเวชทั่วไป*. โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

4.1.4 หอผู้ป่วยพุทธรักษา โรงพยาบาลลานสกา

เป็นหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติที่สร้างขึ้นใหม่ของโรงพยาบาล โดยมีลักษณะที่มีช่องเปิดสองด้านของหอผู้ป่วยแต่มีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านใดด้านหนึ่งซึ่งทำให้อากาศไหลผ่านได้น้อยลง

4.1.5 หอผู้ป่วยศัลยกรรม และ อายุรกรรม โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช

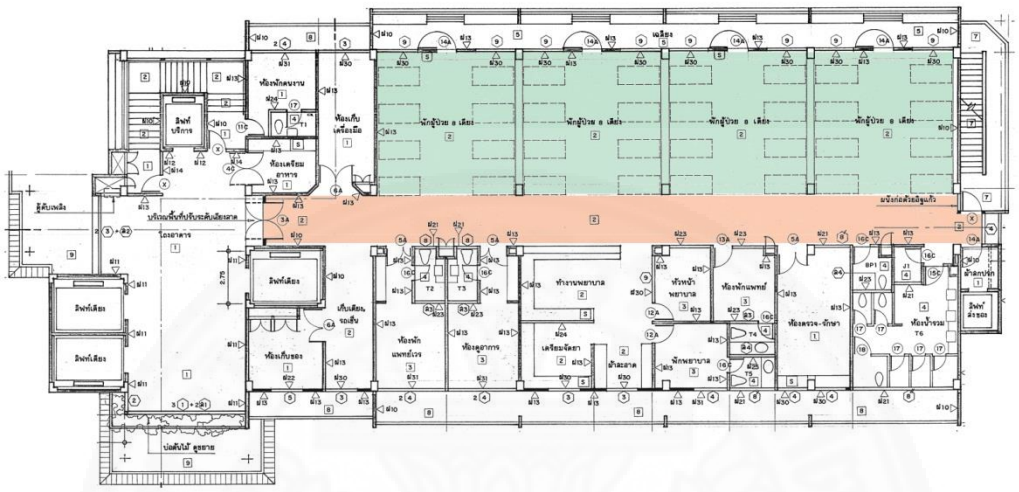
หอผู้ป่วยศัลยกรรมเป็นหอผู้ป่วยที่สร้างมานานแล้วและใช้การระบายอากาศธรรมชาติภายในพื้นที่ผู้ป่วยเป็นหลัก โดยลักษณะของหอผู้ป่วยศัลยกรรมคือมีทางเดินกลางพื้นที่พักผู้ป่วยและมีช่องเปิดสองด้านเพื่อให้อากาศไหลผ่านได้สะดวก และในส่วนของหอพักผู้ป่วยอายุรกรรมเป็นอาคารที่สร้างขึ้นมาใหม่มีช่องหน้าต่างเพียงด้านเดียวทำให้อากาศไหลผ่านได้น้อยแต่ได้มีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศช่วยการไหลของอากาศด้วย

ภาพที่ 4.4 หอผู้ป่วยรวมพุทธรักษา โรงพยาบาลลานสกา จาก *โรงพยาบาลลานสกา นครศรีธรรมราช: หอผู้ป่วยรวมพุทธรักษา.* โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

ภาพที่ 4.5 หอผู้ป่วยศัลยกรรมและอายุรกรรม โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช จาก *โรงพยาบาลมหาราช นครศรีธรรมราช: หอผู้ป่วยศัลยกรรม.* โดย ผู้ทำวิจัย. 2558

4.1.6 ผังอาคารผู้ป่วย 156 เตียง

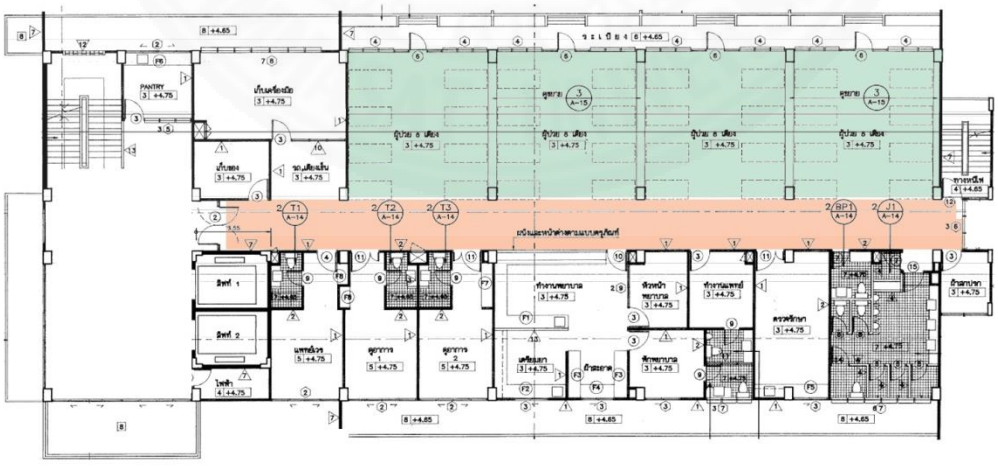
ผังอาคารมาตรฐานที่สามารถเลือกใช้โดยกองแบบแผน กระทรวงสาธารณะสุข โดยผังอาคารมีลักษณะมีทางเดินกลางแบ่งระหว่างพื้นที่ผู้ป่วยและพยาบาล โดยให้พื้นที่ผู้ป่วยติดกับด้านที่มีช่องหน้าต่างจำนวนมากเพื่อการระบายอากาศ



ภาพที่ 4.6 ผังอาคารหอผู้ป่วย 156 เตียง โดย กองแบบแผน กระทรวงสาธารณะสุข.

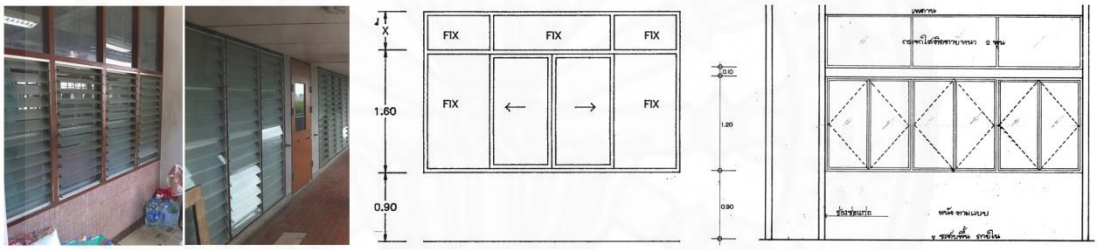
4.1.7 ผังอาคารผู้ป่วย 114 เตียง

มีลักษณะคล้ายกับอาคารผู้ป่วย 156 เตียงคือมีหน้าต่างด้านเดียว และแบ่งพื้นที่ผู้ป่วยและพยาบาลด้วยทางเดิน



ภาพที่ 4.7 ผังอาคารหอผู้ป่วย 114 เตียง โดย กองแบบแผน กระทรวงสาธารณะสุข.

นอกจากลักษณะผังอาคารที่มีความแตกต่างกันแล้ว หน้าต่างที่เลือกใช้ภายในหอผู้ป่วยรวมก็มีความแตกต่างเช่นกัน ซึ่งลักษณะของหน้าต่างแต่ละประเภทจะส่งผลต่อปริมาตรอากาศและความเร็วลมที่ผ่านหน้าต่าง โดยจากการสำรวจลักษณะทางกายภาพพบว่ามีการเลือกใช้หน้าต่าง 3 ประเภท คือ หน้าต่างบานเกล็ด หน้าต่างบานเลื่อน และหน้าต่างแบบบานเปิด โดยหน้าต่างบานเกล็ดเป็นหน้าต่างที่พบมากในหอผู้ป่วยรวมเนื่องจากหน้าต่างบานเกล็ดเป็นหน้าต่างที่สามารถเปิดได้ตลอดเวลาโดยที่จะป้องกันแสงแดด และฝนจากภายนอกได้ นอกจากนี้ยังสามารถให้ความเป็นส่วนตัวแก่ผู้ป่วยตลอดเวลาที่เปิดและไม่กีดขวางทางเดินขณะเปิด แต่ข้อเสียของหน้าต่างบานเกล็ดคือสามารถให้อากาศไหลผ่านได้น้อยกว่าหน้าต่างประเภทอื่นๆ สำหรับหน้าต่างบานเลื่อนเป็นหน้าต่างที่ให้ปริมาณอากาศที่สูงแต่ข้อเสียคือมีความเป็นส่วนตัวที่ที่น้อยเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางสายตาและฝนอาจเข้าสู่ภายในได้ หน้าต่างบานเลื่อนจึงเหมาะสำหรับหอผู้ป่วยที่เป็นอาคารหลายชั้นหรือไม่มีทางเดินรอบ แต่สำหรับหน้าต่างบานเปิดเป็นหน้าต่างที่ให้ปริมาตรอากาศไหลผ่านได้มาก แต่ข้อเสียคือเปิดปิดได้ยาก มีการกีดขวางทางเดิน ซึ่งพบในอาคารหอผู้ป่วยขนาดเล็กที่ไม่มีทางเดินรอบ

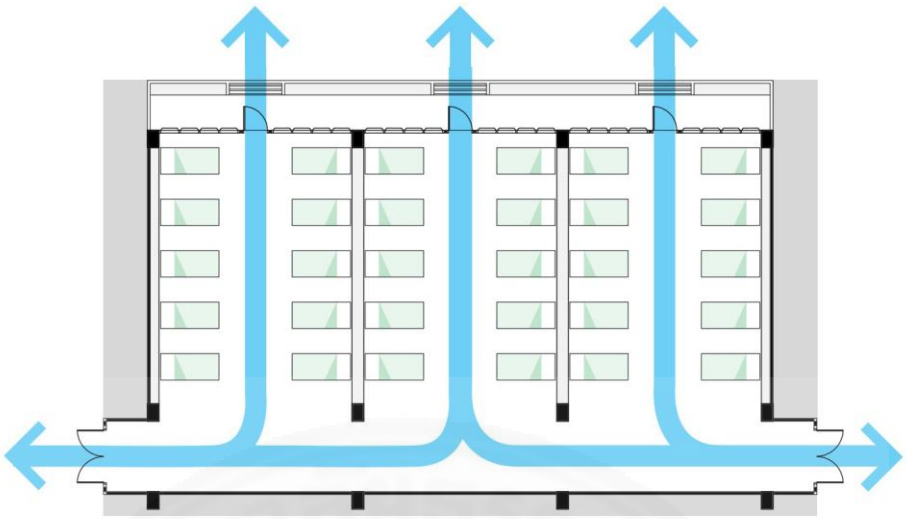


*ภาพที่ 4.*8 หน้าต่างบานเกล็ด หน้าต่างบานเลื่อน และหน้าต่างบานเปิดที่พบในหอผู้ป่วยรวม. โดยผู้ทำวิจัย. 2558

จากลักษณะที่แตกต่างกันของผังอาคารหอผู้ป่วย ขนาดของช่องเปิด และลักษณะของช่องเปิดซึ่งส่งผลต่อการไหลของอากาศผ่านพื้นที่จึงสามารถสรุปรูปแบบมาตรฐานของผังอาคารหอผู้ป่วยออกเป็น 3 รูปแบบ โดยพิจารณาจากลักษณะรูปแบบผังอาคารและสิ่งกีดขวาง ตำแหน่งและรูปแบบของช่องเปิด และทิศทางการไหลของอากาศ ดังนี้

(1) ผังอาคารแบบระบายอากาศสองทิศทาง

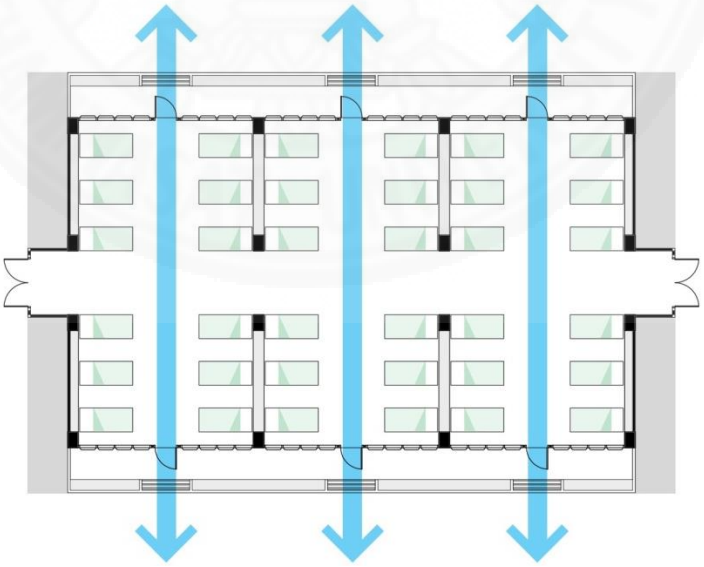
ลักษณะผังอาคารจะมีช่องหน้าต่างด้านเดียว โดยจะให้พื้นที่ผู้ป่วยอยู่ติดกับด้านที่มีหน้าต่าง และมีทางเดินเป็นพื้นที่แบ่งระหว่างห้องเจ้าหน้าที่และพื้นที่ผู้ป่วย ผังอาคารลักษณะนี้จะเกิดการไหลระหว่างหน้าต่างและประตู เป็นผังอาคารที่มีปัญหาการระบายอากาศหากปิดประตูและความเร็วลมต่ำ



ภาพที่4.9 ผังอาคารแบบระบายอากาศสองทิศทาง

(2) ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

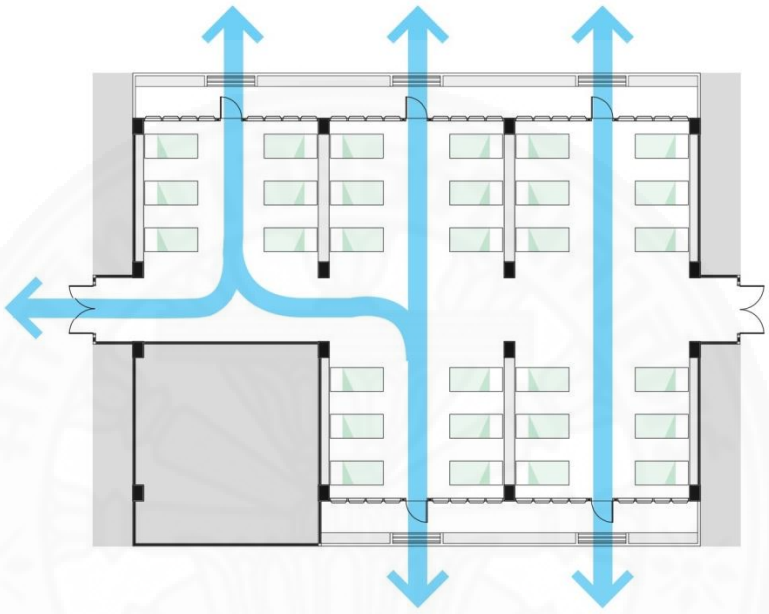
ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากเป็นผังที่มีลักษณะเปิดโล่งและมีอากาศไหลผ่านระหว่างพื้นที่ได้สะดวกเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางภายในพื้นที่หอผู้ป่วย การแบ่งพื้นที่จะมีทางเดินอยู่กลางห้องและแบ่งพื้นที่ผู้ป่วยเป็นสองฝั่ง



*ภาพที่4.*10 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

(3) ผังอาคารระบายอากาศอากาศแบบผสม

ผังอาคารมีช่องหน้าต่างทั้งสองด้าน แต่มีสิ่งกีดขวางเช่นห้องเจ้าหน้าที่หรือส่วนอื่นๆ ของอาคารอยู่ด้านหนึ่งทำให้พื้นที่หน้าต่างสองด้านไม่เท่ากัน ทำให้บางส่วนเกิดการไหลผ่านของอากาศได้สะดวกและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะการไหลของอากาศภายในหอผู้ป่วย



*ภาพที่4.*11 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

ลักษณะของผังอาคาร และขนาดของช่องเปิดเป็นปัจจัยสำคัญในการระบายอากาศธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อปริมาตรอากาศที่สามารถไหลผ่านเข้าออกได้ จึงได้ทำการศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้นกับผังอาคารลักษณะต่างๆจากกรณีศึกษาในระดับความเร็วลมที่ต่ำแหน่งช่องเปิดที่แตกต่างกัน ดังตารางที่4.1

ตารางที่4.1

เปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างผังอาคารประเภทต่างๆ

หมายเหตุ. จาก ผู้วิจัย

HOSPITAL	ward plan type	No. of Bed	Volume	type of opening	Area of small opening	Cd	volumetric flow rate at air flow at opening					ACH				
			m3		m2		1.00	0.75	0.50	0.25	0.10	1.00	0.75	0.50	0.25	0.10
B	two side	38	937	door	4	0.65	2.60	1.95	1.30	0.65	0.26	9.99	7.49	4.99	2.5	1
C	two side	28	714	door	4	0.65	2.60	1.95	1.30	0.65	0.26	13.1	9.83	6.55	3.28	1.31
E2	two side	40	955	door	4	0.65	2.60	1.95	1.30	0.65	0.26	9.8	7.35	4.9	2.45	0.98
E4	two side	43	955	door	4	0.65	2.60	1.95	1.30	0.65	0.26	9.8	7.35	4.9	2.45	0.98
D	two side	47	980	door	8	0.65	5.20	3.90	2.60	1.30	0.52	19.1	14.3	9.55	4.78	1.91
รพ.มหาราช	two side	32	1036.6	door	3.6	0.65	2.34	1.76	1.17	0.59	0.23	8.13	6.09	4.06	2.03	0.81
อาคารผู้ป่วย 114	two side	32	1036.6	Louvered window	3.7	0.295	1.09	0.82	0.55	0.27	0.11	3.79	2.84	1.9	0.95	0.38
อาคารผู้ป่วย 156	two side	32	1093.4	door	3.6	0.65	2.34	1.76	1.17	0.59	0.23	7.7	5.78	3.85	1.93	0.77
			1093.4	Louvered window	3.7	0.295	1.09	0.82	0.55	0.27	0.11	3.59	2.7	1.8	0.9	0.36
Military 30std	cross	16	348	Louvered window	9.24	0.295	2.73	2.04	1.36	0.68	0.27	28.2	21.1	14.1	7.05	2.82
Military 10std	cross	10	336	Louvered window	19.64	0.295	5.79	4.35	2.90	1.45	0.58	62.1	46.6	31	15.5	6.21
รพ.มหาราช	cross	36	784	Louvered window	15.18	0.295	4.48	3.36	2.24	1.12	0.45	20.6	15.4	10.3	5.14	2.06
A	hybrid	28	428	door	6	0.65	3.90	2.93	1.95	0.98	0.39	32.8	24.6	16.4	8.2	3.28
F	hybrid	31	805	Louvered window	6	0.295	1.77	1.33	0.89	0.44	0.18	7.92	5.94	3.96	1.98	0.79
E1	hybrid	47	897	Slide window	6	0.496	2.98	2.23	1.49	0.74	0.30	11.9	8.96	5.97	2.99	1.19
E3	hybrid	43	897	Slide window	4	0.496	1.98	1.49	0.99	0.50	0.20	7.96	5.97	3.98	1.99	0.8
Military 50std	crooss + obtruct	28	1155	casement window	7.2	0.45	3.24	2.43	1.62	0.81	0.32	10.1	7.57	5.05	2.52	1.01
รพ.สงขลานครินทร์	crooss + middle obtruct	48	1579.4	Louvered window	19.2	0.295	5.66	4.25	2.83	1.42	0.57	12.9	9.68	6.46	3.23	1.29

จากการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารประเภทต่างๆพบว่าค่าแลกเปลี่ยนอากาศมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน 6 ACH เมื่อมีความเร็วลมที่ต่ำกว่า 0.510 เมตรต่อ/วินาที ยกเว้นผังอาคารระบายอากาศข้ามฟากซึ่งสามารถมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่ามาตรฐาน 6 ACH ได้ถึงแม้ว่าจะมีความเร็วลมที่ต่ำ นอกจากนี้พบว่าผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางจำเป็นต้องมีความเร็วลมที่สูงมากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศตามที่กำหนดไว้ จึงทำให้ผังอาคารประเภทนี้จะเป็นต้องมีการปรับปรุงขนาดช่องเปิดและการติดตั้งระบบกลระบายอากาศเพื่อช่วยเพิ่มความเร็วลมภายในอาคาร นอกจากนี้ยังพบว่า

ปริมาตรของพื้นที่ยังส่งผลต่อค่าการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยเช่นกัน ซึ่งถ้าอาคารมีปริมาตรเล็กเช่นผังอาคารแบบอากาศไหลผ่านก็ไม่จำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบกลเพื่อช่วยระบายอากาศ แต่ถ้าหากอาคารมีปริมาตรที่ใหญ่ขึ้น และยิ่งมีสิ่งกีดขวางหรือจำนวนหน้าต่าง และขนาดที่ลดลงจะส่งผลต่อค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่อาจต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

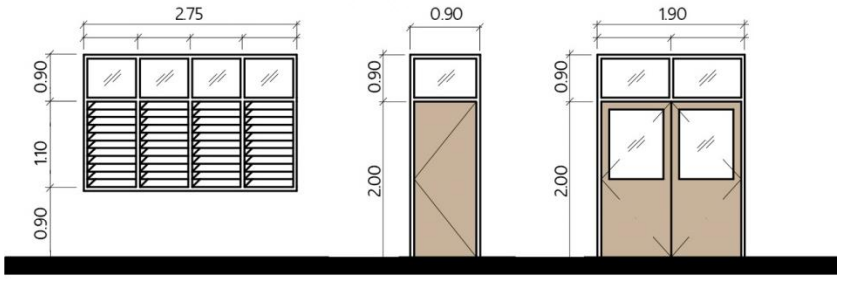
4.2 การกำหนดค่าแบบจำลอง และการจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติ

4.2.1 การกำหนดค่าแบบจำลอง

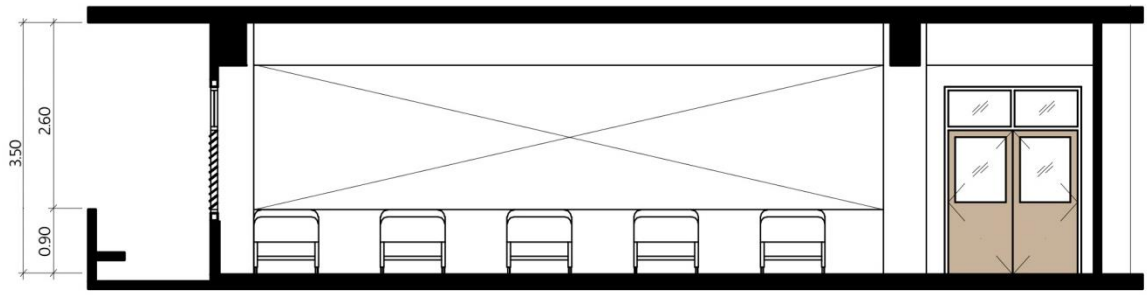
ในการจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลนั้นเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานจากการสำรวจและศึกษาผังอาคารของโรงพยาบาลในไทยที่มีหอผู้ป่วยรวมใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติจำนวน 20 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก และผังอาคารระบายอากาศแบบผสม โดยกำหนดให้มีขนาดช่องหน้าต่างและประตูเท่ากัน ความกว้างของผังอาคารมาตรฐาน 21 เมตร มีปริมาตรห้อง 913 ลบ.ม. และมีผนังก่อสูง 0.90 เมตร สำหรับเดินท่อก๊าซบริเวณหัวเตียงผู้ป่วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1.1ขนาดช่องหน้าต่างและประตู

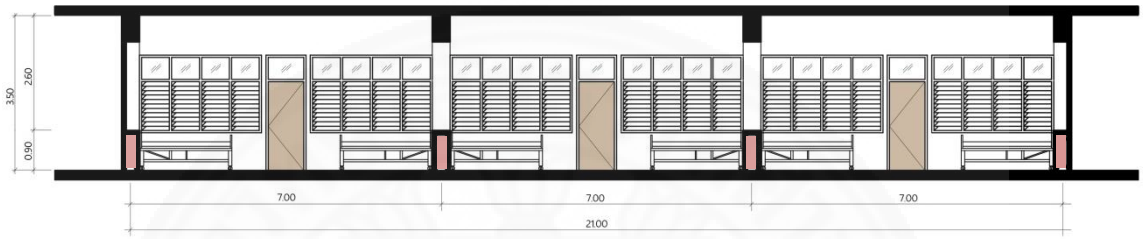
ในแบบจำลองมาตรฐานจะมีผนังหนึ่งด้านหรือสองด้านที่มีช่องหน้าต่างเพื่อใช้ระบายอากาศภายใน โดยกำหนดให้หน้าต่างเป็นหน้าต่างแบบบานเกล็ดมีมุ้งลวดและกระจกแบบยึดแน่นด้านบน มีขนาดกว้าง 1.10 เมตร ยาว 2.75 เมตร สูงจากพื้น 0.9 เมตร มีค่า Cd (Discharge coefficient) 0.296 และประตูแบบทึบที่มีช่องแสงกระจกยึดแน่นด้านบนขนาด และติดตั้งมุ้งลวด กว้าง 0.90 เมตร สูง 2.00 เมตร และกว้าง 1.90 เมตร สูง 2.00 เมตร มีค่า Cd 0.65 โดยจัดวางตำแหน่งประตูและหน้าต่างดังนี้



ภาพที่4.12 รูปแบบและขนาดของหน้าต่างและประตู



ภาพที่4.13 การจัดวางตำแหน่งหน้าต่าง ประตู และความสูง



ภาพที่4.14 ตำแหน่งช่องท่องานระบบก๊าซและไฟฟ้าสำหรับเตียงผู้ป่วย

4.2.1.2 ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

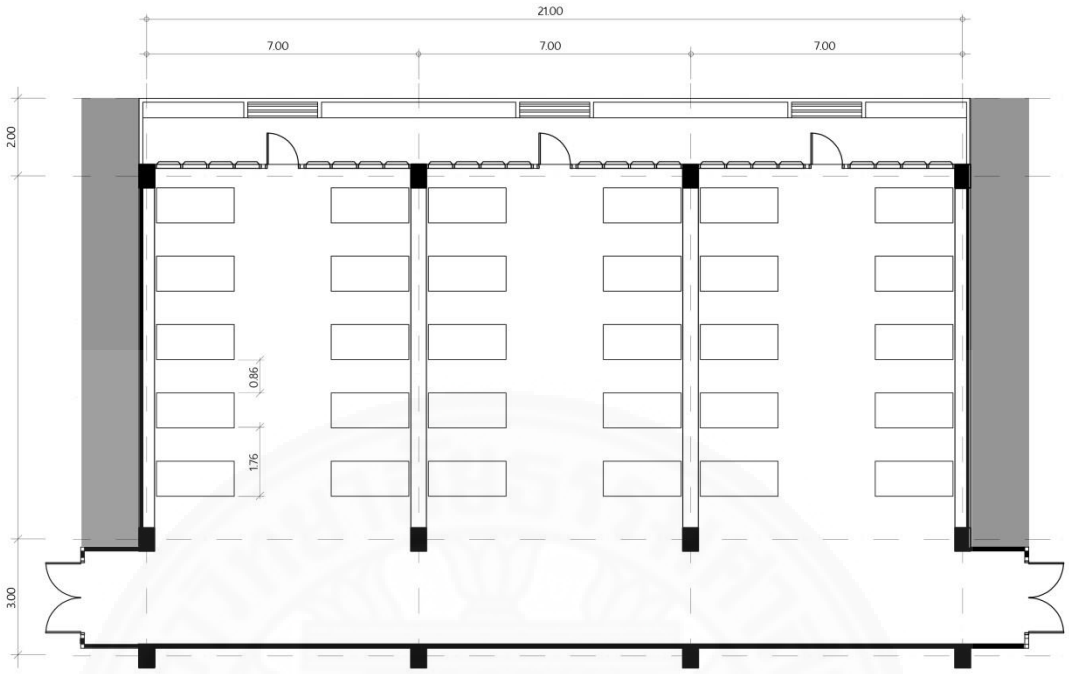
ผังอาคารมีลักษณะมีช่องเปิดเป็นหน้าต่างหนึ่งด้านออกสู่ภายนอก และมีประตูขนาดใหญ่ที่ทางเข้าออกหลักของหอผู้ป่วย เส้นทางการไหลของอากาศจะไหลผ่านทางช่องประตูหลักและช่องหน้าต่าง ดังภาพที่4.16

4.2.1.3 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

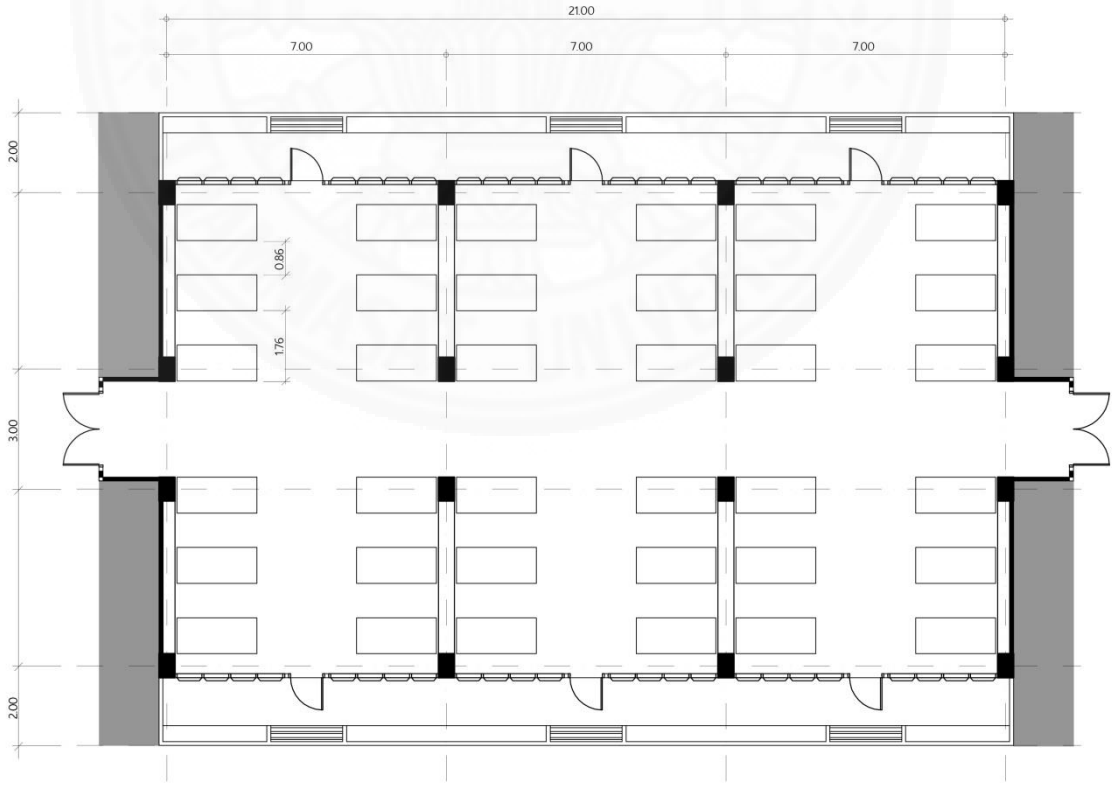
ผังอาคารมีลักษณะมีช่องเปิดเป็นหน้าต่างสองด้านออกสู่ภายนอก โดยมีลักษณะการไหลของอากาศจากหน้าต่างด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ดังรูปที่4.17

4.2.1.4 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

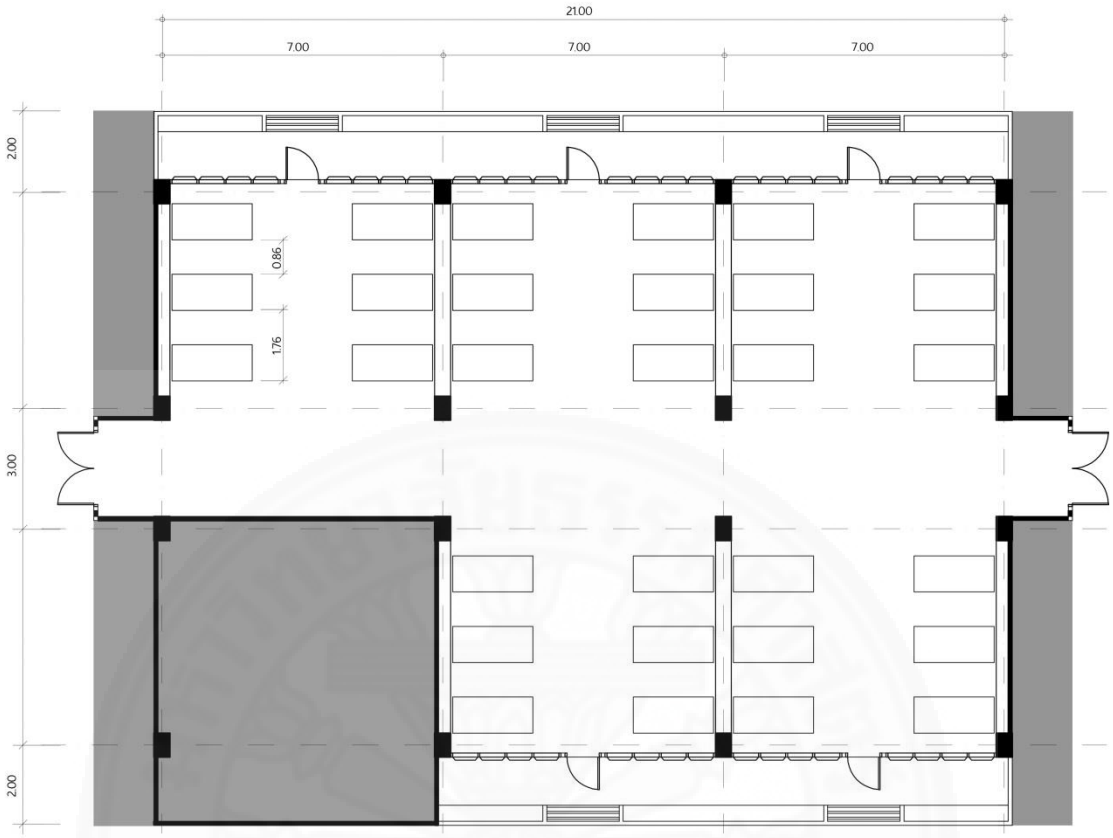
ผังอาคารมีลักษระผสมระหว่างผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง และผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก โดยมีช่องเปิดที่เป็นหน้าต่างสองด้านออกสู่ภายนอกแต่มีปริมาณไม่เท่ากันเนื่องจากสิ่งกีดขวางเช่นห้องเจ้าหน้าที่ หรือส่วนอื่นๆของอาคาร ทำให้เกิดการไหลของอากาศแบบผสมระหว่างผังอาคารหอผู้ป่วยที่กล่าวมาข้างต้น ดังรูปที่4.19



ภาพที่4.15 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง



ภาพที่4.16 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก



ภาพที่4.17 ขนาดแบบจำลองประเภทผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

4.2.2 ความเร็วลมและรูปแบบระบบกลระบายอากาศในการทดลอง

จากการลงสำรวจโรงพยาบาลและการศึกษางานวิจัยอื่นๆพบว่าหอผู้ป่วยรวมที่ใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติบางแห่งมีการใช้งานระบบกลในการช่วยระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศอากาศด้านบนของห้องเพื่อระบายอากาศ นอกจากนี้การวิจัยนี้จะนำหลักการณ์การควบคุมทิศทางอากาศของห้องปลอดเชื้อและห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อมาร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

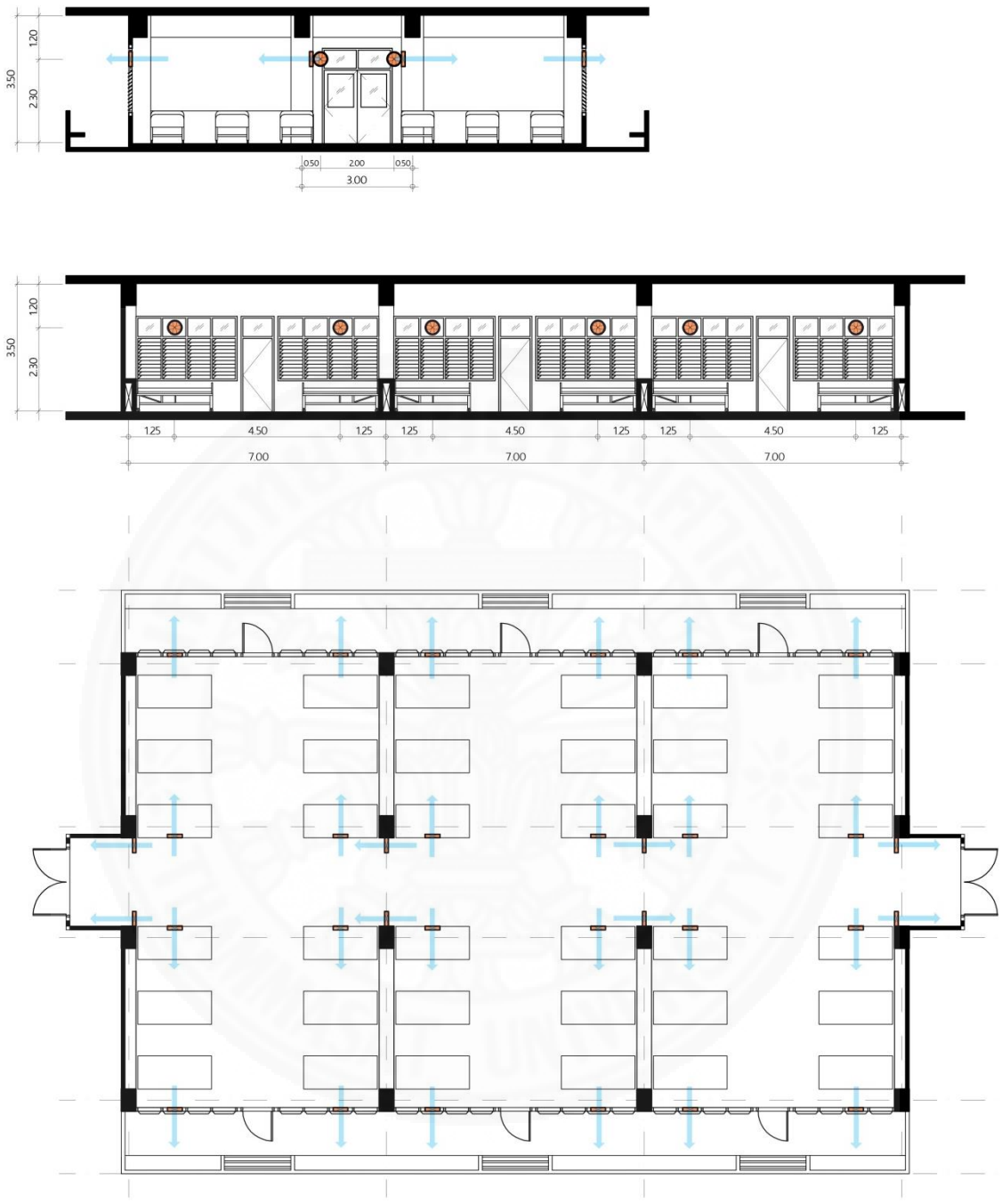
4.2.2.1 การระบายอากาศด้วยพัดลมแบบใบพัด

เป็นการระบายอากาศด้วยพัดลมชนิดใบพัดขนาด 16 นิ้ว ที่มีปริมาตรระบายอากาศ 0.47 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามมาตรฐาน มอก. 710-2535 ที่ส่วนบนของพื้นที่หอผู้ป่วยในลักษณะเป่าออกไปยังช่องเปิดที่ใกล้ที่สุด เพื่อขับเคลื่อนอากาศด้านในออกสู่พื้นที่ภายนอก ซึ่งจะติดตั้งในแนวเหนือทางเดิน และตำแหน่งกึ่งกลางเตียงผู้ป่วยที่ระยะความสูง 2.30 เมตร

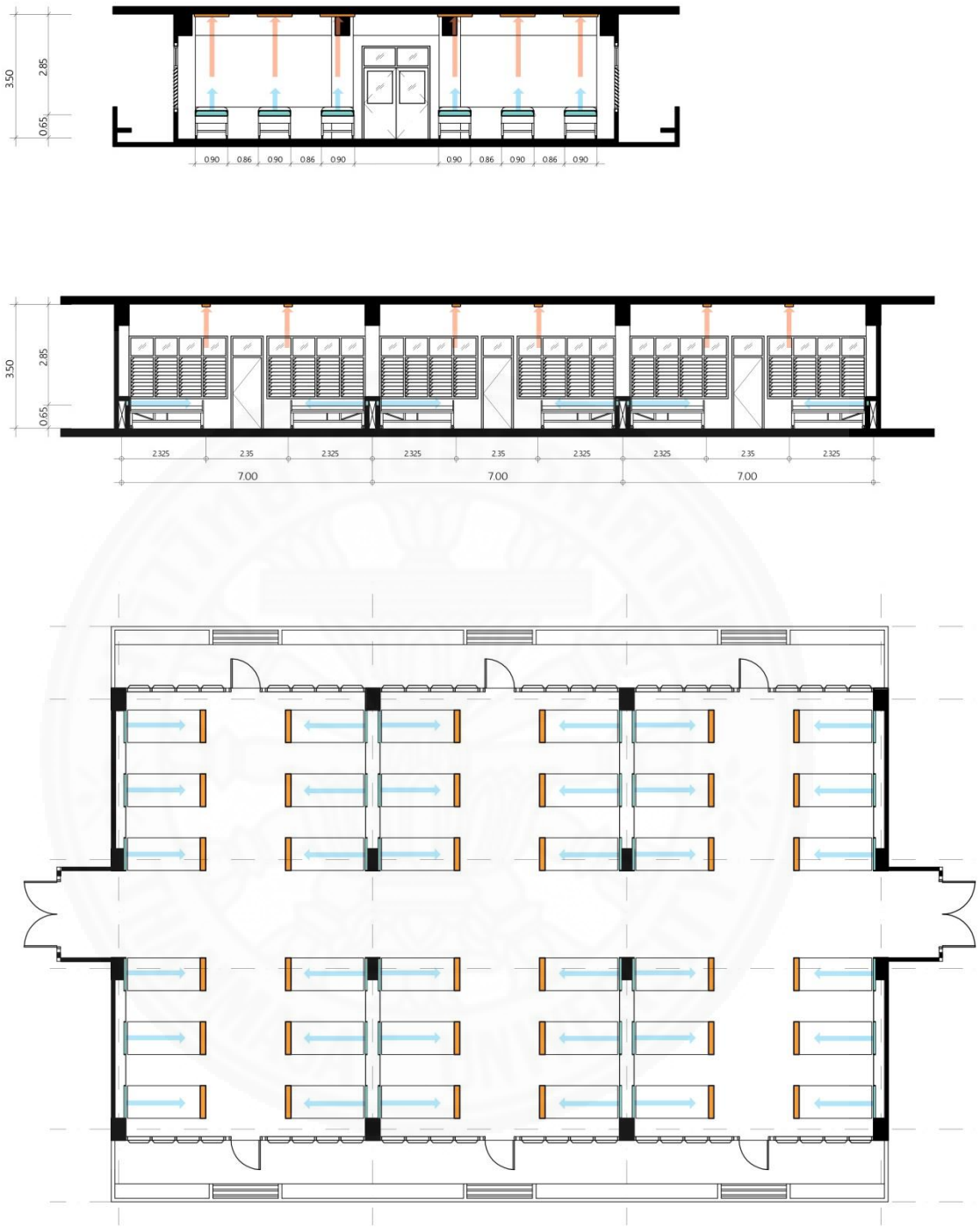
4.2.2.2 การระบายอากาศผ่านระบบท่อระบายอากาศ

การระบายอากาศผ่านระบบท่อระบายอากาศเป็นการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ ซึ่งเป็นแนวการควบคุมของห้องแยกปลอดเชื้อ โดยการปล่อยอากาศสะอาดจากช่องนำอากาศเข้าใกล้เตียงผู้ป่วยแล้วดูดอากาศออกด้านบนของพื้นที่เพื่อป้องกันการติดเชื้อของผู้ป่วย การระบายอากาศรูปแบบนี้จะใช้ร่วมกับพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนำเข้าอากาศและดูดอากาศผ่านระบบท่ออากาศ โดยมีขนาดช่องเปิดกว้าง 0.15 เมตร ยาว 0.90 เมตร ซึ่งในการทดลองกำหนดให้ปล่อยอากาศรวมทุกช่องเป็นปริมาตร 6 ACH ของปริมาตรห้องเพื่อให้ปริมาตรอากาศที่ได้สูงกว่ามาตรฐานตลอดเวลา

ความเร็วลมธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการระบายอากาศธรรมชาติ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ได้ศึกษาความเร็วลมในกลุ่มจังหวัดในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ได้ทำการศึกษาความเร็วลมตลอดทั้งปี ในช่วงกลางวันและกลางคืนโดยพบว่าความเร็วลมกลางวันมีความเร็วลมที่สูงกว่าความเร็วลมในช่วงกลางคืนเนื่องจากช่วงกลางวันเกิดความแตกต่างของอุณภูมิพื้นผิวที่มากกว่าในเวลากลางคืน การทดลองจึงเลือกใช้ความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร โดยมีความเร็วลมเฉลี่ย 2 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วลมกลางวัน และ 0.92 เมตรต่อวินาที



ภาพที่4.18 การระบายอากาศด้วยพัดลดประเภทใบพัด



ภาพที่4.19 การควบคุมทิศทางให้อากาศบริสุทธิ์ไหลผ่านเตียงผู้ป่วยและดูดกลับด้านบนของอาคารผ่านระบบท่ออากาศ

4.2.3 แนวทางการประเมินคุณภาพอากาศภายในหอผู้ป่วยรวม

การประเมินคุณภาพอากาศในการทดลองครั้งนี้มีความสนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงภายในหอผู้ป่วย ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง ลักษณะทิศทางการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจากการจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล อายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้ศึกษาในระดับเตียงผู้ป่วย (0.90เมตร) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ทำการศึกษามีข้อกำหนดในการเปรียบเทียบดังนี้

4.2.3.1 ความเร็วลม

ศึกษาค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงในระดับเตียงผู้ป่วย (0.90 เมตร) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งความเร็วลม และทิศทางที่เกิดขึ้นจะส่งผล อายุของอากาศ

4.2.3.2 ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง

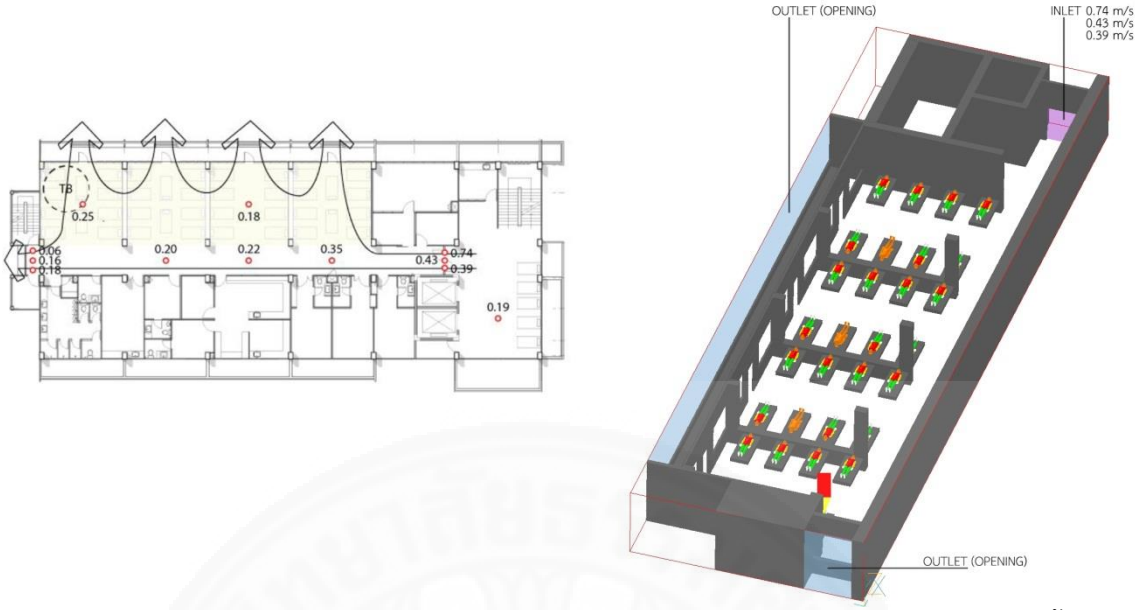
ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่เกิดขึ้นจากการจำลอง และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของ ASHRAE Standard 170 ที่กำหนดให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงมีค่าไม่น้อยกว่า 6 ACH

4.2.3.3 อายุเฉลี่ยของอากาศ

อายุเฉลี่ยของอากาศเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพอากาสที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ และรูปแบบผังอาคาร ซึ่งหอผู้ป่วยรวมจะต้องมีอายุเฉลี่ยของอากาศไม่เกิด 600 วินาที (6 ACH)

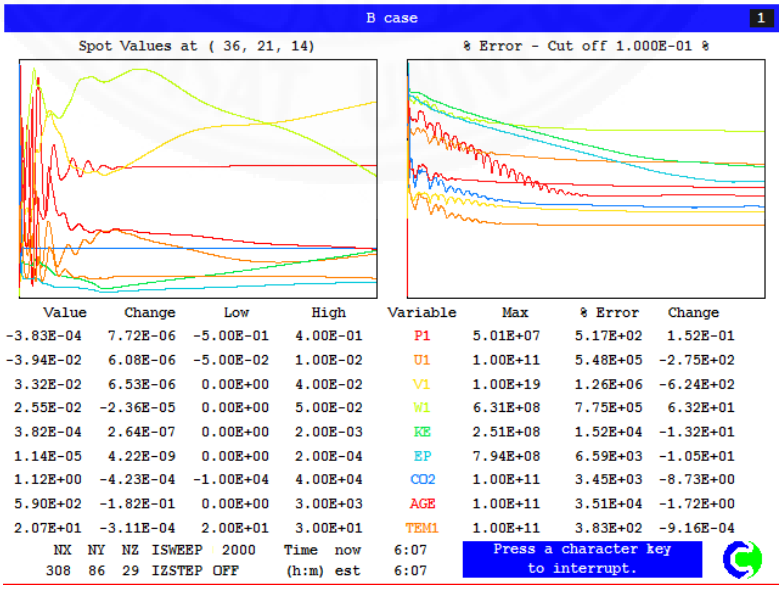
4.2.4 การจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล

ในการจำลองครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม PHOENICS FLAIR ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการไหลของอากาศภายในห้อง โดยการจำลองนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมเมื่อผ่านพื้นที่หอผู้ป่วย และการพิจารณาอายุของอากาศในพื้นที่เพื่อพิจารณาคุณภาพอากาศ ซึ่งในจำลองครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า โดยกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศมีทิศตั้งฉากกับช่องเปิดโดยเลือกผังอาคารประเภทช่องหน้าต่างด้านเดียวในการทดสอบ



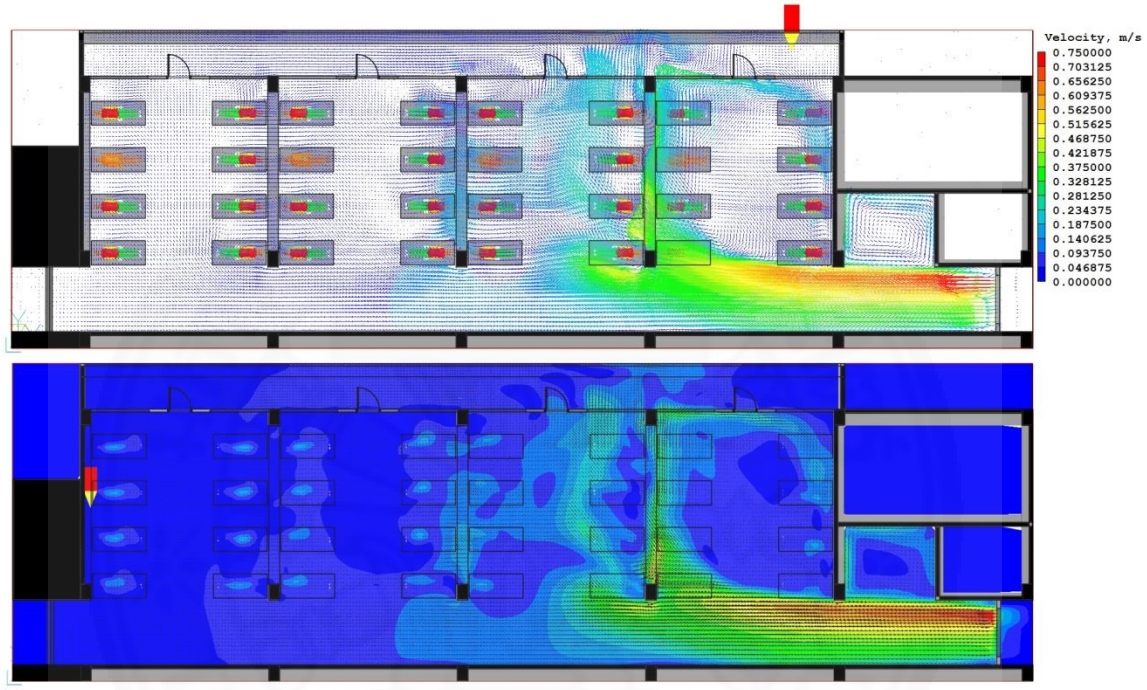
*ภาพที่4.*20 การกำหนดตำแหน่งช่องลมเข้า(INLET)และช่องลมออก(OUTLET) และความเร็วลมตั้งต้น

การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณของโปรแกรม โดยพิจารณาจากกราฟแสดงความผันผวนของค่าความกดอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิ อายุอากาศ หากกราฟมีเส้นขนานตามแนวแกน x แสดงว่าการทดสอบมีความคงที่ และกราฟแสดงความผิดพลาดของการทดสอบซึ่งหากมีแนวโน้มที่ลดลงจนกระทั่งคงที่แสดงว่าผลการทดสอบมีค่าความผิดพลาดลดลง นอกจากนี้การพิจารณาความน่าเชื้อถือของผลการทดลองจากผลการคำนวณของโปรแกรมโดยนำค่า Residual Sum ของ P1 หารด้วยผลรวมของค่าสัมบูรณ์ Net Source ของ U1, V1 และ W1 จาก INLET ซึ่งต้องได้ค่าน้อยกว่า 0.01



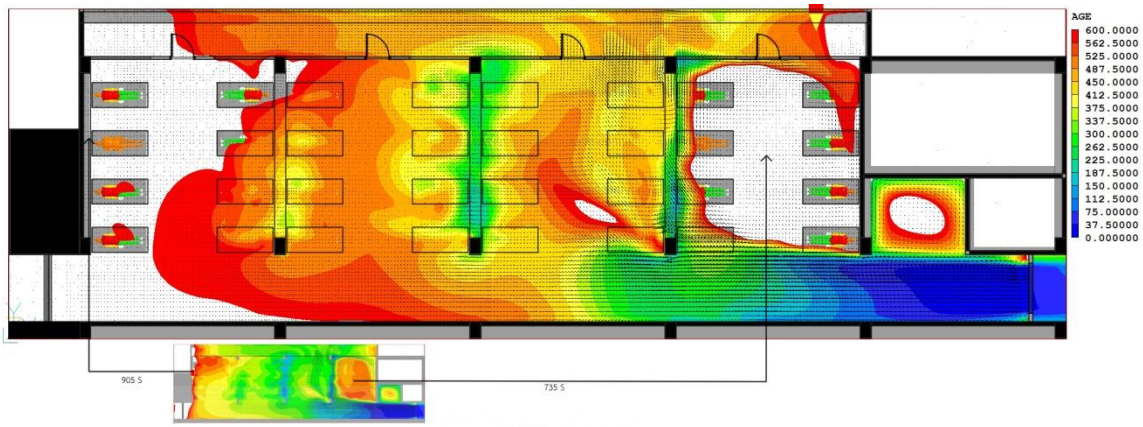
ภาพที่4.21 ค่าความผิดพลาดและความเสถียรของผลการทดสอบจากโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล

การจำลองความเร็วลมได้กำหนดความเร็วลมเริ่มต้นตามกรณีศึกษาข้างต้นคือ 0.74 เมตรต่อวินาที 0.43 เมตรต่อวินาที และ 0.39 วินาที เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ พบว่าสองช่วงเสาแรกที่อากาศไหลไปมีความเร็วลมประมาณ 0.3 เมตรต่อวินาที แต่ช่วงท้ายของห้องมีความเร็วลมต่ำมาก คือ 0.09 เมตรต่อวินาที และนอกจากนี้พบว่ามีการไหลวนของอากาศที่ช่วงเสาแรก จุดที่ความเร็วลมต่ำและพื้นที่ไหลวนของอากาศจึงกลายเป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจเกิดการสะสมของเชื้อในอากาศได้สูง



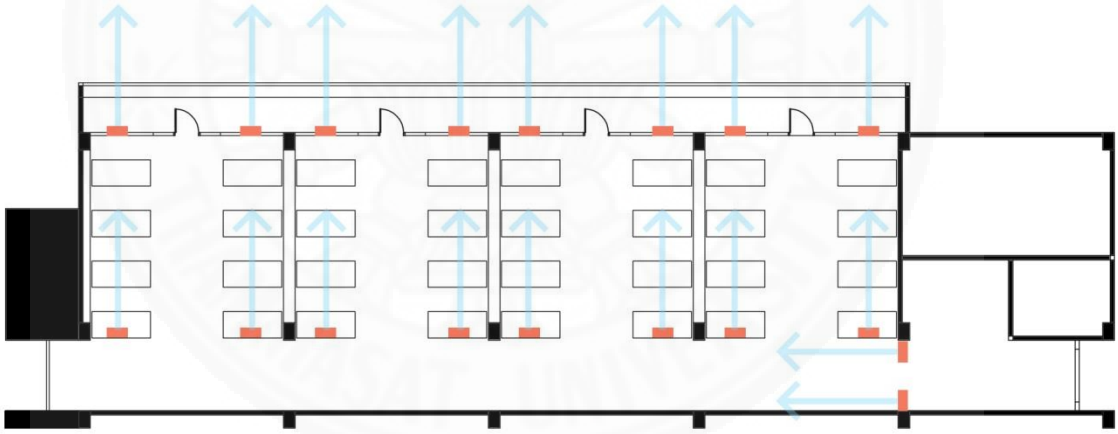
ภาพที่4.22 ความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากการจำลอง

การจำลองอายุของอากาศเป็นการศึกษาถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยอาคารประเภทหอผู้ป่วยจะต้องมีอายุของอากาศไม่เกิน10นาที หรือ 600 วินาที ซึ่งจากการทดสอบปรากฏว่ามีพื้นที่ส่วนใหญ่มีอายุประมาณ 375 – 525 วินาที ซึ่งค่อนข้างสูง และพบพื้นที่ที่มีอายุเกินกว่าที่กำหนดไว้คือพื้นที่ที่มีอากาศไหลวนและพื้นที่ท้ายห้องซึ่งมีอายุ 735 วินาที และ 905 วินาที ตามลำดับซึ่งกลายเป็นพื้นที่ที่มีความเสียงสูงกว่าพื้นที่ที่มีอายุของอากาศต่ำกว่าที่กำหนด และที่สำคัญพบว่าจากการทดสอบพบพื้นที่ที่มีอายุสูงกว่าค่ามาตรฐานซึ่งหมายถึงพื้นที่นี้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำกว่า 6 ACH ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน



ภาพที่4.23 อายุเฉลี่ยของอากาศ

จากการจำลองจึงพบว่าความเร็วลมที่ต่ำและทิศทางเดียวทำให้เกิดการไหลวนของอากาศภายในและความเร็วลมต่ำ และทำให้อายุของอากาศที่เกินมาตรฐาน การใช้ระบบกลเพื่อช่วยระบาย โดยมีแนวความคิดคือการเพิ่มความเร็วลมในช่องลมเข้า และควบคุมทิศทางการไหลของอากาศบริเวณเตียงผู้ป่วยเพื่อลดการกระจายและสะสมเชื้อในอากาศ และสามารถทำให้อายุของอากาศลดลงได้



ภาพที่4.24 แนวทางการติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

ทั้งนี้ในการจำลองการไหลของอากาศเพื่อศึกษา ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และค่าอายุของอากาศ ได้แบ่งการจำลองเป็น 3 ส่วน โดยมีแบบจำลองทั้งหมด 18 แบบจำลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่4.2

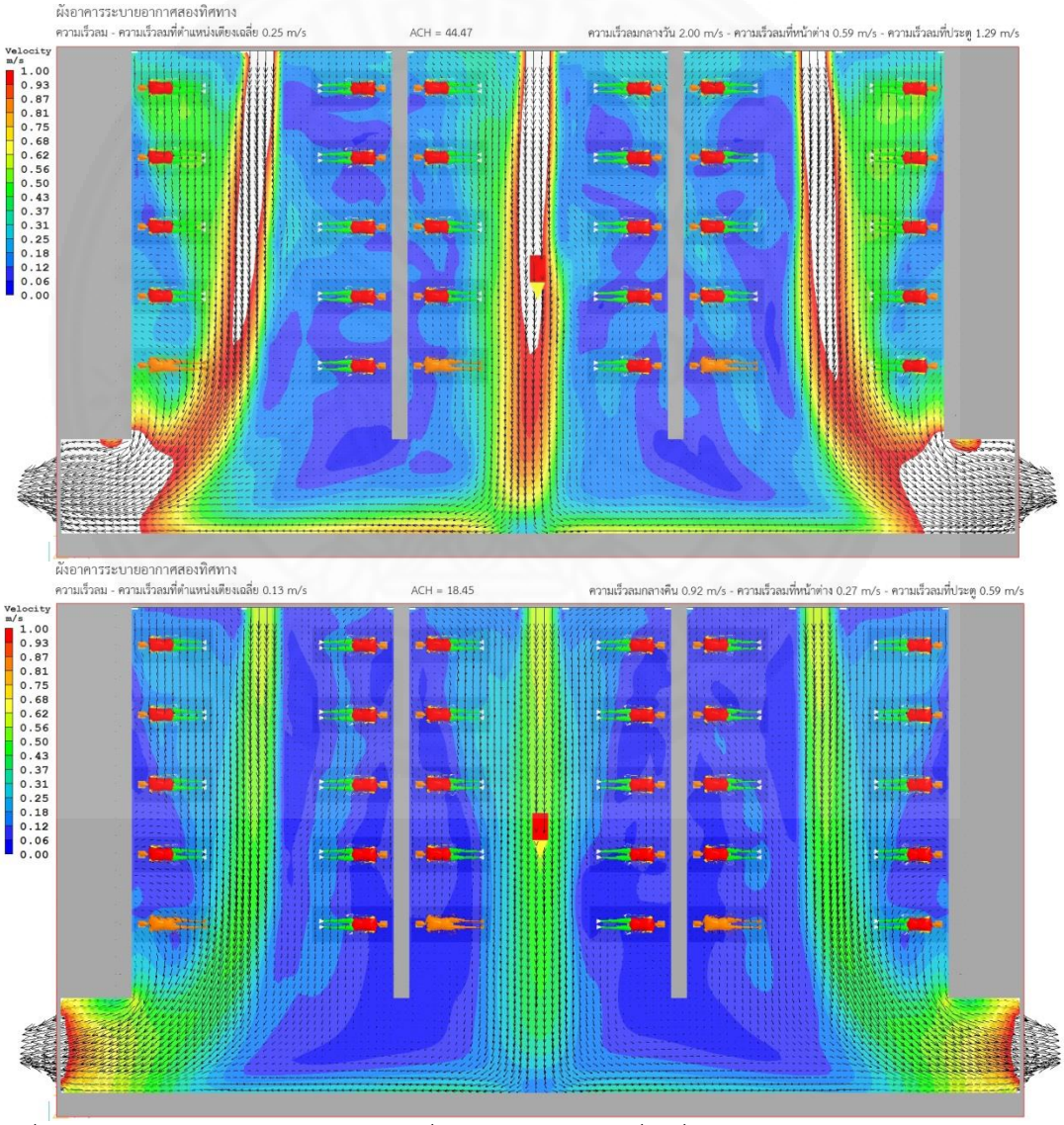
ลำดับการจำลองและจุดประสงค์ในการจำลองการไหลของอากาศ

ลำดับการจำลอง		จุดประสงค์ในการจำลอง	แบบจำลอง	จำนวนแบบจำลอง
1	การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติของผังอาคารมาตรฐาน	ศึกษาความแตกต่างของ ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศ ในความเร็วลมกลางวันและความเร็วลมกลางคืน	ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง	2
			ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก	2
			ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม	4
2	การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศต่อผังอาคารระบายอากาศแบบผสม	ศึกษา ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศ ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อผังอาคารมีขนาดสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน โดยเลือกใช้ค่าความเร็วลมกลางคืนเป็นค่าความเร็วลมธรรมชาติ	ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม	5
3	การศึกษาการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศ	ศึกษา ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศ ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการระบายอากาศธรรมชาติ	ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด	1
			ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด	1
			ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด และ การระบายอากาศด้วยท่ออากาศ	2

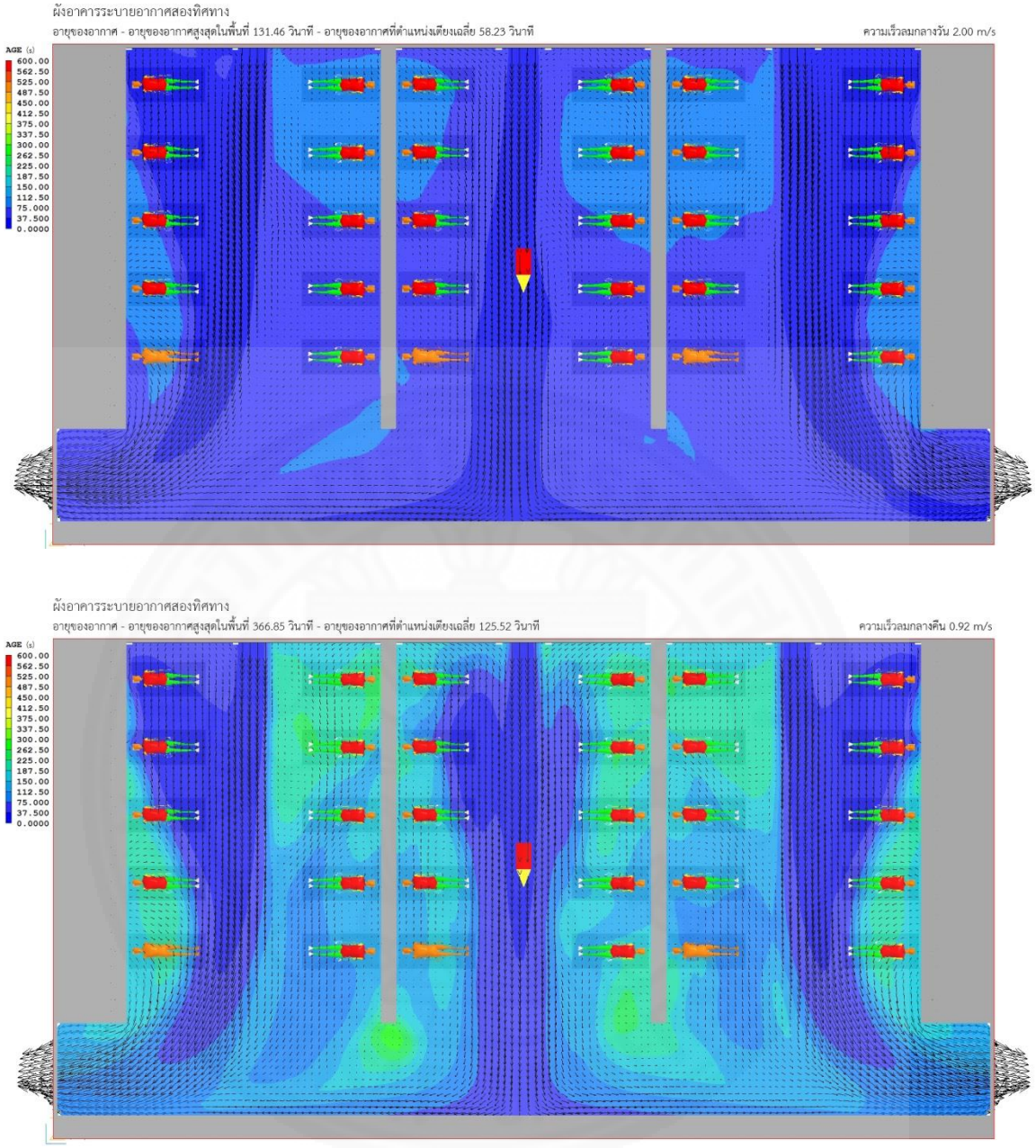
4.3 การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติของผังอาคารมาตรฐาน

4.3.1 ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

จากการจำลองผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง พบว่าลักษณะการไหลจะไหลจากช่องหน้าต่างและประตูบริเวณที่ติดกับภายนอกและไหลออกที่ประตูทางเข้าหลัก โดยความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในเวลากลางวันมีค่า 0.25 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าความเร็วลมกลางคืน 0.13 เมตร/วินาที ทำให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศลดลงจาก 44.47 เป็น 18.45 และทำให้อายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 55.23 วินาที เป็น 125.52 วินาที โดยพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆเป็นพื้นที่เตียงที่อยู่กึ่งกลางห้อง



*ภาพที่4.25*ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน

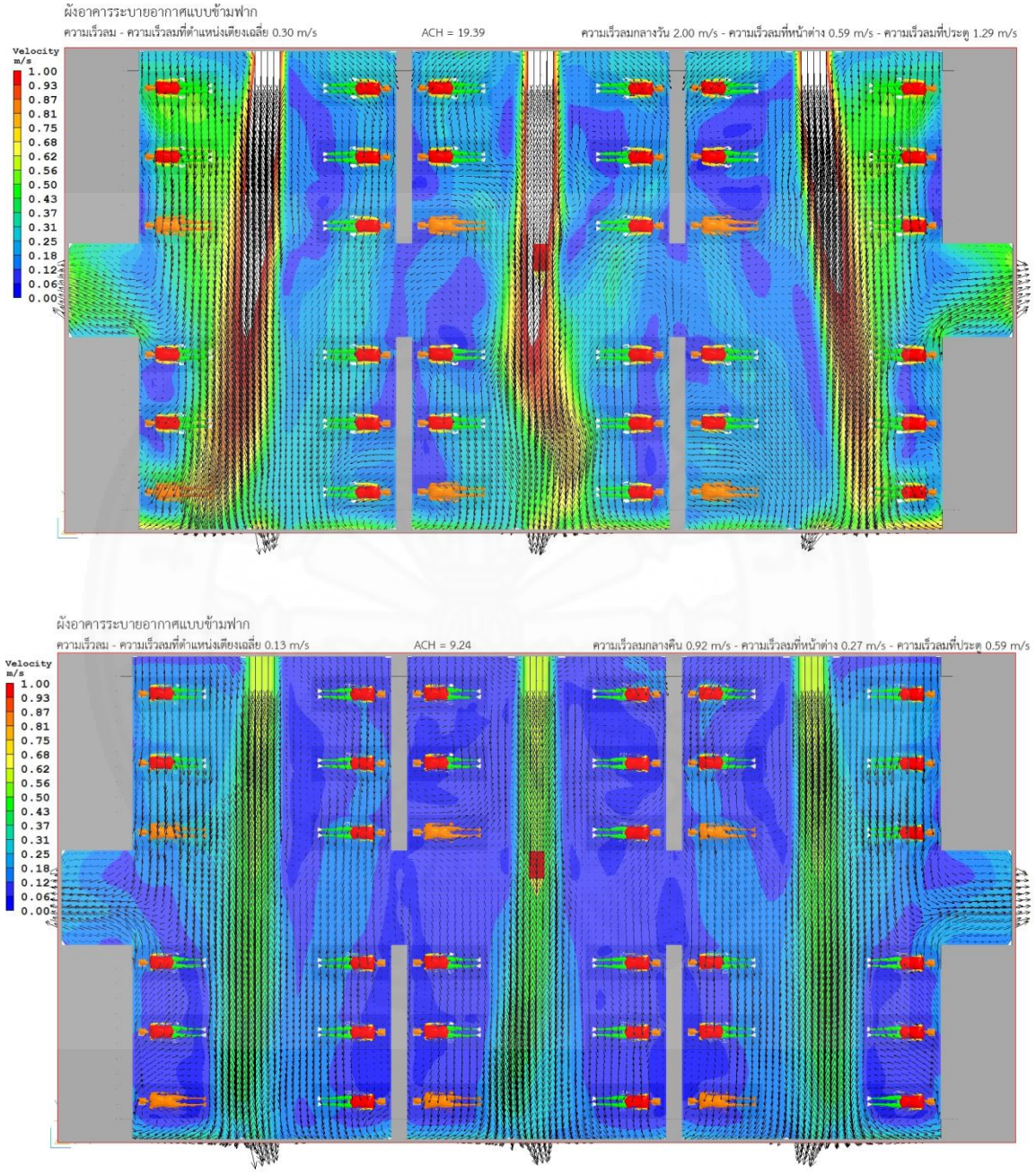


ภาพที่4.26 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน

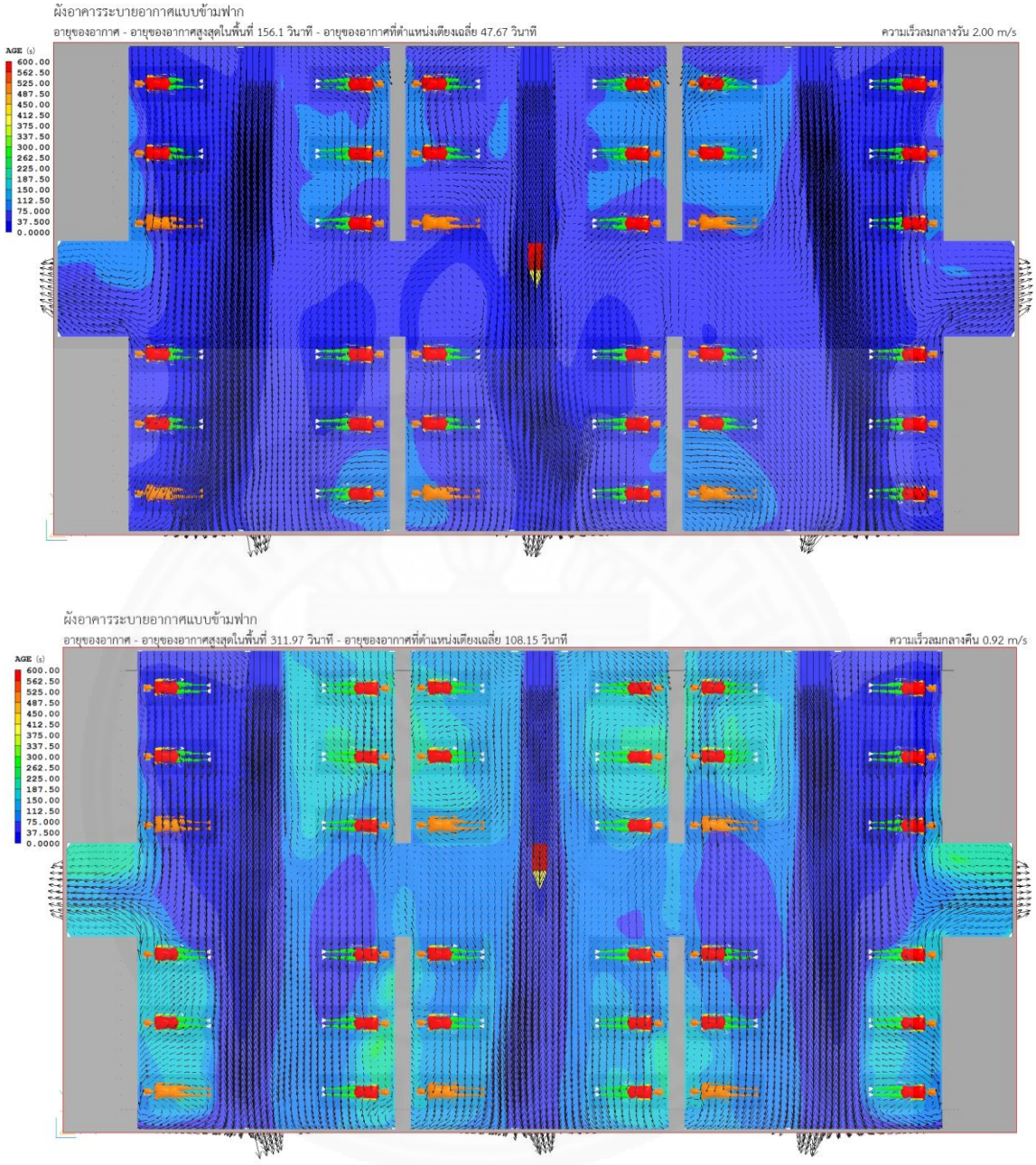
4.3.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

จากการจำลองผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก ลักษณะการไหลจะไหลช่องช่องหน้าต่างและประตูด้านหนึ่งข้ามพื้นที่เตียงผู้ป่วยแล้วไหลออกที่ช่องหน้าต่างและประตูอีกด้านหนึ่ง โดยความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในเวลากลางวันกลางวันมีค่า 0.30 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าความเร็วลมกลางคืน 0.13 เมตร/วินาที ทำให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศลดลงจาก 19.39 เป็น 9.24 และทำให้อายุ

ของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 47.67 วินาที เป็น 108.15 วินาที โดยพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆเป็นพื้นที่เตียงที่อยู่กึ่งกลางห้อง



ภาพที่4.27 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน



ภาพที่4.28 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน

4.3.3 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมมีลักษณะการไหลของอากาศผสมระหว่างการระบายอากาศสองทิศทางและการระบายอากาศแบบข้ามฟาก ทั้งนี้เนื่องจากผังอาคารมีสิ่งกีดขวางซึ่งผลต่อพื้นที่ช่องเปิดที่ไม่เท่ากันทำให้ลักษณะการไหลของอากาศเมื่อลมไหลเข้าในแต่ละด้านมีความแตกต่างกันจึงได้จำลองการไหลของอากาศเมื่ออากาศไหลเข้าทั้งด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และมีสิ่งกีดขวางดังนี้

4.3.3.1 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

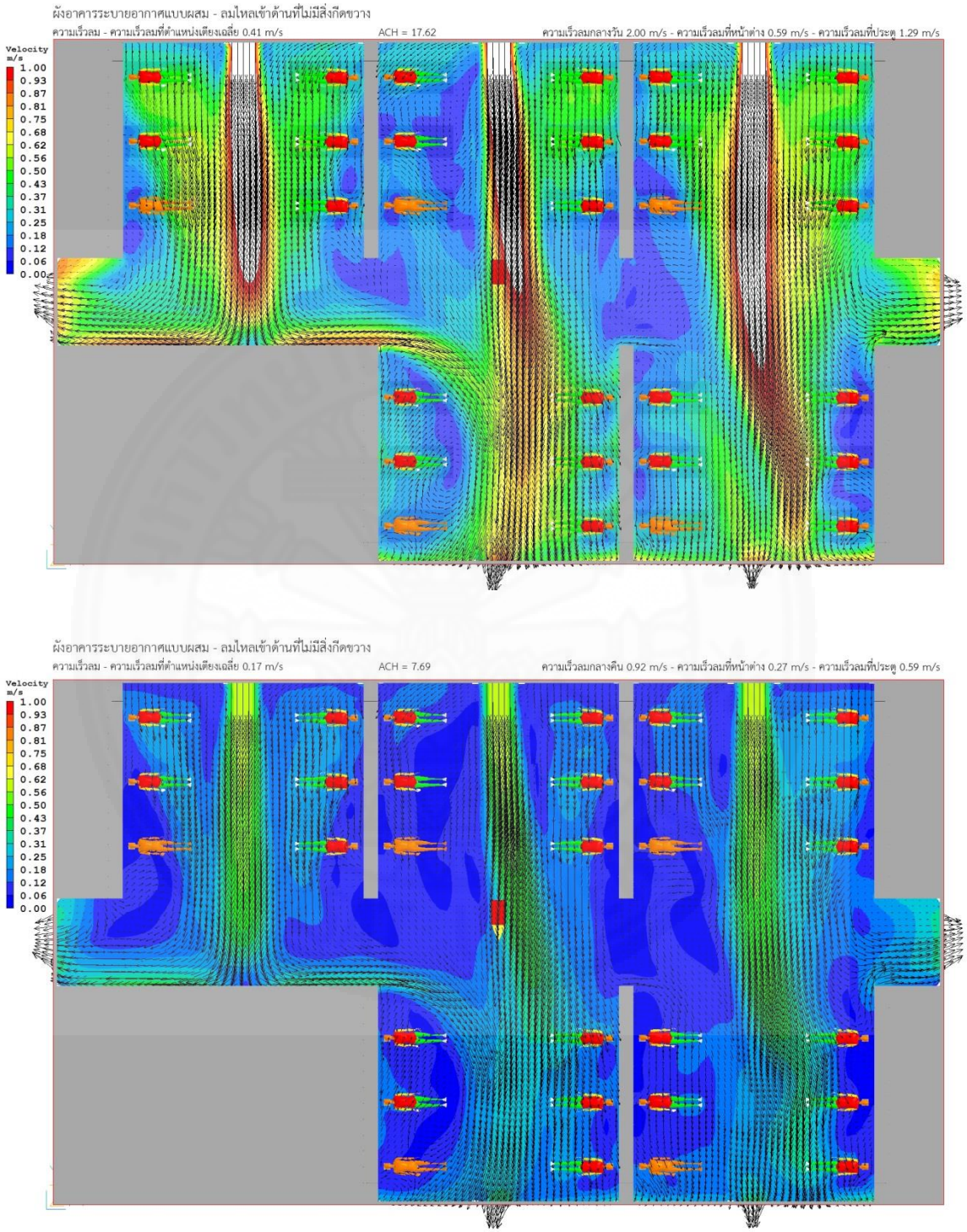
จากการจำลองการไหลของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม จะพบว่ามีลักษณะการไหลของอากาศผสมกันระหว่างการระบายอากาศสองทิศทางและไหลผ่านข้ามฟาก เมื่ออากาศไหลปะทะสิ่งกีดขวางทำให้เกิดอากาศไหลวนบริเวณสิ่งกีดขวางก่อนไหลออกทางหน้าต่าง โดยมีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในเวลากลางวันกลางมีค่า 0.41 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าความเร็วลมกลางคืน 0.17 เมตร/วินาที ทำให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศลดลงจาก 17.62 เป็น 7.69 และทำให้อายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.19 วินาที เป็น 86.85 วินาที โดยพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆเป็นพื้นที่ที่เตียงอยู่ติดกับสิ่งกีดขวาง ดังภาพที่ 4.29 และภาพที่ 4.30

4.3.3.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

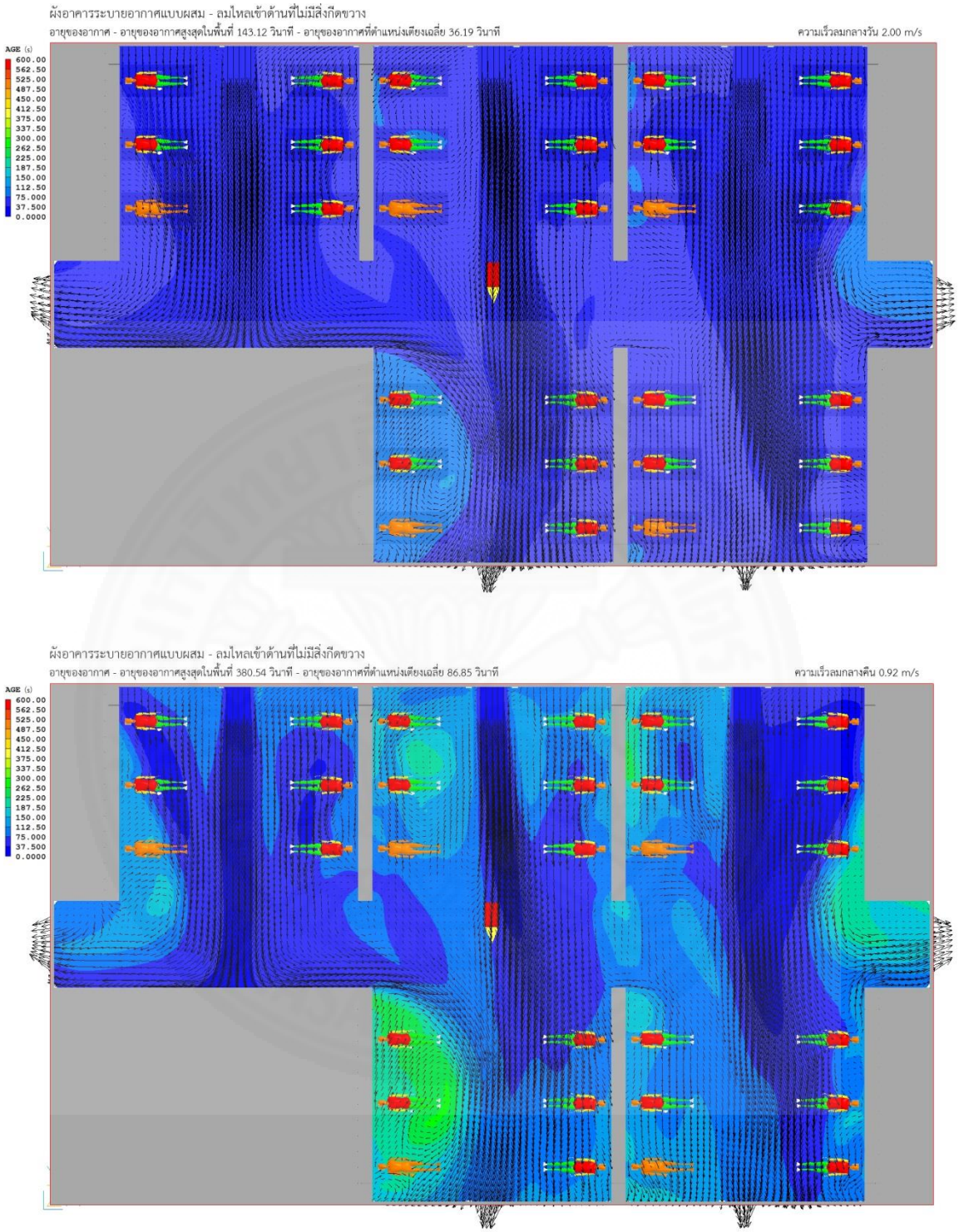
จากการจำลองเมื่ออากาศไหลเข้าจากด้านที่มีสิ่งกีดขวาง ปริมาตรอากาศที่ไหลเข้าได้จะน้อยกว่าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเนื่องจากสิ่งกีดขวาง ตัวอย่างเช่น ห้องพักเจ้าหน้าที่ ห้องเก็บอุปกรณ์ หรือพื้นที่บริการอื่นๆของอาคาร ทำให้พื้นที่ช่องเปิดลดลง เมื่ออากาศไหลเข้าสิ่งกีดขวางจะทำให้เกิดอากาศไหลวนด้านหลังสิ่งกีดขวาง ทำให้อายุของอากาศในพื้นที่อากาศไหลวนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงในการติดเชื้อทางอากาศสูง โดยมีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในเวลากลางวันกลางมีค่า 0.29 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าความเร็วลมกลางคืน 0.13 เมตร/วินาที ทำให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศลดลงจาก 44.31 เป็น 20.33 และทำให้อายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 81.08 วินาที เป็น 173.00 วินาที โดยพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆเป็นพื้นที่ที่เตียงอยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวาง ดังภาพที่ 4.31 และภาพที่ 4.32

ทั้งนี้การจำลองในลำดับต่อไปจึงเลือกใช้ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางเป็นตัวแทนแบบจำลองของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเนื่องจากเป็นผังอาคารที่เกิดการไหลวนของอากาศเป็นพื้นที่กว้าง ทำให้ค่าความเร็วลมต่ำ และมีอายุของอากาศเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นพื้นที่ๆสามารถสะสมเชื้อในอากาศได้สูงกว่าผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

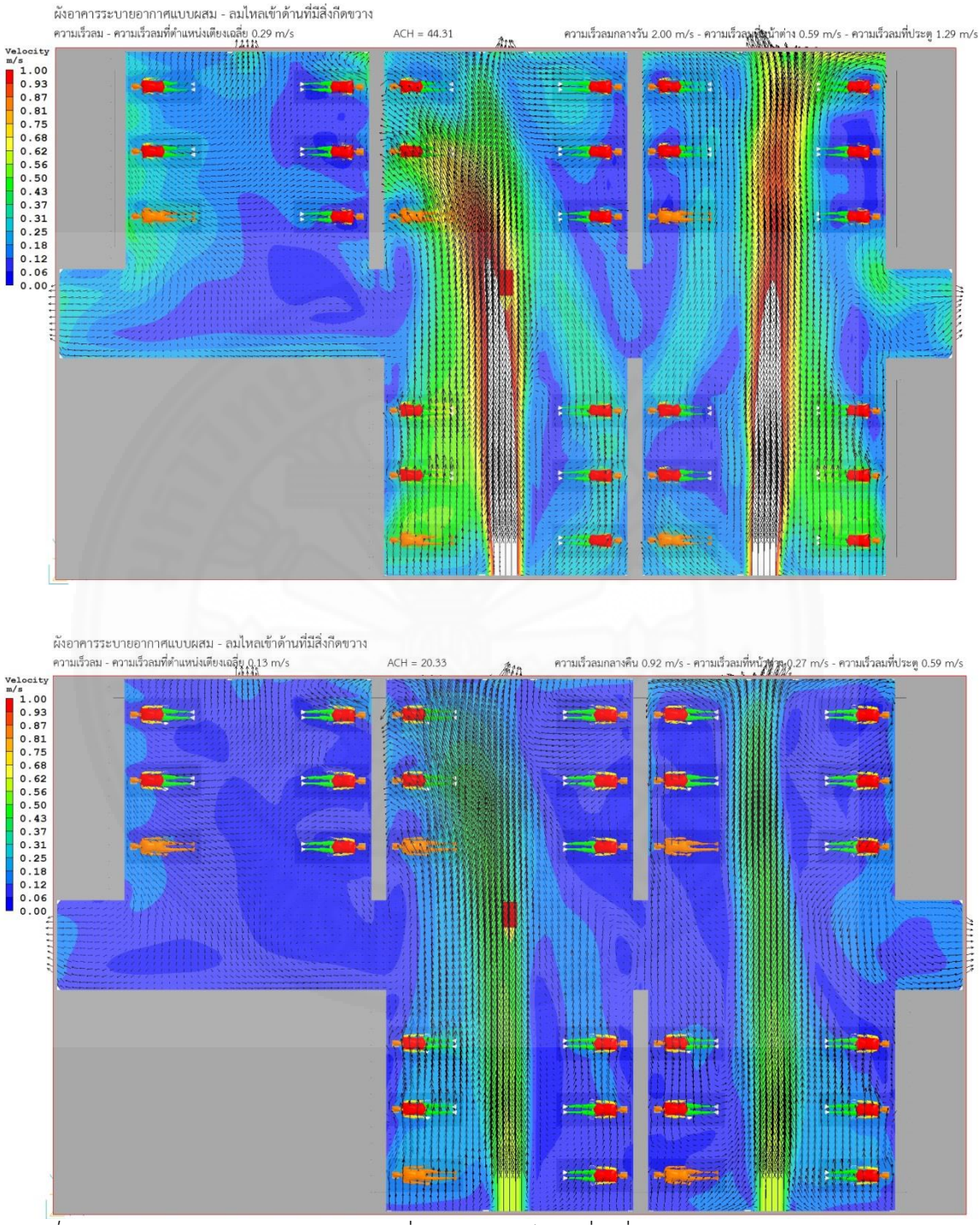


*ภาพที่4.29*ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน

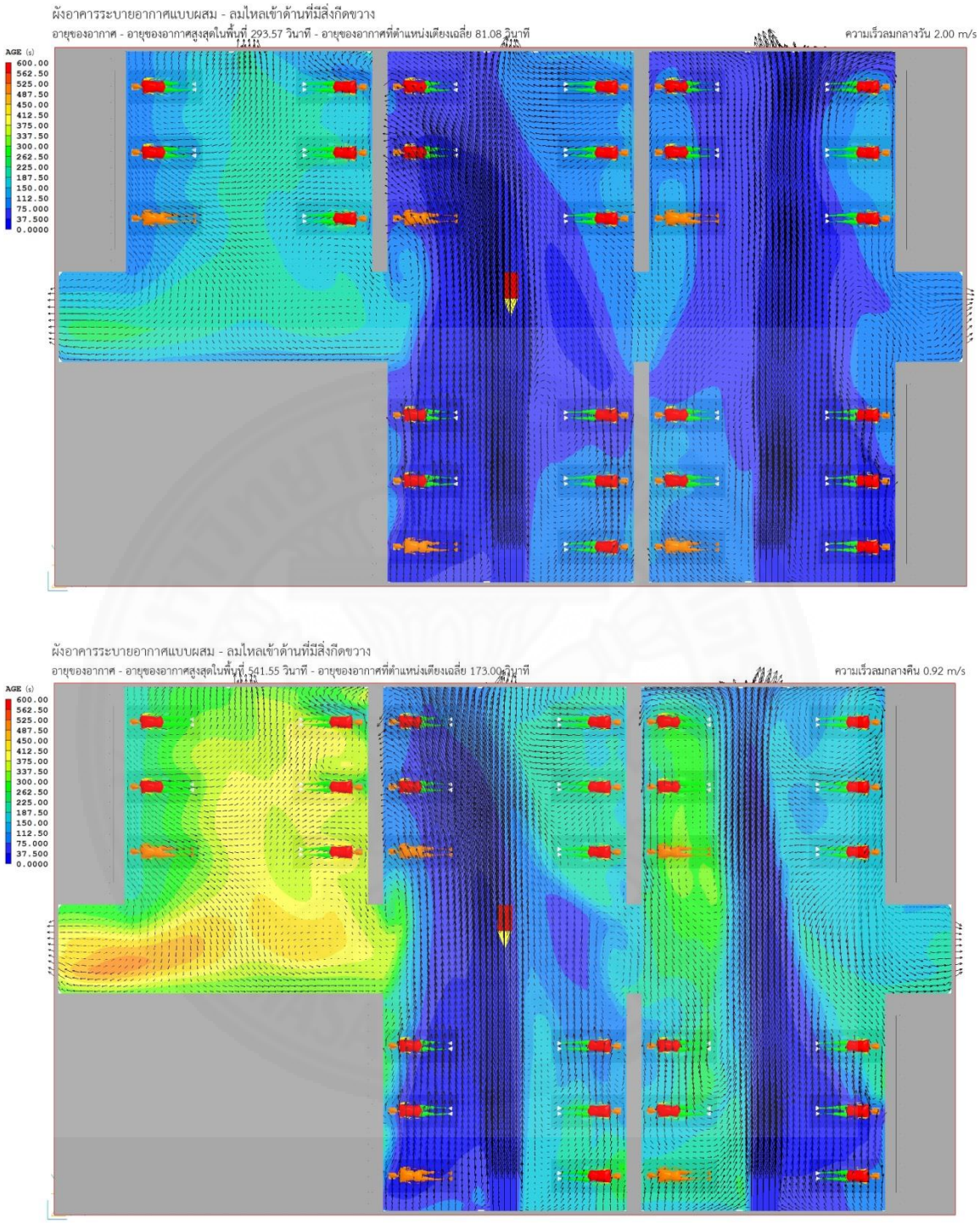


ภาพที่4.30 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางที่ระบายอากาศธรรมชาติในเวลากลางวันและกลางคืน

ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง



ภาพที่4.31 ภาพจำลองการไหลของอากาศที่แสดงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ระบายอากาศธรรมชาติเมื่อลมไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางในเวลากลางวันและกลางคืน



ภาพที่4.32 ภาพจำลองอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ระบายอากาศธรรมชาติเมื่อลมไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางในเวลากลางวันและกลางคืน

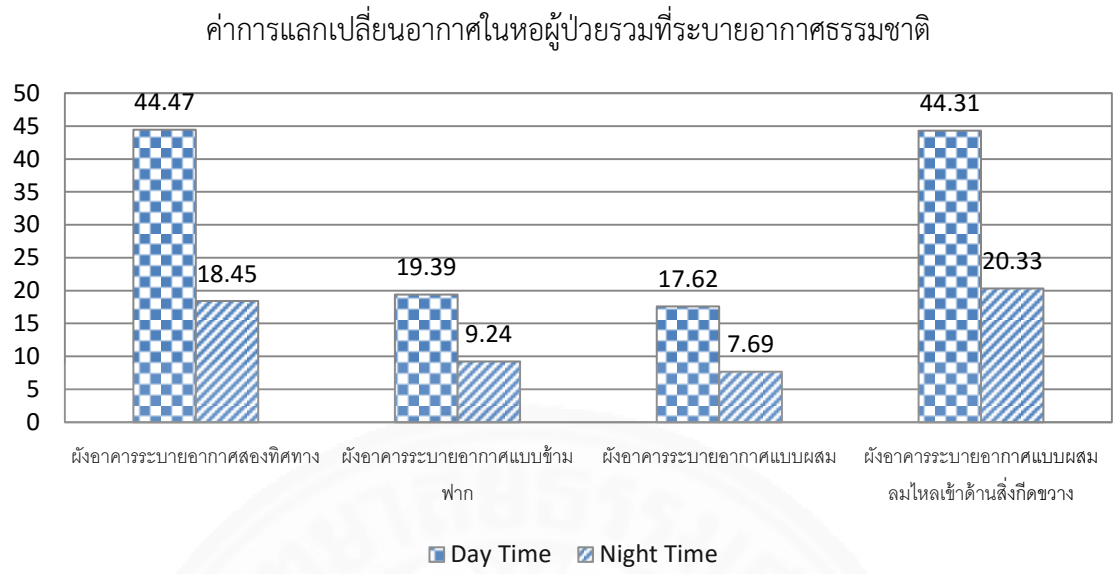
จากการจำลองการไหลของอากาศ เพื่อศึกษาค่าความเร็วลมและอายุของอากาศทำให้ทราบได้ว่า ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ซึ่งช่วงในเวลากลางคืนจะมีความเร็วลมธรรมชาติต่ำกว่ากลางวัน จึงทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศลดลง ค่าความเร็วลมในพื้นที่ลดลง และอายุของอากาศเพิ่มขึ้น มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วลมกลางคืนในการทดลองลำดับต่อไปเนื่องจากเวลากลางคืนมีค่าความเร็วลมภายในพื้นที่ต่ำกว่ากลางวันและอายุของอากาศสูงกว่ากลางวันซึ่งมีการสะสมเชื้อโรคในอากาศและมีความเสียงในการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจมากกว่าเวลากลางวัน และยังใช้ความเร็วลมธรรมชาติในเวลากลางคืนอ้างอิงเป็นค่าความเร็วต่ำสุดในรอบวัน

ตารางที่4.3

แสดงค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศ เปรียบเทียบระหว่างกลางวันและกลางคืน

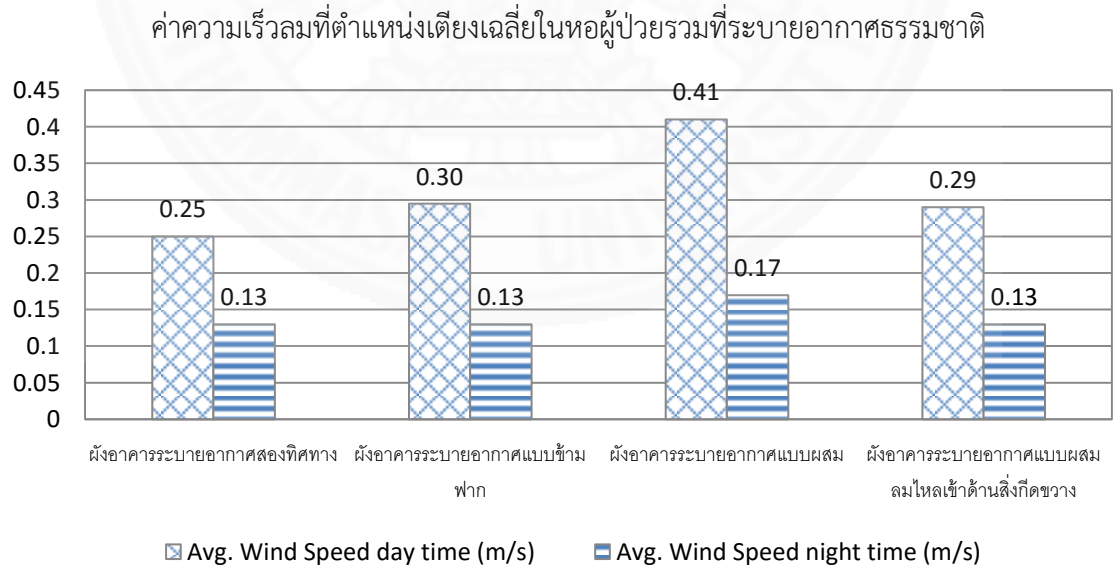
	Plan Type	Time	ACH	Ventilation Result in Room		Ventilation Result at Bed					
				Wind Speed (m/s)	Age of Air (s)	Wind Speed (m/s)			Age of Air (s)		
				Max.	Max.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
1	**การระบายอากาศธรรมชาติ**										
1.1	ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง	D	44.47	2.72	131.46	0.09	0.55	0.25	6.66	102.85	58.23
1.1	ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง	N	18.45	1.27	366.85	0.03	0.25	0.13	13.56	209.74	125.52
1.2	ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก	D	19.39	1.32	156.1	0.1	0.54	0.30	6.6	94.07	47.67
1.2	ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก	N	9.24	0.6	311.97	0.06	0.26	0.13	11.24	180.13	108.15
1.3	ผังอาคาระบายอากาศแบบผสม	D	17.62	1.31	143.12	0.12	0.55	0.41	3.36	100.98	36.19
1.3	ผังอาคาระบายอากาศแบบผสม	N	7.69	0.6	380.54	0.05	0.25	0.17	13.22	219.07	86.85
1.4	ผังอาคาระบายอากาศแบบผสม - ลมด้านสิ่งกีดขวาง	D	44.31	1.31	293.57	0.04	0.6	0.29	6.89	193.41	81.08
1.4	ผังอาคาระบายอากาศแบบผสม - ลมด้านสิ่งกีดขวาง	N	20.33	0.6	541.55	0.03	0.25	0.13	13.89	387.31	173

จากการจำลองพบว่าผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง และผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศสูงที่สุดเนื่องจากบริเวณช่องเปิดขนาดเล็กที่สุดมีค่าความเร็วลมสูง จึงทำให้มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศสูง รองลงมาคือ ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก และผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง



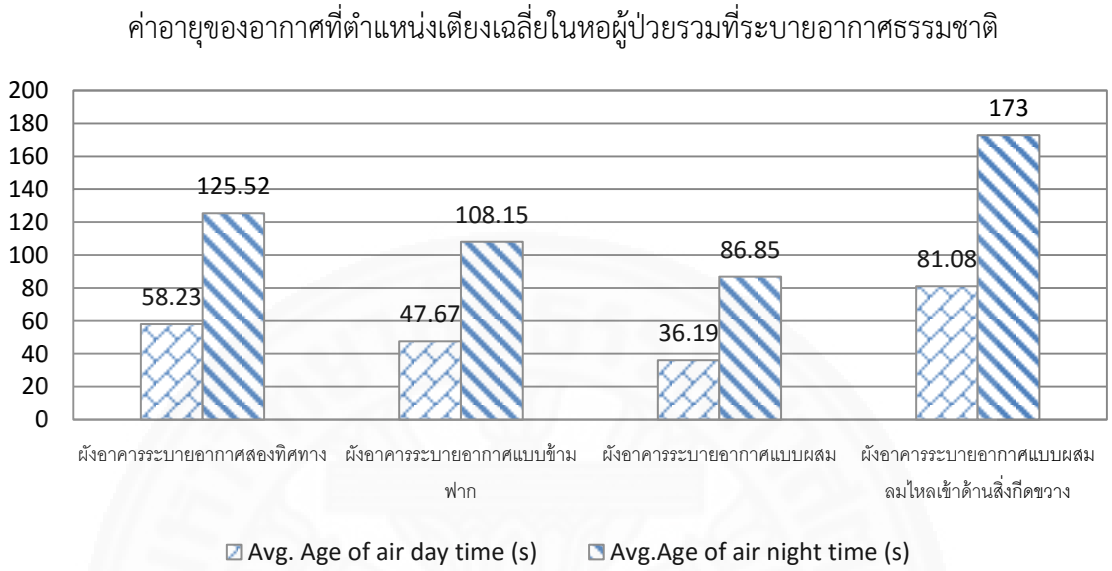
ภาพที่4.33 ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ

เมื่อเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยพบว่าในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวางมีค่าความเร็วลมสูงกว่ารูปแบบอื่นๆเนื่องจากมีการบีบอากาศของสิ่งกีดขวาง ทำให้อากาศมีความเร็วลมสูงขึ้น



ภาพที่4.34 ค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ

ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อมีอากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง เป็นรูปแบบผังอาคารที่มีอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยสูงกว่าผังอาคารรูปแบบอื่นๆเนื่องจากสิ่งกีดขวางทำให้เกิดอากาศไหลวนด้านหลังสิ่งกีดขวาง ส่งผลให้ความอายุของอากาศของความเร็วลมในตำแหน่งนั้นเพิ่มสูงขึ้น

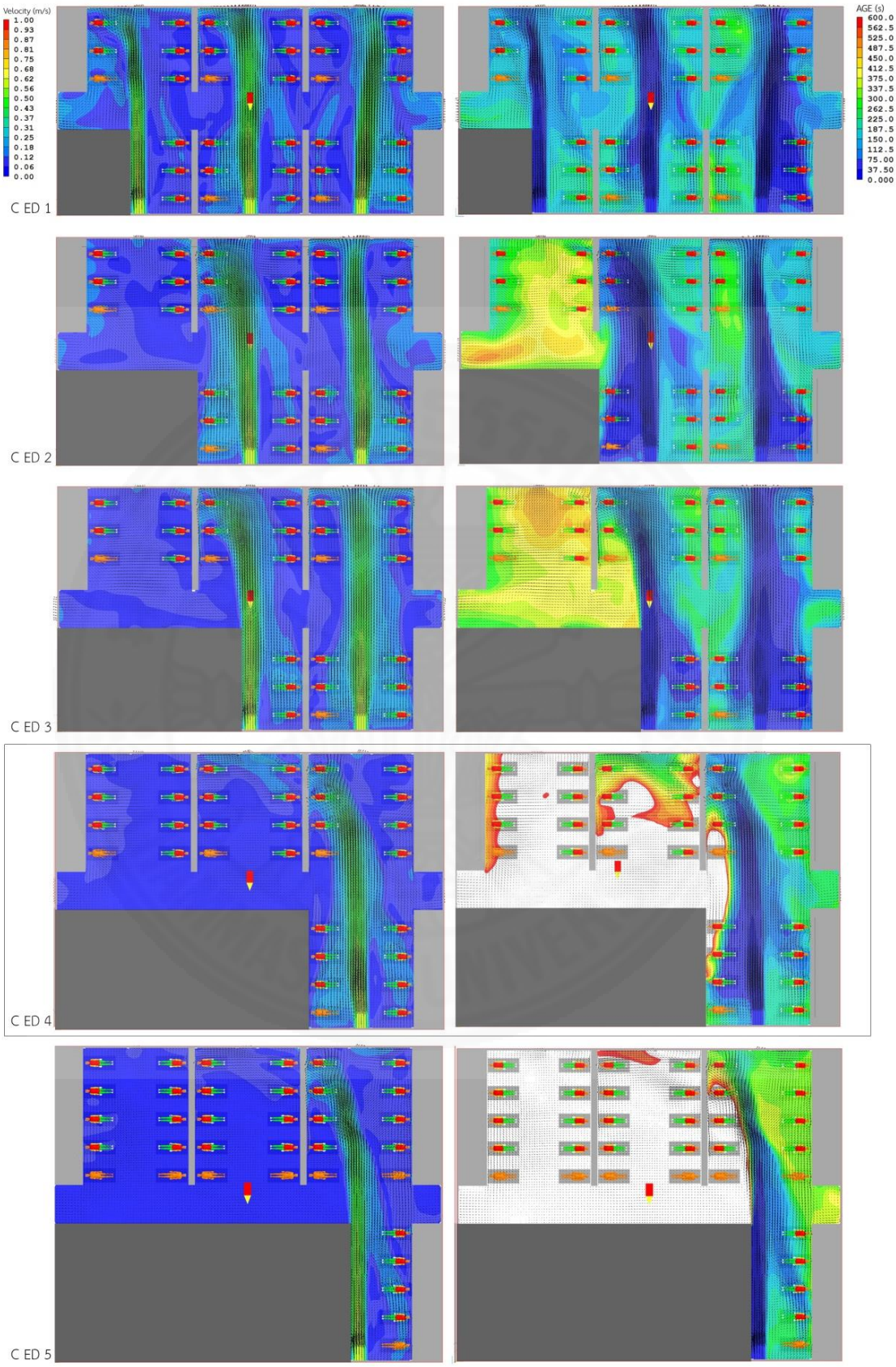


ภาพที่4.35 ค่าอายุของอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์พบว่าผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อมีอากาศไหลเข้าจากสิ่งกีดขวางแม้ว่าจะมีค่าแลกเปลี่ยนอากาศที่สูง แต่ปรากฏว่าค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าผังอาคารประเภทอื่นๆ และมีค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยสูงกว่าผังอาคารรูปแบบอื่นเช่นกัน เนื่องจากผลกระทบจากสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดอากาศไหลวนในพื้นที่ ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ลมไหลเข้าจากสิ่งกีดขวางจึงเป็นผังอาคารที่มีความเสี่ยงในการติดเชื้อทางอากาศมากกว่าผังอาคารรูปแบบอื่นๆ

4.4 การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศต่อผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

การจำลองการไหลของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางเพื่อศึกษาขนาดและผลกระทบของสิ่งกีดขวางที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่ โดยสิ่งกีดขวางจะส่งผลให้เกิดอากาศไหลวน ความเร็วของอากาศลดลง และอายุของอากาศด้านหลังสิ่งกีดขวางเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการจำลองพบว่า เมื่อมีสิ่งกีดขวางที่มีความยาวเกินกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวผังอาคารจะทำให้อากาศในพื้นที่หลังสิ่งกีดขวางมีความเร็วต่ำกว่า 0.10 เมตร/วินาที และมีอายุของอากาศมากกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าอากาศสูงสุดที่อากาศสามารถลอยอยู่ในพื้นที่ได้คือ 600 วินาที



ภาพที่4.36 ภาพจำลองเปรียบเทียบผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางในระดับต่างๆ

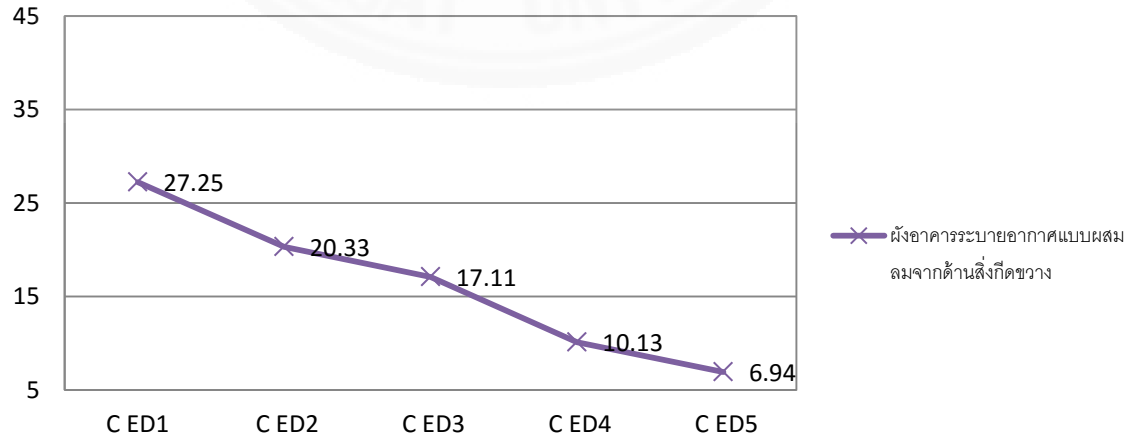
จากการจำลองการไหลของอากาศทำให้ทราบว่าค่าการแลกเปลี่ยนอากาศมีแนวโน้มลดลง จาก 27.25 ลดลงเหลือ 6.94 มีความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยช่อง 0.13 – 0.07 เมตร/วินาที และมีแนวโน้มลดลง แต่สำหรับค่าอายุของอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางเกินกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวอาคารทำให้อายุของอากาศมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอายุของอากาศสูงสุดที่กำหนดไว้ที่ 600 วินาที อยู่ที่ 677.45 - 2257.26 วินาที

ตารางที่4.4

แสดงค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศ ในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อมีอากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่มีระดับต่างๆ

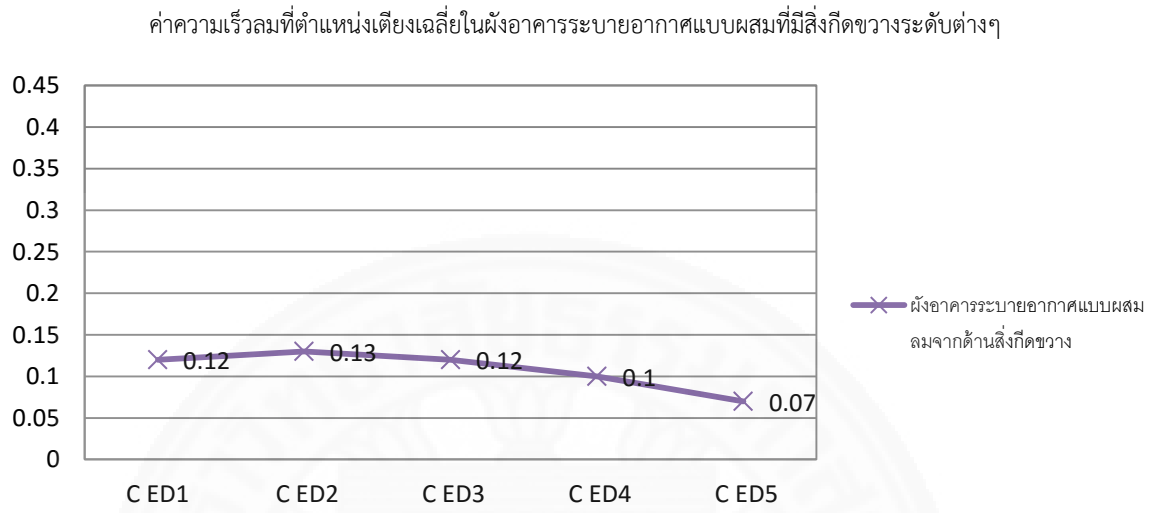
Plan Type	Time	ACH	Ventilation Result at Center Room		Ventilation Result at Bed					
			Wind Speed (m/s)	Age of Air (s)	Wind Speed (m/s)			Age of Air (s)		
			Max.	Max.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางในระบายอากาศธรรมชาติ										
ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมED1	N	27.25	0.61	442.37	0.04	0.25	0.12	17.36	256.35	143.07
ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมED2	N	20.33	0.6	541.55	0.03	0.25	0.13	13.89	387.31	173
ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมED3	N	17.11	0.61	677.45	0.02	0.24	0.12	17.36	436.22	197.88
ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมED4	N	10.13	0.6	2257.26	0.01	0.29	0.1	40.8	732.07	430
ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมED5	N	6.94	0.61	1771.76	0.01	0.2	0.07	81.87	295.71	719.09

ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ



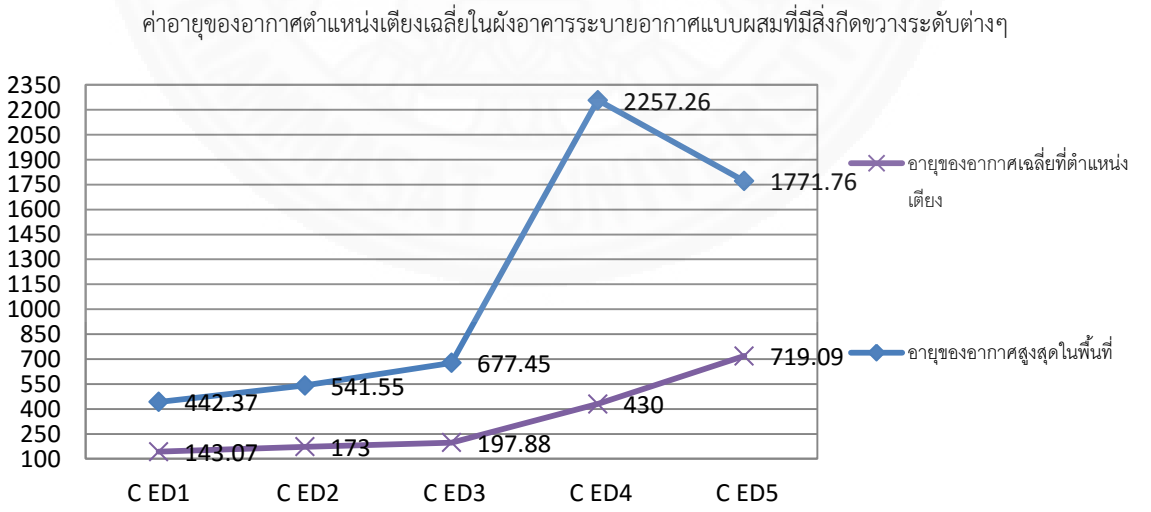
ภาพที่4.37 แสดงค่าการแลกเปลี่ยนอากาศที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ

ค่าความเร็วลมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากสิ่งกีดขวางมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ช่องเปิดที่อากาศสามารถไหลเข้าได้น้อยลง แล้วพื้นที่ที่เกิดอากาศไหลวนด้านหลังสิ่งกีดขวางเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วลมในตำแหน่งนั้นลดลง



ภาพที่4.38 แสดงค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ

ค่าอายุของอากาศทั้งอายุของอากาศสูงสุดในพื้นที่และอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นสูงมากขึ้นเมื่อสิ่งกีดขวางเกินกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวพื้นที่



ภาพที่4.39 แสดงค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางระดับต่างๆ

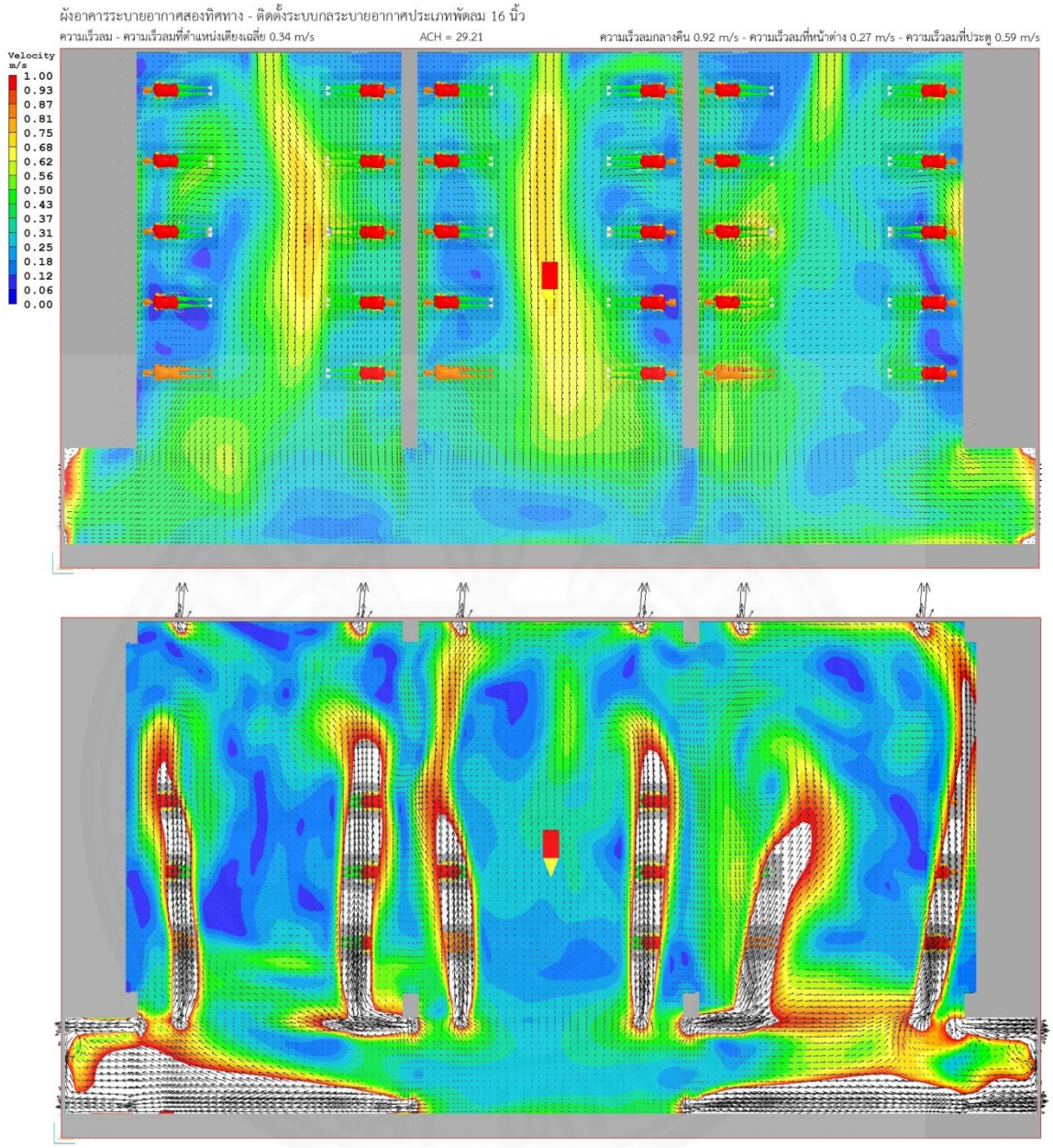
จากการวิเคราะห์ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีสิ่งกีดขวางในระดับต่างๆ หากมีสิ่งกีดขวางเกินกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวผังอาคารจะมีค่าอายุของอากาศที่สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 600 วินาที ทำให้มีโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศที่สูงกว่าผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่มีขนาดสิ่งกีดขวางเล็กกว่า ทั้งนี้ในการทดลองขั้นตอนต่อไปเลือกใช้ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม C ED 4 ซึ่งมีขนาดของสิ่งกีดขวางที่สามารถมีได้มากที่สุดเมื่อจะต้องมีเตียงผู้ป่วยอย่างน้อยสองแถวในหนึ่งช่วงเสาในการจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติ

4.5 การศึกษาการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลระบายอากาศ

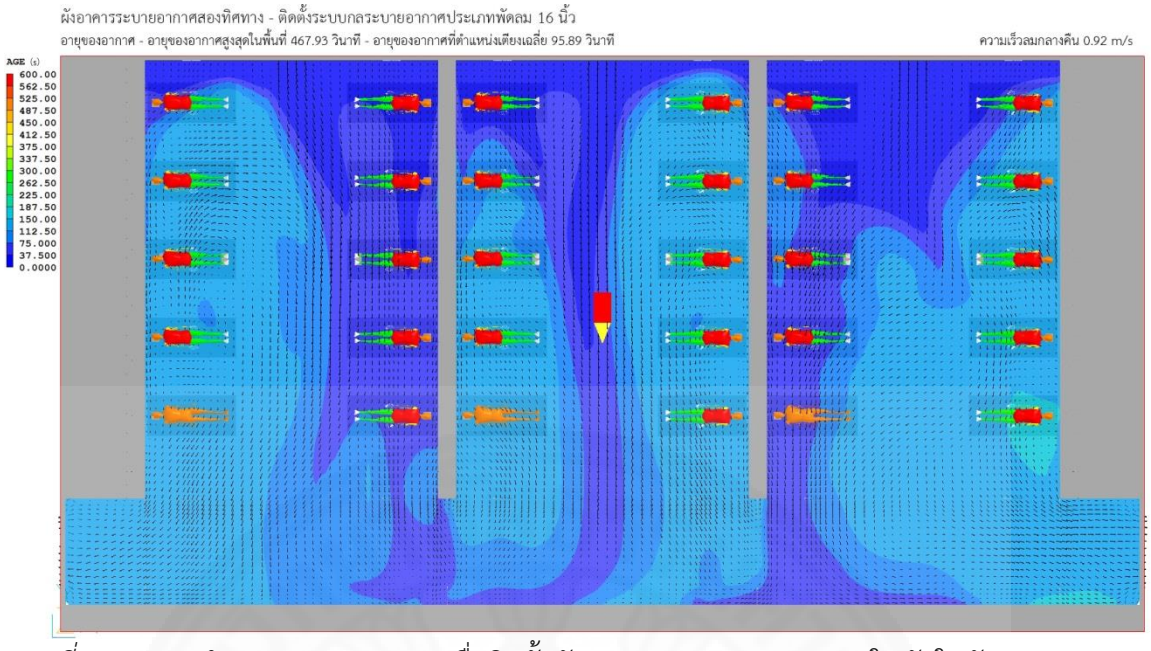
การจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศรวมกับการระบายอากาศธรรมชาติ ซึ่งในการจำลองเลือกใช้การระบายอากาศด้วยพัดลมประเภทใบพัดขนาด 16 นิ้ว ที่ปล่อยปริมาตรอากาศ 0.47 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในผังอาคารทุกประเภทเพื่อศึกษาการใช้พัดลมประเภทใบพัดกับอาคารหอผู้ป่วยรวม และช่องท่อระบายอากาศที่ปล่อยอากาศบริสุทธิ์ปริมาตร 6 ACH ของพื้นที่ห้อง ซึ่งในการจำลองนี้ได้ทำการปล่อยอากาศสะอาดจากท่ออากาศที่หัวเตียงเป็นปริมาตร 0.047 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และดูดกลับผ่านช่องอากาศที่มีปริมาตรดูดอากาศออก 0.470 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมซึ่งมีค่าอายุของอากาศสูงมากแม้ติดตั้งพัดลมประเภทใบพัดแล้วก็ตาม ซึ่งในการจำลองเลือกใช้ค่าความเร็วในเวลากลางคืนเป็นค่าความเร็วลมธรรมชาติ

4.5.1 ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

จากการจำลองด้วยระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัดพบว่ามีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.13 เมตร/วินาที เป็น 0.34 ม./วินาที ทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิม 18.45 เป็น 29.21 และมีค่าอายุของอากาศที่ที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยลดลงจากเดิม 125.52 วินาที เป็น 95.89 วินาที แต่พบว่าค่าอายุของอากาศสูงสุดในพื้นที่มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 366.85 วินาที เป็น 467.93 วินาที ซึ่งหมายความว่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงมีค่าเฉลี่ยลดลง แต่มีบางพื้นที่มีค่าอายุของอากาศเพิ่มสูงขึ้น เช่นที่ติดกับผนังมีอายุของอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับระบายอากาศธรรมชาติเพียงอย่างเดียว

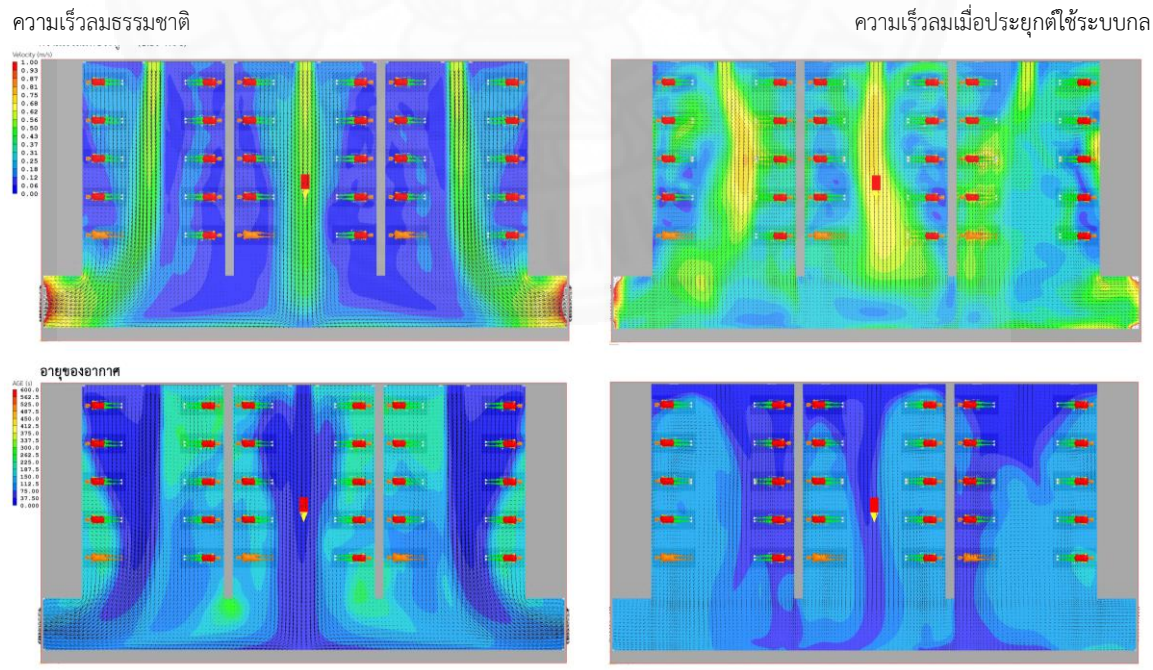


ภาพที่ 4.40 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง



ภาพที่ 4.41 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

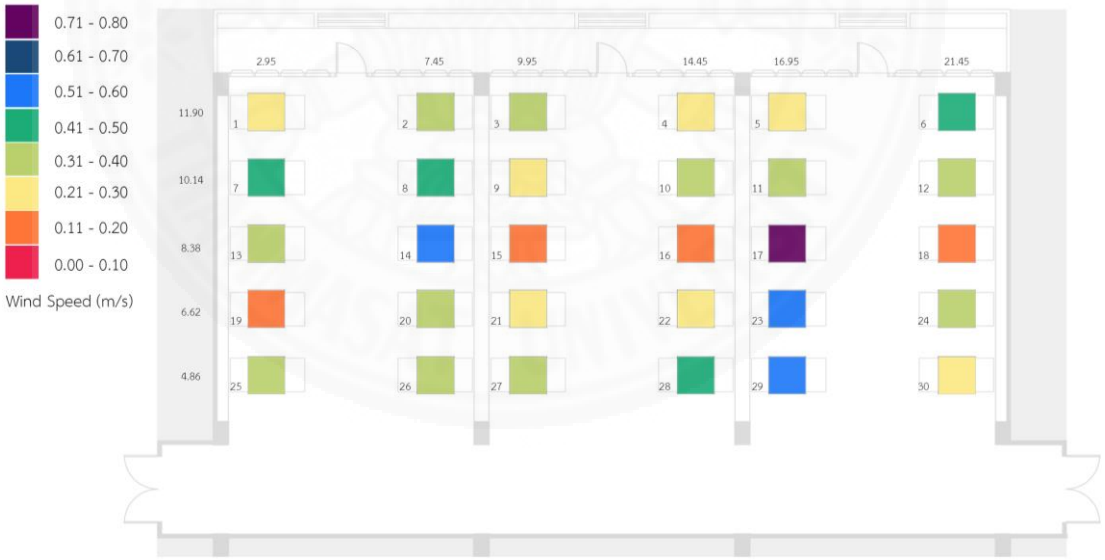
เมื่อเปรียบเทียบความเร็วลมและอายุของอากาศในการระบายอากาศธรรมชาติ และติดตั้งระบบกลประเภทพัดลมพบว่าความเร็วลมมีความเร็วเพิ่มขึ้น และอายุของอากาศบริเวณกลางหอผู้ป่วยมีค่าลดลง



ภาพที่ 4.42 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

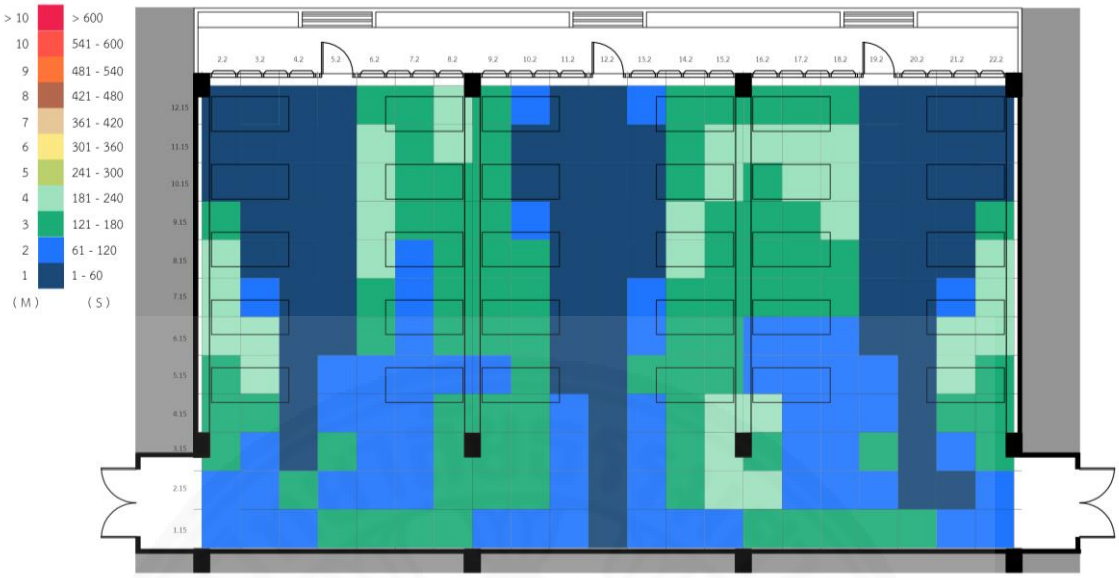
ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ

ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด

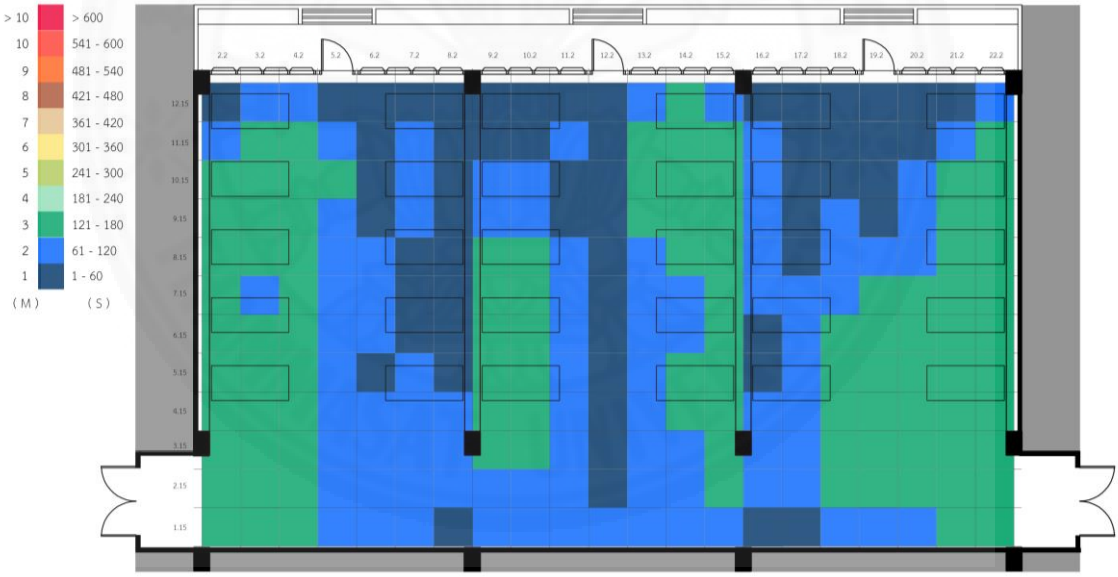


ภาพที่ 4.43 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง (ภาคผนวก ค)

อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ



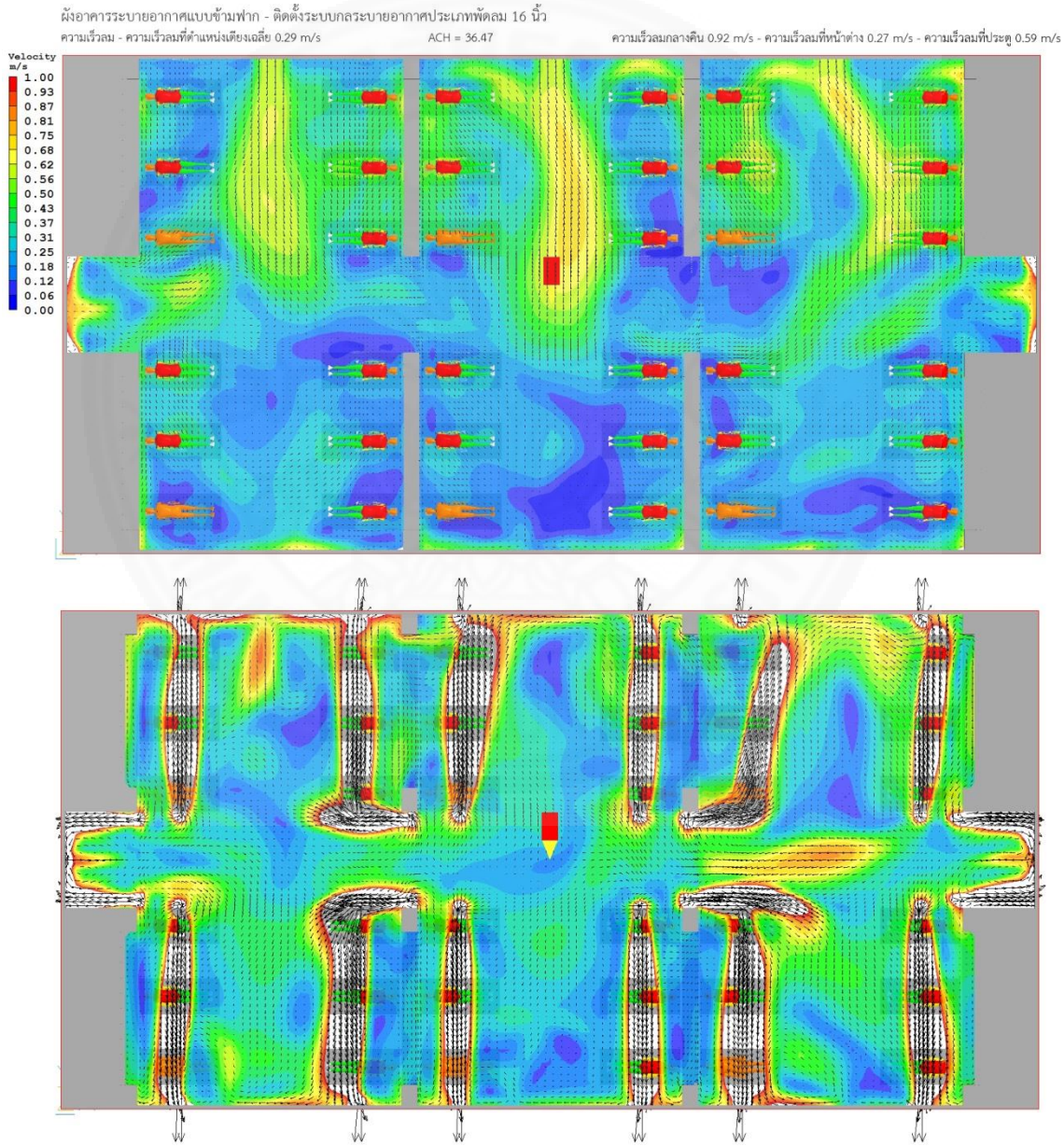
อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ



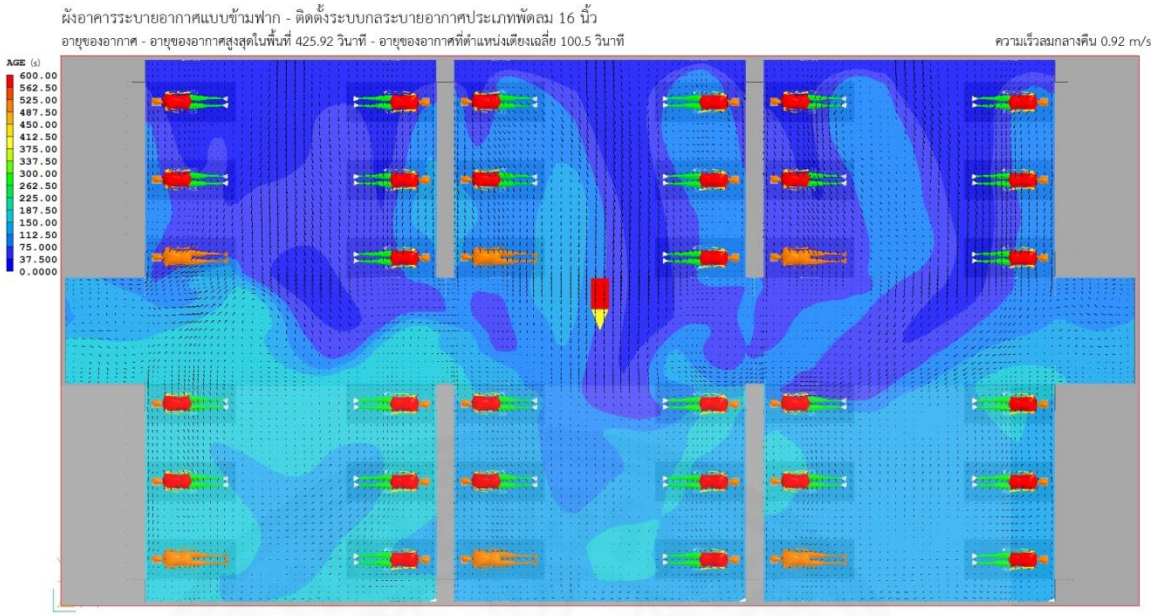
ภาพที่ 4.44 เปรียบเทียบอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง (ภาคผนวก ค)

4.5.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

จากการจำลองด้วยระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัดพบว่ามีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่กึ่งกลางห้องเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.13 เมตร/วินาที เป็น 0.29 เมตร/วินาที ทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิม 9.24 เป็น 36.47 และมีค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยลดลงจากเดิม 108.15 วินาที เป็น 100.50 วินาที และพบว่าค่าอายุของอากาศสูงสุดในพื้นที่มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 311.97 วินาที เป็น 425.29 วินาที ซึ่งพบว่าค่าอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลมทำให้อายุของอากาสแบบ่งออกเป็นสองส่วนคืนส่วนที่มีอายุของอากาศต่ำกว่าซึ่งจะอยู่ติดกับช่องอากาศเข้า และอายุของอากาศสูงกว่าที่ช่องอากาศออก ซึ่งต่างไปจากเดิมที่อายุของอากาศสูงจะอยู่บริเวณกลางห้อง

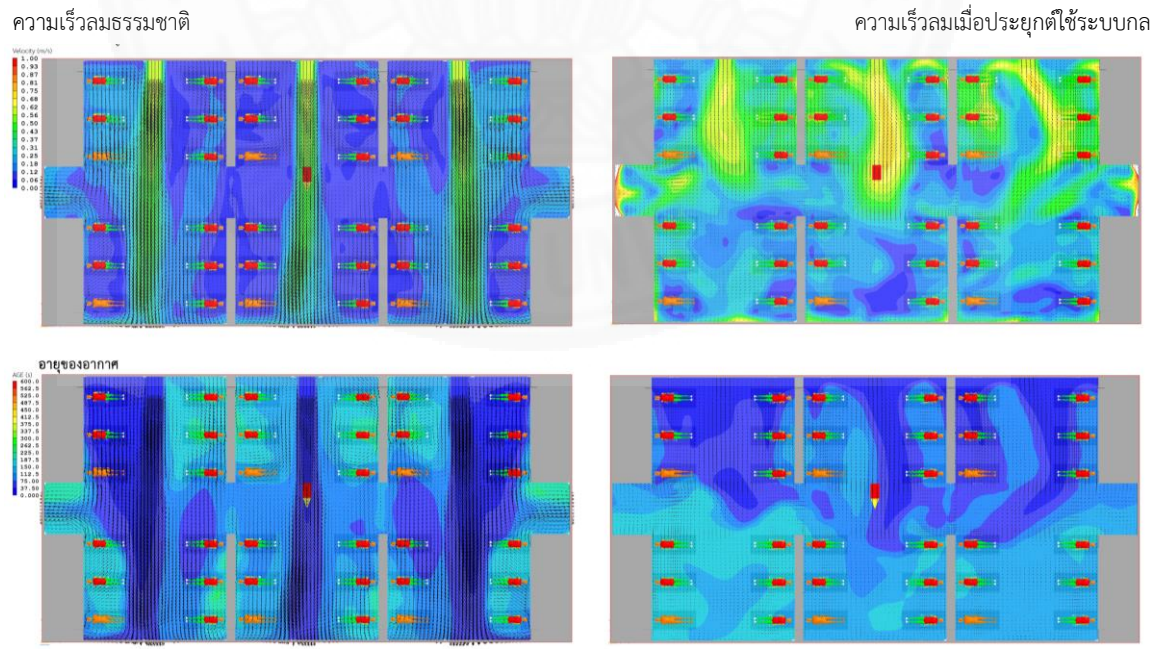


ภาพที่ 4.45 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก



ภาพที่ 4.46 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

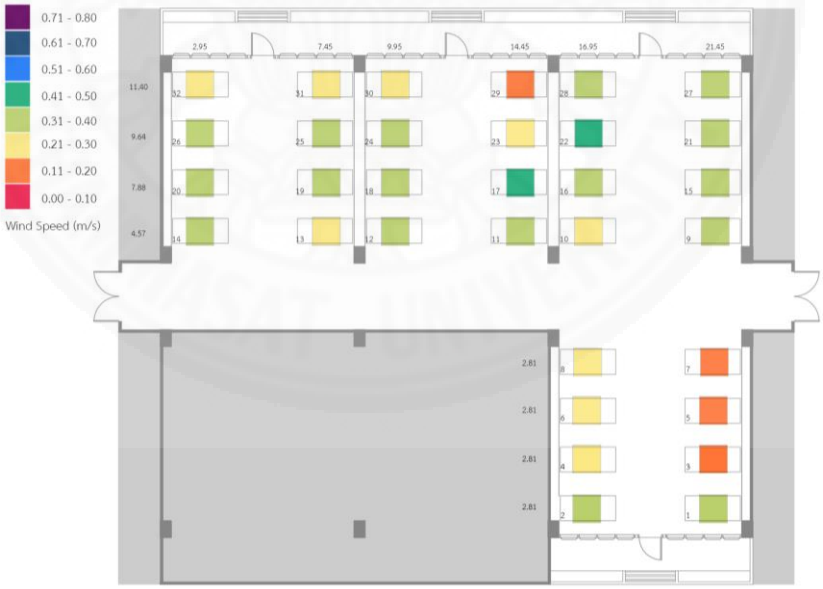
อายุของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อายุของอากาศมีการแบ่งออกเป็นสองส่วนคืนส่วนที่มีอายุของอากาศต่ำกว่าซึ่งจะอยู่ติดกับช่องอากาศเข้า และอายุของอากาศสูงกว่าที่ช่องอากาศออก



ภาพที่ 4.47 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

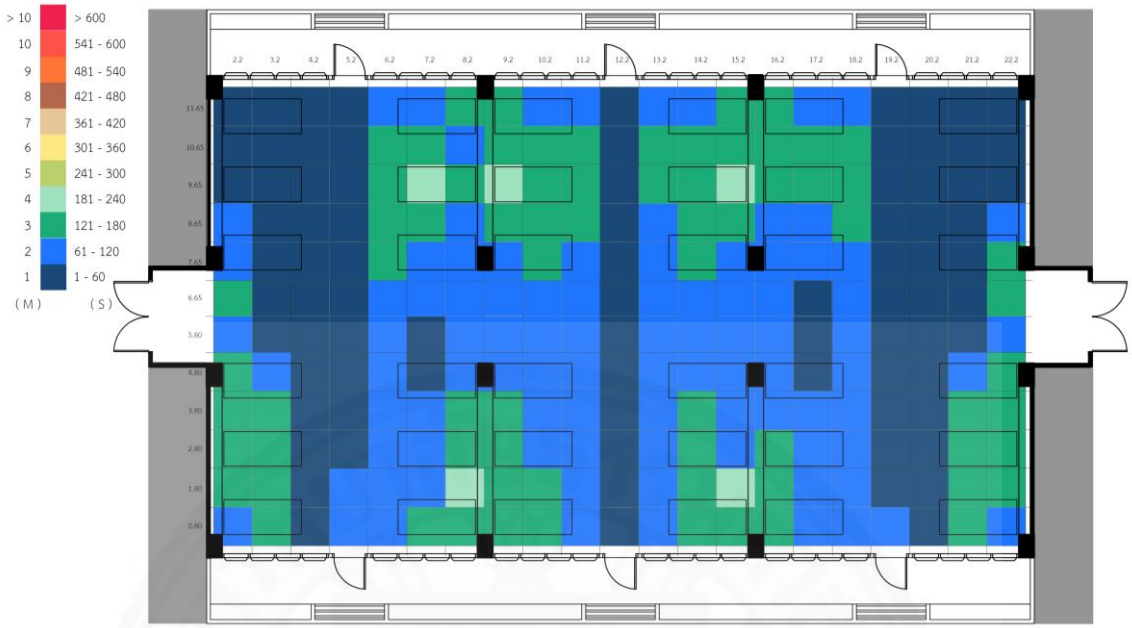
ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ

ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลมใบพัด

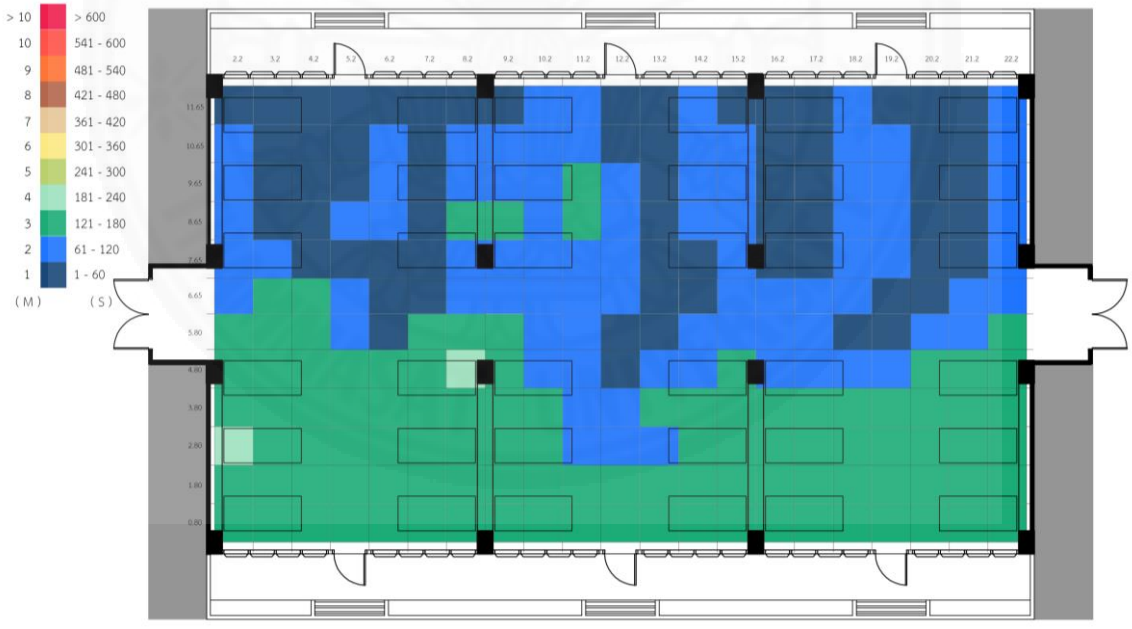


ภาพที่ 4.48 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง (ภาคผนวก ค)

อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ



อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ



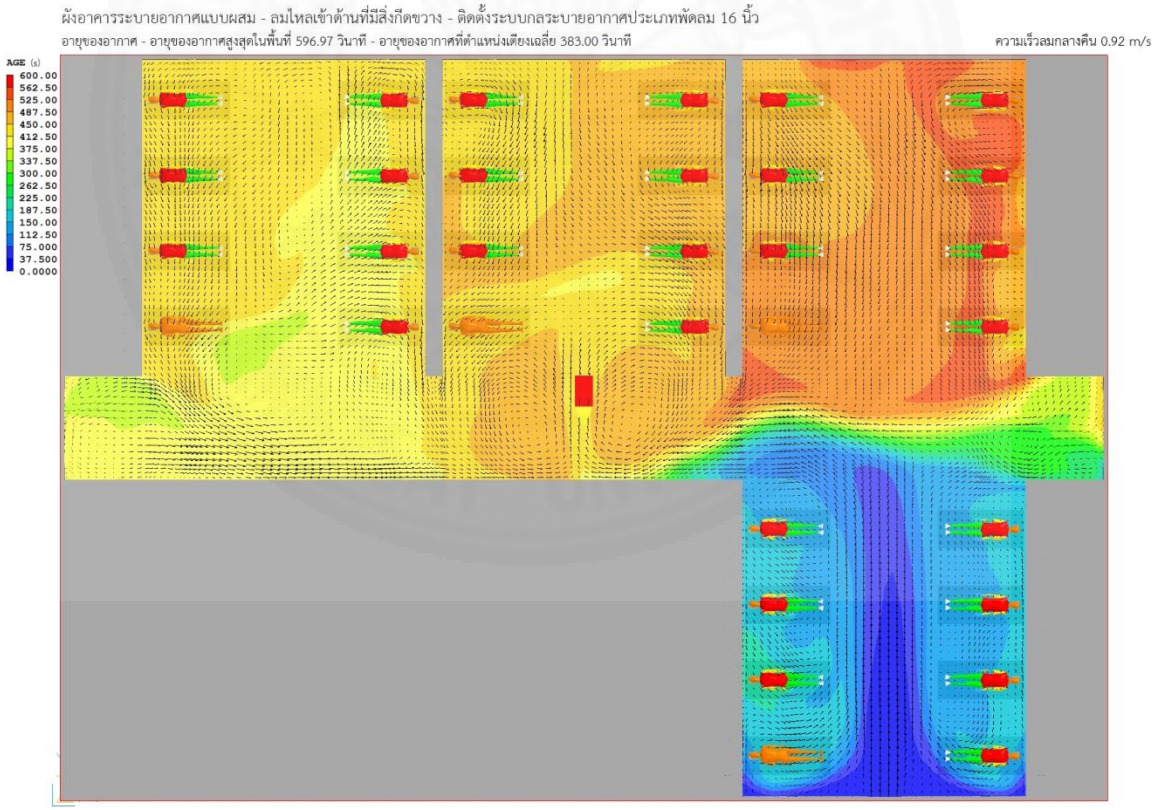
ภาพที่ 4.49 เปรียบเทียบอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก (ภาคผนวก ค)

4.5.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

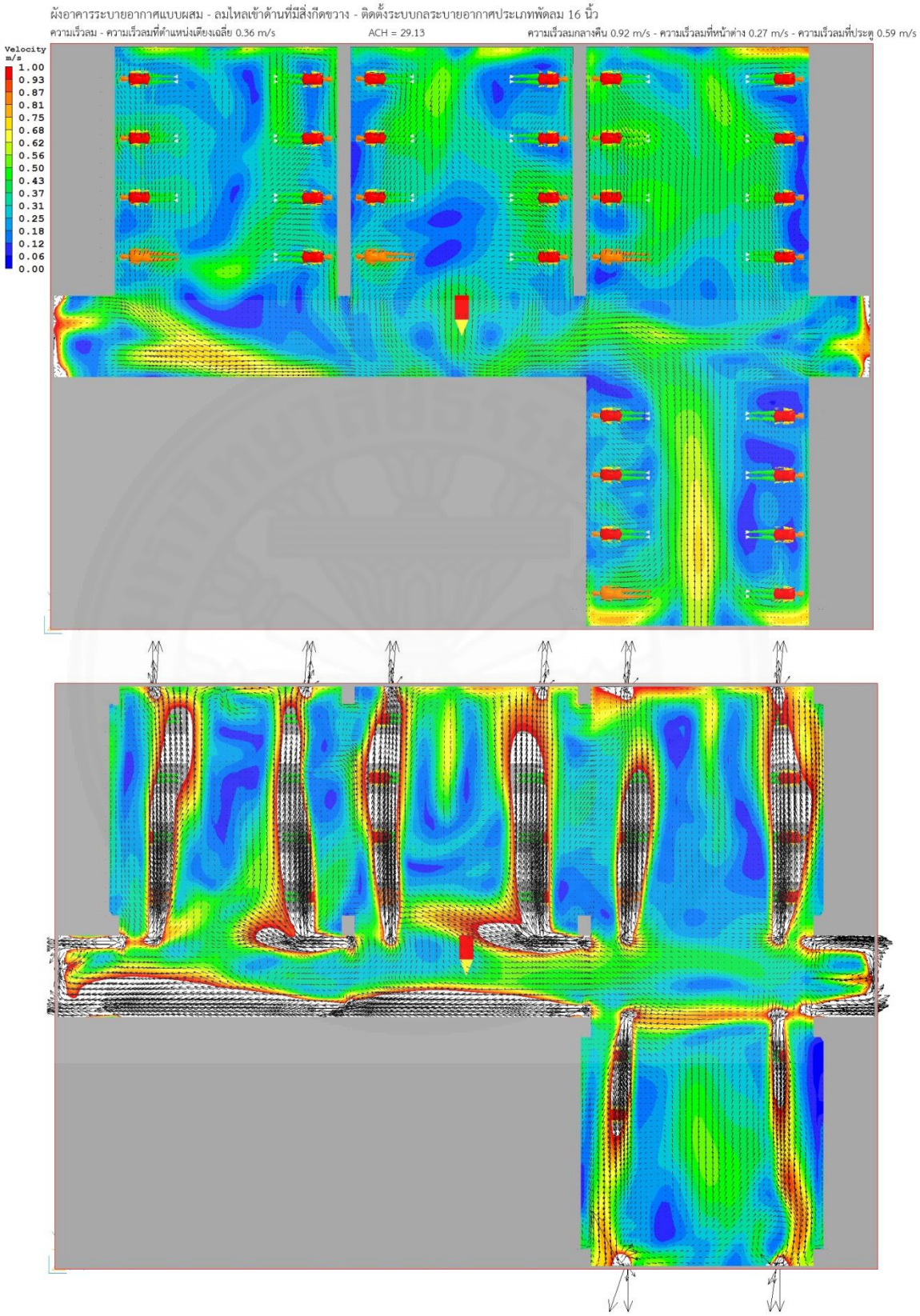
ในการทดลองขั้นตอนต่อไปเลือกใช้ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม C ED 4 ซึ่งมีอากาศไหลเข้าทางด้านที่มีสิ่งกีดขวาง โดยมีขนาดของสิ่งกีดขวางที่สามารถมีได้มากที่สุดเมื่อจะต้องมีเตียงผู้ป่วยอย่างน้อยสองแถวในหนึ่งช่วงเสาในการจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้กับระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติ

4.5.2.1 การจำลองระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด

จากการจำลองด้วยระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัดพบว่ามีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.10 เมตร/วินาที เป็น 0.326 เมตร/วินาที ทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิม 10.13 เป็น 29.15 และมีค่าอายุของอากาศตำแหน่งเตียงเฉลี่ยลดลงจากเดิม 430.00 วินาที เป็น 383.00 วินาที และพบว่าค่าอายุของอากาศสูงสุดลดลงจากเดิม 2257.26 วินาที เป็น 596.27 วินาที ซึ่งน้อยกว่า 600 วินาที ถึงแม้ว่าจะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดแต่พื้นที่หลังสิ่งกีดขวางซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของหอผู้ป่วยยังเป็นพื้นที่ๆมีอายุของอากาศสูง



ภาพที่ 4.50 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

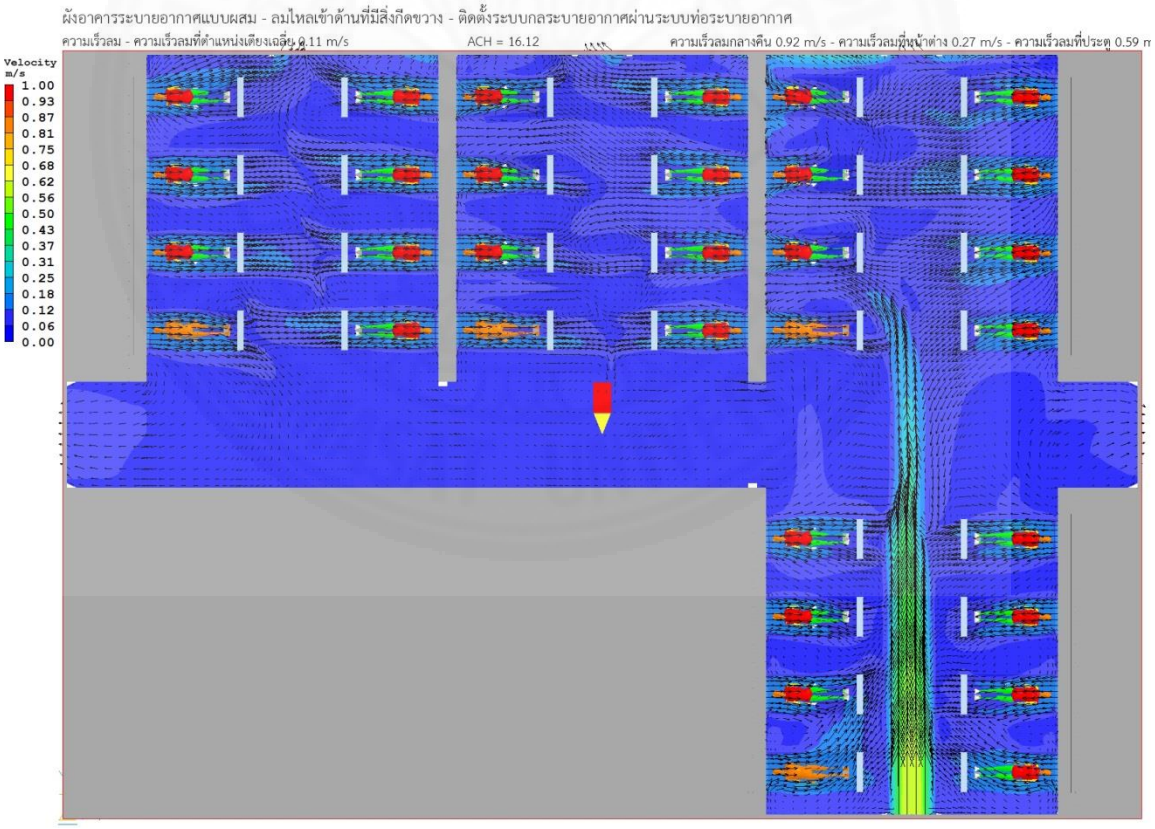


ภาพที่ 4.51 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

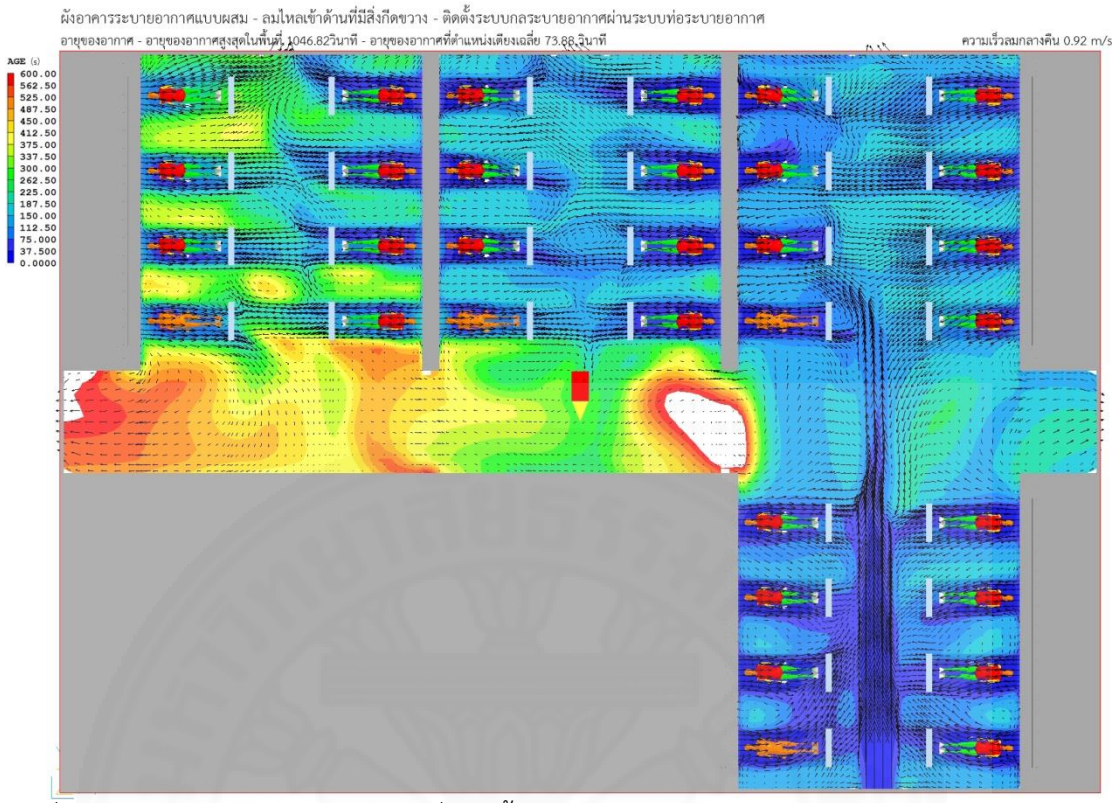
4.5.2.2 การจำลองระบบกลระบายอากาศประเภทระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศ

จากการจำลองด้วยระบบกลระบายอากาศประเภทท่ออากาศที่ปล่อยอากาศบริสุทธิ์ที่หัวเตียง มีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไม่มากนักคือมีค่า 0.10 เมตร/วินาที เพิ่มขึ้นเป็น0.11 เมตร/วินาที แต่ทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นจากเดิม 10.13 เป็น 16.12 และมีค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยลดลงจากเดิม 430.00 วินาที ลดลงเหลือ 73.88 วินาที ซึ่งลดได้มากกว่าการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ แต่พบว่าค่าอายุของอากาศสูงสุดลดลงจากเดิม 2257.26 วินาที เป็น 1046.82 วินาที ซึ่งสูงกว่า 600 วินาที โดยพื้นที่ที่มีอายุเกินกว่า 600 วินาที เป็นพื้นที่ทางเดินที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวาง ซึ่งเป็นผลจากสิ่งกีดขวางซึ่งจะทำให้อายุของอากาศมีค่าสูงถึงแม้ว่าค่าการแลกเปลี่ยนอากาศจะสูงเกินกว่ามาตรฐานแล้วก็ตาม

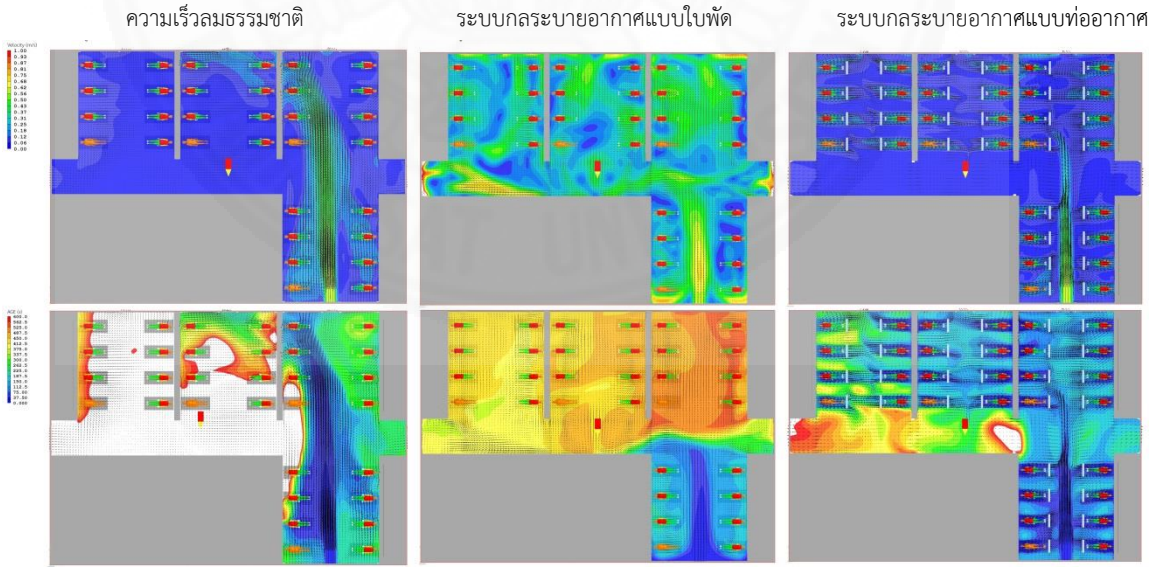
การปล่อยอากาศบริสุทธิ์บริเวณหัวเตียงสามารถทำให้ผู้ป่วยได้รับอากาศที่มีความเร็วคงที่และมีอายุของอากาศต่ำ ซึ่งเปรียบเหมือนฟิล์มอากาศที่ป้องกันเชื้อจากพื้นที่อื่นไหลมายังผู้ป่วย



ภาพที่ 4.52 ภาพจำลองการไหลของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

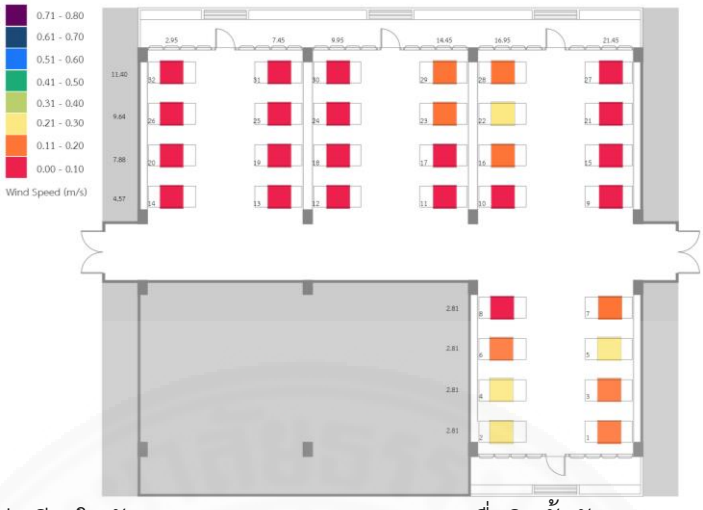


ภาพที่ 4.53 ภาพจำลองอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

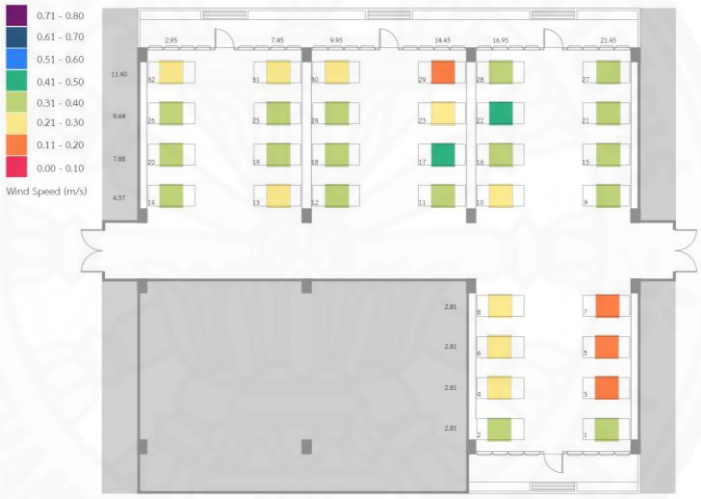


ภาพที่ 4.54 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุของอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและการระบายอากาศผ่านท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

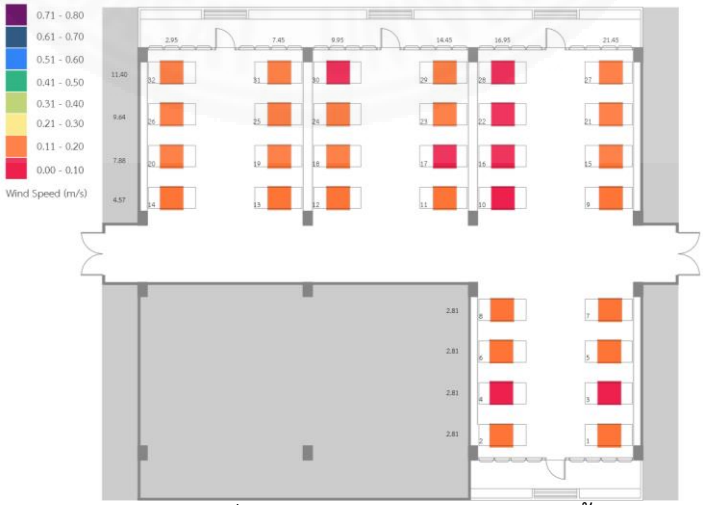
ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ



ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อติดตั้งพัดลมประเภทใบพัด

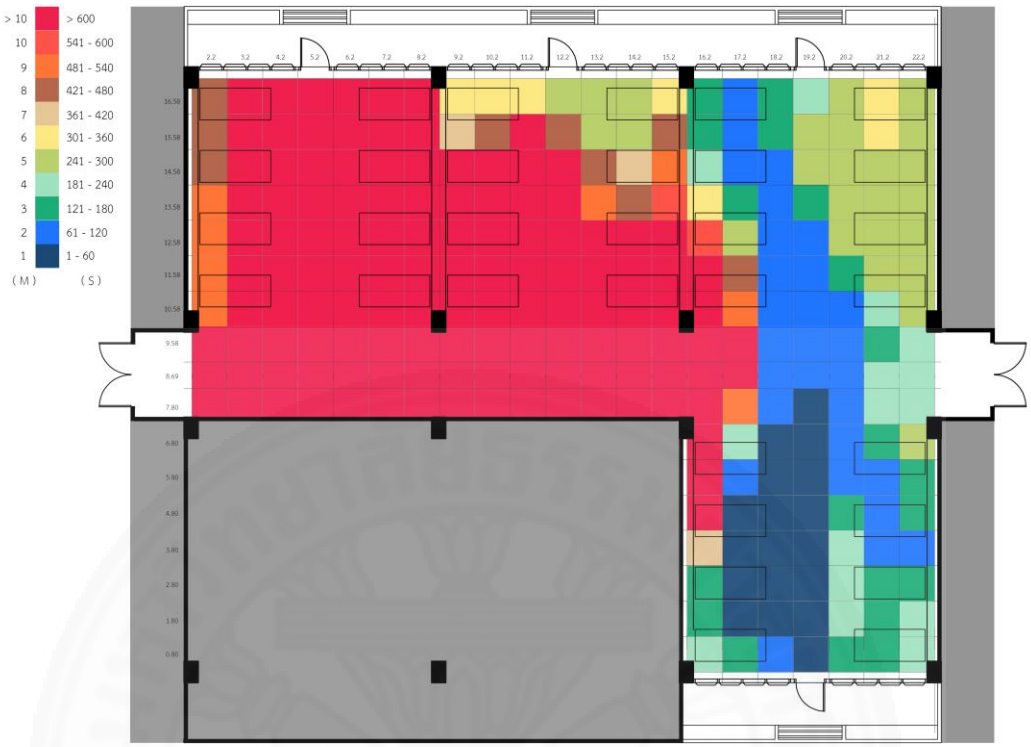


ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อติดตั้งระบบระบายอากาศผ่านท่อ

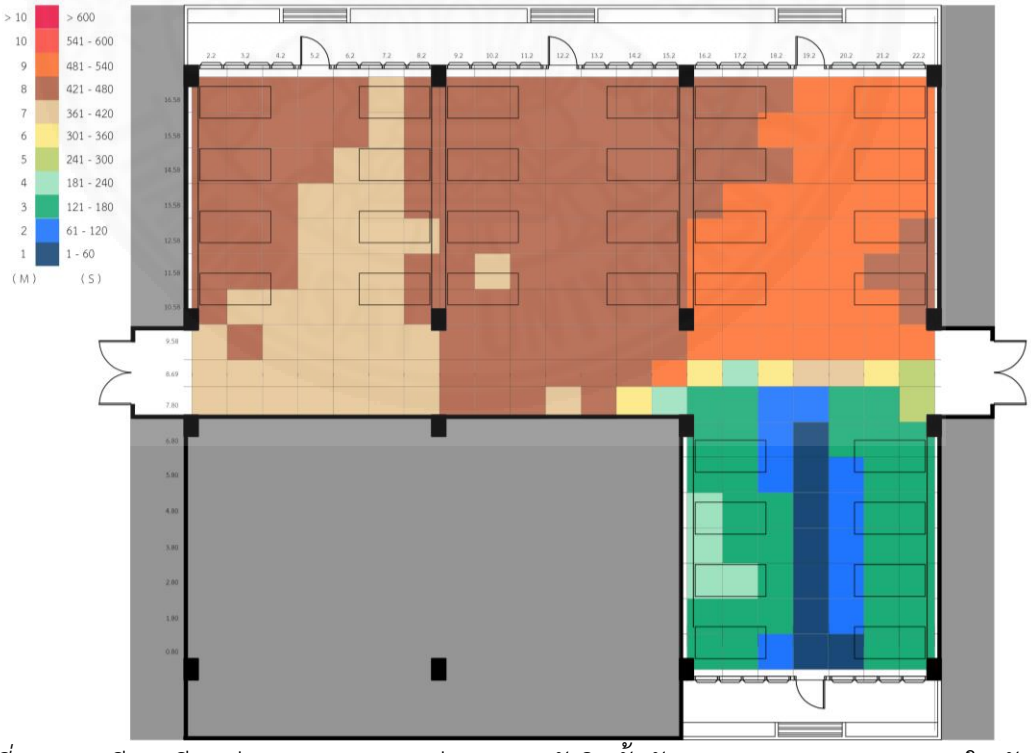


ภาพที่ 4.55 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ภาคผนวก ค)

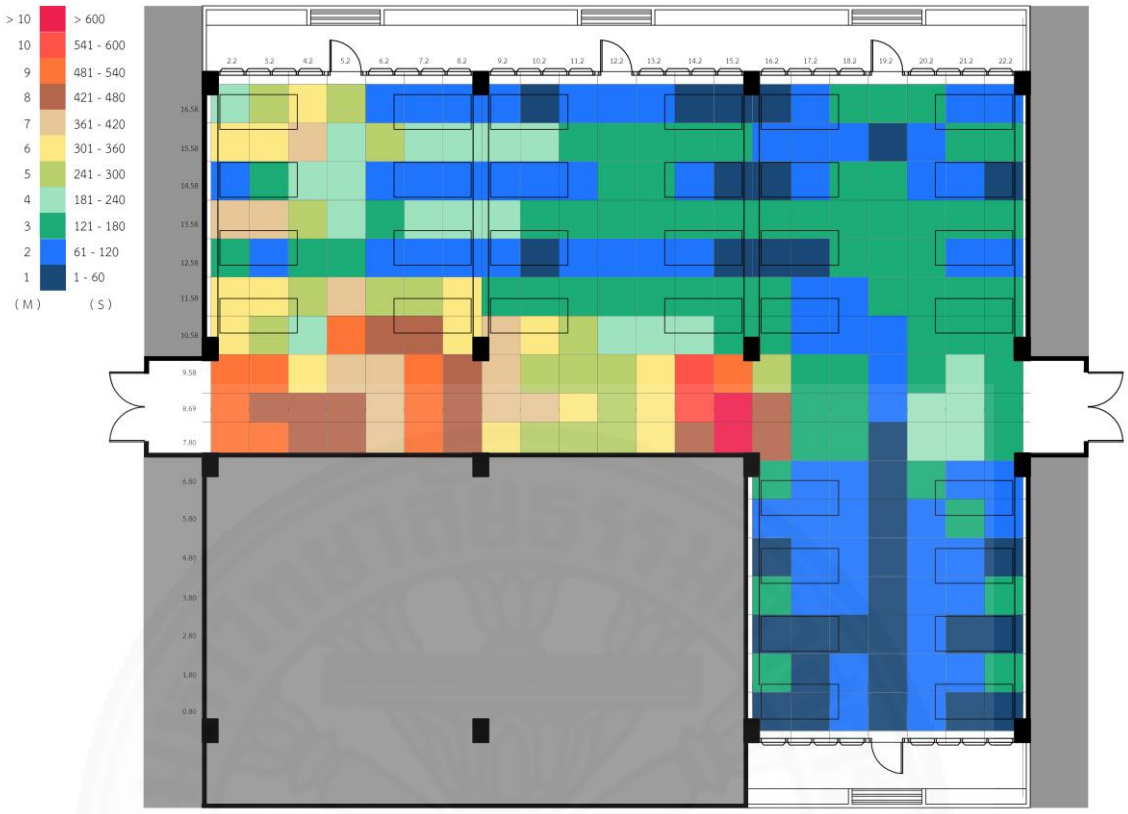
อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อระบายอากาศธรรมชาติ



อายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่อติดตั้งระบบกลประเภทใบพัด



ภาพที่ 4.56 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ภาคผนวก ค)



ภาพที่ 4.57 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศก่อนและหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดและระบบท่ออากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ภาคผนวก ค)

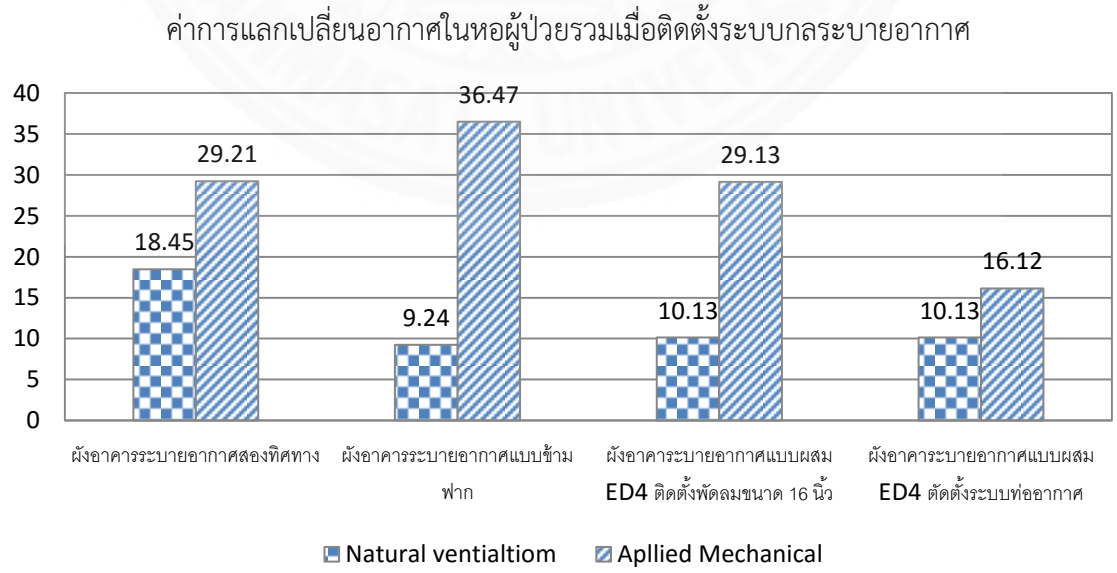
ผลจากการจำลองการประยุกต์ใช้ระบบกลร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติผังอาคารทุกประเภทมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความเร็วลมภายในพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 0.3 เมตร/วินาที ยกเว้นผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบท่อระบายอากาศที่มีความเร็วลมประมาณ 0.10 เมตร/วินาที และอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศมีค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงมีค่าลดลง และลดลงมากในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้การระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศ แต่สำหรับค่าอายุของอากาศสูงสุดในพื้นที่มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในผังอาคารระบายอากาศแบบสองทิศทางและระบายอากาศแบบข้ามฟาก

ตารางที่4.5

ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศจากการจำลองเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

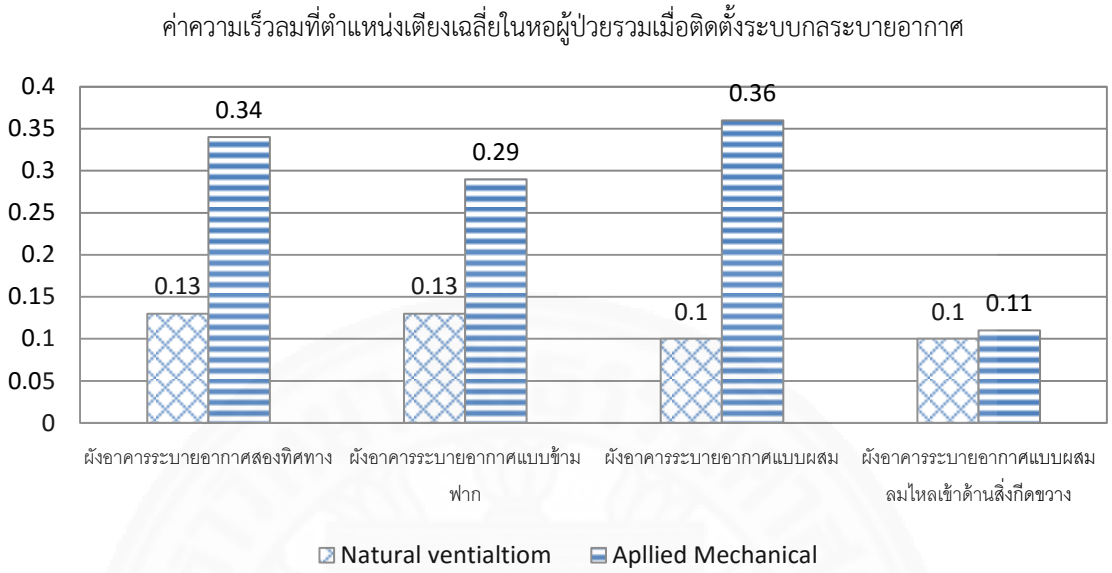
Plan Type	Time	ACH	Ventilation Result at Center Room		Ventilation Result at Bed					
			Wind Speed (m/s)	Age of Air (s)	Wind Speed (m/s)			Age of Air (s)		
			Max.	Max.	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
การประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศ										
ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง	N	29.21	5.01	467.93	0.11	0.71	0.34	6.59	147.04	95.89
ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฝาก	N	36.47	5.33	425.92	0.07	0.62	0.29	7.09	180.85	100.5
ผังอาคาระบายอากาศแบบผสมED4 ติดตั้งพัดลมขนาด 16 นิ้ว	N	29.13	6.05	596.97	0.13	0.52	0.36	133.86	529.27	383
ผังอาคาระบายอากาศแบบผสมED4 ตัดตั้งระบบท่ออากาศ	N	16.12	0.6	1046.82	0.05	0.14	0.11	24.32	158.93	73.88

ค่าการและเปลี่ยนอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ โดยการติดตั้งระบบกลระบายอากาศสามารถเพิ่มค่าการและเปลี่ยนอากาศมากกว่าการระบายอากาศผ่านระบบท่อ



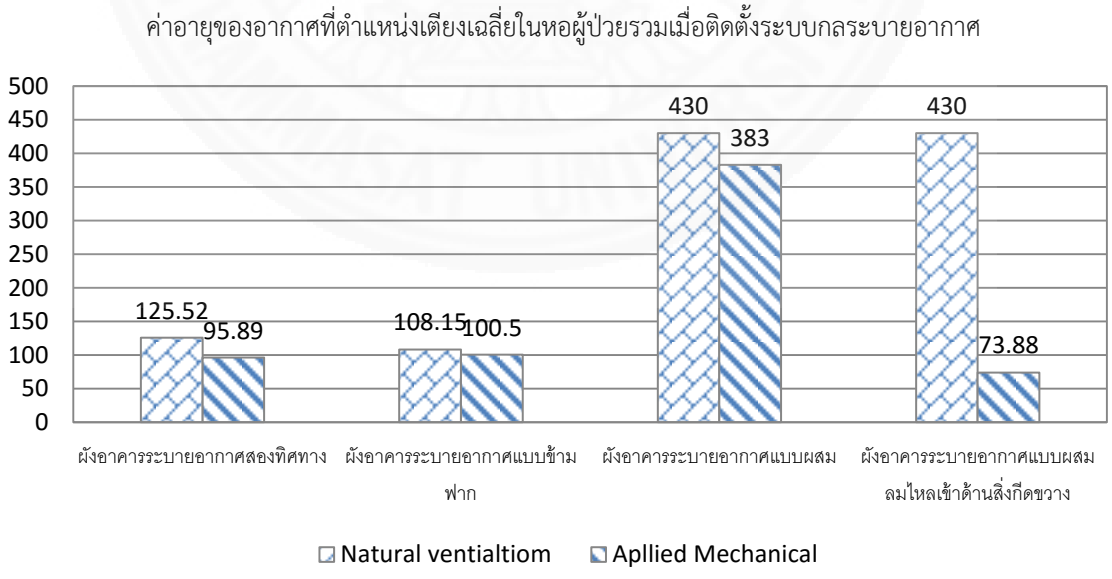
ภาพที่ 4.58 ภาพเปรียบเทียบค่าแลกเปลี่ยนอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ ยกเว้นผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบกลระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



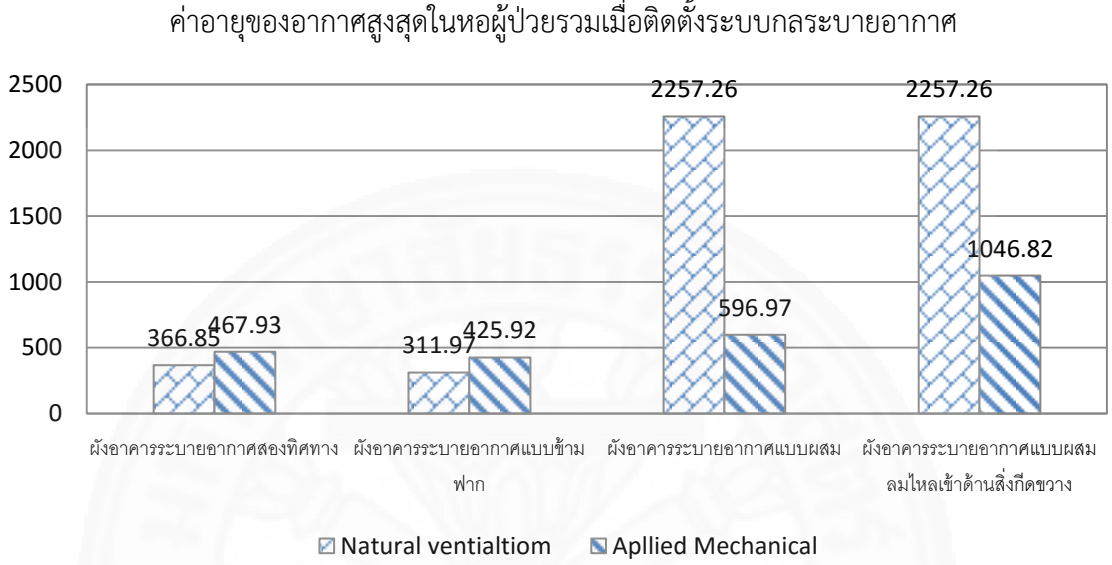
ภาพที่ 4.59 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

ค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีค่าลดลงในทุกรูปแบบผังอาคารและมีค่าลดลงสูงมากในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบกลระบายอาอากาศผ่านระบบท่ออากาศ



ภาพที่ 4.60 ภาพเปรียบเทียบค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

ค่าอายุของอากาศสูงสุดมีค่าลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดที่กำหนดไว้ ยกเว้นผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ใช้ระบบกลระบายอากาศผ่านท่ออากาศ ยังมีค่าอายุของอากาศสูงกว่า 600 วินาที ทั้งๆที่มีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่า 6 เนื่องจากลักษณะของพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางส่งผลต่อทิศทางการไหลของอากาศและความเร็วลม



ภาพที่ 4.61 ภาพเปรียบเทียบค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ

4.6 สรุปผลการทดลอง

4.6.1 การจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติของผังอาคารมาตรฐาน

เป็นการจำลองเพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศด้วยค่าความเร็วลมกลางวันและความเร็วลมกลางคืนในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก และ ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม ซึ่งจากการจะลองพบว่า ตัวแปรที่ทำการศึกษาในเวลากลางวันมีค่ามากกว่าเวลากลางคืน โดยค่าการแลกเปลี่ยนอากาศและค่าความเร็วลมในเวลากลางวันมีค่าสูงกว่ากลางคืนมากกว่าร้อยละ 50 ทำให้ค่าอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยในเวลากลางวันน้อยกว่าเวลากลางคืน ทำให้เวลากลางคืนมีการสะสมเชื้อในอากาศมากกว่าเวลากลางวัน นอกจากนี้พบว่าผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางมีลักษณะอากาศไหลวนทำให้ความเร็วลมลดลง และอายุของอากาศบริเวณหลังสิ่งกีดขวางมีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นๆและผังอาคารประเภทอื่นๆ และจากการศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อกาศไหลเข้าทางช่องหน้าต่างที่เป็นบานเกล็ด บานเลื่อน บ้านเปิด ประตูแบบบานเปิดพบว่าเมื่อความเร็วลมธรรมชาติ

ต่ำกว่า 0.50 เมตร/วินาที ผังอาคารที่มีปริมาตรขนาดใหญ่จะมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าค่ามาตรฐานของ ASHRAE 170 ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 แต่สำหรับผังอาคารอาคารที่มีปริมาตรเล็กและเป็นผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากยังมีค่าการแลกเปลี่ยนอากาศสูงกว่า 6 แม้ว่าลมธรรมชาติจะมีความเร็วต่ำที่ 0.10 เมตร/วินาที

4.6.2 การศึกษาผลกระทบจากสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศต่อผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

เป็นการจำลองเพื่อศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศเมื่อผังอาคารมีขนาดสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าค่าแลกเปลี่ยนอากาศและความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง และอายุของอากาศสูงสุดในพื้นที่และอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงมากขึ้นในตำแหน่งที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวาง เมื่อสิ่งกีดขวางมีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อแนวโน้มการสะสมเชื้อในอากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เมื่อขนาดของสิ่งกีดขวางยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวพื้นที่ห้องจะทำให้ค่าอายุของอากาศมีค่ามากกว่าค่าอายุของอากาศมาตรฐานที่กำหนดซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นพื้นที่ที่จะต้องปรับปรุงเรื่องการระบายอากาศ

4.6.3 การศึกษาการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศ

เป็นการจำลองเพื่อศึกษาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ค่าความเร็วลม และอายุของอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการระบายอากาศธรรมชาติ จากการจำลองทำให้ทราบว่าระบบกลระบายอากาศสามารถเพิ่มค่าแลกเปลี่ยนอากาศให้เพิ่มขึ้นได้ และทำให้ความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.30 เมตร/วินาที นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยให้ต่ำกว่า 600 วินาที ทั้งระบบกลระบายอากาศแบบพัดลม และระบบกลระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศซึ่งสามารถลดได้มากกว่าประเภทพัดลม แต่ในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางและแบบข้ามฟากเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัดมีค่าอายุของอากาศสูงสุดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการไหลวนของอากาศในพื้นที่ที่ไม่ใช้ตำแหน่งเตียงเพิ่มขึ้น และในกรณีที่ผังอาคารไม่ได้เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมเช่นมีสิ่งกีดขวางอาจเกิดกรณีที่อายุของอากาศสูงกว่าค่ามาตรฐานอายุของอากาศที่กำหนดทั้งๆที่ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่ามาตรฐานแล้วก็ตาม เพราะรูปแบบผังอาคารมีผลต่อการกระจายตัวของอากาศบริสุทธิ์ หากมีพื้นที่ที่ซับซ้อนขึ้นก็จะส่งผลต่ออายุของอากศในพื้นที่มากขึ้น ทั้งนี้การติดตั้งระบบกลระบายอากาศจึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่ติดตั้งและรูปแบบระบบกลระบายอากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อให้สามารถกระจายอากาศบริสุทธิ์ให้ทั่วถึงเพื่อลดการสะสมเชื้อในอากาศในบริเวณที่เป็นจุดอับอากาศซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมเชื้อในอากาศสูงกว่าพื้นที่ๆมีอากาศเคลื่อนที่

จากการศึกษาอายุของอากาศภายในผังอาคารหอผู้ป่วยรวมทั้ง 3 รูปแบบจึงสามารถสรุปเป็นแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงของประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงของอายุของอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบโดยอายุของอากาศในการระบายอากาศธรรมชาติ และอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของอายุของอากาศในผังอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศ ดังนี้

4.6.3.1 ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

ในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางที่ติดตังระบบกลระบายอากาศ พื้นที่ที่มีแนวโน้มที่อายุของอากาศเพิ่มขึ้นจะอยู่ในบริเวณใกล้กับผนังห้องและทางเดินกึ่งกลางห้อง และพื้นที่ที่มีแนวโน้มของอายุของอากาศลดลงจะอยู่ในแนวเสาอาคารที่ไม่ติดกับผนัง ถึงแม้ว่าอายุของอากาศสูงสุดในบางพื้นที่เพิ่มขึ้นแต่ยังมีค่าต่ำกว่า 600 วินาที

4.6.3.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

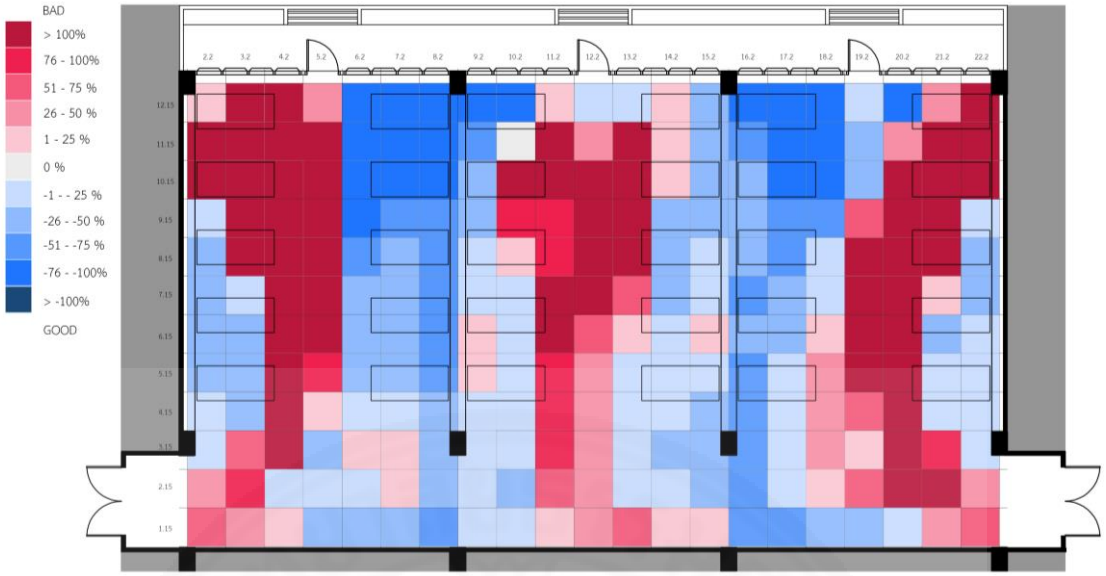
ในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากที่ติดตั้งระบบกลระบายอากาสแบบใบพัดมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าอายุของอากาศบริเวณที่ติดกับผนังและพื้นที่ที่ติดกับช่องอากาศออกมีค่าอายุของอากาศเพิ่มสูงขึ้น และทำให้บริเวณช่องที่อากาศธรรมชาติไหลเข้ามีแนวโน้มที่อายุของอากาศลดลง ถึงแม้ว่าอายุของอากาศสูงสุดในบางพื้นที่เพิ่มขึ้นแต่ยังมีค่าต่ำกว่า 600 วินาที

4.6.3.3 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ติดตั้งพัดลมใบพัด

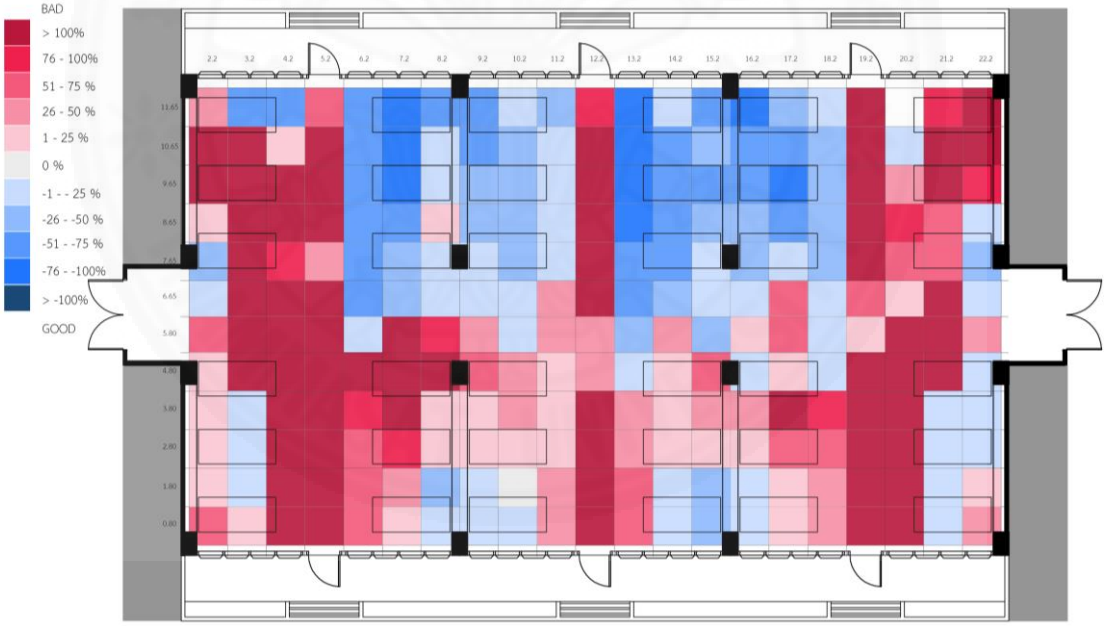
การติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลมสามารถช่วยลดอายุของอากาศได้ ทำให้แนวโน้มค่าอายุของกาศด้านหลังสิ่งกีดขวางมีแนวโน้มลดลง แต่สำหรับบริเวณที่มีการไหลของอากาศลักษณะข้ามฟากจะมีแนวโน้มอายุของอากาศเพิ่มขึ้นบริเวณที่ติดกับช่องลมออก

4.6.3.4 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสมที่ติดตั้งระบบท่อระบายอากาศ

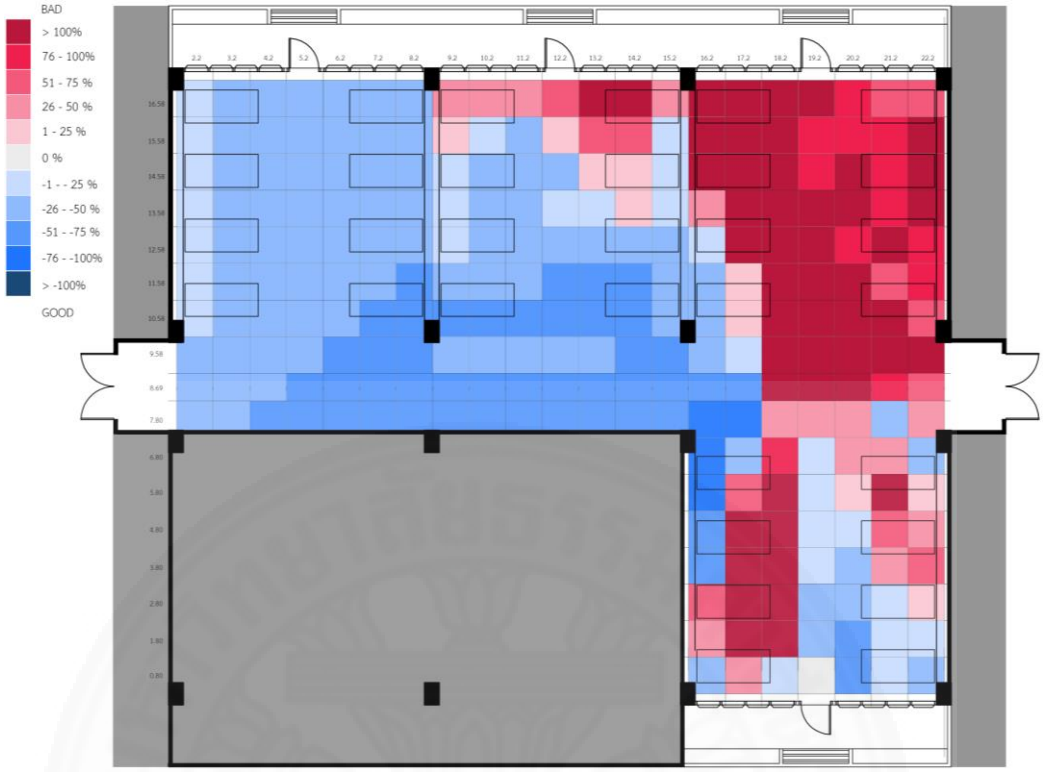
การติดตั้งระบบท่อระบายอากาศสามารถทำให้ได้รับอากาศบริสุทธิ์ได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นการจ่ายอากาศโดยตรงไปยังพื้นที่ที่ต้องการ จึงสามารถกระจายอากาศบริสุทธิ์ได้ทั่วถึงกว่า ทำให้แนวโน้มอายุของอากาศในพื้นที่ส่วนใหญ่ของผังอาคารหอผู้ป่วยรวมที่มีลักษณะการระบายอากาศแบบผสม มีแน้วโน้มลดลง



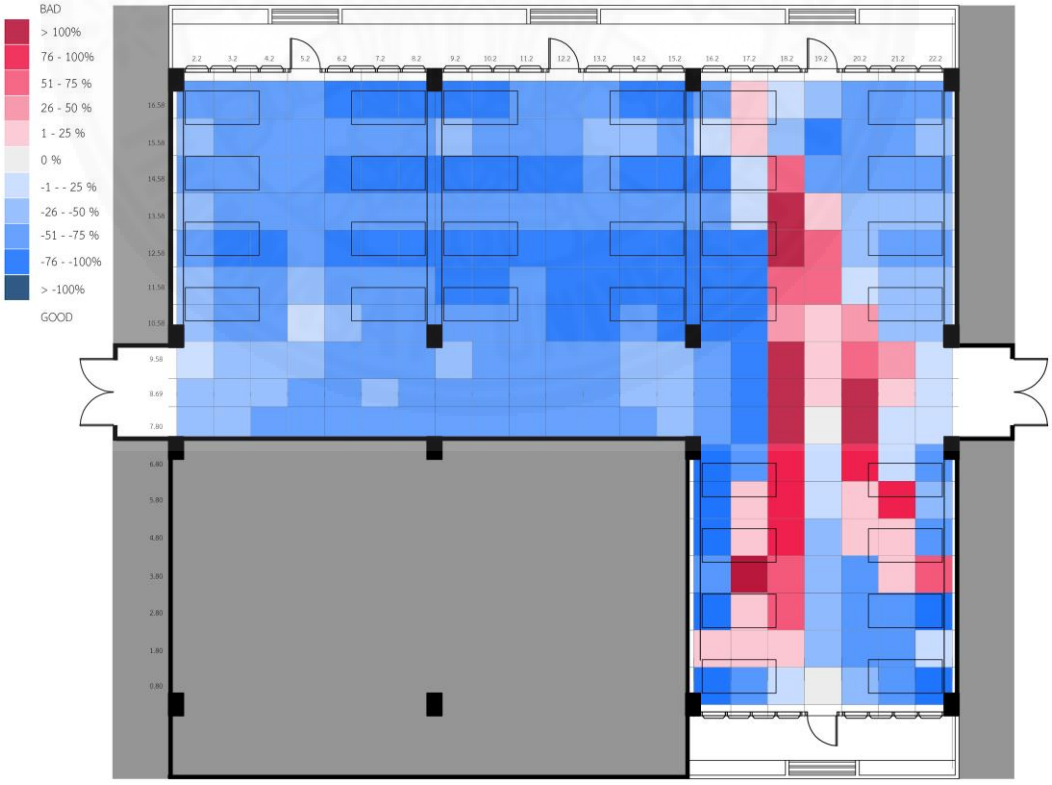
ภาพที่ 4.62 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทางเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด



ภาพที่ 4.63 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟากเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด



ภาพที่ 4.64 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่ติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด



ภาพที่ 4.65 การเปลี่ยนแปลงอายุของอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมเมื่ออากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวางที่ติดตั้งท่ออากาศ

4.6.4 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศ

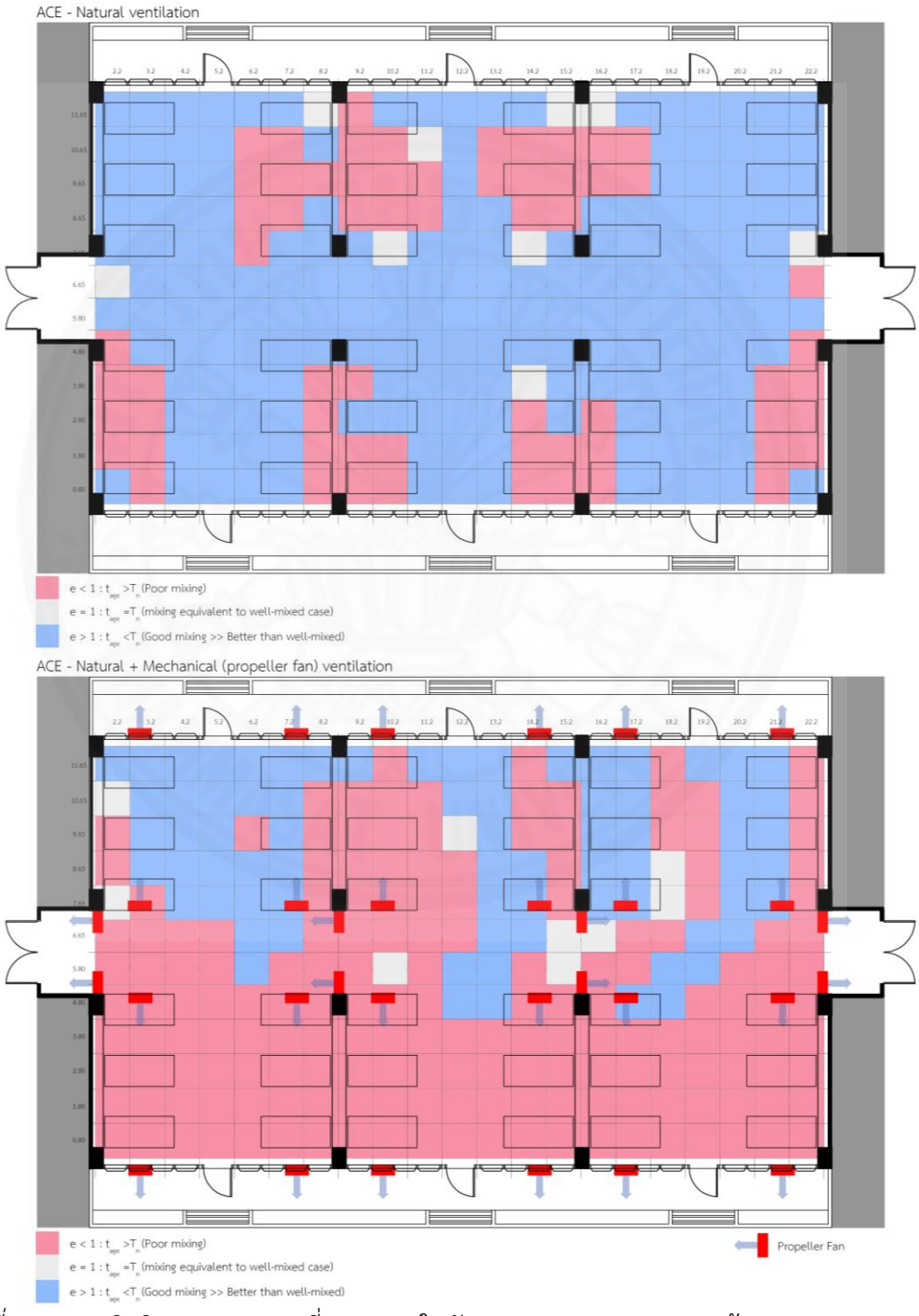
4.6.4.1 ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศแล้วทำให้อากาศภายนอกสามารถไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนกับอากาศภายในได้มากขึ้น

ภาพที่ 4.66 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

4.6.4.2 ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

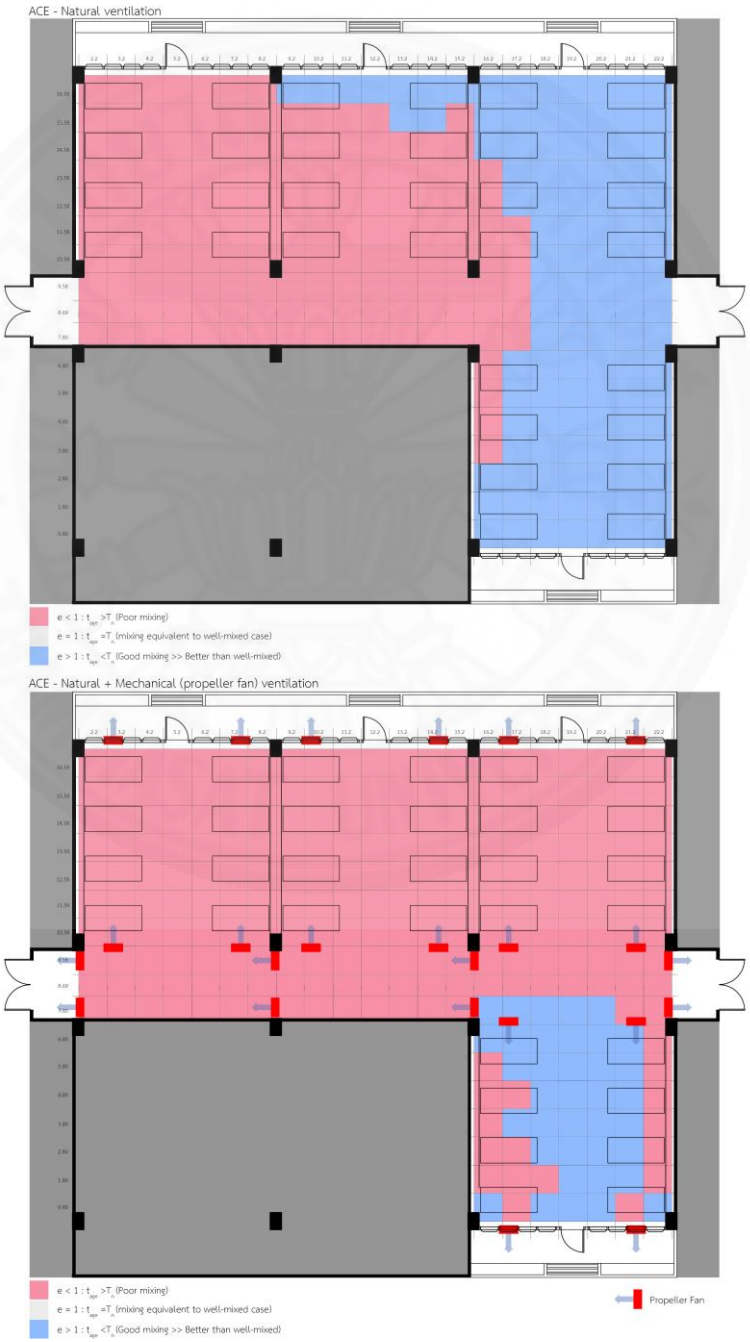
จากการศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศพบว่าในการระบายอากาศธรรมชาติสามารถทำให้อากาศภายนอกเข้าไปแลกเปลี่ยนกับอากาศภายในได้ดีกว่าการติดตั้งระบบกลระบายอากาศแบบพัดลม เนื่องจากพัดลมมีทิศทางเป่าออกทำให้อากาศธรรมชาติที่ไหลจากช่องหน้าต่างไม่สามารถไปผสมกับอากาศบริเวณช่องหน้าต่างอากาศออก



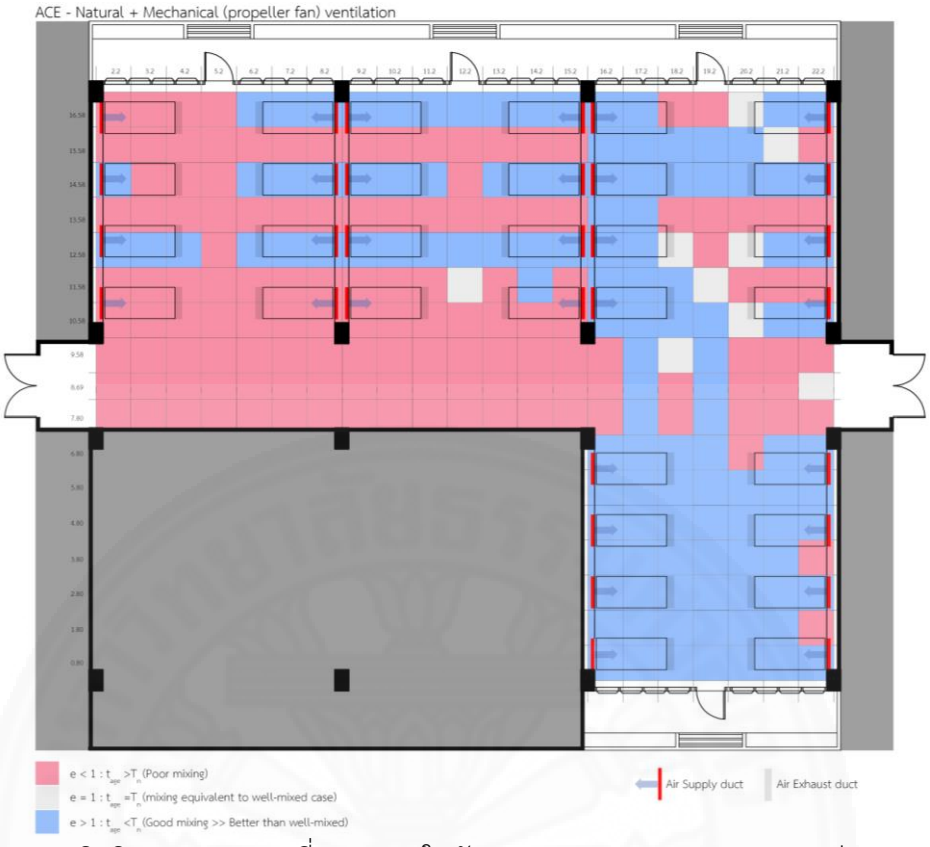
ภาพที่ 4.66 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

4.6.4.3 ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

จากการศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสมพบว่าในการระบายอากาศธรรมชาติบริเวณที่มีการไหลลักษณะข้ามฟากมีการแลกเปลี่ยนอากาศได้ดี แต่บริเวณด้านหลังสิ่งกีดขวางมีการแลกเปลี่ยนอากาศน้อย เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศพบว่ามีการแลกเปลี่ยนได้ดีเพียงบริเวณช่องหน้าต่างอากาศเข้าเท่านั้น แต่เมื่อติดตั้งระบบท่ออากาศสามารถช่วยแลกเปลี่ยนอากาศได้ดีขึ้นทั้งบริเวณที่มีการไหลของอากาศแบบข้ามฟากและด้านหลังสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 4.67 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม



ภาพที่ 4.67 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ต่อ)

4.6.5 ผังอาคารที่แนะนำในการใช้งาน

จากการศึกษาจึงสามารถสรุปรูปแบบผังอาคารที่เหมาะสมกับการระบายอากาศที่ทำให้โอกาสจากการติดเชื้อทางอากาศน้อยกว่าผังอาคารรูปแบบอื่น ดังนี้

4.6.5.1 การระบายอากาศธรรมชาติ

ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก เนื่องจากมีช่องเปิดที่กว้าง อากาศไหลผ่านได้สะดวกได้รับผลกระทบน้อยหากมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางลม มีการแลกเปลี่ยนอากาศกับอากาศภายนอกอย่างทั่วถึง และ ไม่มีพื้นที่ที่จะเกิดอากาศไหลวน

4.6.5.2 ระบบระบายอากาศแบบใบพัด

ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศให้เพิ่มขึ้นได้ สามารถเพิ่มค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และลดอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงได้สูงถึง 23%

4.6.5.3 ระบบระบายอากาศแบบท่ออากาศ

ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม เนื่องจากสามารถกระจายอากาศบริสุทธิ์ในพื้นที่อับอากาศ หรือ มีสิ่งกีดขวางได้มากขึ้น สามารถลดอายุของอากาศลงได้มากถึง 82.81% เพราะเป็นการจ่ายอากาศบริสุทธิ์เข้าไปโดยตรงในพื้นที่ที่เกิดปัญหา

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้อผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาคุณภาพอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาติ โดยพิจารณาค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ ความเร็วลม และอายุของอากาศด้วยการจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังนี้.

1. ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการระบายอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในไทยที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ
2. ศึกษารูปแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ
3. พัฒนาแนวทางในการควบคุมการไหลของอากาศ เพื่อเป็นแนวทางออกแบบและปรับปรุงสถาปัตยกรรม เพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศภายในอาคารที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ
4. เป็นแนวทางในการประยุกค์ใช้ระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศแบบธรรมชาติในอาคารหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติรูปแบบอื่นๆ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการระบายอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาลในไทยที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

จากการศึกษาการระบายอากาศภายในหอผู้ป่วยรวมสามารถแบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ การระบายอากาศธรรมชาติ และการระบายอากาศด้วยระบบกล หรืออาจใช้ร่วมกันทั้งสองระบบ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น แต่สิ่งที่ตามมาคือค่าใช้จ่ายและบำรุงรักษา โดยในประเทศไทยหอผู้ป่วยรวมที่ระบายอากาศธรรมชาตินิยมใช้การระบายอากาศธรรมชาติร่วมกับระบบกล จากการศึกษาผังอาคารสามารถแบ่งรูปแบบผังอาคารได้ตามลักษณะช่องเปิดและการไหลของอากาศออกเป็น 3 รูปแบบคือ ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง ที่มีอากาศไหลจากช่องหน้าต่างและไหลออกทางช่องประตูหลัก ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก ที่อากาศไหลข้ามพื้นที่จากช่องเข้าด้านหนึ่งไหลข้ามพื้นที่ผู้ป่วยไปออกอีกด้านหนึ่ง และผังอาคารระบายอากาศแบบผสม มีลักษณะการไหลรวมกันระหว่างผังอาคารทั้งสองแบบแรก เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางที่เป็นห้องพยาบาล หรือ พื้นที่บริการอื่นๆของอาคาร และพบว่า เมื่อจำลองด้วยค่าความเร็วลมกลางคืน (0.92 เมตร/วินาที) มีค่าแลกเปลี่ยนอากาศสูงกว่า 6 ตามมาตรฐาน ASHRAE 170-2008 แต่หากความเร็วของลมธรรมชาติมีค่าต่ำกว่า 0.50

เมตร/วินาที ในผังอาคารบางประเภท เช่น ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม อากาศจะไหลผ่านพื้นที่ได้น้อยลงเนื่องจากช่องเปิดอากาศที่อากาศไหลผ่านได้ลดลง และมีค่าแลกเปลี่ยนอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน

5.1.2 ศึกษารูปแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ

จากการศึกษารูปแบบและเทคโนโลยีในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

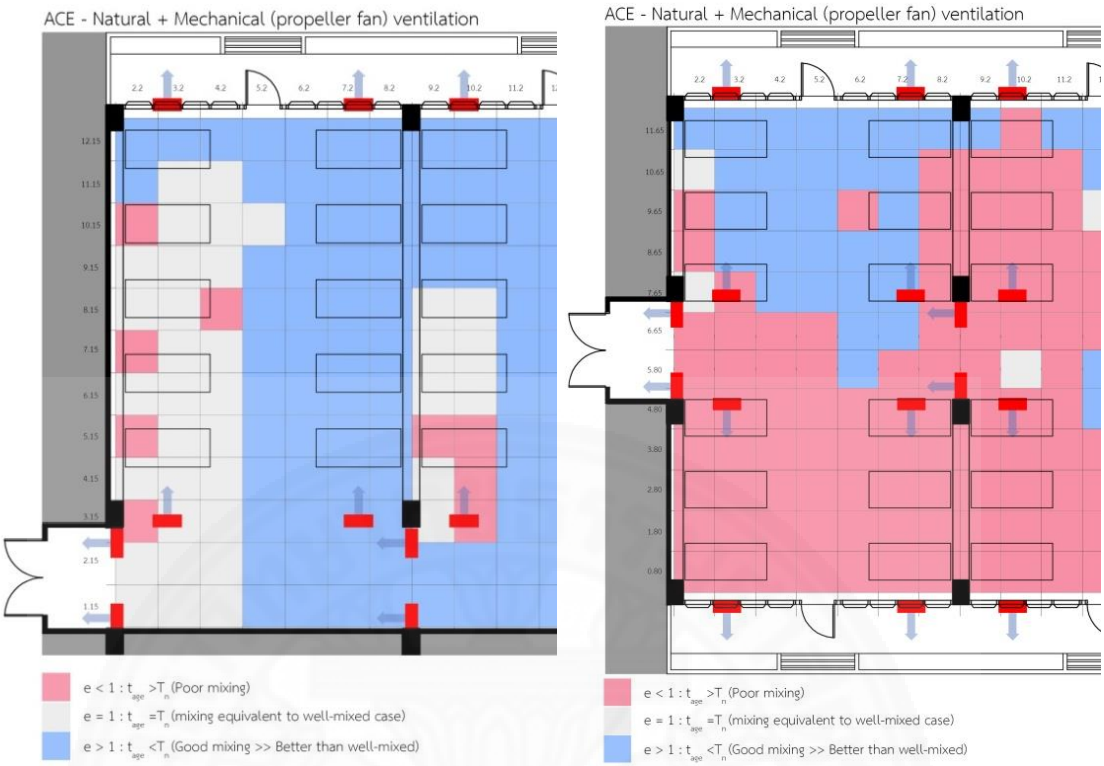
5.1.2.1 การระบายอากาศธรรมชาติ

เป็นการระบายอากาศโดยอาศัยหลักความต่างของความดันอากาศที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ภายนอกและภายใน สิ่งแรกที่ต้องคำนึงในการใช้ระบบระบายอากาศธรรมชาติคือการออกแบบให้ตอบรับกับลมประจำถิ่นเพื่อให้ลมไหลผ่านอาคารได้มากที่สุด จากนั้นสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของอากาศได้ด้วยการออกแบบส่วนของอาคารที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศเพื่อช่วยพลักดันให้อากาศไหลเข้ามาในพื้นที่ที่ต้องการเช่น การสร้างกำแพงดักลม (Wing wall) หรือช่องระบายอากาศด้วยความร้อน (Solar Chimney) เป็นต้น และการปรับเปลี่ยนรูปแบบหน้าต่างหรือขยายพื้นที่ช่องเปิดเพื่อเพิ่มการระบายอากาศให้สูงขึ้น แต่ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนรูปแบบหน้าต่างและขนาดพื้นที่ช่องเปิดต้องคำนึงถึงปริมาณแสงสว่าง ความร้อนจากภายนอก และความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วยด้วย

5.1.2.2 การใช้ระบบกลระบายอากาศ

ในโรงพยาบาลของไทยที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติพบว่าระบบกลระบายอากาศที่พบประกอบด้วย การระบายอากาศด้วยพัดลมประเภทใบพัด พัดลมระบายอากาศแบบติดเพดาน และการระบายอากาศพัดลมผ่านระบบท่ออากาศด้วยพัดลมประเภทแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งสามารถระบายลมออกจากพื้นที หรือเพิ่มความเร็วลมภายในพื้นที่ได้ ซึ่งสามารถลดอายุของอากาศลงได้ ทั้งนี้ระบบกลระบายอากาศสามารถปรับใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นได้ แต่ไม่นิยมใช้กับระบบทำความเย็นที่ใช้ไอน้ำเนื่องจากอาจมีไอน้ำสะสมในบางพื้นที่ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค

การใช้ระบบกลระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัดในทิศทางเป่าออกสู่ภายนอก เมื่อศึกษาจากประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศทำให้ทราบว่าการติดตั้งพัดลมประเภทใบพัดในผังอาคารที่มีลักษณะการระบายอากาศแบบสองทิศทาง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นจากการระบายอากาศธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ทำให้อายุของอากาศมีค่าลดลงได้มากกว่าพื้นที่ที่มีลักษณะการไหลของอากาศแบบข้ามฟาก ซึ่งเมื่อติดตั้งพัดลมประเภทใบพัดให้เป่าอากาศออกสู่ช่องเปิดทั้งสองด้าน อากาศบริสุทธิ์จากภายนอกจะสามารถไหลเข้าได้เพียงครึ่งหนึ่งของหอผู้ป่วบรวมเท่านั้น



ภาพที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศการระบายอากาศสองทิศทางและข้ามฟาก เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลมแบบใบพัด

5.1.3 พัฒนาแนวทางในการควบคุมการไหลของอากาศ เพื่อเป็นแนวทางออกแบบและปรับปรุงสถาปัตยกรรม เพื่อลดโอกาสในการติดเชื้อทางอากาศภายในอาคารที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ

ในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่เป็นหอผู้ป่วยรวมที่มีการระบายอากาศธรรมชาติควรคำนึงถึงการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบการระบายอากาศธรรมชาติ โดยจะต้องเริ่มต้นด้วย การคำนึงถึงอิทธิพลที่ส่งผลต่อค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ เช่น ทิศทางการวางอาคาร ลักษณะกลุ่มอาคารและพื้นที่โดยรอบ รวมทั้งรูปแบบและขนาดของพื้นที่หอผู้ป่วย โดยหอผู้ป่วยที่มีลักษณะการไหลของอากาศในลักษณะข้ามฟาก ความกว้างจะต้องไม่เกินกว่า 5 เท่าของความสูงพื้นที่ (ภาพที่ 2.3 หน้า 16) และพื้นที่มีลักษณะการไหลแบบทางเดียวหรือสองทิศทาง ความกว้างจะต้องไม่เกินกว่า 2.5 เท่าของความสูงพื้นที่ (ภาพที่ 2.5 หน้า 17)

ในการจำลองการไหลของอากาศในผังอาคารหอผู้ป่วยรวมรูปแบบต่างๆเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศทำให้ค่าความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นมีค่ามากกว่า 0.30 เมตร/วินาที พบว่าการใช้พัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดสามารถช่วยเพิ่มความเร็วลมและลดอายุของอากาศลงได้แต่ในบางพื้นที่ที่ไม่มีพัดลมอายุของอากาศในพื้นที่สูงขึ้น หากใช้ระบบท่อระบายอากาศเพื่อนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาทำให้ได้คุณภาพอากาศที่ดีกว่าและสามารถลดอายุของอากาศได้มากกว่า แต่จะต้องคำนึงถึงสถานที่ที่จะนำอากาศเข้ามา

ภายใน ซึ่งจะต้องอยู่ห่างจากแหล่งมลพิษ ไม่อยู่ในทิศทางใต้ลมที่มีอากาศเสียไหลผ่าน และต้องผ่านระบบกรอง ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่ ASHRAE 170-2008 กำหนดไว้ดังนี้

(1) ช่องนำอากาศเข้า (Outdoor air inlet) ควรอยู่ห่างจากคูลลิ่งทาวเวอร์และช่องนำอากาศออกไม่น้อยกว่า 8 เมตร ช่องนำอากาศเข้าควรสูงไม่น้อยกว่า 2 เมตรจากระดับพื้นที่หรือ 1 เมตรจากระดับหลังคา

(2) ช่องนำอากาศออก (Exhaust discharge) การติดตั้งช่องนำอากาศออกจากพื้นที่ควรติดตั้งในพื้นที่ที่มีความดันลมเพื่อดูดอากาศบริเวณนั้นออกไป โดยท่อที่ปล่อยอากาศสู่ภายนอกจะต้องสูงไม่น้อยกว่า 3 เมตรจากระดับหลังคา และห่างจากช่องเปิดอาคารไม่น้อยกว่า 3 เมตร และต้องคำนึงถึงทิศทางลมเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับ

ในส่วนของปริมาตรอากาศบริสุทธิ์ที่ปล่อยออกจากระบบท่ออากาศ ในการทดลองเลือกใช้ปริมาตรอากาศ 6 ACH เพื่อให้ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศมีค่าเกินมาตรฐานตลอดเวลา ซึ่งในการทดลองได้ปล่อยอากาศบริสุทธิ์ที่ตำแหน่งเตียงผ่านช่องที่มีขนาด 0.90 x 0.15 ม. ซึ่งทำให้มีปริมาตรอากาศ 0.047 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ซึ่งมากกว่ามาตรฐาน ASHRAE Standard 62-2001 ที่กำหนดไว้ว่าปริมาตรอากาศภายนอกที่ต้องการสำหรับผู้ป่วยอยู่ที่ 25 cfm / คน หรือคิดเป็น 0.011 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ซึ่งในการทดลองมีปริมาตรอากาศที่ปล่อยออกมามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แต่ความเร็วลมที่ปล่อยออกมามีค่าต่ำประมาณ 0.11 เมตร/วินาที ทั้งนี้การติดตั้งช่องท่อที่ตำแหน่งเตียงจะต้องไม่ตั้งในทิศทางที่พัดลมเป่าเข้าหาช่องท่อโดยตรงเนื่องจากความเร็วลมจากพัดลมจะทำให้อากาศที่ปล่อยจากช่องท่อไหลย้อนกลับ หากไม่ได้ติดตั้งที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยระบบท่ออากาศควรติดตั้งในตำแหน่งต้นลมที่พัดลมประเภทใบพัดจะสามารถกระจายอากาศบริสุทธิ์ไปในพื้นที่อื่นๆ แต่ปริมาตรอากาศที่ปล่อยออกมาจะต้องไม่ต่ำกว่า 25 cfm / คน

การเลือกใช้ประเภทระบบกลขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ และผังอาคาร เช่น การระบายอากาศในผังอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง หรือ แบ่งพื้นที่ได้หลายส่วน ซึ่งจะเกิดการไหลวนของอากาศเพิ่มมากขึ้น การเลือกใช้การระบายอากาศผ่านระบบท่อจะสามารถช่วยเพิ่มอากาศบริสุทธิ์ในพื้นที่ได้และและใช้พัดลมรูปแบบใบพัดเพื่อส่งอากาศไปยังพื้นที่ส่วนอื่น

5.1.4 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบกลระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วยรวมที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติที่มีผังอาคารลักษณะอื่นๆ

จากรูปแบบผังอาคารหอผู้ป่วยรวมที่มีลักษณะเปิดโล่ง และมีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่อากาศสามารถไหลเข้าได้สะดวก หากผังอาคารมีลักษณะใกล้เคียงกับการวิจัยจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบพื้นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถเลือกแผนภาพจากการจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติ หรือใช้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอายุของอากาศมาเปรียบเทียบอายุของอากาศที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศตามตำแหน่งในการทดลอง ดังรูปภาพที่ 4.62- 4.65 (หน้า 93- 94) และยังสามารถนำผลจากการจำลองไปเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลหรือศึกษาการใช้ระบบกลระบายอากาศกับผังอาคารหอผู้ป่วยรวมรูปแบบอื่นๆโดยมีข้อจำกัด และแนวทางดังนี้

<u>ข้อจำกัดในการใช้งาน</u>

(1) ทิศทางการไหลของอากาศจากระบบกลแบบพัดลมประเภทใบพัดมีทิศทางเป่าอากาศออกไปยังช่องเปิดที่ออกสู่ภายนอกอาคาร หากติดตั้งให้เป่าอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในจะทำให้มีค่าแตกต่างจากการทดลอง

(2) ระบบกลแบบพัดลมประเภทใบพัดที่เลือกใช้ในการจำลองมีขนาด 16 นิ้ว และอ้างอิงค่าปริมาตรอากาศจากค่ามาตรฐานมอก.710-2535 ซึ่งในความเป็นจริงพัดลมที่มีขนาดเท่ากันอาจให้ปริมาตรอากาศที่มากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลง

(3) ระบบระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศจะปล่อยอากาศบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับความต้องการค่าการแลกเปลี่ยนอากาศของห้อง และจำนวนท่ออากาศ ทำให้ความเร็วลม และปริมาตรอากาศที่ปล่อยออกมาในแต่ละช่องอากาศมีค่าไม่เท่ากันกับค่าความเร็วลม และค่าการแลกเปลี่ยนอากาศในหอผู้ป่วย

(4) ระบบท่ออากาศควรคำนึงถึงทิศทางลมและความเร็วลมเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของท่ออากาศ

<u>แนวทางการนำไปใช้</u>

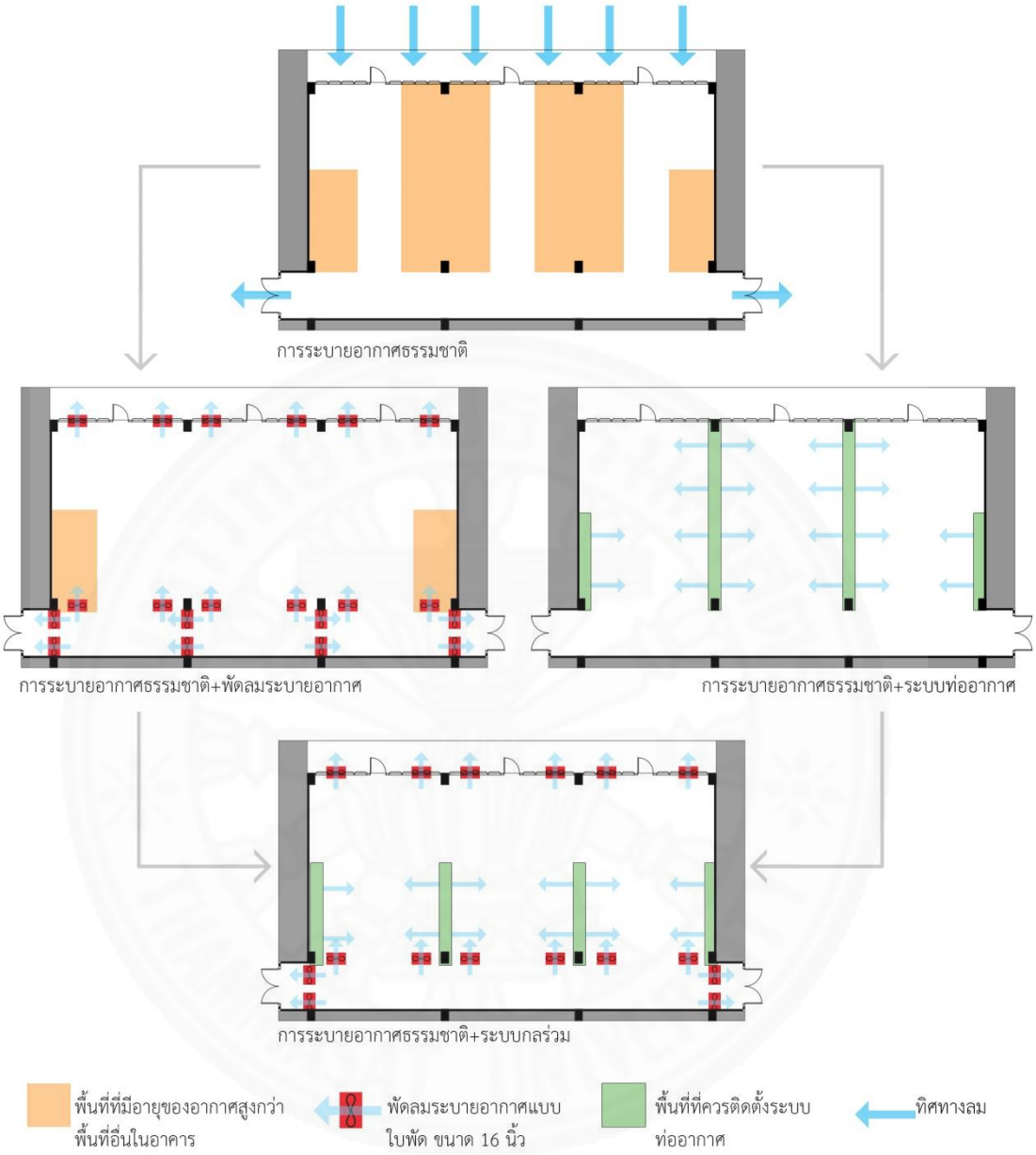
(1) ระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัดสามารถเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่และเพิ่มค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยการติดตั้งควรติดตั้งให้พัดลมให้มีลักษณะเป่าจากพื้นที่ภายในออกสู่ภายนอก ไม่ควรติดตั้งให้เป่าอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในเนื่องจากอาจดูเอามลพิษหรือสิ่งที่ลอยอยู่ในอากาศเข้ามาด้วยซึ่งจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบกรองอากาศ

(2) พื้นที่ที่มีการติดตั้งระบบกลระบายอากาศผ่านระบบท่ออากาศควรติดตั้งในพื้นที่ที่มีอากาศหยุดนิ่ง มีความเร็วลมต่ำ มีช่องเปิดน้อย หรือมีสิ่งกีดขวางมาก เพื่อเพิ่มปริมารอากาศบริสุทธิ์และลดการสะสมเชื้อในอากาศ และควรติดตั้งในระดับเตียงผู้ป่วยหรือระดับที่หายใจ

(3) ในพื้นที่ที่มีความซับซ้อนเช่นมีสิ่งกีดขวางมาก หรือมีผังอาคารที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม สามารถเลือกใช้สองระบบร่วมกันโดยให้ระบบกลประเภทใบพัดมีหน้าที่เพิ่มความเร็วลมในพื้นที่ และระบบท่ออากาศมีหน้าที่เพิ่มอากาศบริสุทธิ์

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบกลระบายอากาศในผังอาคารหอผู้ป่วยรวมลักษณะต่างๆ รวมทั้งแนวทางในการติดตั้งระบบกลร่วมระหว่างระบบกลแบบใบพัดและพื้นที่ที่ควรติดตั้งระบบท่ออากาศ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการระบายอากาศเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถแบ่งออก 7 รูปแบบ ดังนี้

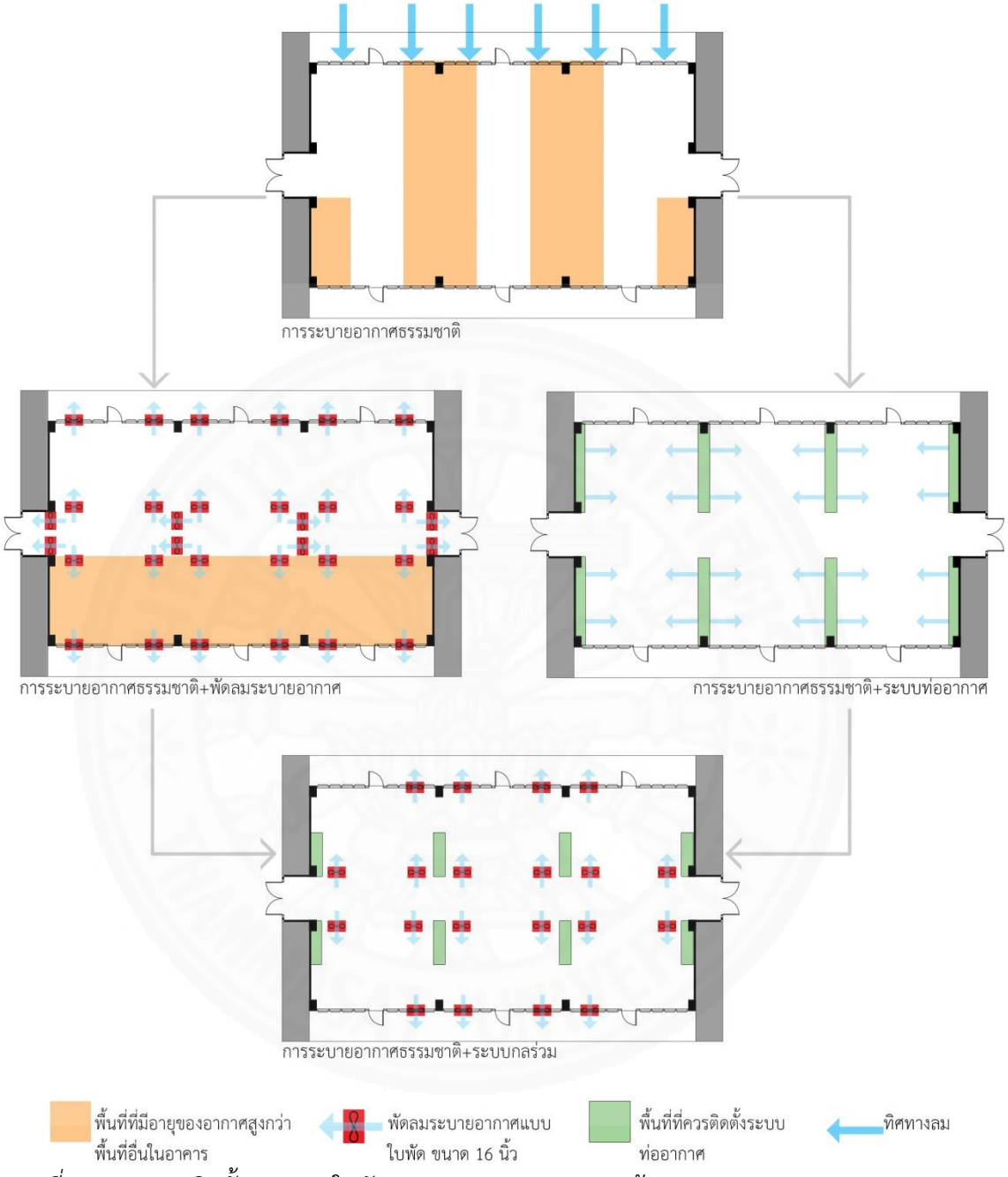
1. ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง



ภาพที่ 5.2 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

ในพื้นที่กึ่งกลางห้องและริมผนังใกล้ช่องทางออกเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศประเภทใบพัดพบว่าริมผนังใกล้ทางออกยังมีอายุของอากาศสูงมากกว่าพื้นที่อื่นๆ การติดตั้งระบบท่ออากาศสามารถติดตั้งในพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูง สำหรับระบบกลร่วมระหว่างพัดลมและท่ออากาศทำได้โดยติดตั้งระบบท่ออากาศบริเวณใกล้พัดลมระบายอากาศแบบใบพัดเพื่อกระจายอากาศบริสุทธิ์ด้านในออกไปสู่ภายนอกพื้นที่

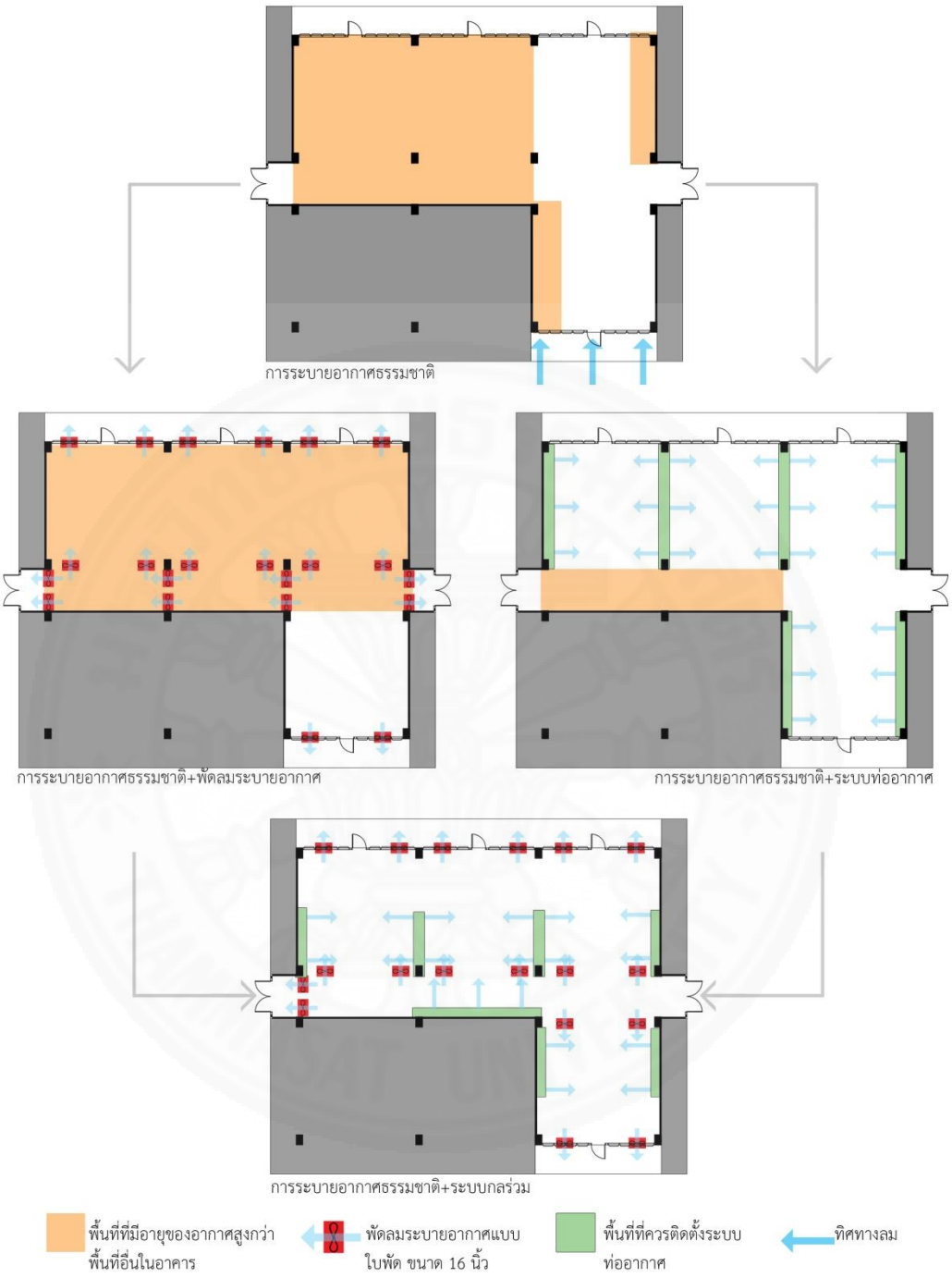
2. ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก



ภาพที่ 5.3 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

ในพื้นที่กึ่งกลางห้องและริมผนังใกล้ช่องทางออกเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศอากาศแบบใบพัดพบว่าพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงจะอยู่บริเวณใกล้ช่องอากาศออก ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาสบริสุทธิ์บริเวณกึ่งกลางห้องแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่

3. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม



ภาพที่ 5.4 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารระบายอากาศแบบผสม

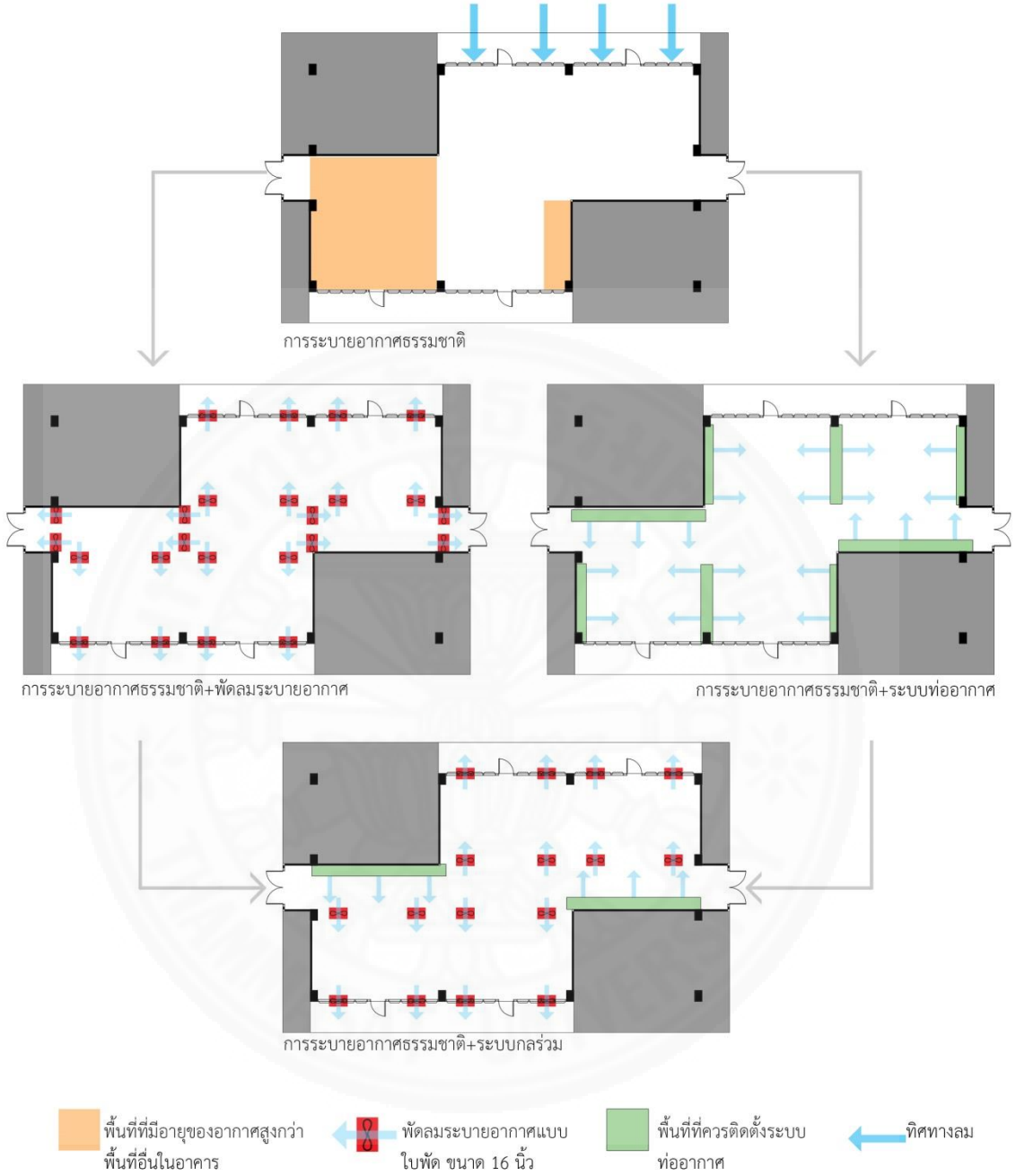
ด้านหลังสิ่งกีดขวางเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศเกินมาตรฐาน เมื่อติดตั้งพัดลมอายุของอากาศลดลงต่ำกว่า 600 วินาทีแต่ยังมีอายุของอากาศสูง เมื่อติดตั้งระบบท่ออากาศสามารถลดอายุของอากาศลงได้มากแต่ความเร็วลมต่ำ ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาสบริสุทธิ์บริเวณกึ่งกลางห้องแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่

4. ผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลาง

ภาพที่ 5.5 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลาง

ด้านหลังสิ่งกีดขวางเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูง ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาศบริสุทธิ์บริเวณผนังสิ่งกีดขวางแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่ ช่วยลดอายุของอากาศลงได้

5. ผังอาคารสิ่งกีดขวางมุมอาคารสองด้าน



ภาพที่ 5.6 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางมุมอาคารสองด้าน

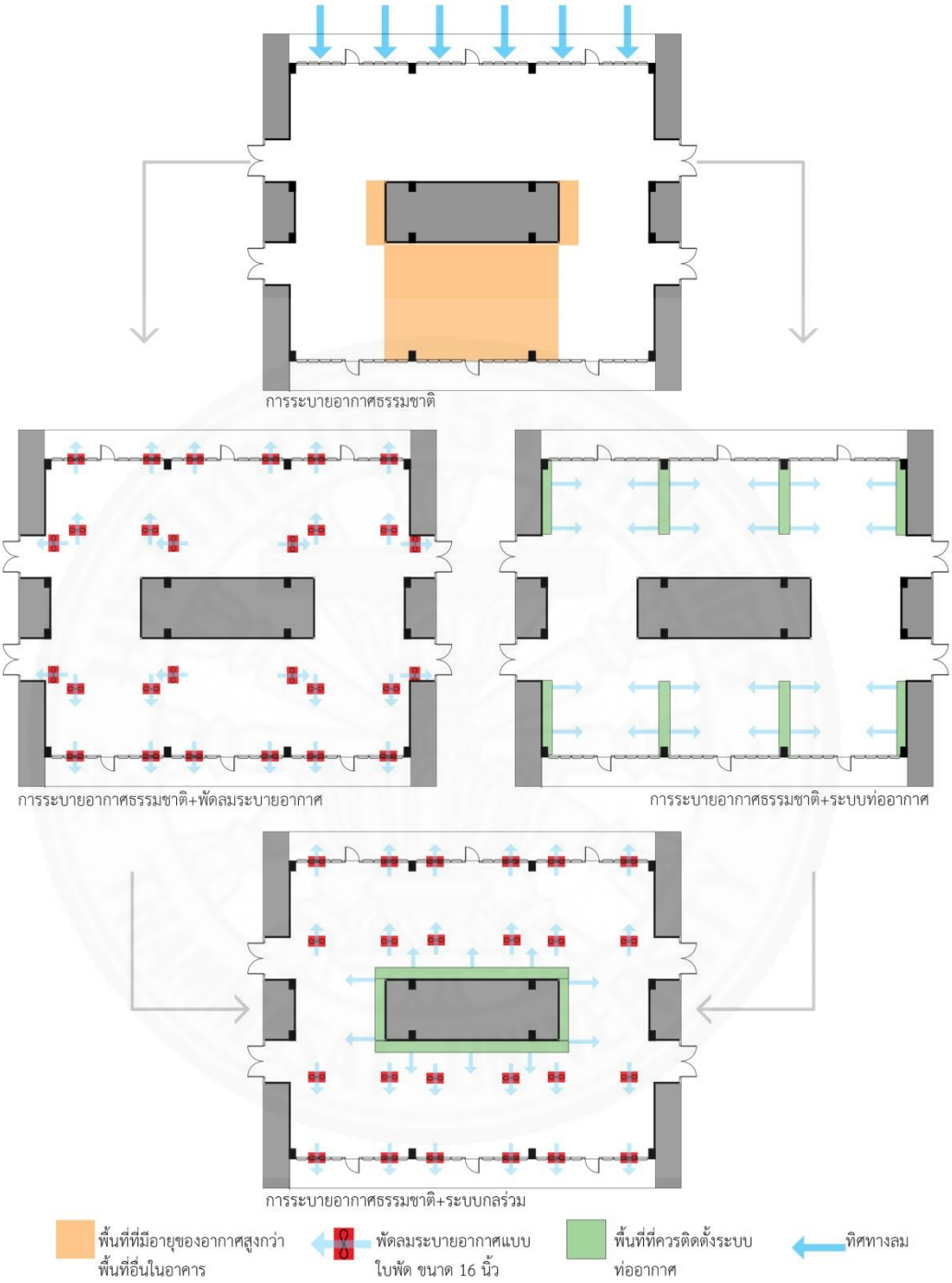
ด้านหลังสิ่งกีดขวางและติดผนังใกล้ช่องอากาศออกเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูง ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาศบริสุทธิ์บริเวณผนังสิ่งกีดขวางแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่

6.ผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลางสองด้าน

ภาพที่ 5.7 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารสิ่งกีดขวางกึ่งกลางสองด้าน

ในพื้นที่ริมผนังใกล้ช่องทางออกเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ เมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศอากาศแบบใบพัดพบว่าพื้นที่ที่มีอายุของอากาศสูงจะอยู่บริเวณใกล้ช่องอากาศออก ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาสบริสุทธิ์บริเวณกึ่งกลางห้องแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่

7. ผังอาคารพื้นที่ใช้งานล้อมรอบสิ่งกีดขวาง



ภาพที่ 5.8 แนวทางติดตั้งระบบกลในผังอาคารพื้นที่ใช้งานล้อมรอบสิ่งกีดขวาง

ด้านหลังสิ่งกีดขวางเป็นพื้นที่ที่มีอายุของอากาศเกินมาตรฐาน เมื่อติดตั้งพัดลมอายุของอากาศลดลงต่ำกว่า 600 วินาทีแต่ยังมีอายุของอากาศสูง เมื่อติดตั้งระบบท่ออากาศสามารถลดอายุของอากาศลงได้มากแต่ความเร็วลมต่ำ ปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบท่ออากาศปล่อยอากาศบริสุทธิ์บริเวณกึ่งกลางห้องซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางแล้วให้พัดลมกระจายอากาศบริสุทธิ์ทั่วพื้นที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศอากาศ มีขอบเขตการศึกษากำหนดให้ทิศทางลมตั้งฉากกับช่องเปิด แต่ในความเป็นจริงการไหลของอากาศอาจไม่ได้ไหลเข้ามาในทิศทางตั้งฉากซึ่งทำให้มีผลที่แตกต่างออกไป

5.2.2 การติดตั้งระบบกลระบายอากาศทำให้ความเร็วของอากาศภายในพื้นที่เพิ่มขึ้น สภาวะความสบายที่เกิดขึ้นจึงเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในการเปรียบเทียบระหว่างการระบายอากาศธรรมชาติและการระบายอากาศด้วยระบบกล และการติดตั้งระบบทำความเย็น

5.2.3 การติดตั้งระบบกลระบายอากาศหลายรูปแบบร่วมกันสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศในตำแหน่งห้องที่ต้องการได้

5.2.4 เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการจำลองการไหลของอากาศธรรมชาติและการเพิ่มประสิทธิ์ภาพการระบายอากาศ หากเลือกใช้ระบบกลประเภทอื่น และการวางตำแหน่งระบบกลนอกเหนือจากการทดลองอาจทำให้ได้ผลที่แตกต่างจากการทดลอง

5.2.5 การติดตั้งระบบกลระบายแบบพัดลมประเภทใบพัดให้เป่าอากาศทิศทางเดียวควรศึกษาทิศทางลมที่แน่นอนเพื่อป้องกันอากาศภายในที่เป่าออกไปไหลวนกลับเข้ามาในพื้นที่

5.2.6 ในการจำลองเลือกจำลองเพียงชั้นเดียวโดยไม่ได้ศึกษาผลกระทบจากไหลของอากาศเมื่ออาคารมีหลายชั้น

5.2.7 ในการจำลองเลือกใช้เกณฑ์ ASHRAE Standard 170-2008 สำหรับค่าการแลกเปลี่ยนอากาศ และมอก.710-2535 สำหรับปริมาตรอากาศของพัดลมระบายอากาศ หากใช้มาตรฐานอื่นอาจมีค่าที่แตกต่างไปจากการทดลอง

5.2.8 การติดตั้งระบบกลระบายอากาศในปริมาณมากอาจเกิดเสียงดังรบกวนจากระบบกลควรเลือกใช้รุ่นที่มีเสียงเบา

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์. (2554). *การออกแบบที่พึ่งพาธรรมชาติเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศโรงเรียนอนุรักษ์พลังงานแห่งอนาคต.* ปทุมธานี: หน่วยวิจัยเฉพาะทางสถาปัตยกรรมเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมยั่งยืน

มาลินี ศรีสุวรรณ. 2543. *การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคารสำหรับภูมิภาคร้อนชื้นในประเทศไทย.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถาบันบำราศนราดูร. 2550. *การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาล.* กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. (2551). *การออกแบบห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วย*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. [ไฟล์ดิจิตอล]

บทความวารสาร

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2555). *การสำรวจโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชน*. จาก http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/themes/files/privatehostpital55.pdf

หมอชาวบ้าน. *โรคติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial infection in community hospital).* จาก http://www.doctor.or.th/clinic/detail/7476

บทความหนังสือพิมพ์

กรุงเทพธุรกิจ. (2556). *ผู้ป่วยติดเชื้อดื้อยาปฏิชีวะนะพุ่งสถิติปี 53ตาย3.84หมื่นราย.* ฉบับ8950. [ไฟล์ดิจิตอล]

ไทยโพสต์. (2557). *กรมวิทย์ฯห่วงไทยพบเชื้อแบคทีเรียดื้อยาสูง เร่งผสานเครือข่าย60รพ. เฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด*. ฉบับ6443. [ไฟล์ดิจิตอล]

ผู้จัดการรายวัน. (2556). *พบผู้ป่วยติดเชื้อในรพ. 6.9% รัฐจ่ายค่ายา4พันล้านต่อปี.* ฉบับ1293. [ไฟล์ดิจิตอล]

วิทยานิพนธ์

ปาริณี ศรีสุวรรณ์. (2554). *คุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก.* ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กองวิศวกรรมการแพทย์. ____. *การควบคุมการติดเชื้อทางอากาศสำหรับโรงพยาบาล.* [ไฟล์ดิจิตอล]

ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่3. *ปัญหาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข.* จาก http://uto.moph.go.th/healthpro/Scripts/g/a/5.ppt

อนุภาพ ละออ. (2558). *ปัญหาระบบระบายอากาศธรรมชาติในโฌงพยาบาลและแนวทางแก้ไข.* นครสวรรค์: ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่3. [ไฟล์ดิจิตอล]

Book and Article

ASHRAE. (2008). ASHRAE Standard 170-2008: Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

Atkinson, James. Yves C., Camen L., Paul L. (2010) *Natural ventilation for Infection Control in health-care settings.* USA : World health organization.

C.A., Gilkeson. M.A. Camargo-Valero. L.E. Pickin. C.J. Noakes. (2013). *Building and environment: Measurement of ventilation and air borne infection risk in large naturally ventilation hospital ward.* USA: Elsevies

CHAM. (2002). PHOENICS version 3.5. London: CHAM Ltd.

Chanawat Nitatwichit. Yottana K. Nakorn T. (2008). Investigation and characterization of cross ventilating flows through opening in a school classroom. China: Chinese Institute of Engineers.

David Etheridge. (1996). *Building Ventilation of buildings : Theory and Measurement.* UK: John Wiley & Son .

Hua Qian, Yuguo Li. (2010). *Building and environment: Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals .* Building and Environment 45. p559–565 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001887

Jack G. Kay. (1991). *Indoor Air Pollution.* USA: Lewis Publishers

R.A. Hobday, S.J. Dancer. (2013). *Roles of sunlight and natural ventilation for controlling infection: historical and current perspectives.* Journal of Hospital Infection Volume 84, Issue 1, 2013, Pages 271–282 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195670113001540

TSI Incorporated. *Health Care Guidelines and StanDards.* Application note LC-126

Vorapat Inkarojrit. *Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study.* Bangkok,Thailand. http://www.aivc.org/sites/default/files/8B-1.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. เชื้อโรคและการแบ่งประเภทเภทเชื้อโรคที่แพร่กระจายในอากาศ

การศึกษาการแพร่กระจายของเชื้อโรคในอากาศและการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจได้แบ่งประเภทเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) เชื้อโรคแพร่กระจายทางอากาศ (Obligated Airborne Transmission)

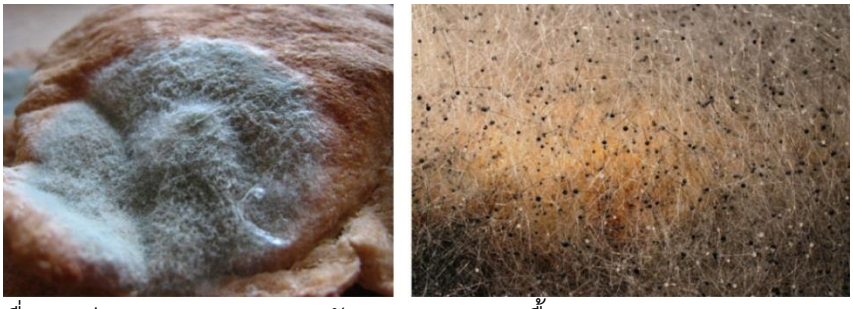
เป็นเชื้อโรคที่มีวิธีการกระจายตัวด้วยการลอยไปในอากาศเป็นวิธีหลัก โดยโรคที่มีหลักฐานว่ามีการแพร่กระจายในลักษณะนี้คือ วัณโรคปอดและกล่องเสียง โรคหัด(Measles) เชื้อรากลุ่ม Aspergillusและ Rhizopusที่พบบนขนมปังหรืออาหารประเภทแป้งและในอากาศทั่วไป ซึ่งจะก่อให้เกิดมะเร็งและภูมิแพ้

(2) เชื้อโรคที่แพร่กระจายผ่านละอองในอากาศ (Preferential Airborne Transmission)

เชื้อโรคประเภทนี้มีวิธีการแพร่กระจายหลายวิธี แต่หากแพร่กระจ่ายผ่านอากาศจะอยู่ในรูปของละออง (Aerosol) และเมื่อเข้าไปสะสมในปอดส่วนปลายเช่นถุงลม จะทำให้เชื้อโรคแพร่กระจายไปทั่วร่างกายและมีการดำเนินโรคเต็มรูปแบบ ตัวอย่างโรคที่แพร่กระจายในลักษณะนี้เช่น เชื้อไวรัส Varicella-Zoster ที่ทำให้เกิดโรคอีสุกอีใสและงูสวัด เชื้อไวรัส Smallpox ที่ทำให้เกิดโรคฝีดาษและไข้ทรพิษและโรคไข้หวัดนก (Influenza A H5N1)

(3) เชื้อโรคที่ที่กระจ่ายด้วยละอองในบางสภาวะ (Opportunistically Airborne Transmission)

เชื้อโรคในกลุ่มนี้ตามธรรมชาติจะแพร่การะจายด้วยวิธีอื่นเช่นการติดต่อจากการสัมผัส หรือสารคัดหลั่ง แต่ในบางสภาวะที่ทำให้เชื้ออยู่รูปรูปของละออง และถูกสูดดมเข้าไปยังปอดส่วนปลายจะสามารถก่อให้เกิดโรคได้ โดยเชื้อโรคที่มีลักษณะการแพร่กระจ่ายในลักษณะนี้เช่น โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (SARS) และกลุ่มของไวรัสที่ทำให้เลือดออกเช่น โรคไขเลือดออกอีโบลา



ภาพที่1 ภาพเชื่อรากลุ่ม Rhizopusบนขนมปังและภาพขยายเชื้อรา
ที่มา : Zygomycota, The Conjugated Fungi จาก http://philschatz.com/biology-book/contents/m44625.html

1.1 รูปแบบการติดเชื้อและวิธีควบคุมเชื้อ

การแบ่งรูปแบบการติดเชื้อจะแบ่งตามแบ่งได้ตามตัวที่ก่อให้เกิดโรค โดยแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การติดเชื้อแบคทีเรีย (Bacterial Infection) การติดเชื้อไวรัส (Viral Infection) และการติดเชื้อรา (Molds Infection) และมีวิธีควบคุมที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

(1) การติดเชื้อแบคทีเรีย (Bacterial Infection)

การติดเชื้อแบคทีเรียเกิดจากละอองในอากาศที่พาเชื้อมากับอากาศโดยมีขนาดตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรหรือเล็กกว่าเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจ จากการศึกษาของ Isoard et al. และ Luciano พบว่า 99.4% ของเชื้อแบคทีเรียสามารถกรองได้ด้วยแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพ 90%-95% (ASHRAE Standard 52.1) โดยปกติแบคทีเรียมักอยู่รวมตัวกันซึ่งจะทำให้มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร ซึ่งในบางหน่วยงานแนะนำให้ใช้แผ่นกรองอากาศชนิด HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมโครเมตรได้ถึง 99.97%

(2) การติดเชื้อไวรัส (Viral Infection)

การติดเชื้อไวรัสจะมีลักษณะคล้ายกับการติดเชื้อแบคทีเรีย แต่เชื้อไวรัสที่แพร่ผ่านอากาศส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่ามากในระดับที่มากกว่าไมโครเมตร (Submicrometer) จึงไม่มีวิธีใดที่จะสามารถกำจัดไวรัสให้หมดไปจากอากาศได้ การใช้แผ่นกรองอากาศ HEPA และ ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) หรืออย่างใดอย่างหนึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน การหยุดยั้งเชื้อไวรัสด้วยแสงอัตราไวโอเลต (Ultraviolet) หรือการฉีดพ้นสารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอจึงไม่แนะนำให้เป็นวิธีหลักในการป้องกัน โดยวิธีการที่แนะนำให้ใช้ในการป้องกันการติดเชื้อไวรัสคือการควบคุมความสัมพันธ์ของความดันระหว่างห้องให้เหมาะสม และอากาสที่ไหลผ่านเข้าและออกภายในห้องต้องผ่านแผ่นกรองอากาศ

(3) การติดเชื้อรา (Molds Infection)

การติดเชื้อจากเชื้อราจะเกิดได้จากการหายใจเอาสปอร์ของเชื้อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างทำให้เกิดการติดเชื้อที่ปอด โดยเชื้อราบางชนิดเมื่อหายใจเข้าไปจะไม่ก่อให้เกิดโรคในคนปกติแต่จะก่อให้เกิดโรคในคนที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ โดยเชื้อราจะมีขนาด 10 ไมโครเมตรซึ่งสามารถกรองได้ด้วยแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพที่เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดเชื้อราจากอากาศ

ภาคผนวก ข

คุณภาพและมาตรฐานอากาศในโรงพยาบาลโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยได้มีข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบระบบปรับอากาศและการระบายอากาศไว้เมื่อปีพ.ศ.2548 ซึ่งมีสาระสำคัญที่ผู้ออกแบบและบุคลากรทางการแพทย์ควรทราบดังนี้

(1) การเติมอากาศ

สิ่งที่สำคัญในการเติมอากาศเข้ามาในห้องหรือพื้นที่เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนในอากาศ คือ อากาศที่เติมเข้ามาควรมีสิ่งปนเปื้อนน้อยที่สุด ดั้งนั้นจุดที่นำอากาศเข้าจะต้องห่างจากบริเวณที่มีแหล่งปนเปื้อนในอากาศอย่างน้อย 10 เมตร ได้แก่ ท่อไอเสียของอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ จุดปล่อยอากาศเสียของโรงพยาบาล จุดที่มีควันไอเสียรถยนต์ และหอระบายความร้อน จุดที่จะนำอากาศเข้าควรอยู่เหนือพื้นดินอย่างน้อย 0.90 เมตร และอากาศที่เติมเข้ามาจะต้องผ่านการกรองซึ่งในหอพักผู้ป่วยและพื้นที่แยกผู้ป่วยติดเชื้อมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่1 มาตรฐานอัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหวุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพันธ์ในพื้นที่หอผู้ป่วย

สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอกไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
ห้องพักผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
ห้องพักผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	2	12	ต่ำว่า
ห้องพักผู้ป่วยปลอดเชื้อ	2	12	สูงกว่า

หมายเหตุ. จาก *การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาล.* โดย สถาบันบำราศนราดูร 2550. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

(2) การกรองอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในโรงพยาบาลจะต้องมีความสามารถในการกรองอากาศที่เติมเข้ามาและอากาสที่หมุนเวียนภายในห้องด้วยแผงกรองอากาศ เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคที่มีอยู่ในอากาศซึ่งอาจมาจากผู้ป่วย บุคลากร และพื้นผิวสิ่งแวดล้อมภายในห้อง ทั้งนี้มีข้อกำหนดจำนวนชั้นและประเภทแผงกรองอากาศ

สำหรับสถานที่ต่างๆในโรงพยาบาล ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้แผ่นกรองประเภทที่ 1 หรือ MERV 17ก็คือแผงกรองอากาศ HEPA ที่มีประสิทธภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 99.97% แต่ในมาตรฐานของไทยกำหนดขั้นต่ำให้ใช้แผ่นกรองประเภทที่ 4 MERV 7 มีประสิทธิภาพ 25-30% (ASHRAE Standard 52.1) กับห้องพักผู้ป่วยและทางเดินหน้าห้องพักผู้ป่วย

(3) ทิศทางการไหลของอากาศ

มีการกำหนดทิศทางขึ้นอยู่กับประเภทของห้อง ซึ่งห้องแยกผู้ป่วยที่แพร่เชื้อทางอากาศ ลมสะอาดจะจ่ายผ่านบุคลากรสู่ตัวผู้ป่วยแล้วดูดออกที่ตำแหน่งเหนือพื้นห้องที่ปลอดเชื้อหรือป้องกันเชื้อเข้าเช่นห้องผ่าตัดจะไม่ให้เชื้อภายนอกเข้ามาในห้อง

(4) ความดันของอากาศภายในห้อง

ความดันของห้องขึ้นอยู่กับประเภทของห้องซึ่งความดันระหว่างแต่ละห้องจะต่างกันไม่เกิน 2.5ปาสกาล เพื่อไม่ให้เชื้อแพร่กระจาย ในส่วนของห้องผ่าตัดหรือผู้ป่วยที่มีภูมิต้านทานต่ำจะมีความดันเป็นบวก และห้องที่มีผู้ป่วยแพร่เชื้อได้จะมีความดันเป็นลบเพื่อป้องกันการแพร่กระจ่ายไปสู่พื้นที่อื่น

(5) การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่

ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศทั่วไป อากาศที่ถูกจ่ายจากเครื่องปรับอากาศจะถูกหมุนเวียนกลับเข้ามาในเครื่องและจ่ายออกไปอีกครั้ง ซึ่งสมาคมได้กำหนดให้อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในของห้องพักผู้ป่วยอยู่ที่ 6 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง

(6) อากาศที่ระบายทิ้ง

การระบายอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสีทิ้งอาจส่งผลต่อการแพร่กระจ่ายเชื้อได้ โดยได้มีการกำหนดว่าต้องระบายออกในตำแหน่งที่ไม่เสี่ยงต่อการสัมผัสผู้คน เข้าไปยังอาคารอื่น หรือย้อนกลับเข้าสู่อาคาร หากมีความเสี่ยงดังกล่าวอากาศที่ระบายทิ้งจะต้องผ่านแผงกรองอากาศระดับ HEPA ก่อนถึงจะปล่อยสู่ภายนอกได้ และจุดที่ระบายอากาศต้องอยู่ห่างจากแหล่งที่นำอากาศเข้าไม่ต่ำกว่า 7.62 เมตร นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเฉพาะบางบริเวณ เช่น ห้ามต่อท่อลมระบายอากาศทิ้งจากห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศกับท่อลมอื่นๆของอาคารเพื่อป้องการการแพร่กระจ่ายของเชื้อไปยังส่วนอื่นๆของโรงพยาบาล

(7) อุณหภูมิและความชื้น

มีการกำหนดค่า เช่น ช่วงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม กับบุคคลและกิจกรรมในแต่ละบริเวณเช่น ห้องผ่าตัดควรมีอุณภูมิอยู่ในช่อง 17-27 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 45-55% ขณะที่ห้องพักผู้ป่วยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 21-24 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60%

ภาคผนวก ค

ค่าความเร็วลมและอายุของอากาศที่ตำแหน่งเตียงในผังอาคารประเภทต่างๆ

1. ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	0.54	8.19	0.25	15.49	0.24	96.51	17	0.12	87.06	0.12	131.61	0.71	43.73
2	0.26	76.37	0.17	141.55	0.34	18.09	18	0.42	23.57	0.2	46.71	0.11	147.04
3	0.36	63.72	0.21	79.12	0.31	6.59	19	0.21	82.54	0.09	193.98	0.13	124.35
4	0.35	61.24	0.17	140.87	0.3	129.86	20	0.12	54.01	0.06	132.35	0.39	52.97
5	0.34	65.28	0.14	159.27	0.24	12.21	21	0.12	54.33	0.09	163.39	0.21	131.52
6	0.55	6.72	0.25	13.56	0.44	73.88	22	0.12	43.23	0.05	154	0.24	121.25
7	0.51	8.8	0.24	16.01	0.43	130.29	23	0.22	50.86	0.08	118.42	0.6	56.67
8	0.11	92.13	0.17	168.73	0.47	42.27	24	0.19	87.05	0.1	191.36	0.31	141.87
9	0.31	69.25	0.19	59.79	0.22	114.07	25	0.35	80.35	0.15	194.54	0.31	126.8
10	0.13	87.4	0.06	184.92	0.36	131.01	26	0.11	51.79	0.09	111.86	0.39	58.73
11	0.11	102.45	0.08	200	0.35	54.72	27	0.2	47.05	0.04	160.84	0.37	135.82
12	0.54	6.66	0.25	14.65	0.37	138.67	28	0.19	40.8	0.03	151.43	0.46	124.22
13	0.36	37.82	0.2	47.66	0.4	126.36	29	0.2	49.6	0.09	106.26	0.6	69.86
14	0.16	74.79	0.16	117.5	0.55	57.2	30	0.31	86.01	0.15	194.24	0.27	151.4
15	0.13	66.37	0.06	145.78	0.15	126.67	Avg.	0.26	58.23	0.13	125.52	0.35	95.90
16	0.09	81.74	0.04	209.74	0.19	132.14							

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30

2. ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	0.54	6.6	0.25	11.8	0.26	7.09	20	0.33	31.8	0.15	61.82	0.19	163.38
2	0.38	60.87	0.18	105.94	0.33	12.04	21	0.1	50.6	0.11	84.74	0.24	123.22
3	0.42	35.16	0.13	111.85	0.32	88.47	22	0.22	32.33	0.1	78.92	0.18	129.34
4	0.35	56	0.14	123.87	0.25	92.86	23	0.22	37.89	0.15	62.17	0.27	98.76
5	0.32	63.29	0.18	96.85	0.54	30.62	24	0.17	36.49	0.06	147.79	0.23	153.61
6	0.53	7.22	0.25	11.24	0.48	64.02	25	0.32	30.07	0.09	164.99	0.35	165.24
7	0.54	9.35	0.25	15.6	0.15	38.2	26	0.24	39.62	0.1	87.17	0.25	153.76
8	0.23	81	0.15	162.97	0.5	44.54	27	0.26	48	0.07	107.19	0.24	139.02
9	0.29	59.56	0.06	156.13	0.43	83.89	28	0.17	38.32	0.1	127.83	0.2	143.53
10	0.18	94.07	0.04	180.13	0.27	80.13	29	0.17	69.93	0.1	126.61	0.18	128.67
11	0.1	91.84	0.13	160.74	0.61	34.83	30	0.14	54	0.1	156.07	0.27	147.72
12	0.5	11.95	0.26	15.57	0.62	67.75	31	0.49	26.98	0.07	156.91	0.11	180.85
13	0.5	23.62	0.25	33.92	0.41	59.29	32	0.24	85.1	0.09	149.95	0.14	149.44
14	0.32	55.79	0.19	92.58	0.34	65.13	33	0.22	66.79	0.12	142.06	0.16	133.4
15	0.19	36.83	0.07	130.34	0.32	79.48	34	0.23	60.74	0.1	153.45	0.19	136.45
16	0.31	52.8	0.06	136.91	0.2	73.35	35	0.27	86.39	0.1	126.61	0.18	128.67
17	0.13	76.23	0.17	69.88	0.37	52.92	36	0.35	41.64	0.07	145.32	0.07	141.9
18	0.46	31.4	0.25	34.04	0.52	66.25	Avg.	0.30	47.67	0.13	108.15	0.30	100.50
19	0.2	25.9	0.07	163.44	0.37	160.19							

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36

3. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED1) อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	-	-	0.25	17.64	-	-	18	-	-	0.07	126.13	-	-
2	-	-	0.18	140.25	-	-	19	-	-	0.07	170.83	-	-
3	-	-	0.18	110.73	-	-	20	-	-	0.04	123.72	-	-
4	-	-	0.18	148.12	-	-	21	-	-	0.13	172.18	-	-
5	-	-	0.16	145.45	-	-	22	-	-	0.06	103.1	-	-
6	-	-	0.24	17.36	-	-	23	-	-	0.08	218.8	-	-
7	-	-	0.13	204.3	-	-	24	-	-	0.06	180.38	-	-
8	-	-	0.16	164.9	-	-	25	-	-	0.04	202.75	-	-
9	-	-	0.17	109.5	-	-	26	-	-	0.06	107.48	-	-
10	-	-	0.11	197.22	-	-	27	-	-	0.18	149.41	-	-
11	-	-	0.21	41.73	-	-	28	-	-	0.07	124.63	-	-
12	-	-	0.14	154.39	-	-	29	-	-	0.04	256.35	-	-
13	-	-	0.18	107.69	-	-	30	-	-	0.07	170.47	-	-
14	-	-	0.11	157.74	-	-	31	-	-	0.11	145.5	-	-
15	-	-	0.15	120.58	-	-	32	-	-	0.1	175.6	-	-
16	-	-	0.07	120.99	-	-	33	-	-	0.1	134.59	-	-
17	-	-	0.06	200.89	-	-	Avg.	-	-	0.12	143.07	-	-

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

33	32	31	30	29	28
27	26	25	24	23	22
21	20	19	18	17	16
	15	14	13	12	11
	10	9	8	7	6
	5	4	3	2	1

4.ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED2) อากาศไหลเข้าด้านที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	0.54	3.36	0.23	25.23	-	-	17	0.47	30.9	0.06	83.81	-	-
2	0.51	31.23	0.23	53.39	-	-	18	0.55	5.14	0.24	47.71	-	-
3	0.36	47.67	0.17	96.55	-	-	19	0.2	100.98	0.09	233.2	-	-
4	0.55	9.3	0.21	74.56	-	-	20	0.49	39.28	0.25	72.6	-	-
5	0.47	30.9	0.21	57.54	-	-	21	0.25	46.47	0.12	104.31	-	-
6	0.55	5.14	0.25	13.22	-	-	22	0.24	36.02	0.15	58.85	-	-
7	0.54	3.36	0.19	32.46	-	-	23	0.31	96.43	0.12	219.07	-	-
8	0.51	31.23	0.25	29.61	-	-	24	0.45	41.87	0.21	87.81	-	-
9	0.36	47.67	0.07	152.23	-	-	25	0.27	50.41	0.12	103.29	-	-
10	0.55	9.3	0.23	54.96	-	-	26	0.14	43.79	0.17	63.87	-	-
11	0.47	30.9	0.17	80.69	-	-	27	0.12	86.1	0.06	196.06	-	-
12	0.55	5.14	0.25	14.07	-	-	28	0.45	46.65	0.19	97.73	-	-
13	0.54	3.36	0.05	141.29	-	-	29	0.33	62.15	0.15	131.74	-	-
14	0.51	31.23	0.16	49.86	-	-	30	0.25	52.75	0.18	80.37	-	-
15	0.36	47.67	0.07	103.91	-	-	Avg.	0.41	36.319	0.17	86.85	-	-
16	0.55	9.3	0.19	45.58	-	-							

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
		19	20	21	22
		23	24	25	26
		27	28	29	30

5. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED2) อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	0.55	10.85	0.24	42.19	-	-	17	0.08	190.93	0.03	387.31	-	-
2	0.39	58.77	0.12	181.76	-	-	18	0.29	120.31	0.13	251.75	-	-
3	0.4	59.76	0.16	130.32	-	-	19	0.06	124.42	0.09	170.68	-	-
4	0.54	6.89	0.25	13.89	-	-	20	0.16	86.83	0.03	281.99	-	-
5	0.5	7.86	0.21	27.96	-	-	21	0.19	98.22	0.08	191.34	-	-
6	0.18	98.7	0.1	199.41	-	-	22	0.6	33.67	0.25	61.62	-	-
7	0.32	76.03	0.12	167.21	-	-	23	0.04	193.41	0.05	328.66	-	-
8	0.55	7.85	0.25	15.41	-	-	24	0.24	118.35	0.11	256.33	-	-
9	0.35	41.96	0.1	138.34	-	-	25	0.25	90.83	0.04	171.77	-	-
10	0.23	89.09	0.15	193.18	-	-	26	0.21	71.1	0.04	242.51	-	-
11	0.4	46.61	0.18	99.6	-	-	27	0.26	90.4	0.11	184.53	-	-
12	0.54	16.01	0.25	40.8	-	-	28	0.26	66.28	0.24	69.65	-	-
13	0.08	93.54	0.1	178.11	-	-	29	0.15	153.02	0.08	308	-	-
14	0.16	102.25	0.04	313.44	-	-	30	0.14	128.6	0.07	257.95	-	-
15	0.11	107.37	0.04	207.83	-	-	Avg.	0.29	81.08	0.13	173	-	-
16	0.44	42.59	0.2	76.52	-	-						-	-

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

30	29	28	27	26	25
24	23	22	21	20	19
18	17	16	15	14	13
		12	11	10	9
		8	7	6	5
		4	3	2	1

6. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED3) อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	-	-	0.24	36.18	-	-	15	-	-	0.1	322.45	-	-
2	-	-	0.18	125.18	-	-	16	-	-	0.07	191.31	-	-
3	-	-	0.2	55.27	-	-	17	-	-	0.05	234.58	-	-
4	-	-	0.23	18.82	-	-	18	-	-	0.04	220.78	-	-
5	-	-	0.17	91.91	-	-	19	-	-	0.07	300.95	-	-
6	-	-	0.23	41.74	-	-	20	-	-	0.02	436.22	-	-
7	-	-	0.2	40.68	-	-	21	-	-	0.09	336.56	-	-
8	-	-	0.1	121.55	-	-	22	-	-	0.09	158.65	-	-
9	-	-	0.19	37.82	-	-	23	-	-	0.08	215.71	-	-
10	-	-	0.1	103.67	-	-	24	-	-	0.08	236.99	-	-
11	-	-	0.05	205.69	-	-	25	-	-	0.22	157.3	-	-
12	-	-	0.09	182.22	-	-	26	-	-	0.08	366.75	-	-
13	-	-	0.05	338.64	-	-	27	-	-	0.08	357.66	-	-
14	-	-	0.03	407.54	-	-	Avg.			0.12	197.88		

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

27	26	25	24	23	22
21	20	19	18	17	16
15	14	13	12	11	10
			9	8	7
			6	5	4
			3	2	1

7. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED4) อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Night time		Propeller Fan-Night		Air Duct - Night		Beds	Night time		Propeller Fan-Night		Air Duct - Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND SPEED	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND SPEED	AGE
1	0.18	156.32	0.35	153.22	0.18	25.62	18	0.03	624.17	0.35	449.72	0.11	69.84
2	0.24	115.91	0.38	175.43	0.18	24.32	19	0.01	724.61	0.33	398.54	0.11	92.57
3	0.2	150.33	0.18	145.89	0.09	36.77	20	0.08	622.25	0.34	438.92	0.12	113.4
4	0.22	40.8	0.29	189.05	0.09	32.87	21	0.04	279.89	0.37	528.72	0.14	77.03
5	0.21	81.96	0.13	133.86	0.13	41.8	22	0.29	121.73	0.52	475.89	0.05	58.78
6	0.18	90.28	0.25	168.25	0.12	33.78	23	0.11	421.66	0.21	471.89	0.11	73.77
7	0.13	108.52	0.13	152.67	0.12	61.05	24	0.03	661.7	0.4	442.72	0.11	58.3
8	0.09	344.64	0.24	138.49	0.12	64.21	25	0.02	732.07	0.33	405.11	0.11	78.61
9	0.06	255.6	0.36	529.27	0.13	89.57	26	0.08	624.74	0.4	431.51	0.12	143.46
10	0.05	710.22	0.29	514.64	0.09	33.2	27	0.01	305.7	0.34	511.34	0.11	90.63
11	0.01	949.11	0.38	442.69	0.11	55.55	28	0.19	97.78	0.34	477.6	0.1	71.13
12	0.03	794.68	0.35	427.26	0.12	121.01	29	0.17	311.07	0.15	470.8	0.13	35.95
13	0.02	974.64	0.28	400.26	0.12	158.93	30	0.1	356.32	0.3	431.76	0.1	47.81
14	0.08	629.77	0.39	438.24	0.12	125.12	31	0.05	679.22	0.24	413.87	0.13	58.7
15	0.1	255.04	0.38	528.9	0.13	89.09	32	0.05	622.5	0.27	427.86	0.11	210
16	0.17	339.39	0.37	490.54	0.05	36.98	Avg.	0.103	430.002	0.316	383.371	0.114	73.877
17	0.05	577.44	0.47	462.96	0.1	54.21							

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

32	31	30	29	28	27
26	25	24	23	22	21
20	19	18	17	16	15
14	13	12	11	10	9
				8	7
				6	5
				4	3
				2	1

8. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม (ED5) อากาศไหลเข้าด้านที่มีสิ่งกีดขวาง

Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night		Beds	Day time		Night time		Propeller Fan-Night	
	WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE		WIND	AGE	WIND	AGE	WIND	AGE
1	-	-	0.18	156.61	-	-	19	-	-	0.06	975.07	-	-
2	-	-	0.17	162.54	-	-	20	-	-	0.01	1046.35	-	-
3	-	-	0.2	84.44	-	-	21	-	-	0.02	1102.84	-	-
4	-	-	0.1	145.38	-	-	22	-	-	0.01	1015.34	-	-
5	-	-	0.08	195.57	-	-	23	-	-	0.07	737.86	-	-
6	-	-	0.09	329.64	-	-	24	-	-	0.08	330.6	-	-
7	-	-	0.01	1225.17	-	-	25	-	-	0.19	707.56	-	-
8	-	-	0.02	1242.22	-	-	26	-	-	0.1	741.77	-	-
9	-	-	0.03	1058.65	-	-	27	-	-	0.04	905.4	-	-
10	-	-	0.01	999.35	-	-	28	-	-	0.03	1043.58	-	-
11	-	-	0.03	817.8	-	-	29	-	-	0.05	788.61	-	-
12	-	-	0.11	319.98	-	-	30	-	-	0.06	300.49	-	-
13	-	-	0.02	1074.68	-	-	31	-	-	0.15	315.37	-	-
14	-	-	0.02	1295.71	-	-	32	-	-	0.12	661.22	-	-
15	-	-	0.03	994.15	-	-	33	-	-	0.09	685.81	-	-
16	-	-	0.01	914.93	-	-	34	-	-	0.06	904.81	-	-
17	-	-	0.07	785.74	-	-	35	-	-	0.02	781.41	-	-
18	-	-	0.11	321.47	-	-	Avg.	-	-	0.07	719.09	-	-

ตำแหน่งเตียงในผังอาคาร

35	34	33	32	31	30
29	28	27	26	25	24
23	22	21	20	19	18
17	16	15	14	13	12
11	10	9	8	7	6
					5
					4
					3
					2
					1

ภาคผนวก ง

ค่าอายุของอากาศ

1. ผังอาคารระบายอากาศสองทิศทาง

1.1 ค่าอายุของอากาศระบายอากาศธรรมชาติ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
12.15	18	26	42	2	152	130	188	160	69	42	2	84	128	175	177	143	151	2	40	22	17
11.15	50	11	26	7	200	145	217	139	38	18	7	49	128	205	204	193	193	8	25	10	46
10.15	58	14	21	15	212	171	165	145	31	21	11	40	124	207	159	210	202	17	21	14	55
9.15	166	20	25	24	210	136	140	168	67	30	16	45	182	178	166	161	196	25	25	20	166
8.15	195	36	29	32	182	112	177	160	125	37	21	57	198	156	157	134	150	32	29	35	191
7.15	193	110	33	39	122	112	145	139	163	45	26	74	176	141	132	122	121	39	33	114	190
6.15	188	188	36	48	123	119	127	124	158	54	30	111	155	122	109	107	104	47	36	185	185
5.15	180	191	37	63	99	108	112	120	154	59	35	145	139	164	113	96	97	61	38	189	178
4.15	169	167	39	93	95	97	121	134	168	61	40	119	145	218	181	103	99	86	39	171	167
3.15	166	76	50	125	90	98	165	162	140	65	44	107	167	223	163	107	101	129	49	80	165
2.15	98	65	167	93	95	97	121	134	168	61	40	119	145	218	181	104	99	86	39	60	97
1.15	81	90	112	124	134	141	130	113	89	64	51	75	96	111	122	132	136	132	128	103	87

1.2 ค่าอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลม

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
12.2	22	90	100	3	14	15	6	8	8	44	2	66	131	109	40	6	11	2	8	33	100
11.2	103	131	130	62	35	65	19	46	38	68	9	133	131	125	96	19	11	5	34	96	139
10.2	133	130	131	122	32	61	34	87	106	49	28	134	130	128	102	30	15	12	76	132	142
9.15	130	129	129	117	50	64	57	113	120	54	49	130	128	129	102	53	83	38	115	144	140
8.15	129	126	133	102	63	58	52	128	128	71	58	120	126	130	84	60	112	119	101	148	140
7.15	133	108	130	105	64	57	52	131	131	97	55	120	117	128	60	65	109	126	124	132	141
6.15	130	130	131	112	61	59	54	132	131	112	51	119	119	127	54	75	127	136	142	134	143
5.15	133	126	127	114	59	64	55	133	136	111	49	115	124	131	54	84	138	141	145	143	150
4.15	132	124	124	103	73	92	80	128	135	112	53	107	123	132	63	101	142	137	140	145	152
3.15	134	125	123	88	92	103	110	124	133	115	58	101	119	131	69	104	140	135	136	138	145
2.15	130	126	125	83	86	98	67	119	119	107	59	101	118	125	62	83	124	137	141	136	127
1.15	128	125	129	90	78	75	59	91	84	73	72	116	117	117	51	58	85	94	113	138	144

1.3 ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
12.2	5.70	1.40	1.25	41.80	8.96	8.36	20.90	15.68	15.68	2.85	78.38	1.90	0.96	1.15	3.14	20.90	11.40	78.38	15.68	3.80	1.25
11.2	1.22	0.96	0.96	2.02	3.58	1.93	6.60	2.73	3.30	1.84	13.93	0.94	0.96	1.00	1.31	6.60	11.40	25.08	3.69	1.31	0.90
10.2	0.94	0.96	0.96	1.03	3.92	2.06	3.69	1.44	1.18	2.56	4.48	0.94	0.96	0.98	1.23	4.18	8.36	10.45	1.65	0.95	0.88
9.15	0.96	0.97	0.97	1.07	2.51	1.96	2.20	1.11	1.05	2.32	2.56	0.96	0.98	0.97	1.23	2.37	1.51	3.30	1.09	0.87	0.90
8.15	0.97	1.00	0.94	1.23	1.99	2.16	2.41	0.98	0.98	1.77	2.16	1.05	1.00	0.96	1.49	2.09	1.12	1.05	1.24	0.85	0.90
7.15	0.94	1.16	0.96	1.19	1.96	2.20	2.41	0.96	0.96	1.29	2.28	1.05	1.07	0.98	2.09	1.93	1.15	1.00	1.01	0.95	0.89
6.15	0.96	0.96	0.96	1.12	2.06	2.13	2.32	0.95	0.96	1.12	2.46	1.05	1.05	0.99	2.32	1.67	0.99	0.92	0.88	0.94	0.88
5.15	0.94	1.00	0.99	1.10	2.13	1.96	2.28	0.94	0.92	1.13	2.56	1.09	1.01	0.96	2.32	1.49	0.91	0.89	0.86	0.88	0.84
4.15	0.95	1.01	1.01	1.22	1.72	1.36	1.57	0.98	0.93	1.12	2.37	1.17	1.02	0.95	1.99	1.24	0.88	0.92	0.90	0.86	0.83
3.15	0.94	1.00	1.02	1.43	1.36	1.22	1.14	1.01	0.94	1.09	2.16	1.24	1.05	0.96	1.82	1.21	0.90	0.93	0.92	0.91	0.86
2.15	0.96	1.00	1.00	1.51	1.46	1.28	1.87	1.05	1.05	1.17	2.13	1.24	1.06	1.00	2.02	1.51	1.01	0.92	0.89	0.92	0.99
1.15	0.98	1.00	0.97	1.39	1.61	1.67	2.13	1.38	1.49	1.72	1.74	1.08	1.07	1.07	2.46	2.16	1.48	1.33	1.11	0.91	0.87

2. ผังอาคารระบายอากาศแบบข้ามฟาก

2.1 ค่าอายุของอากาศระบายอากาศธรรมชาติ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
11.65	17	18	27	2	116	102	130	142	108	110	2	115	113	131	124	91	107	2	30	16	16
10.65	27	9	14	7	149	139	117	177	139	132	8	144	167	167	134	150	151	6	17	9	33
9.65	37	15	17	13	165	184	129	200	146	135	15	140	168	206	134	175	155	13	18	15	43
8.65	81	23	22	20	159	135	110	178	169	138	23	114	180	169	93	115	144	20	23	23	95
7.65	107	30	27	26	152	91	102	117	123	119	29	92	129	108	86	69	99	25	28	30	132
6.65	124	39	31	31	97	61	87	91	85	89	34	83	89	86	74	49	78	29	32	38	134
5.80	108	46	34	36	82	53	83	89	79	90	38	79	75	93	72	48	71	34	35	46	95
4.80	170	72	36	42	78	57	86	97	88	97	41	80	79	84	84	57	70	40	37	63	162
3.80	168	179	41	48	80	63	167	142	96	101	44	83	123	103	107	67	74	46	40	173	162
2.80	163	165	45	55	84	77	173	123	114	94	48	87	138	110	142	82	80	53	45	156	155
1.80	152	171	47	62	88	110	202	142	136	87	54	92	148	188	166	108	86	58	51	158	137
0.80	114	161	47	66	94	124	167	150	144	84	60	98	160	177	156	110	93	62	50	149	105

2.2 ค่าอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลม

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
11.7	25	6	7	3	28	9	50	36	105	64	4	22	93	59	20	51	93	17	5	30	80
10.7	68	19	15	18	61	21	102	79	100	108	30	26	82	85	48	53	86	77	14	42	80
9.65	80	38	34	50	75	33	116	104	82	127	68	20	78	87	44	37	82	93	27	44	78
8.65	86	47	54	61	62	43	123	124	88	124	95	24	63	90	53	45	73	87	41	38	77
7.65	68	90	51	35	42	49	95	109	82	117	91	28	56	91	54	52	71	82	43	48	85
6.65	119	139	170	72	29	44	78	81	82	120	75	30	48	71	68	83	77	45	33	79	104
5.80	167	177	166	110	54	154	163	132	74	112	60	41	101	69	78	78	57	42	87	118	134
4.80	178	161	167	163	161	161	181	152	120	107	54	62	99	146	80	63	62	114	139	154	151
3.80	170	151	160	166	153	152	179	146	127	104	110	124	150	148	152	138	142	140	142	149	146
2.80	181	162	139	148	142	149	174	142	132	104	106	116	148	137	160	137	125	130	138	147	146
1.80	179	170	156	134	145	157	147	139	136	125	136	152	141	131	133	124	125	141	146	138	143
0.80	177	170	149	132	158	151	146	132	132	124	162	159	142	130	128	130	139	141	143	146	135

2.3 ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอาศ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
11.7	2.83	11.78	10.10	23.56	2.52	7.85	1.41	1.96	0.67	1.10	17.67	3.21	0.76	1.20	3.53	1.39	0.76	4.16	14.13	2.36	0.88
10.7	1.04	3.72	4.71	3.93	1.16	3.37	0.69	0.89	0.71	0.65	2.36	2.72	0.86	0.83	1.47	1.33	0.82	0.92	5.05	1.68	0.88
9.65	0.88	1.86	2.08	1.41	0.94	2.14	0.61	0.68	0.86	0.56	1.04	3.53	0.91	0.81	1.61	1.91	0.86	0.76	2.62	1.61	0.91
8.65	0.82	1.50	1.31	1.16	1.14	1.64	0.57	0.57	0.80	0.57	0.74	2.94	1.12	0.79	1.33	1.57	0.97	0.81	1.72	1.86	0.92
7.65	1.04	0.79	1.39	2.02	1.68	1.44	0.74	0.65	0.86	0.60	0.78	2.52	1.26	0.78	1.31	1.36	1.00	0.86	1.64	1.47	0.83
6.65	0.59	0.51	0.42	0.98	2.44	1.61	0.91	0.87	0.86	0.59	0.94	2.36	1.47	1.00	1.04	0.85	0.92	1.57	2.14	0.89	0.68
5.80	0.42	0.40	0.43	0.64	1.31	0.46	0.43	0.54	0.95	0.63	1.18	1.72	0.70	1.02	0.91	0.91	1.24	1.68	0.81	0.60	0.53
4.80	0.40	0.44	0.42	0.43	0.44	0.44	0.39	0.46	0.59	0.66	1.31	1.14	0.71	0.48	0.88	1.12	1.14	0.62	0.51	0.46	0.47
3.80	0.42	0.47	0.44	0.43	0.46	0.46	0.39	0.48	0.56	0.68	0.64	0.57	0.47	0.48	0.46	0.51	0.50	0.50	0.50	0.47	0.48
2.80	0.39	0.44	0.51	0.48	0.50	0.47	0.41	0.50	0.54	0.68	0.67	0.61	0.48	0.52	0.44	0.52	0.57	0.54	0.51	0.48	0.48
1.80	0.39	0.42	0.45	0.53	0.49	0.45	0.48	0.51	0.52	0.57	0.52	0.46	0.50	0.54	0.53	0.57	0.57	0.50	0.48	0.51	0.49
0.80	0.40	0.42	0.47	0.54	0.45	0.47	0.48	0.54	0.54	0.57	0.44	0.44	0.50	0.54	0.55	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.52

3. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทใบพัด

3.1 ค่าอายุของอากาศระบายอากาศธรรมชาติ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	438	695	840	740	720	656	634	316	336	320	262	211	224	345	121	95	174	228	296	304	292
15.58	468	732	857	776	650	700	745	373	478	647	426	300	286	479	132	89	157	249	285	331	225
14.58	491	666	747	646	622	710	798	494	682	790	721	437	401	494	183	98	89	255	254	293	230
13.58	526	711	766	734	705	730	810	524	622	641	599	511	460	581	359	149	72	166	253	269	240
12.58	522	652	682	637	655	702	785	544	656	744	784	651	652	673	551	244	68	98	266	257	251
11.58	516	684	691	643	670	751	900	780	751	784	852	885	887	878	747	476	68	86	176	253	260
10.58	515	679	643	657	755	1084	1262	1073	990	1028	1025	991	938	889	753	505	70	78	113	191	257
9.58	681	695	645	754	1070	1026	1066	792	733	759	830	909	973	970	734	620	69	71	109	149	200
8.69	768	680	720	1072	979	954	907	911	934	954	979	1015	1072	1136	950	682	67	64	102	195	186
7.80	771	937	1239	1056	1025	1042	1021	997	981	992	1020	1126	1102	1170	1070	508	63	57	93	215	210
6.80															1069	228	58	51	90	122	251
5.80															792	94	53	45	98	65	160
4.80															620	53	47	40	124	79	122
3.80															390	34	41	33	184	103	95
2.80															130	33	36	21	196	168	154
1.80															123	45	50	9	193	174	190
0.80															210	131	92	2	157	155	188

3.2 ค่าอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทพัดลม

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	423	428	424	427	422	414	422	428	433	438	455	473	473	459	476	479	491	497	531	514	506
15.58	435	432	432	430	423	411	427	433	437	442	457	479	478	469	472	456	482	493	526	524	532
14.58	435	432	432	434	407	406	425	447	443	446	454	471	471	473	475	476	480	490	513	527	520
13.58	441	436	431	408	396	401	423	451	447	451	455	463	469	470	480	479	482	490	512	525	493
12.58	441	440	431	412	340	395	408	454	451	456	444	425	447	468	491	490	491	494	516	526	461
11.58	443	441	432	406	384	387	426	432	410	418	428	434	434	465	512	503	500	497	518	427	459
10.58	446	402	350	383	399	411	421	433	447	457	438	450	449	472	522	513	506	503	519	528	429
9.58	376	430	387	397	404	410	402	449	461	462	438	457	455	475	531	524	516	515	526	534	497
8.69	381	381	393	392	396	402	406	444	457	469	438	465	463	481	289	224	306	378	386	349	295
7.80	405	400	397	397	398	399	403	427	458	464	416	444	344	185	109	103	83	77	134	155	255
6.80															139	128	104	48	121	151	165
5.80															169	152	119	41	118	138	167
4.80															183	154	131	34	112	128	159
3.80															192	133	141	25	110	133	153
2.80															196	186	152	14	112	131	157
1.80															178	177	160	5	90	140	155
0.80															145	173	84	2	32	150	140

3.3 ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศเมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.27	0.28	0.29
15.58	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.35	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.30	0.29	0.27	0.28	0.27
14.58	0.33	0.33	0.33	0.33	0.35	0.36	0.34	0.32	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.28
13.58	0.33	0.33	0.34	0.35	0.36	0.36	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.29
12.58	0.33	0.33	0.34	0.35	0.42	0.37	0.35	0.32	0.32	0.32	0.33	0.34	0.32	0.31	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.31
11.58	0.33	0.33	0.33	0.36	0.38	0.37	0.34	0.33	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	0.31	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.34	0.31
10.58	0.32	0.36	0.41	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.33	0.32	0.32	0.31	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.27	0.34
9.58	0.38	0.34	0.37	0.36	0.36	0.35	0.36	0.32	0.31	0.31	0.33	0.32	0.32	0.30	0.27	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.29
8.69	0.38	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.33	0.32	0.31	0.33	0.31	0.31	0.30	0.50	0.64	0.47	0.38	0.37	0.41	0.49
7.80	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.34	0.32	0.31	0.35	0.33	0.42	0.78	1.33	1.40	1.74	1.88	1.08	0.93	0.57
6.80															1.04	1.13	1.39	3.01	1.19	0.96	0.88
5.80															0.85	0.95	1.21	3.52	1.22	1.05	0.87
4.80															0.79	0.94	1.10	4.25	1.29	1.13	0.91
3.80															0.75	1.09	1.02	5.78	1.31	1.09	0.94
2.80															0.74	0.78	0.95	10.32	1.29	1.10	0.92
1.80															0.81	0.82	0.90	28.89	1.61	1.03	0.93
0.80															1.00	0.84	1.72	72.23	4.51	0.96	1.03

4. ผังอาคารระบายอากาศแบบผสม เมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทระบบท่ออากาศ

4.1 ค่าอายุของอากาศระบายอากาศธรรมชาติ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	438	695	840	740	720	656	634	316	336	320	262	211	224	345	121	95	174	228	296	304	292
15.58	468	732	857	776	650	700	745	373	478	647	426	300	286	479	132	89	157	249	285	331	225
14.58	491	666	747	646	622	710	798	494	682	790	721	437	401	494	183	98	89	255	254	293	230
13.58	526	711	766	734	705	730	810	524	622	641	599	511	460	581	359	149	72	166	253	269	240
12.58	522	652	682	637	655	702	785	544	656	744	784	651	652	673	551	244	68	98	266	257	251
11.58	516	684	691	643	670	751	900	780	751	784	852	885	887	878	747	476	68	86	176	253	260
10.58	515	679	643	657	755	1084	1262	1073	990	1028	1025	991	938	889	753	505	70	78	113	191	257
9.58	681	695	645	754	1070	1026	1066	792	733	759	830	909	973	970	734	620	69	71	109	149	200
8.69	768	680	720	1072	979	954	907	911	934	954	979	1015	1072	1136	950	682	67	64	102	195	186
7.80	771	937	1239	1056	1025	1042	1021	997	981	992	1020	1126	1102	1170	1070	508	63	57	93	215	210
6.80															1069	228	58	51	90	122	251
5.80															792	94	53	45	98	65	160
4.80															620	53	47	40	124	79	122
3.80															390	34	41	33	184	103	95
2.80															130	33	36	21	196	168	154
1.80															123	45	50	9	193	174	190
0.80															210	131	92	2	157	155	188

4.2 ค่าอายุของอากาศเมื่อติดตั้งระบบกลระบายอากาศประเภทท่ออากาศ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	183	241	313	248	112	63	75	65	51	113	92	70	52	48	37	113	156	162	139	105	91
15.58	330	360	385	193	249	215	205	189	181	177	169	156	167	198	120	92	102	13	119	149	160
14.58	112	167	234	194	114	84	72	61	69	107	164	140	89	39	21	82	134	126	113	90	58
13.58	366	373	248	195	173	203	226	188	175	144	159	153	159	163	143	135	159	174	176	156	171
12.58	142	103	125	165	119	87	100	67	53	68	108	118	67	52	27	36	148	167	150	97	82
11.58	329	309	243	373	243	268	302	158	159	180	150	161	132	153	134	112	103	150	169	173	191
10.58	348	254	181	492	454	434	346	382	353	286	201	208	232	168	131	102	98	97	146	137	137
9.58	527	513	354	400	367	483	455	406	286	295	251	303	575	514	261	125	147	83	177	205	154
8.69	531	477	425	451	379	482	414	384	373	350	288	344	590	652	443	124	167	70	211	198	145
7.80	512	482	460	438	393	482	434	335	289	278	254	347	431	601	451	124	157	57	216	160	175
6.80															122	89	113	49	165	95	87
5.80															85	100	105	34	117	123	109
4.80															34	64	90	25	141	80	40
3.80															133	84	66	18	77	107	153
2.80															26	37	54	11	62	44	28
1.80															153	50	61	6	79	72	158
0.80															19	41	71	2	84	44	19

4.3 ประสิทธิภาพการระบายอากาศเมื่อติดตั้งท่อระบายอากาศ

	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
16.58	0.79	0.60	0.46	0.58	1.29	2.29	1.93	2.22	2.83	1.28	1.57	2.06	2.78	3.01	3.90	1.28	0.93	0.89	1.04	1.38	1.59
15.58	0.44	0.40	0.38	0.75	0.58	0.67	0.70	0.76	0.80	0.82	0.85	0.93	0.87	0.73	1.20	1.57	1.42	11.11	1.21	0.97	0.90
14.58	1.29	0.87	0.62	0.74	1.27	1.72	2.01	2.37	2.09	1.35	0.88	1.03	1.62	3.70	6.88	1.76	1.08	1.15	1.28	1.61	2.49
13.58	0.39	0.39	0.58	0.74	0.84	0.71	0.64	0.77	0.83	1.00	0.91	0.94	0.91	0.89	1.01	1.07	0.91	0.83	0.82	0.93	0.84
12.58	1.02	1.40	1.16	0.88	1.21	1.66	1.44	2.16	2.73	2.12	1.34	1.22	2.16	2.78	5.35	4.01	0.98	0.87	0.96	1.49	1.76
11.58	0.44	0.47	0.59	0.39	0.59	0.54	0.48	0.91	0.91	0.80	0.97	0.90	1.09	0.94	1.08	1.29	1.40	0.96	0.85	0.84	0.76
10.58	0.42	0.57	0.80	0.29	0.32	0.33	0.42	0.38	0.41	0.51	0.72	0.69	0.62	0.86	1.10	1.42	1.47	1.49	0.99	1.05	1.05
9.58	0.27	0.28	0.41	0.36	0.39	0.30	0.32	0.36	0.51	0.49	0.58	0.48	0.25	0.28	0.55	1.16	0.98	1.74	0.82	0.70	0.94
8.69	0.27	0.30	0.34	0.32	0.38	0.30	0.35	0.38	0.39	0.41	0.50	0.42	0.24	0.22	0.33	1.17	0.87	2.06	0.68	0.73	1.00
7.80	0.28	0.30	0.31	0.33	0.37	0.30	0.33	0.43	0.50	0.52	0.57	0.42	0.34	0.24	0.32	1.17	0.92	2.53	0.67	0.90	0.83
6.80															1.18	1.62	1.28	2.95	0.88	1.52	1.66
5.80															1.70	1.44	1.38	4.25	1.23	1.17	1.33
4.80															4.25	2.26	1.61	5.78	1.02	1.81	3.61
3.80															1.09	1.72	2.19	8.03	1.88	1.35	0.94
2.80															5.67	3.90	2.68	13.13	2.33	3.28	5.16
1.80															0.95	2.89	2.37	24.08	1.83	2.01	0.91
0.80															7.81	3.52	2.03	72.23	1.72	3.28	7.60

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายกิตติคุณ ยกทรัพย์
วันเดือนปีเกิด	31 พฤษภาคม 2534
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	การระบายอากาศธรรมชาติในหอผู้ป่วยรวมโรงพยาบาล งานประชุมวิชาการประจำปี 2559 BERAC 7