ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค กรณีศึกษาศูนย์บริการสาธารณสุขใน
กรุงเทพมหานคร

นางสาวณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VENTILATION EFFICIENCY IN TUBERCULOSIS CLINIC : A CASE STUDY OF PUBLIC HEALTH CENTERS IN BANGKOK

Miss Nichaphat Direkwattanachai

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค กรณีศึกษาศูนย์บริการสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรนันท์ ทักขนนท์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย : ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค กรณีศึกษาศูนย์บริการสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร (VENTILATION EFFICIENCY IN TUBERCULOSIS CLINIC : A CASE STUDY OF PUBLIC HEALTH CENTERS IN BANGKOK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 173 หน้า.

คลินิกวัณโรคเป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ จากการสำรวจพบว่าส่วนใหญ่ยังมีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่ไม่เหมาะสม งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติในคลินิกวัณโรค โดยการจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล เพื่อศึกษารูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคาร และเมื่อมีอาคารข้างเคียงต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคแบบทางเดินร่วม แบบทางเดินผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และแบบทางเดินเดี่ยว ในความเร็วลมภายนอก 3 ระดับที่ 0.25, 1.00, 1.75 m/s ผลการวิจัยพบว่า ส่วนใหญ่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่ผ่านมาตรฐานได้เมื่อมีความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป โดยสามารถพบปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ในทุกกรณี ซึ่งผังแบบทางเดินร่วมจะมีความเสี่ยงในการติดเชื้อมากกว่าผังรูปแบบอื่น จากการทดลองปรับปรุงด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอย พบว่าช่วยลดจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านพื้นที่ใช้สอยของเจ้าหน้าที่ได้และจะช่วยลดได้มากขึ้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด ซึ่งเป็นการลดอายุอากาศในผังแบบทางเดินร่วมและผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวได้ด้วย จากการทดลองปรับเปลี่ยนผังอาคาร พบว่าเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้ดีที่สุด สามารถช่วยลดตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ ลดอายุอากาศ และเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกกรณีเมื่อมีความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที แต่ในกรณีที่ความเร็วลมภายนอกมีระดับต่ำ จำเป็นต้องมีการเสริมการระบายอากาศด้วยวิธีกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีอาคารข้างเคียงที่ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลดลง และอายุอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้น ในการออกแบบคลินิกวัณโรค นอกจากจะคำนึงถึงการออกแบบในระดับตัวอาคารแล้ว ยังควรคำนึงถึงระดับการวางผังให้สอดคล้องกับพื้นที่โดยรอบ โดยหันอาคารด้านที่มีจำนวนช่องเปิดมากออกจากด้านที่มีอาคารข้างเคียง หรือหากอาคารข้างเคียงสร้างขึ้นมาภายหลังให้ย้ายคลินิกวัณโรคไปยังด้านที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งเพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคต่อไป

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5873567725 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: NATURAL VENTILATION / TUBERCULOSIS CLINIC / INFECTION CONTROL / CFD / AGE OF AIR

NICHAPHAT DIREKWATTANACHAI: VENTILATION EFFICIENCY IN TUBERCULOSIS CLINIC : A CASE STUDY OF PUBLIC HEALTH CENTERS IN BANGKOK. ADVISOR: ASST. PROF. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D., 173 pp.

Tuberculosis (TB) clinics are places at risk for the spread of airborne pathogens. According from initial survey, it was found that most naturally ventilated TB clinics were not properly ventilated. Therefore, this research aims to enhance the efficiency of natural ventilation in TB clinics by simulating airflow using Computational Fluid Dynamics (CFD) program for study factors; the function arrangement, the position of openings, the building layout and the effect of surrounding buildings on ventilation efficiency in the standard TB clinics plan; double-loaded corridor plan, combined double- and single- loaded corridor plan and single-loaded corridor plan with 3 levels of wind speed; 0.25, 1.00, 1.75 m/s. The results showed, when wind speed is at 1 m/s, room air change rate per hour (ACH) and age of air exceed the standard. The problem of pathogens flowing through healthcare workers (HCWs) can be found in all cases, especially in combined double- and single- loaded corridor plan. After the function arrangement improvement, it was found that the number of positions that pathogens flowing through HCWs can be reduced and more after the position of openings improvement which can also be reduced age of air of double-loaded corridor plan and combined double- and single- loaded corridor plan. The results suggested that the building layout improvement is the best way to maximize the ventilation efficiency. It can reduce the number of positions that pathogens flowing through HCWs, reduce age of air and increase air change rate per hour (ACH) to meet the standard in the cases that wind speed is at 1 m/s. However, if wind speed is low, mechanical ventilation should be added, especially in the case of having surrounding buildings which cause air change rate per hour (ACH) to decline and age of air to increase dramatically. Therefore, before designing a TB clinic. In addition to considering the building configurations, also considering the building layout that corresponds to surrounding buildings by turning the opening side of the TB clinic building out of surrounding buildings. If surrounding buildings are built later, move the TB clinic to the opening side instead to reduce the risk of airborne infections.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Architecture	Student's Signature	.....
Field of Study:	Architecture	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่งของ ผศ. ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้สั่งสอนให้วิชาความรู้ตั้งแต่เริ่มต้นเข้าศึกษา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา และขอขอบพระคุณ รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน และ รศ. ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบจากภายนอก ผศ. ดร. ภัทรนันท์ ทักขนนท์ ที่ได้สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร กองควบคุมโรค สำนักอนามัย ที่อนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งให้ความรักและกำลังใจในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัยด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ 1

สารบัญตาราง 1

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 3

1.4.1 การทบทวนวรรณกรรมและเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง 3

1.4.2 การสำรวจเบื้องต้น 3

1.4.2.1 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบอาคาร และอาคารข้างเคียง 4

1.4.2.2 การเก็บข้อมูลลมโดยการสำรวจและวัดค่าในสถานที่จริง 4

1.4.3 การออกแบบการวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล 4

1.4.3.1 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย 4

1.4.3.2 การเลือกเครื่องมือและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ 4

1.4.3.3 จำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล 4

1.4.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 5

1.4.4 สรุปผลการวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 2 7
2.1 เชื้อวัณโรคกับมาตรฐานการระบายอากาศและควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล 7
2.1.1 โรควัณโรคและสถานการณ์ในปัจจุบัน 7
2.1.2 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล 8
2.1.3 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ 10
2.1.4 เกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาล 12
2.1.5 การควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศในสถานพยาบาล 15
2.2 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาล 20
2.2.1 ความเร็วลม 20
2.2.1.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และอายุอากาศ 20
2.2.1.2 ความแปรปรวนของอากาศ (turbulent) 21
2.2.2 ช่องเปิด 21
2.2.2.1 การเปิด-ปิดช่องเปิด 21
2.2.2.2 ตำแหน่งช่องเปิด 23
2.2.2.3 ระดับความสูงของช่องเปิด 26
2.2.2.4 สิ่งกีดขวางช่องเปิด (มุ้งลวด) 27
2.2.3 รูปแบบผังอาคารและการกั้นห้อง 28
2.2.4 การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ 31
2.2.5 การเสริมระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล 31
2.2.6 อื่นๆ 33
2.3 ผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ 36
2.3.1 การมีและไม่มีอาคารข้างเคียง 36
2.3.2 ลักษณะของสภาพแวดล้อม 38

หน้า

2.3.2.1 ทิศทางลมภายนอก 38
2.3.2.2 ขนาดช่องว่างระหว่างอาคาร 39
2.3.2.3 รูปทรงและความหนาแน่นของอาคารแวดล้อม 39
2.3.3 ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษา 42
2.3.3.1 ตำแหน่งช่องเปิดของอาคารที่ทำการศึกษา 42
2.3.3.2 ความสูงของอาคารที่ทำการศึกษา 44
2.3.3.3 ผนังดักลม (wing wall) 44
2.4 สรุปการทบทวนวรรณกรรม 47
2.4.1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ 47
2.4.2 วิธีการและเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย 48
2.4.3 ปัจจัยที่ทำการวิจัย 48
2.4.4 ช่องว่างที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม 50
บทที่ 3 51
3.1 การสำรวจคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา 52
3.1.1 การคัดเลือกกรณีศึกษา 52
3.1.2 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบอาคารคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา 52
3.1.3 การเก็บข้อมูลอาคารข้างเคียงของคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา 56
3.2 การกำหนดตัวแปรในการวิจัย 56
3.2.1 ตัวแปรต้น 56
3.2.2 ตัวแปรตาม 66
3.2.3 ตัวแปรควบคุม 66
3.3 การเลือกเครื่องมือและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ 69
3.3.1 การเลือกวิธีการและเครื่องมือในการทดลอง 69

หน้า

3.3.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ 70
3.3.2.1 การเก็บข้อมูลลมจากคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา 70
3.3.2.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในคลินิกวัณโรค กรณีศึกษา 72
3.3.2.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับกรณีศึกษาจริง 72
3.4 การออกแบบการทดลอง 74
3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 74
3.4.2 การทดลองส่วนที่ 2 74
3.4.3 การทดลองส่วนที่ 3 74
3.4.4 การทดลองส่วนที่ 4 75
3.4.5 การทดลองส่วนที่ 5 75
3.5 การจำลองสถานการณ์การระบายอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ 77
3.6 การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์การระบายอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ 80
3.6.1 ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 81
3.6.2 ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค 81
3.6.3 ข้อมูลอายุอากาศ 81
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 82
3.7.1 ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 82
3.7.2 ข้อมูลอายุอากาศ 82
3.7.3 ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค 82
3.8 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ 84
บทที่ 4 85
4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (การทดลองส่วนที่ 1) 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

4.1.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) 86
4.1.2 อายุอากาศ 87
4.1.3 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค 87
4.2 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงด้วยการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 2-4) 93
4.2.1 การปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอย (การทดลองส่วนที่ 2) 93
4.2.2 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด (การทดลองส่วนที่ 3) 101
4.2.3 การปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 4) 107
4.3 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุง เมื่อมีการคำนึงถึงปัจจัยด้านอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 5) 116
4.3.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) 117
4.3.2 อายุอากาศ 118
4.3.3 ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค 119
บทที่ 5 125
5.1 สรุปผลการวิจัย 125
5.1.1 การศึกษาการระบายอากาศของคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุงและการปรับปรุง 125
5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค 126
5.1.2.1 ตัวแปรการจัดพื้นที่ใช้สอย 126
5.1.2.2 ตัวแปรตำแหน่งช่องเปิด 126
5.1.2.3 ตัวแปรการวางผังอาคาร 127
5.1.2.4 ตัวแปรอาคารข้างเคียง 127
5.1.3 การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรค 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1.3.1 การจัดพื้นที่ใช้สอย 128
5.1.3.2 ตัวแปรตำแหน่งช่องเปิด 129
5.1.3.3 ตัวแปรการวางผังอาคาร 129
5.1.3.4 ตัวแปรอาคารข้างเคียง 130
5.1.4 การขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของคลินิกวัณโรค 132
5.1.4.1 การศึกษาปัจจัยอาคารข้างเคียง 132
5.1.4.2 ตำแหน่งช่องเปิด 134
5.1.4.3 อายุอากาศ 135
5.1.4.4 ระดับความเร็วลม 136
5.1.4.5 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค 136
5.2 ข้อเสนอแนะ 136
รายการอ้างอิง 138
ภาคผนวก 143
ภาคผนวก ก 144
ภาคผนวก ข 146
ภาคผนวก ค 155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 173

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงระเบียบวิธีการศึกษา 6

ภาพที่ 2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลของอากาศ 10

ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศจากความแตกต่างของความดันอากาศ (ซ้าย) และอุณหภูมิ (ขวา) 11

ภาพที่ 2.3 รูปแบบการไหลของอากาศ 4 รูปแบบ 11

ภาพที่ 2.4 การระบายอากาศที่คลินิกวัณโรคในส่วนพื้นที่นั่งคอยที่ยังไม่เหมาะสม (บน) และแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (ล่าง) . 16

ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมภายในห้องตรวจ 17

ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน 17

ภาพที่ 2.7 การเปรียบเทียบตัวอย่างอายุอากาศของผังหอผู้ป่วยแบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสองทิศทางในช่วงเวลากลางวัน (ซ้าย) และกลางคืน (ขวา) 20

ภาพที่ 2.8 การเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีศึกษาสถานพยาบาล 2 แห่ง เมื่อมีการเปิด เปิดบางส่วน และปิดประตู-หน้าต่าง 22

ภาพที่ 2.9 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยของผังแบบช่องเปิดรูปแบบเดิม ผังแบบช่องเปิดเว้นต่อเนื่อง ผังแบบช่องเปิดเว้นเป็นช่วง 24

ภาพที่ 2.10 การเปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงหอผู้ป่วยวัณโรค (Basecase) มี ACH ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (A) มี ACH ที่สูงบริเวณเตียงผู้ป่วย (B) มีการควบคุมการระบายอากาศที่ดี (C) มี ACH บริเวณเตียงผู้ป่วยที่ดี มีความดันเหมาะสม 25

ภาพที่ 2.11 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยของตำแหน่งช่องเปิดในระดับความสูง 0.00 0.40 0.80 และ 1.20 เมตร 26

ภาพที่ 2.12 การเปรียบเทียบความเร็วลมและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีการติดมุ้งลวด (ซ้าย) และไม่มีการติดมุ้งลวด (ขวา) 27

ภาพที่ 2.13 การเปรียบเทียบความเร็วลมและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่ช่องเปิด 3 ระดับ เมื่อมีการติดมุ้งลวด 28

ภาพที่ 2.14 ภาพจำลองการไหลของอากาศในผังระบายอากาศแบบสองทิศทาง (ซ้ายบน) ผังระบายอากาศแบบข้ามฟาก (กลางบน) และผังระบายอากาศแบบผสม (ขวาบน) และแผนภูมิค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยของผังรูปแบบต่างๆ (ล่าง) 30

ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายในและภายนอกในกรณีต่างๆ 31

ภาพที่ 2.16 พัดลมระบายอากาศชนิดติดผนัง (ซ้าย) และพัดลมระบายอากาศชนิดติดกระจก (ขวา) 32

ภาพที่ 2.17 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุอากาศของผังระบายอากาศแบบสองทิศทางและแบบข้ามฟาก เมื่อมีการติดตั้งระบบกลระบายอากาศ 33

ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศของหอผู้ป่วย ประเทศแอฟริกาใต้ 34

ภาพที่ 2.19 ผลการจำลองการไหลของอากาศในผังคลินิกวัณโรค 3 แห่ง 35

ภาพที่ 2.20 การจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในทิศทางต่างๆ (บน) และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีและไม่มีอาคารข้างเคียงใน 8 ทิศทางลม (ล่าง) 37

ภาพที่ 2.21 ความเร็วลมใน ทิศทางลมแนวตรง (a) และ ทิศทางลมแนวเฉียง (b) 38

ภาพที่ 2 22 ขนาดช่องว่างระหว่างอาคารที่ทำการศึกษา (ซ้าย) และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในทิศทางลมและขนาดช่องว่างของกรณีต่างๆ (ขวา) 39

ภาพที่ 2.23 การเปรียบเทียบความเร็วลมก่อนและหลังการปรับปรุงรูปทรงการวางอาคาร 40

ภาพที่ 2.24 การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่เงาลมตามทฤษฎี (บน) และระยะห่างระหว่างอาคารที่เกิดตามกฎหมายซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่อาคารและพื้นที่ว่างไม่สัมพันธ์ตามทฤษฎี (ล่าง) 41

ภาพที่ 2.25 ความเร็วลมที่เข้าปะทะกลุ่มอาคารในระดับความสูง 2 เมตร จากระดับพื้นดิน 42

ภาพที่ 2.26 ตำแหน่งช่องเปิดใน 9 กรณีศึกษา (ซ้าย) และผลการระบายอากาศ (ขวา) 42

ภาพที่ 2.27 ความเร็วลมในตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ในความสูงระดับสูงสุด (a) ความสูงในระดับปานกลาง (b) และความสูงในระดับล่างสุด (c) 43

ภาพที่ 2.28 การเปรียบเทียบรูปแบบของที่ตั้งอาคารและช่องเปิดที่แนะนำ 43

ภาพที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของค่า ACH ที่มีต่อการเพิ่มจำนวนชั้นแถวในความสูง 1-3 ชั้น ในกรณี (a) เมื่อมีทิศทางลมแนวตรง และ (b) เมื่อมีทิศทางลมเฉียง 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.30 ทิศทางการไหลของอากาศในผังดักลมกรณีต่างๆ 45
ภาพที่ 2.31 การเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทั้ง 18 กรณี 46
ภาพที่ 2.32 รูปแบบผังระบายอากาศแบบข้ามฟาก (บนซ้าย) ผังระบายอากาศแบบสองทิศ (บนขวา) และผังระบายอากาศแบบผสม (ล่าง) 49
ภาพที่ 3.1 ผังคลินิกวัณโรค ก. 53
ภาพที่ 3.2 ผังคลินิกวัณโรค ข. 54
ภาพที่ 3.3 ผังคลินิกวัณโรค ค. 54
ภาพที่ 3.4 ผังคลินิกวัณโรค ง 55
ภาพที่ 3.5 ผังคลินิกวัณโรค จ. 55
ภาพที่ 3.6 ผังคลินิกวัณโรค ฉ. 56
ภาพที่ 3.7 ขนาดช่องเปิดและความสูงอาคารมาตรฐาน 57
ภาพที่ 3.8 รูปแบบพื้นที่ใช้สอยมาตรฐานของคลินิกวัณโรค 58
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการสรุปรูปแบบผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน 60
ภาพที่ 3.10 ขนาดและระยะของคลินิกวัณโรค 61
ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการสรุปรูปแบบผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน 63
ภาพที่ 3.12 ขนาดและระยะของอาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว (บน) อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านหัวมุม (กลาง) อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านตรงข้าม (ล่าง) 64
ภาพที่ 3.13 ทิศทางกระแสลมทั้ง 6 ทิศทาง 65
ภาพที่ 3.14 การเก็บข้อมูลทิศทางลมด้วยกระดาษทิชชู่ 71
ภาพที่ 3.15 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายในคลินิกวัณโรคแห่งหนึ่ง 71
ภาพที่ 3.16 การจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรม 72
ภาพที่ 3.17 ทิศทางลมของการทดลองที่ 1-5 77
ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างการตั้งค่าจุดกำเนิดเชื้อโรค 78

ภาพที่ 3.19 เส้นขอบเขตการคำนวณ ในกรณีไม่มีอาคารข้างเคียง (บน) และมีอาคารข้างเคียง (ล่าง)..... 80

ภาพที่ 3.20 วิธีการนับจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านหรือเข้าใกล้เจ้าหน้าที่ และตำแหน่งเจ้าหน้าที่ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ..... 81

ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างของภาพการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของคลินิกวัณโรคในกรณีที่ไม่มีปัจจัยอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และมีปัจจัยอาคารข้างเคียง (ขวา) โดยผู้วิจัย, 2560..... 84

ภาพที่ 4.1 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 1..... 86

ภาพที่ 4.2 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 2..... 93

ภาพที่ 4.3 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 3..... 101

ภาพที่ 4.4 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 4..... 107

ภาพที่ 4.5 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 5..... 116

ภาพที่ 4.6 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที..117

ภาพที่ 4.7 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที..118

ภาพที่ 4.8 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 360 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที..119

ภาพที่ 4.9 ทิศทางลมที่เข้าสู่ผังแบบทางเดินร่วม กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 ทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ขวา)..... 119

ภาพที่ 4.10 ทิศทางลมและเชื้อโรคของผังแบบทางเดินเดี่ยว กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (บน) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ล่าง)..... 121

ภาพที่ 4.11 ทิศทางลมและเชื้อโรคของผังแบบทางเดินร่วม กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ขวา)..... 121

ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างการจัดพื้นที่ใช้สอยส่วนเจ้าหน้าที่และผู้ป่วย..... 129

ภาพที่ 5.2 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด..... 129

ภาพที่ 5.3 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร..... 130

ภาพที่ 5.4 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนคลินิกวัณโรคเมื่อมีอาคารข้างเคียง 131

ภาพที่ 5.5 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ในทิศทางลมที่ 180 (ซ้าย), 225 (กลาง), 270 (ขวา) องศา 132

ภาพที่ 5.6 ผังแบบทางเดินร่วมเมื่อมีความเร็วลมภายนอกที่ 1.00 เมตรต่อวินาที ในทิศทางลมที่ 180 องศา (ซ้าย) และ 225 องศา (ขวา) 133

ภาพที่ 5.7 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 360 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที. 133

ภาพที่ 5.8 ผังแบบทางเดินร่วมภายหลังการปรับปรุง ทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาทีซึ่งอากาศที่เข้ามาภายในห้องตรวจไหลออกไปภายนอกอาคารโดยที่ไม่ได้เข้ามาระบายอากาศในส่วนอื่น 134

ภาพที่ 5.9 ผังแบบทางเดินร่วมภายหลังการปรับปรุง ทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาทีซึ่งอากาศที่เข้ามาภายในคลินิกไหลออกไปยังช่องเปิดฝั่งตรงข้ามโดยที่ไม่ไประบายอากาศบริเวณทางเดินด้านขวา 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปการเปรียบเทียบอัตราการนำอากาศจากภายนอกเข้าขั้นต่ำ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำ ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียงระหว่างเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ 13

ตารางที่ 2.2 สรุปอัตราการนำอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียงของพื้นที่ใช้สอยในคลินิกวัณโรค 14

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบที่ทำการทำลองใน 18 กรณี 46

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวแปรในงานวิจัย 67

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการทดลองการไหล 69

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมภายในจากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 73

ตารางที่ 3.4 แบบจำลองและจำนวนที่ใช้ในการทดลองแต่ละส่วน 76

ตารางที่ 3.5 การตั้งค่าการคำนวณการไหลของอากาศด้วยโปรแกรม 78

ตารางที่ 4.1 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง 89

ตารางที่ 4.2 ปัญหาทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานผังที่พบ 90

ตารางที่ 4.3 ประเด็นปัญหาที่พบจากผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง 92

ตารางที่ 4.4 วิธีการแก้ไขปัญหาที่พบจากผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน 92

ตารางที่ 4.5 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1แ ละ 2 95

ตารางที่ 4.6 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1 96

ตารางที่ 4.7 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2 99

ตารางที่ 4.8 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด 102

ตารางที่ 4.9 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด 106

ตารางที่ 4.10 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1 และ 2 110

ตารางที่ 4.11 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1 และ 2 111

ตารางที่ 4.12 ทิศทางลมภายนอกต่ออาคารข้างเคียงรูปแบบต่างๆ และผังคลินิกวัณโรค 120

ตารางที่ 4.13 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียง รูปแบบที่ 1 122

ตารางที่ 4.14 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียง รูปแบบที่ 2 123

ตารางที่ 4.15 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียง รูปแบบที่ 3 124

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานพยาบาล เป็นศูนย์กลางของการดูแลและรักษาผู้ป่วย การรักษาความปลอดภัยและป้องกันอันตรายต่อสุขภาพของทั้งผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย และเจ้าหน้าที่ ซึ่งต้องใช้งานอยู่ภายในสถานพยาบาลเป็นประจำจึงมีความสำคัญ แต่ด้วยในสถานพยาบาลนั้นมีผู้ป่วยเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคอยู่ภายในอาคาร ทำให้อากาศภายในอาคารสถานพยาบาลมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อโรคสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อสถานพยาบาลหลายแห่งไม่มีการออกแบบที่เหมาะสม ทั้งจากการต่อเติมอาคาร หรือการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split - type air conditioning system) อันเป็นผลให้ไม่มีการเติมอากาศจากภายนอกเพื่อเข้ามาเจือจางอากาศที่ปนเปื้อนภายในได้เพียงพอ (จริยา แสงสัจจา และทรงยศ ภารดี, 2550) หรือจากการออกแบบอาคารของสถานพยาบาลที่ไม่สัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพและภูมิอากาศของที่ตั้ง ซึ่งส่งผลต่อการสะสมเชื้อโรคในอาคารที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาลหลายแห่งด้อยลง และยังเพิ่มอัตราการติดเชื้อในสถานพยาบาล (nosocomial Infection) ที่ส่งผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้ใช้งานอาคารสถานพยาบาลโดยตรงด้วย จากการสำรวจของกรมควบคุมโรคในปี 2557 (กรมควบคุมโรค, 2559) พบว่า มีผู้ติดเชื้อในสถานพยาบาลทั่วประเทศถึงร้อยละ 5.11 หรือจากผู้ป่วยปีละประมาณ 4 ล้านคน จะมีผู้ป่วยโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลอย่างน้อย 300,000 คน โดยเป็นการติดเชื้อดื้อยาปีละประมาณ 87,751 ราย ซึ่งการติดเชื้อดื้อยาจะเป็นการส่งเสริมให้มีอัตราการเสียชีวิตที่สูงขึ้นถึงร้อยละ 40 (ภาณุมาศ ภูมาศ และคณะ, 2555) อีกทั้งยังเป็นการเสียค่าใช้จ่ายจากระยะเวลาที่ใช้ในการรักษาตัว ยาปฏิชีวนะ เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และบุคลากรทางการแพทย์ที่มากขึ้นด้วย โดยการติดเชื้อในโรงพยาบาลส่วนใหญ่เป็นไปในรูปแบบของการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจส่วนล่างถึงร้อยละ 49.8 (สำนักวัณโรค, 2556)

ปัญหาการติดเชื้อในสถานพยาบาลเป็นปัญหาสำคัญอย่างยิ่งในส่วนงานคลินิกวัณโรค ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่สูง เนื่องจากเชื้อวัณโรคเป็นเชื้อที่มีการแพร่กระจายทางอากาศ ด้วยขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมโครเมตร ทำให้สามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้นานและเข้าถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ โดยการติดเชื้อดังกล่าวจะสามารถติดได้ง่ายขึ้นหากอยู่ในสภาวะที่มีจำนวนเชื้อในอากาศมาก ความเข้มข้นของเชื้อโรคในอากาศมีสูง อันเป็นผลจากการระบายอากาศที่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติยังคงเป็นวิธีหลักที่ใช้ในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศที่เหมาะสมกับสถานพยาบาลในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นที่มีทรัพยากรจำกัด เนื่องจากเป็นวิธีที่

ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษา (Inkarojrit, 2010; สำนักวัณโรค, 2552) เมื่อเทียบกับการระบายอากาศด้วยวิธีกล จากการสำรวจคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานครเบื้องต้น พบว่า ส่วนใหญ่ยังมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เอื้อให้เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติที่เหมาะสม เนื่องจากการจัดพื้นที่ใช้สอยไม่สอดคล้องกับทิศทางการไหลของอากาศ ตำแหน่งช่องเปิดไม่สอดคล้องกับการวางผังอาคาร และเกิดจุดอับลมในบริเวณที่มีการแพร่กระจายเชื้อโรค รวมถึงการมีอาคารข้างเคียงบดบังลมภายนอก ทำให้ทิศทางลมที่เข้ามาภายในคลินิกวัณโรคเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงยังทำให้มีปริมาณอากาศเข้าน้อยลง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ลดลง

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมักจะเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหอพักผู้ป่วยรวมหรือห้องพักแยกผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศเป็นหลัก โดยยังมีงานวิจัยที่ศึกษาหรือพัฒนาแนวทางการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของทั้งคลินิกวัณโรคในจำนวนน้อย รวมถึงยังไม่พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียงที่มีต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของคลินิกวัณโรค ทั้งที่คลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมืองที่มีอาคารขึ้นหนาแน่น ซึ่งอาคารข้างเคียงดังกล่าวสามารถส่งผลต่อปริมาณอากาศเข้าและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของคลินิกวัณโรคได้

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลกระทบจากอาคารข้างเคียงที่มีต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และวิธีการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของคลินิกวัณโรค ศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อทางอากาศที่เพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของการจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด และการวางผังอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในอากาศ

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของรูปร่างและทิศทางของอาคารข้างเคียงที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร

1.2.3 เสนอแนะแนวทางการออกแบบปรับปรุงคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการวางผังอาคารที่สอดคล้องกับอาคารข้างเคียง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะกรณีศึกษาคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร จำนวน 6 แห่ง ซึ่งเป็นคลินิกวัณโรคแม่ข่ายที่ตั้งอยู่ภายในกรุงเทพมหานคร

1.3.2 ศึกษาเฉพาะการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีกล

1.3.3 รูปแบบและขนาดช่องเปิดที่ทำการศึกษา จะใช้รูปแบบและขนาดช่องเปิดมาตรฐานเดิมของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร โดยไม่ได้ศึกษาการปรับเปลี่ยนรูปแบบและขนาดช่องเปิด

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ (ภาพที่ 1.1)

1.4.1 การทบทวนวรรณกรรมและเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเรื่องผลกระทบของอาคารข้างเคียงที่มีต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร ดังนี้

1.4.1.1 เชื้อวัณโรคกับเกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศและการควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับโรควัณโรคและสถานการณ์ในปัจจุบัน การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มาตรฐานด้านอายุอากาศ และการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศในสถานพยาบาล

1.4.1.2 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาล ประกอบด้วย การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติของสถานพยาบาลในปัจจัยด้านต่างๆ เช่น ปัจจัยด้านขนาดช่องเปิด ตำแหน่งช่องเปิด ความเร็วลม รูปแบบผังอาคาร การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ เพื่อศึกษาช่องว่างของงานวิจัย และการกำหนดกลุ่มตัวแปรต้นและวิธีการวิจัย

1.4.1.3 ผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อกระแสลมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ประกอบด้วย การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อกระแสลมในปัจจัยด้านต่างๆ เช่น ปัจจัยด้านทิศทางลม ขนาดช่องว่างระหว่างอาคาร รูปทรงการวางอาคาร ตำแหน่งช่องเปิด ผนังดักลม เพื่อใช้ในการกำหนดกลุ่มตัวแปรต้นของงานวิจัย

1.4.2 การสำรวจเบื้องต้น

ทำการสำรวจคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร ที่เป็นแม่ข่ายวัณโรค จำนวน 6 แห่ง ในวันเวลาราชการ ระหว่างวันที่ 23-25 มกราคม 2560 โดยทำการเก็บข้อมูล

เพื่อศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร และปัญหาที่พบ ดังนี้

1.4.2.1 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบอาคาร และอาคารข้างเคียง

ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลรูปแบบผังอาคาร ตำแหน่ง และขนาดของประตู-หน้าต่าง จากการลงสำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่จริงของกรณีศึกษา เพื่อนำมาจัดทำผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานสำหรับประกอบการทดลองจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ และผลกระทบของขนาด รูปร่าง และทิศทางของอาคารข้างเคียง และเก็บข้อมูลในเรื่องของรูปแบบ ขนาด รูปร่างของอาคารข้างเคียง เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

1.4.2.2 การเก็บข้อมูลลมโดยการสำรวจและวัดค่าในสถานที่จริง

โดยการเก็บข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศ และความเร็วลมทั้งภายนอกอาคาร ความเร็วลมบริเวณช่องลมเข้า-ออก และความเร็วลมภายในพื้นที่ใช้งานแต่ละกรณีศึกษาเป็นเวลาครึ่งวัน เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในปัจจุบัน และศึกษาหาผลกระทบต่อการระบายอากาศที่เกิดจากอาคารข้างเคียง รวมถึงนำไปใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

1.4.3 การออกแบบการวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

ออกแบบการวิจัยเพื่อกำหนดแนวทางในการทดลองที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยที่ตั้งไว้เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของคำถามในงานวิจัยได้โดยชัดเจน โดยมีขั้นตอนในการออกแบบการวิจัย ดังนี้ (ภาพที่ 1.1)

1.4.3.1 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม เพื่อใช้ในการทดลองจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล จากข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และศึกษาปัญหาด้านการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่พบในคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร จากการสำรวจภาคสนาม

1.4.3.2 การเลือกเครื่องมือและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

คัดเลือกเครื่องมือที่ใช้ในทดลอง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือโดยการนำผลที่ได้จากการวัดความเร็วลมในสถานที่จริงมาเทียบเคียงกับผลการจำลองสถานการณ์ไหลของอากาศของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation เพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของโปรแกรมว่ามีความแม่นยำหรือไม่

1.4.3.3 จำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

ทำการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ทิศทางการ

ไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ ของตัวแปรการจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคาร และเมื่อมีอาคารข้างเคียง

1.4.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้รับจากการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อันได้แก่ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate Per Hour : ACH) ทิศทางการไหลของอากาศ และอายุอากาศ (Age of Air) มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และแสดงผลของอายุอากาศและทิศทางการไหลของอากาศลงบนภาพแผนผัง โดยนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบระหว่างกรณีต่างๆ และเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศ จุดอับลม อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในคลินิกวัณโรค

1.4.4 สรุปผลการวิจัย

นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมารายงานผลที่พบ อันได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศ รวมถึงทิศทางการไหลของอากาศในแต่ละรูปแบบผังอาคารและแต่ละกรณีที่ทำการทดลอง มาสรุปอิทธิพลต่อการระบายอากาศ พร้อมเสนอแนะแนวการปรับปรุงแก้ไขการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค ด้วยวิธีการจัดพื้นที่ใช้สอย ปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการวางผังอาคาร ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีอาคารข้างเคียง

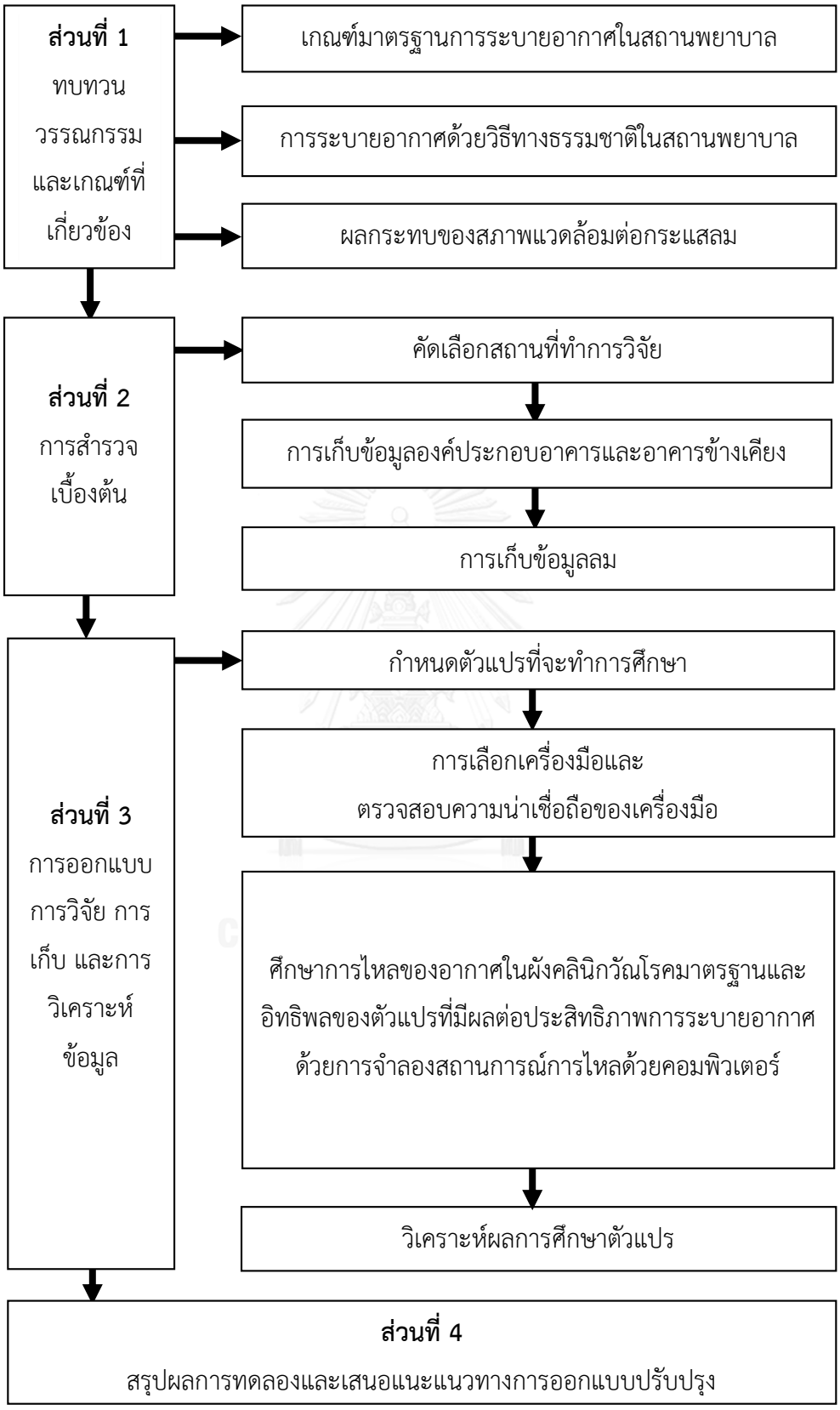
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคารกับประสิทธิภาพการการระบายอากาศ

1.5.2 ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาด รูปร่าง และทิศทางของอาคารข้างเคียงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการการระบายอากาศ

1.5.3 ได้แนวทางในการออกแบบและปรับปรุงคลินิกวัณโรคที่ใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติทั้งในกรณีที่มีและไม่มีอาคารข้างเคียง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงระเบียบวิธีการศึกษา

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งส่วนข้อมูลได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมในเรื่องเชื้อวัณโรคกับมาตรฐานการระบายอากาศและควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล ประกอบด้วย โรควัณโรคและสถานการณ์ในปัจจุบัน การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มาตรฐานด้านอายุอากาศ และการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศในสถานพยาบาล

ส่วนที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่ทำการศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาล ประกอบด้วย การสรุปปัจจัยที่มีผู้ดำเนินการทดลองวิจัยไปแล้ว อันได้แก่ 1) ช่องเปิด ทั้งเรื่องการเปิด-ปิดช่องเปิด ตำแหน่งช่องเปิด ระดับความสูงช่องเปิด สิ่งกีดขวางช่องเปิด (มุ้งลวด) 2) รูปแบบผังอาคารและการกั้นห้อง 3) การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ 4) การเสริมระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล และ 5) ปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น

ส่วนที่ 3 เป็นการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเรื่องผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ประกอบด้วย การสรุปปัจจัยที่มีผู้ดำเนินการทดลองวิจัยไปแล้ว อันได้แก่ 1) ผลกระทบจากการมีและไม่มีอาคารข้างเคียง 2) ลักษณะของสภาพแวดล้อม ทั้งเรื่องทิศทางลมภายนอก ขนาดช่องว่างระหว่างอาคาร และรูปทรงและความหนาแน่นของอาคารแวดล้อม และ 3) ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษา ทั้งเรื่องตำแหน่งช่องเปิด ความสูงของอาคารที่ทำการศึกษา และผนังดักลม

โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับมาจากทั้ง 3 ส่วนเพื่อการปูพื้นฐานความรู้ ศึกษาช่องว่างของงานวิจัย และนำมาใช้ในการกำหนดตัวแปรในการทำทดลองต่อไป ซึ่งแต่ละส่วนของการทบทวนวรรณกรรมมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เชื้อวัณโรคกับมาตรฐานการระบายอากาศและควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล

2.1.1 โรควัณโรคและสถานการณ์ในปัจจุบัน

วัณโรค เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย Mycobacterium Tuberculosis ซึ่งมีขนาดที่เล็กมากประมาณ 1-5 ไมโครเมตร เชื้อมีผนังเซลล์ที่หนาจึงทนทานต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีในอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส และหากภายในห้องมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงเกินร้อยละ 60 ก็จะเอื้อให้เกิดการ

เจริญเติบโตได้ การแพร่กระจายเชื้อเกิดขึ้นเมื่อผู้ป่วยไอหรือจาม โดยจะมีอนุภาคละอองถูกขับออกมาทางปากและจมูก ซึ่งในการไอ 1 ครั้ง จะนำเชื้อโรคออกมาประมาณ 3,000 ละอองฝอย (droplet nuclei) เทียบเท่ากับการพูดคุยเป็นเวลานาน 5 นาที ในขณะที่การจามจะทำให้เกิดละอองฝอย 40,000 ละอองฝอย และอนุภาคดังกล่าวจะสามารถล่องลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นสัปดาห์ และหากมีการหายใจเข้าไป อนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กจะเข้าไปถึงส่วนถุงลมและทำให้เกิดการติดเชื้อได้ (CDC, 1994; พิพัฒน์ ลักษมีจรัลกุล, 2543)

ประเทศไทยเป็น 1 ใน 14 ประเทศที่องค์การอนามัยโลกจัดให้เป็นกลุ่มประเทศที่มีภาระวัณโรคสูง (high burden country lists) และในปี 2558 องค์การอนามัยโลกคาดประมาณผู้ป่วยรายใหม่ในประเทศไทยไว้ 120,000 ราย แต่กลับมีการตรวจพบเพียงร้อยละ 55.3 นอกจากนี้ยังพบว่ามีอัตราป่วยวัณโรคสูงขึ้น จากปัจจัยเสี่ยงในด้านการแพร่ระบาดของเชื้อเอดส์ และกลุ่มประชากร อันได้แก่ ผู้ติดเชื้อ HIV ผู้สัมผัสโรค ผู้ด้อยโอกาสทางสังคม เช่น คนในชุมชนแออัด ผู้ต้องขังในเรือนจำ คนต่างด้าวในค่ายอพยพ กลุ่มแรงงานข้ามชาติที่มีการเคลื่อนย้ายที่อยู่บ่อยครั้ง นอกจากนี้บุคลากรทางสาธารณสุขยังเป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้ออันเนื่องมาจากการแพร่กระจายเชื้อโรคในสถานบริการสาธารณสุข โดยในประเทศรัสเซีย มีรายงานว่า บุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานในหน่วยบริการผู้ป่วยวัณโรคของเมือง Samara Oblast มีอัตราการป่วยเป็นโรควัณโรคสูงกว่าประชากรทั่วไปถึง 10 เท่า (Dimitrova และคณะ, 2005)

2.1.2 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล

ด้วยวัณโรคเป็นโรคที่มีการระบาดในโรงพยาบาลมาตั้งแต่ช่วง 3 ทศวรรษที่ผ่านมา และพบรายงานการเสียชีวิตของบุคลากรทางการแพทย์จากเชื้อวัณโรคดื้อยา จึงทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมวัณโรค อาทิ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (The U.S. Centres for Disease Control and Prevention : CDC) สถาบันความปลอดภัยจากการทำงานและสุขภาพแห่งชาติ (The National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH) ได้จัดทำแนวปฏิบัติเพื่อการป้องกันการแพร่ระบาดของโรควัณโรคในสถานพยาบาลขึ้น (พวงเพชร วุฒิคุณาภรณ์, 2547)

สำหรับในประเทศไทย ในอดีตไม่ปรากฏว่าประเทศไทยมีบุคลากรทางการแพทย์ติดเชื้อวัณโรค เนื่องจากสภาพแวดล้อมในสมัยนั้น สถานพยาบาลในประเทศไทยเอื้อให้มีการระบายอากาศที่ดีกว่าในต่างประเทศที่ใช้ระบบปรับอากาศ แต่ปัจจุบัน ปริมาณผู้ป่วยมีมากขึ้น สถานพยาบาลหลายแห่งจึงมีการต่อเติมอาคารในสถานที่เดิมเพื่อรองรับจำนวนผู้ป่วยดังกล่าว ซึ่งสถานพยาบาลหลายแห่งต่อเติมอย่างไม่ถูกต้องและการต่อเติมก็ทำให้สถานพยาบาลมีความแออัด ทำให้เกิดการกีดขวางทิศทางลมและระบายอากาศได้ไม่ดีเช่นในอดีต โดยเฉพาะเมื่อมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

การปรับอากาศมีส่วนช่วยให้มีบุคลากรอยู่ในสภาวะที่สบายและส่งผลให้สามารถให้บริการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการออกแบบและบำรุงรักษาระบบปรับอากาศที่ดีพอ อาจเป็นการส่งเสริมการติดเชื้อและแพร่กระจายของเชื้อโรคแพร่กระจายทางอากาศที่มากขึ้นได้ (สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2544; จริยา แสงสัจจา และทรงยศ ภารดี, 2550) อีกทั้ง การที่อากาศหมุนเวียนอยู่ภายในห้องปิด (closed recirculated air) เชื้อวัณโรคจึงไม่ถูกระบายออกสู่ภายนอก จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในบุคลากรทางการแพทย์ที่มากขึ้น (สมาคมปราบวัณโรคแห่งประเทศไทย, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ Escombe และคณะ (2007) ที่ทำการคาดคะเนอัตราการติดเชื้อในสถานพยาบาล โดยพบว่าห้องที่ระบายอากาศด้วยวิธีกลจะมีอัตราการติดเชื้อถึงร้อยละ 39 และร้อยละ 33 ในห้องที่ระบายอากาศด้วยวิธีกลแบบสมัยใหม่ ในขณะที่ห้องที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่สร้างก่อนปี ค.ศ. 1950 จะมีอัตราการติดเชื้อเพียงร้อยละ 11 จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเสี่ยงในการติดเชื้อสำหรับระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมีต่ำกว่าระบบระบายอากาศทางกล

ถึงแม้ในปัจจุบัน สถานพยาบาลหลายแห่งจะมีการใช้ระบบระบายอากาศทางกล แต่สำหรับส่วนงานคลินิกงานวัณโรค ยังพบว่าบางส่วนมีการใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติอยู่ อันเนื่องมาจากเป็นระบบระบายอากาศที่สามารถลดความเสี่ยงในการติดเชื้อได้มาก อีกทั้งประเทศไทยยังตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และยังเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย สามารถทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้หากมีการออกแบบที่เหมาะสม การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจึงยังคงเป็นวิธีหลักในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นที่มีทรัพยากรจำกัด (Inkarojrit, 2010)

นอกจากนี้ พวงเพชร วุฒิคุณาภรณ์ (2547) ยังพบรายงานจำนวนมากที่มีผลการศึกษาว่าการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสมมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรคในโรงพยาบาลขึ้น การศึกษาสภาพการระบายอากาศภายในสถานพยาบาลจึงมีความสำคัญ ดังจะกล่าวในส่วนต่อไป

2.1.3 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร และเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารผ่านช่องเปิดต่างๆ เช่น ประตู หน้าต่าง โดยมีจุดประสงค์เพื่อการมีอากาศที่ดีสำหรับการหายใจ เจือจางมลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคาร รวมถึงกำจัดมลพิษออกจากอาคาร โดยการระบายอากาศในอาคารมีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการ คือ (World Health Organization, 2009)

1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ventilation rate) หมายถึง ปริมาตรอากาศภายนอกที่ไหลเข้ามาภายในพื้นที่

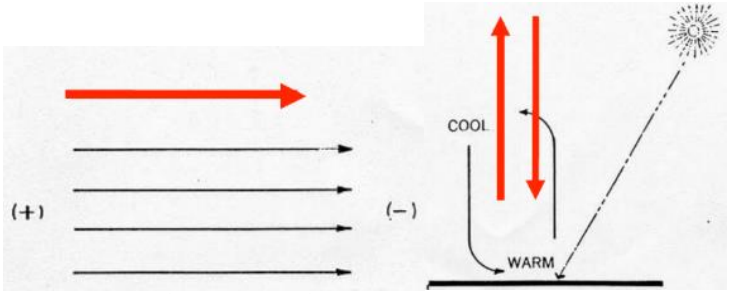
2) ทิศทางการไหลของอากาศ (airflow direction) หมายถึง ทิศทางการไหลโดยรวมของอากาศภายในอาคาร ซึ่งควรจะไหลจากส่วนที่สะอาดมากกว่าไปยังส่วนที่สะอาดน้อยกว่า

3) การกระจายตัวของอากาศ (air distribution) หมายถึง การเข้าถึงของอากาศในพื้นที่หรือรูปแบบการไหลของอากาศ โดยอากาศภายนอกควรเข้าถึงแต่ละส่วนของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพและเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ของอาคารควรได้รับการระบายออก

จากข้อมูลของ (Lechner, 2001) พบว่า การไหลของอากาศเกิดขึ้นจากแรงขับเคลื่อน 2 ประเภท (ภาพที่ 2.1 และ 2.2) คือ

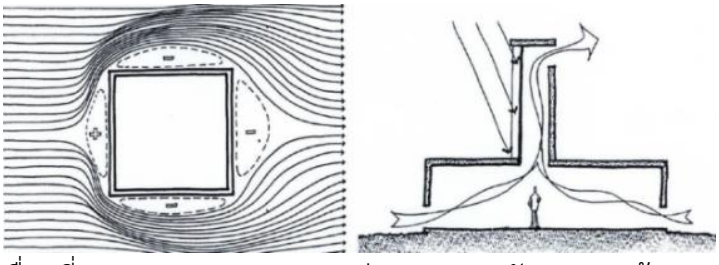
1) ความแตกต่างของความดัน (pressure differential) อากาศจะเคลื่อนที่จากพื้นที่ที่มีความกดอากาศสูงไปยังพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ โดยด้านที่ปะทะลมจะมีความกดอากาศสูง และด้านหลังลมคือด้านที่มีความกดอากาศต่ำ

2) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature differential) อุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีความหนาแน่นของอากาศที่น้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงทำให้ความดันอากาศแตกต่างกัน โดยอากาศจะเคลื่อนจากที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าไปสู่บริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่า



ภาพที่ 2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลของอากาศ

(Lechner, 2001)



ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศจากความแตกต่างของความดันอากาศ (ซ้าย) และอุณหภูมิ (ขวา)
(ที่มา : Moore, 1993)

โดยที่การเคลื่อนที่ของอากาศมี 4 รูปแบบ (ภาพที่ 2.3) ดังนี้ (Lechner, 2001)

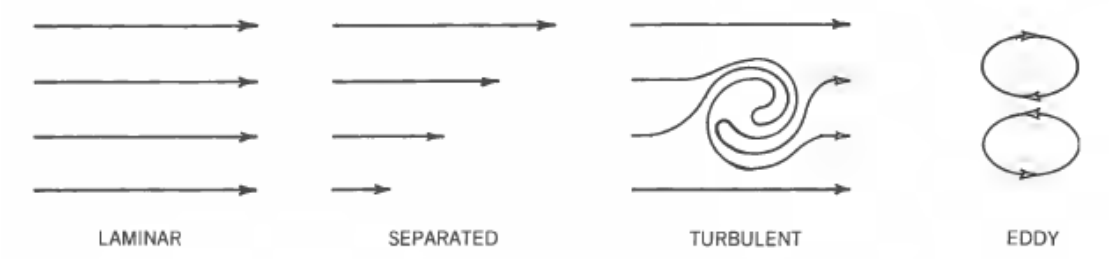
1) การเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (laminar) หมายถึง กระแสลมที่พัดเป็นเส้นตรงราบเรียบเสมอกัน ไม่ผ่านสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

2) การเคลื่อนที่แบบแยกชั้น (separated) หมายถึง กระแสลมที่เคลื่อนที่ผ่านวัตถุ เช่น พื้นดิน ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทางที่ผิววัตถุ (friction) ดังนั้น ความเร็วลมจึงต่ำเมื่อกระแสลมเข้าใกล้พื้นดิน

3) การเคลื่อนที่แบบแปรปรวน (turbulent) หมายถึง กระแสลมที่มีความแปรปรวนโดยมากกระแสลมที่พัดผ่านวัตถุต่างๆ ในสภาพแวดล้อมหนึ่งมักเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้

4) การเคลื่อนที่แบบหมุนวน (eddy) หมายถึง กระแสลมที่มีความเร็วต่ำเข้าสู่พื้นที่แล้วเกิดการหมุนวนอยู่ที่เดิมในความเร็วลมที่ต่ำมากจนไม่เกิดการระบายอากาศในบริเวณนั้น

ลมที่พัดเข้าปะทะผนังอาคารหรือสิ่งกีดขวางจะถูกกดแรงอัด ทำให้เกิดความกดอากาศที่มากกว่าปกติในด้านที่ลมปะทะ ในขณะที่ด้านตรงข้ามที่ลมพัดออกจากตัวอาคาร อากาศในบริเวณนั้นจะถูกดูดออกทำให้ความกดอากาศน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบแปรปรวน (turbulent) และการเคลื่อนที่แบบหมุนวน (eddy) ตามมาที่บริเวณผิวด้านข้างและผิวหลังคา โดยอากาศที่หมุนวน (eddy) จะทำให้มีการสะสมฝุ่นละอองและมลพิษในอากาศได้



ภาพที่ 2.3 รูปแบบการไหลของอากาศ 4 รูปแบบ
(ที่มา : Lechner, 2001)

2.1.4 เกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาล

จากการทบทวนเกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (The U.S. Centres for Disease Control and Prevention : CDC) พบว่า การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ เป็นหนึ่งในวิธีควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศที่องค์การอนามัยโลก (WHO) และศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (CDC) ได้เสนอให้ใช้สำหรับสถานพยาบาลที่มีทรัพยากรจำกัด โดยมีการเสนอแนวทางการควบคุมการแพร่เชื้อโรคทางอากาศ 2 รูปแบบ คือ 1) ควบคุมการแพร่เชื้อที่จุดกำเนิดเชื้อ และ 2) ควบคุมการแพร่เชื้อด้วยการระบายอากาศ ซึ่งมีหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานของรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ ตัวอย่างเช่น เกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE 170-2013 Ventilation of Health Care Facilities ที่ระบุว่าห้องแยกโรควัณโรคควรรักษาอุณหภูมิที่ 70-75 องศาฟาเรนไฮต์ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 30% และสูงสุดที่ 60% รวมถึงมีอัตราการนำเข้าอากาศจากภายนอกขั้นต่ำที่ 2 ACH อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำที่ 12 ACH และความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียงจะต้องต่ำกว่าพื้นที่ข้างเคียง อีกทั้ง อากาศออก (exhaust) จะต้องระบายออกสู่ภายนอก โดยไม่ไหลเข้ามายังพื้นที่ใช้งานอื่นๆ อีก โดยมีหลักการว่าให้ห้องแยกโรควัณโรคสามารถควบคุมความดันได้และลดพื้นที่ที่อากาศจะรั่วไหลออกมากที่สุด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม รายละเอียดของเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศโดยตรงที่หน่วยงานต่างๆ มักมีการระบุไว้ ได้แก่ อัตราการนำเข้าอากาศจากภายนอก (fresh air intake) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งจากการทบทวนเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง อันได้แก่ สถาบันสถาปนิกอเมริกัน (The American Institute of Architects : AIA) การบริหารความปลอดภัยและสุขภาพของผู้ประกอบวิชาชีพ (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) และสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นของอเมริกา (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers : ASHRAE) สามารถสรุปตารางเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปการเปรียบเทียบอัตราการนำอากาศจากภายนอกเข้าขั้นต่ำ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำ ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียงระหว่างเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ

เกณฑ์มาตรฐาน	อัตราการนำอากาศจากภายนอกเข้าขั้นต่ำ (fresh air intake) (ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำ (ACH)	ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
OSHA 1996	2	≥12	ต่ำกว่า
ASHRAE 170-2013	2	>12	ต่ำกว่า
CDC 2003)	2	≥12	ต่ำกว่า
AIA 2006	2	≥12	ต่ำกว่า

อนึ่ง ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศของศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (CDC) ได้มีข้ออนุโลมให้ลดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายใน (ACH) ให้กับอาคารที่ก่อสร้างมาก่อนปี 2545 เหลือ 6 ACH แต่ด้วยในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดลองกับรูปแบบคลินิกวัณโรคมาตรฐานในทุกอายุอาคาร จึงกำหนดให้ใช้เกณฑ์อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH

นอกจากเกณฑ์มาตรฐานแล้ว ยังมีข้อกฎหมายจากสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งระบุว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ (รวมถึงสถานพยาบาล) หากเป็นการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ให้ใช้เฉพาะกับพื้นที่มีผนังด้านนอกอย่างน้อยหนึ่งด้าน โดยมีช่องเปิดสู่ภายนอกอาคารได้ เช่น ประตู หน้าต่าง หรือบานเกล็ด ซึ่งเปิดไว้ระหว่างใช้สอยห้อง และพื้นที่ของช่องเปิดนี้ต้องเปิดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ห้องนั้นๆ นอกจากนี้ยังมีข้อแนะนำเฉพาะกาล (interim guideline) เมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2547 โดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย ซึ่งกำหนดให้ควรมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ และบริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกที่ 12 ACH ซึ่งสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปอัตราการนำอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียงของพื้นที่ใช้สอยในคลินิกวัณโรค

สถานที่	อัตราการนำอากาศภายนอกขั้นต่ำ (ACH)	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในขั้นต่ำ (ACH)	ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
บริเวณโถงพักคอย	2	12	ต่ำกว่า
ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ (ห้องตรวจโรค)	2	12	ต่ำกว่า
ห้อง X-Ray	2	12	ต่ำกว่า

จากการทบทวนเกณฑ์มาตรฐานและข้อกฎหมายข้างต้น จึงสรุปได้ว่าการออกแบบคลินิกวัณโรคควรกำหนดให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH หรือหมายถึงการนำปริมาตรของอากาศจากภายนอกเข้ามาแทนที่ปริมาตรอากาศภายในห้องให้ได้จำนวน 12 เท่าในหนึ่งชั่วโมง และมีความดันสัมพัทธ์ หรือความดันอากาศในพื้นที่คลินิกวัณโรคเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ข้างเคียงแล้วให้มีความดันที่ต่ำกว่า เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศที่มีการปนเปื้อนจากเชื้อโรคไหลไปยังส่วนที่มีความดันสูงกว่าได้

จากงานวิจัยของกิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) ได้มีการใช้อายุอากาศ มาเป็นหนึ่งในวิธีการประเมินคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ ซึ่งเป็นการศึกษาระยะเวลาของมวลอากาศที่เข้ามาตั้งแต่ช่องอากาศเข้าและเข้าแทนที่อากาศในพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยระยะเวลาที่ใช้แทนที่อากาศที่มากที่สุดนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) เช่น อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงขั้นต่ำสำหรับคลินิกวัณโรค คือ 12 ACH หมายถึง อากาศจะต้องไหลเข้าและออกพื้นที่คลินิกวัณโรคอย่างน้อยจำนวน 12 รอบ ภายใน 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที ต่อ 12 รอบ จึงหมายถึง อายุของอากาศภายในพื้นที่ที่มีได้มากที่สุดและยังคงมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH คือ 5 นาที หรือ 300 วินาที ดังนั้น หากในพื้นที่ใดที่มีอายุอากาศที่นานกว่า 300 วินาที แสดงว่าพื้นที่นั้นเป็นพื้นที่อับอากาศและมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอัตราการไหลผ่านของอากาศ เช่น การเพิ่มช่องเปิด หรือเพิ่มพัดลมระบายอากาศ เป็นต้น

2.1.5 การควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศในสถานพยาบาล

องค์กรอนามัยโลก (WHO) และศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (CDC) ได้เสนอมาตรการการลดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายและติดเชื้อวัณโรคใน 3 ระดับ ดังนี้

2.1.5.1 การบริหารจัดการ (administrative controls)

การบริหารจัดการเป็นมาตรการที่สำคัญที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้บุคลากรและผู้ป่วยอื่นๆ สัมผัสเชื้อโรค ลดการแพร่เชื้อโดยการวินิจฉัยผู้ที่มีอาการสงสัยและให้การรักษาโดยเร็วที่สุด เช่น การประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อ การค้นหาผู้ป่วยวัณโรคเพื่อให้การรักษาตั้งแต่ระยะแรกเริ่ม การให้ความรู้แก่ประชาชน เป็นต้น

2.1.5.2 การควบคุมสภาพแวดล้อม (environmental Controls)

การควบคุมสิ่งแวดล้อม เป็นมาตรการที่สองในการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ด้วยการลดความเข้มข้นของเชื้อโรคในอากาศ โดยใช้หลักการทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธี อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติกลับได้รับความสำคัญที่ไม่มากนัก (Phuapradit และ Inkarojrit, 2013) อนึ่ง ด้วยแต่ละสถานพยาบาลมีลักษณะทางกายภาพและการจัดการดำเนินงานที่ต่างกัน จึงควรเลือกใช้วิธีการต่างๆ ให้เหมาะสมกับบริบท และงบประมาณที่มีอยู่ รายละเอียดดังต่อไปนี้

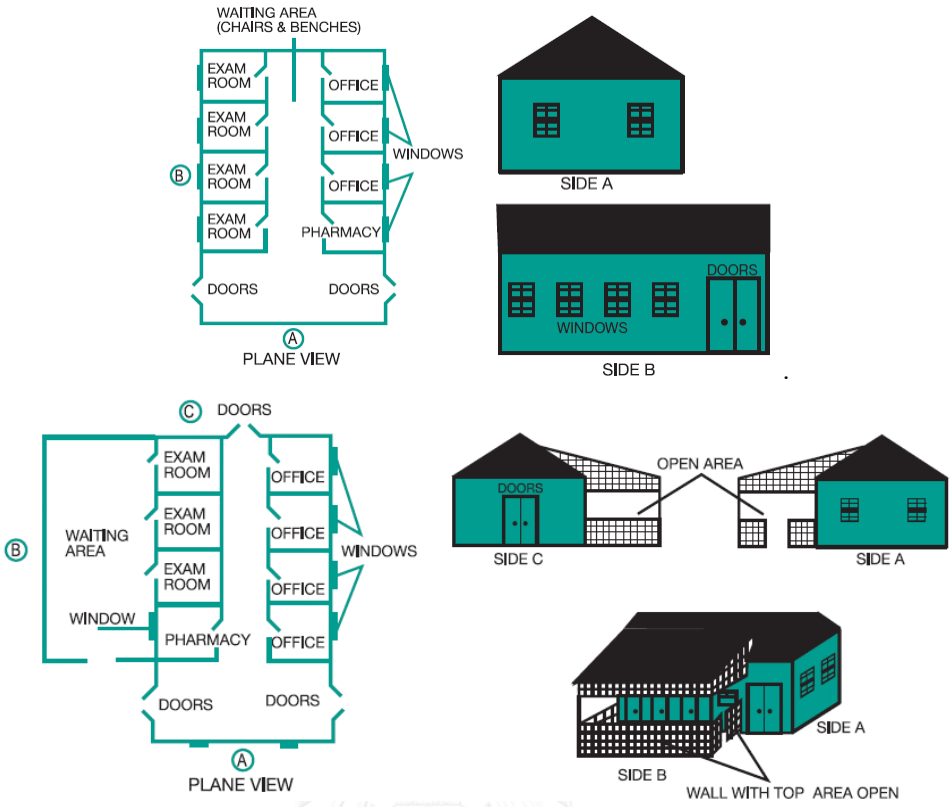
1) การระบายอากาศ

เป็นวิธีการที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรค โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของเชื้อวัณโรคในอากาศให้เจือจางลง แบ่งเป็น 2 วิธีหลัก คือ

- การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (natural ventilation)

การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติอาศัยการถ่ายเทอากาศผ่านช่องเปิดโดยควรมีจำนวนและขนาดที่เหมาะสมกับลักษณะของพื้นที่ข้างเคียง สภาพภูมิอากาศท้องถิ่น โดยช่องเปิดจะต้องเปิดออกสู่ภายนอก ไม่ไหลเข้าไปสู่พื้นที่ในอาคารต่อไป ทั้งนี้ อาจรวมไปถึงการใช้พัดลมเพื่อช่วยในการกำหนดทิศทางการไหลเวียนของอากาศด้วย

ดังเช่นตัวอย่างคลินิกวัณโรคมาตรฐานในประเทศแอฟริกา (ภาพที่ 2.4) ซึ่งผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย เจ้าหน้าที่อยู่ในพื้นที่ปิด ด้วยพื้นที่พักคอยอยู่ในบริเวณทางเดิน จึงมีการเคลื่อนไหวของอากาศที่น้อยมาก โดย (World Health Organization, 1999a) เสนอวิธีการปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ใช้งบประมาณไม่มาก ด้วยการจัดพื้นที่พักคอยใหม่ด้วยการใช้จัดพื้นที่พักคอยให้อยู่ด้านนอกอาคาร และจัดให้ผนังห้องมีส่วนเปิดโล่งโดยรอบ



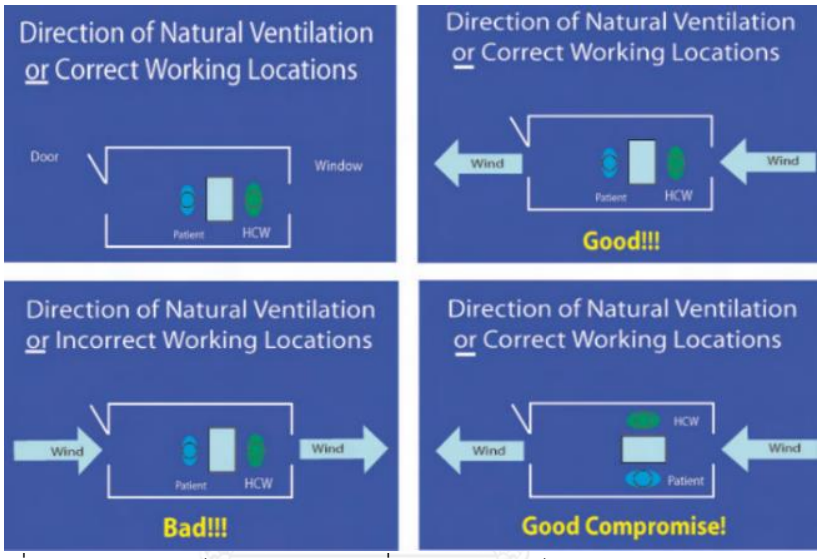
ภาพที่ 2.4 การระบายอากาศที่คลินิกวัณโรคในส่วนพื้นที่นั่งคอยที่ยังไม่เหมาะสม (บน) และแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (ล่าง)
(ที่มา : WHO, 1999a)

- การระบายอากาศด้วยวิธีกล (mechanical ventilation)

ด้วยในบางสถานการณ์ที่การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติไม่เพียงพอ การระบายอากาศด้วยวิธีกลจะสามารถช่วยลดความเข้มข้นของเชื้อโรคได้ การระบายอากาศด้วยวิธีกลอาศัยการถ่ายเทของอากาศผ่านพัดลมดูดอากาศ โดย WHO (1999a) ได้แนะนำให้ใช้พัดลมระบายอากาศชนิด window fan เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ราคาถูกที่สุด และเหมาะสมต่อการใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลเพื่อสร้างทิศทางการไหลของอากาศในสถานพยาบาลที่มีทรัพยากรจำกัด โดยควรวางอยู่ใกล้กับผู้ป่วยและมีอัตราการดูดอากาศในบริเวณที่ผู้ป่วยหายใจที่ความเร็วลม 200 ฟุตต่อนาที หรือประมาณ 1 เมตรต่อวินาทีเพื่อที่จะสามารถดูดจับเชื้อโรคได้ (ศศิธร สุธนรักษ์, 2558)

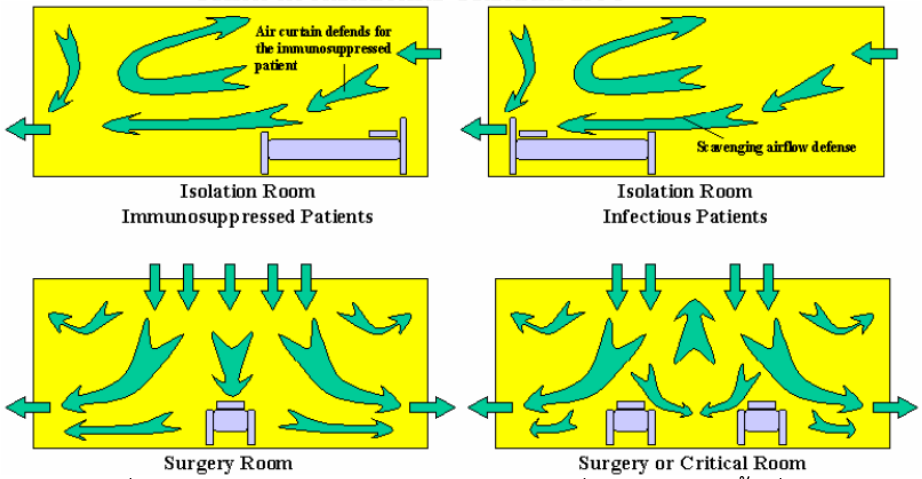
โดยทั้ง 2 วิธีต้องคำนึงถึงประเด็นสำคัญ ดังนี้

ก) ทิศทางการไหลเวียนและถ่ายเทของอากาศ ให้ไหลจากสถานที่ที่สะอาดมากกว่าไปยังสถานที่ที่สะอาดน้อยกว่า และระบายออกไปยังพื้นที่นอกอาคาร เช่น ไหลจากตำแหน่งของแพทย์สู่ผู้ป่วย หรือไหลจากห้องตรวจโรคสู่พื้นที่ภายนอกอาคาร ซึ่งควรหลีกเลี่ยงการไหลกลับของอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อวัณโรคเข้ามาภายในอาคารอีกครั้งด้วย โดยมีตัวอย่างทิศทางลมที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน ดังภาพที่ 2.5 และภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมภายในห้องตรวจ

(ที่มา : WHO, 1999b)



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน

(ที่มา :(Khalil E. E., 2006)

ข) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ จะต้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของพื้นที่ โดยต้องกำหนดให้มีการเติมอากาศสะอาด และระบายอากาศสกปรกให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งการเพิ่มช่องเปิด เช่น หน้าต่าง ประตู และลดสิ่งกีดขวางทางลม เช่น ผนัง ตู้ จะช่วยเพิ่มความเร็วลมและทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้นได้ ซึ่งยังสามารถช่วยลดความชื้นและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรคภายในห้องได้อีกด้วย

ค) ในกรณีที่ต้องมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ จะต้องมีการกรองอากาศเพื่อดักจับเชื้อวัณโรคโดยการบังคับให้อากาศผ่าน High-Efficiency Particulate Air (HEPA) filter หรือการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Germicidal Irradiation : UVGI)

ง) ตำแหน่งของอากาศเข้ามาภายในอาคาร อยู่ห่างจากบริเวณที่อากาศเสียออกไปจากอาคาร ให้มีระยะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อมิให้อากาศที่มีการปนเปื้อนเชื้อโรคต้องไม่ไหลย้อนกลับไปสู่บริเวณที่สะอาดอีกครั้ง

2) การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

เชื้อวัณโรคจะตายเมื่อถูกรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความเข้มที่เหมาะสมในระยะเวลาที่นานพอ โดยมีการติดตั้งใน 2 ลักษณะ คือ ติดตั้งในเครื่องควบคุมอากาศปลอดเชื้อ และติดตั้งอยู่ส่วนฝ้าและผนังห้อง ซึ่งจะใช้ได้ผลหากอากาศมีการหมุนเวียนทั่วทั้งห้อง อย่างไรก็ตาม ผลของการฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตไม่สามารถนำมาเทียบเคียงกับการมีอัตราการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมได้ อีกทั้ง หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70% ร่วมกับมีฝุ่นละออง จะทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อลดลงมาก (Riley และ Kaufman, 1972) ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในภูมิอากาศร้อนชื้น มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ดังนั้นควรเลือกใช้ในกรณีที่จำเป็น และเป็นวิธีการเสริมมาตรการอื่นๆ เท่านั้น

3) เครื่องกรอง HEPA

เป็นวิธีการกำจัดเชื้อวัณโรคด้วยเครื่องกรองอากาศ คือ อากาศที่มีเชื้อวัณโรคปนเปื้อนจะผ่านเข้าไปในเครื่องกรองและผ่านขบวนการทำลายเชื้อวัณโรค ก่อนปล่อยอากาศที่สะอาดออกมาหมุนเวียนใช้ใหม่ มีทั้งการติดตั้งระบบกรองอากาศแบบตายตัวภายในห้อง และเครื่องกรองอากาศแบบโยกย้ายได้ โดยเป็นวิธีที่เหมาะกับห้องที่มีขนาดเล็ก มีบริเวณจำกัด อับทึบ ไม่สามารถระบายอากาศตามธรรมชาติได้ จึงต้องมีการนำอากาศส่วนนี้กลับมาใช้อีก และต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองอากาศอย่างสม่ำเสมอ

2.1.5.3 การป้องกันทางเดินหายใจระดับบุคคล (personal respiratory protection)

การป้องกันทางเดินหายใจจากการติดเชื้อเฉพาะตัวบุคคลเป็นการป้องกันการติดเชื้อมาตรการสุดท้าย โดยเป็นเพียงมาตรการเสริมจาก 2 มาตรการข้างต้น เนื่องจากได้ประโยชน์เฉพาะตัวบุคคลเท่านั้น แนะนำให้ใช้ในสถานที่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง เช่น ห้องแยกผู้ป่วยวัณโรค ห้องผ่าตัดฉุกเฉินสำหรับผู้ป่วยวัณโรคระยะแพร่เชื้อ ด้วยการใช้อุปกรณ์อย่าง surgical mask, HEPA mask และ N95

นอกจากนี้ ยังมีเกณฑ์การประเมินมาตรฐานโรงพยาบาลคุณภาพการดูแลรักษาวัณโรค ปี 2560 โดยสำนักวัณโรค (2560) ซึ่งมีการพัฒนาแนวทางและวิธีการประเมินจาก หลักการของมาตรฐานสากลการดูแลรักษาวัณโรค (International Standards for Tuberculosis Care : ISTC) อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2549 โดยมีมาตรฐานที่มีความเกี่ยวข้องกับการจัดสถานที่ของคลินิกวัณโรคอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล ด้วยการจัดสถานที่ของคลินิกวัณโรคแยกห่างจากคลินิกผู้ป่วยอื่นๆ ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค เช่น คลินิกเอดส์ คลินิกผู้ป่วยเบาหวาน คลินิกเด็ก คลินิกโรคไต คลินิกผู้สูงอายุ เป็นต้น หรืออาจจัดให้อยู่ติดกันแต่มีการให้บริการผู้ป่วยคนละวัน และจัดให้คลินิกวัณโรคไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ และให้มีการเปิดหน้าต่างสามารถระบายอากาศออกสู่ภายนอกได้ แต่หากต้องการใช้เครื่องปรับอากาศ ให้มีการติดหลอด UVGI โดยมีเอกสารผลการประเมิน UVGI ภายใน 1 ปีที่ผ่านมาที่แสดงว่ารังสีมีอนุภาคที่พอเหมาะที่จะฆ่าเชื้อวัณโรคได้ และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 2 ACH เป็นต้น (สำนักวัณโรค, 2560)

จากการทบทวนวรรณกรรมส่วนที่ 1 เรื่องเชื้อวัณโรคกับมาตรฐานการระบายอากาศและการควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล สามารถสรุปได้ว่า วัณโรค เป็นโรคที่มีการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ ดังนั้น หากสถานพยาบาลมีการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสมก็จะมีส่วนทำให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลขึ้นได้ โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดความเสี่ยงในการติดเชื้อและเหมาะสมกับสถานพยาบาลที่มีทรัพยากรจำกัด จากการทบทวนเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง พบว่า คลินิกวัณโรคควรมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากกว่า 12 ACH และอายุอากาศไม่เกิน 300 วินาที รวมถึงมีทิศทางการไหลของอากาศจากสถานที่ที่สะอาดมากกว่าไปยังสถานที่ที่สะอาดน้อยกว่า และสามารถระบายออกไปยังพื้นที่นอกอาคารโดยไม่ไหลย้อนกลับเข้ามาภายในอาคารอีก

2.2 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาล

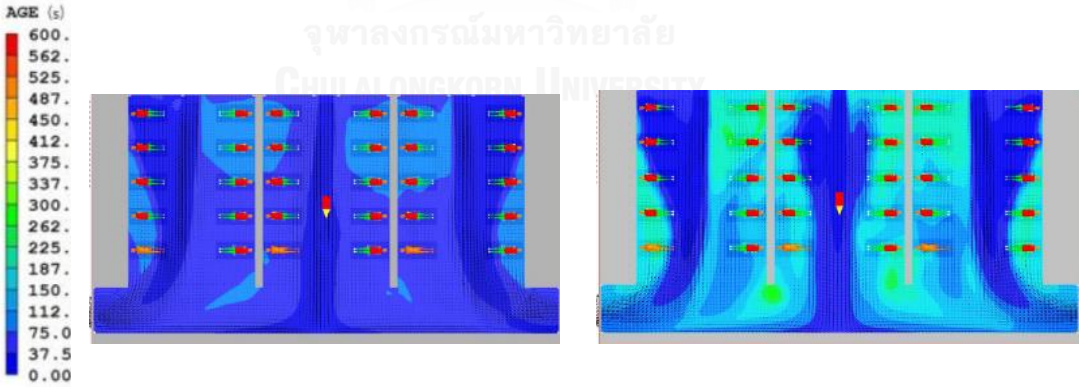
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในสถานพยาบาล โดยเน้นไปที่วิธีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ สามารถจำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาลที่มีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยมาแล้ว ดังนี้

2.2.1 ความเร็วลม

ลมภายนอกเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการระบายอากาศ ความเร็วของลมภายนอกที่เข้ามาภายในอาคารจึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศโดยตรง โดยความเร็วลมมีผลกระทบต่อการระบายอากาศใน 2 ประเด็น คือ

2.2.1.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และอายุอากาศ

กิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) ทำการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศในหอผู้ป่วยที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม PHOENICS FLAIR พบว่า ความเร็วลมเข้าที่สูงจะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้น อายุอากาศที่ลดลง และความเร็วลมเข้าที่ต่ำจะให้ผลที่ตรงข้ามกัน โดยในเวลากลางวันจะมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที สูงกว่าเวลากลางคืนที่ 0.13 เมตร/วินาที เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวที่มากกว่าเวลากลางคืน จึงทำให้ในเวลากลางวันมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่ดีกว่าในเวลากลางคืนถึงร้อยละ 50 ทำให้ในเวลากลางคืนมีการสะสมเชื้อโรคในอากาศที่สูงกว่าเวลากลางวัน (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 การเปรียบเทียบตัวอย่างอายุอากาศของผังหอผู้ป่วยแบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสองทิศทางในช่วงเวลากลางวัน (ซ้าย) และกลางคืน (ขวา)
(ที่มา : กิตติคุณ ยกทรัพย์, 2558)

2.2.1.2 ความแปรปรวนของอากาศ (turbulent)

จิรายุ บุญตัน (2554) ซึ่งทำการศึกษาความแปรปรวนของอากาศภายในห้องตรวจโรคจากจำนวนรอบหมุนของอากาศภายในห้องตรวจที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้วใน 2 ระดับ คือ 12 ACH และ 15 ACH โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation พบว่า การเลือกใช้ความเร็วลมต่ำ (12 ACH) ในช่องปล่อยอากาศเข้าจะทำให้มีการไหลแบบราบเรียบ และมีความแปรปรวนของอากาศที่น้อยกว่าแบบความเร็วลมสูง (15 ACH) ช่วยลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคในอากาศ ในทางกลับกันความเร็วลมที่สูงจะยิ่งทำให้เกิดความแปรปรวนของอากาศที่มาก และทำให้มีการแพร่กระจายเชื้อโรคที่สูงตามไปด้วย ดังนั้น สำหรับห้องขนาดเล็กที่มีพื้นที่ใช้สอยของเจ้าหน้าที่และผู้ป่วยโรคที่แพร่กระจายเชื้อทางอากาศอยู่ร่วมกันเช่นห้องตรวจโรค นอกจากจะต้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ผ่านมาตรฐานแล้ว ยังต้องควบคุมให้ความเร็วลมไม่สูงมากจนเกินไปจนทำให้มีความแปรปรวนของอากาศภายในห้องสูง

2.2.2 ช่องเปิด

ช่องเปิดของอาคารเป็นปัจจัยพื้นฐานต่อมาของการระบายอากาศ เนื่องจากลมจากภายนอกจะต้องไหลผ่านช่องเปิดก่อนที่จะเข้ามาภายในและระบายอากาศให้กับพื้นที่นั้นได้ โดยจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การที่ช่องเปิดมีขนาดเท่ากันในลักษณะแบบข้ามฟาก (cross ventilation) และตั้งอยู่ในทิศทางตรงข้ามกัน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศในปริมาณที่มากที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศในปริมาณที่มากกว่ารูปแบบอื่น ในขณะที่การมีช่องเปิดทางเดียว อากาศจะไม่ไหลเข้าอาคารเนื่องจากไม่เกิดความแตกต่างของความกดอากาศ ซึ่งการเจาะช่องเปิดในระดับสูงเหมาะแก่การใช้ระบายความร้อน เนื่องจากอากาศเคลื่อนที่ในระดับสูงและไม่พัดผ่านผู้ใช้งานอาคาร ในขณะที่ช่องเปิดระดับกลางผนังจะช่วยให้ลมเคลื่อนที่ผ่านผู้ใช้งานอาคารได้ นอกจากนี้ ยังพบงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงปัจจัยเกี่ยวกับช่องเปิดในประเด็นต่างๆ ดังนี้

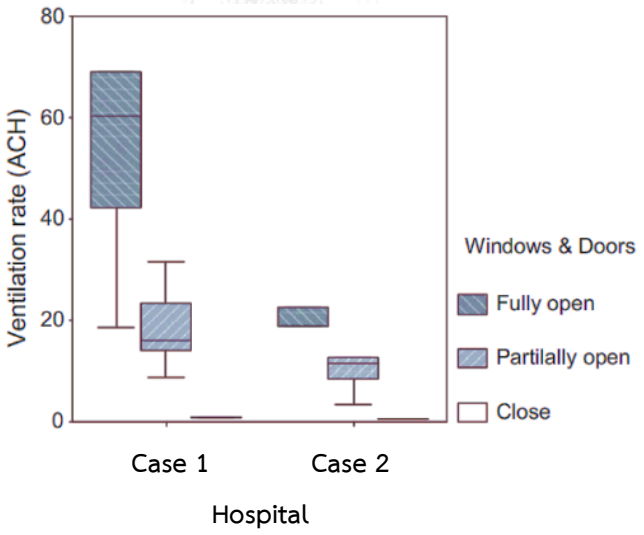
2.2.2.1 การเปิด-ปิดช่องเปิด

มีงานวิจัยเชิงสำรวจที่ศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารในหอผู้ป่วยในฮ่องกง (Qian และ Li, 2010) ประเทศไทย (Inkarojrit, 2010) และประเทศอังกฤษ (Gilkeson และคณะ, 2013) ที่ศึกษาการเปิด-ปิดช่องเปิดที่มีผลต่อการระบายอากาศ ด้วยเป็นหนึ่งในพฤติกรรมการใช้งานอาคารที่ส่งผลต่อปริมาณอากาศเข้า โดยผลวิจัยพบว่า สถานพยาบาลสามารถเลือกใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อควบคุมการติดเชื้อได้ เนื่องจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่พบเมื่อมีการเปิดช่องเปิดนั้นสูงถึง 69 ACH (Qian และ Li, 2010) 3-218 ACH (Inkarojrit, 2010) และ

3.4-6.5 ACH (Gilkeson และคณะ, 2013) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การระบายอากาศมาตรฐานสำหรับหอผู้ป่วย (6 ACH)

ในทางกลับกัน การปิดประตู-หน้าต่าง หรือปิดประตู-หน้าต่างบางส่วน จะสามารถลดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเปิดหน้าต่างทั้งหมดทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศประมาณ 20-60 ACH การเปิดหน้าต่างบางส่วน ทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศประมาณ 10-20 ACH และการปิดหน้าต่างทั้งหมด ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเป็น 0 ACH ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงในการติดเชื้อโรคที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหอผู้ป่วยในประเทศอังกฤษ ที่มีการปิดหน้าต่างในทุกฤดูหนาว

อย่างไรก็ตาม ลมธรรมชาตินั้นเป็นลมที่มีมาไม่สม่ำเสมอ กอปรกับเหตุข้างต้น Qian และ Li (2010) Inkarojrit (2010) และ Gilkeson และคณะ (2013) จึงเสนอให้มีการใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ เพื่อที่จะช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อทางอากาศได้โดยตลอดทั้งปี และเป็นการทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานโดยตลอด อีกทั้งยังเป็นการช่วยควบคุมทิศทางการไหลของอากาศให้มีความคงที่มากขึ้นอีกด้วย (Qian และ Li, 2010)



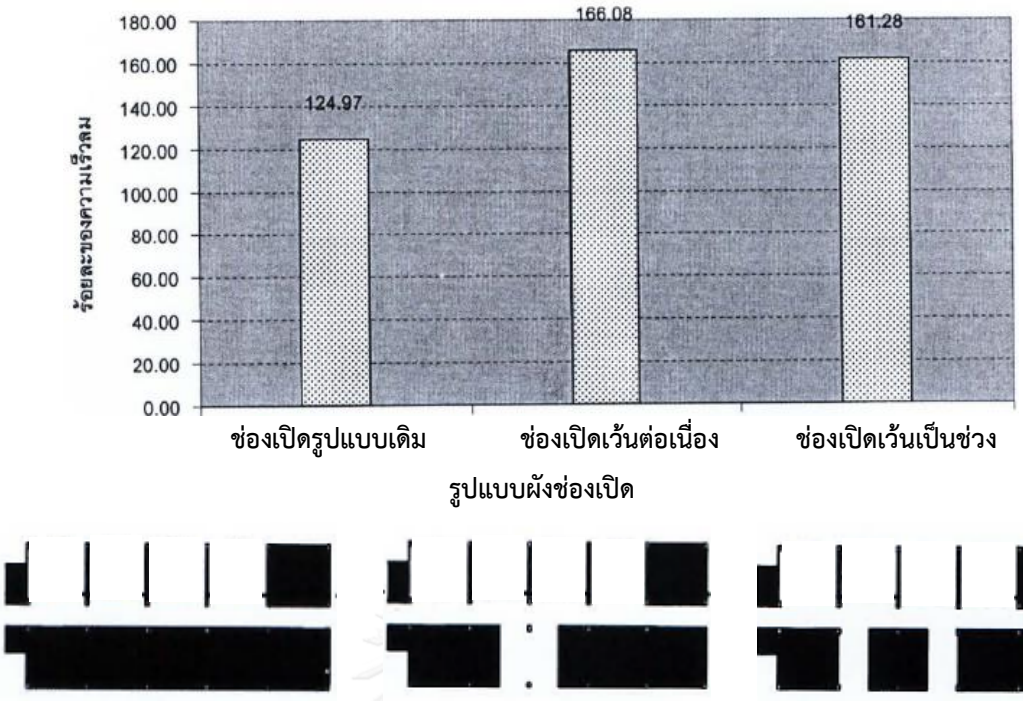
ภาพที่ 2.8 การเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีศึกษาสถานพยาบาล 2 แห่ง เมื่อมีการเปิด เปิดบางส่วน และปิดประตู-หน้าต่าง

(ที่มา : Qian และ Li, 2010)

2.2.2.2 ตำแหน่งช่องเปิด

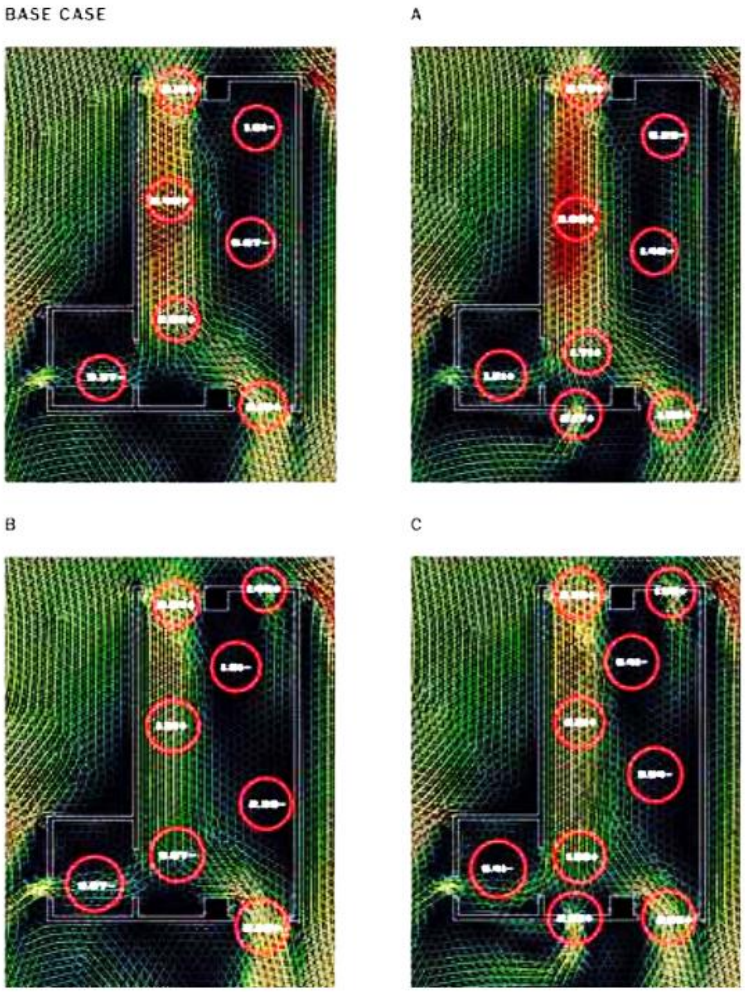
จากการศึกษาตำแหน่งของช่องปล่อยอากาศเข้า-ออกของห้องตรวจโรคแบบปรับอากาศของจิรายุ บุญตัน (2554) สามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งช่องอากาศเข้าที่บริเวณกลางห้องจะมีความแปรปรวนของอากาศที่น้อยกว่าการติดตั้งที่ด้านหลังห้อง เนื่องจากอากาศที่ปล่อยเข้ามาภายในห้องจะแบ่งกระแสลมเป็นสองฝั่งและกระทบลงบริเวณพื้นห้อง แต่ในขณะที่ช่องปล่อยอากาศเข้าที่ติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังห้องจะไหลไปกระทบกับพื้นผิวของเฟอร์นิเจอร์ และถูกขัดขวางการไหลของอากาศก่อให้เกิดพื้นที่อับลม ในส่วนของช่องปล่อยอากาศออกควรติดตั้งในระดับความสูงจากพื้นที่ 1.10 เมตร ซึ่งเป็นระดับปากและจมูกของผู้ป่วยในขณะนั่งตรวจ โดยอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของผนังและใกล้พื้นที่ของผู้ป่วยที่สุด และในงานวิจัยของอุษณ จันทรทรัพย์ (2553) เรื่องการประเมินผลการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในหอผู้ป่วยของโรงพยาบาล โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม HEATX ได้การศึกษาถึงปัจจัยทางด้านรูปแบบตำแหน่งของช่องเปิดที่มีผลต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ พบว่า ผังแบบช่องเปิดเว้นต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงสุด รองลงมาเป็นผังแบบช่องเปิดเว้นเป็นช่วง ส่วนผังแบบช่องเปิดรูปแบบเดิม (ไม่มีการเว้นช่องเปิดเพิ่ม) จะมีประสิทธิภาพการระบายอากาศน้อยที่สุด รายละเอียดดังภาพที่ 2.9 อนึ่ง การปรับเปลี่ยนรูปแบบช่องเปิดช่วยให้สามารถลดพื้นที่มุมอับได้ดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.9 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยของผังแบบช่องเปิดรูปแบบเดิม ผังแบบช่องเปิดเว้นต่อเนื่อง ผังแบบช่องเปิดเว้นเป็นช่วง
(ที่มา : อุษณ จันทรทรัพย์, 2553)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของวรากร ราชธา (2557) ที่ศึกษาแนวทางการออกแบบห้องพักผู้ป่วยติดเชื้อวัณโรคในห้องพักผู้ป่วยของสถาบันบำราศนราดูร โดยผู้วิจัยได้ลงสำรวจพื้นที่จริง พบว่า ห้องพักผู้ป่วยยังไม่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ได้มาตรฐาน (12 ACH) และมีมุมอับที่ไม่สามารถระบายอากาศได้ อีกทั้งยังมีการติดตั้งพัดลมเพดานซึ่งส่งผลให้เชื้อโรคมีการกระจายตัวมาก ผู้วิจัยจึงจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม FLUENT ของแนวทางการปรับปรุงต่างๆ ของห้องพักผู้ป่วยติดเชื้อวัณโรค ดังภาพที่ 2.10 และพบว่าหากมีการติดตั้งช่องเปิดหรือพัดลมระบายอากาศบริเวณมุมอับก็จะสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและลดพื้นที่เสี่ยงต่อการสะสมเชื้อโรคได้ อย่างไรก็ตาม ยังคงมีความจำเป็นที่ต้องใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อจะทำให้มีประสิทธิภาพการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศที่มากที่สุด

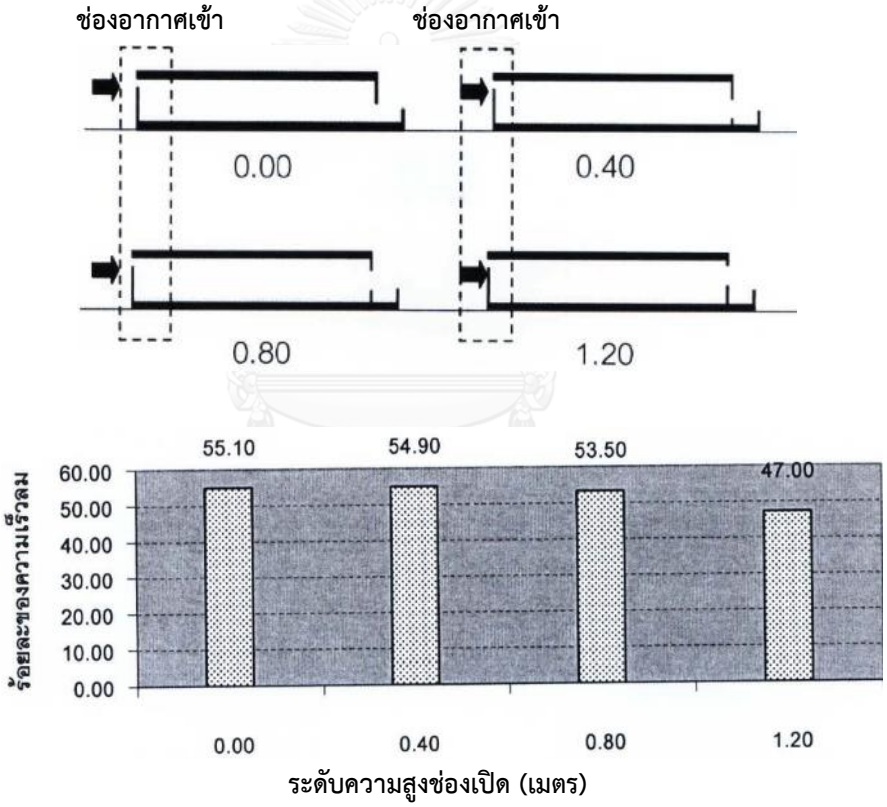


ภาพที่ 2.10 การเปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงหอผู้ป่วยวัณโรค (Basecase) มี ACH ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (A) มี ACH ที่สูงบริเวณเตียงผู้ป่วย (B) มีการควบคุมการระบายอากาศที่ดี (C) มี ACH บริเวณเตียงผู้ป่วยที่ดี มีความดันเหมาะสม

(ที่มา : วรากร ราชธา, 2013)

2.2.2.3 ระดับความสูงของช่องเปิด

จากงานวิจัยของอุษณ จันทรทรัพย์ (2553) ที่ทำการศึกษาเรื่องระดับความสูงของช่องเปิดในหอผู้ป่วย โดยกำหนดให้มีขนาดความสูงของช่องอากาศเข้าที่ 0.60 เมตร และอยู่สูงจากพื้น 2.70 เมตร และกำหนดให้มีขนาดความสูงของช่องอากาศออกที่ 2 เมตร และอยู่สูงจากพื้นใน 4 ระดับความสูง ได้แก่ 0.00, 0.40, 0.80 และ 1.20 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ช่องอากาศออกที่ความสูงระดับ 0.00 และ 0.40 เมตร จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่สูงใกล้เคียงกัน รองลงมาเป็นระดับความสูงที่ 0.80 และ 1.20 เมตร จึงสามารถสรุปผลได้ว่า ความสูงช่องอากาศออกที่ระดับต่ำจะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ดีกว่าระดับที่สูง เนื่องจากการที่ช่องอากาศออกในระดับความสูงที่น้อยจะทำให้อากาศไหลผ่านพื้นที่ใช้งานมากขึ้นและทั่วถึงกว่าช่องอากาศออกในระดับความสูงที่มากกว่า (ภาพที่ 2.11)

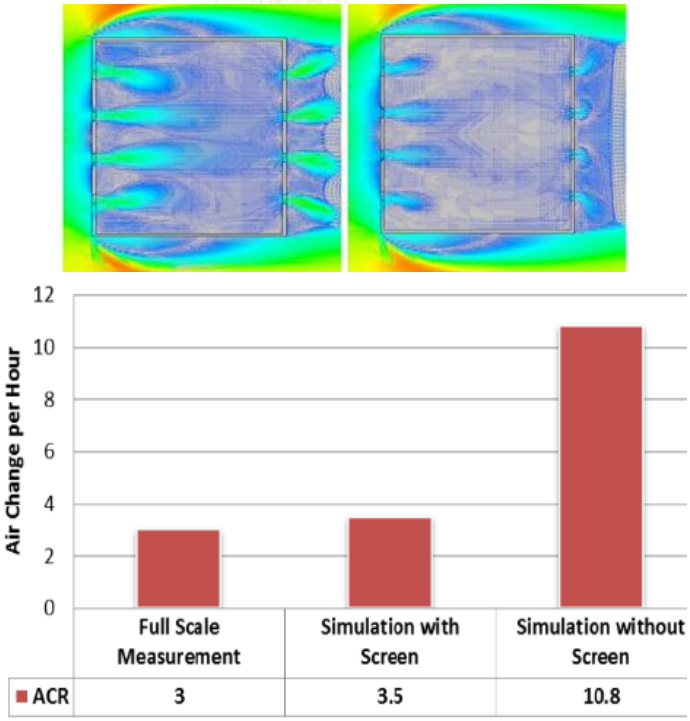


ภาพที่ 2.11 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยของตำแหน่งช่องเปิดในระดับความสูง 0.00 0.40 0.80 และ 1.20 เมตร

(ที่มา : อุษณ จันทรทรัพย์, 2553)

2.2.2.4 สิ่งกีดขวางช่องเปิด (มุ้งลวด)

สิ่งกีดขวางช่องเปิดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดความเร็วของลมที่เข้ามาภายในอาคารได้ โดย Mohammed (2013) ได้ทำการจำลองการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในหอผู้ป่วยในเขตภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้งของประเทศไนจีเรีย โดยศึกษาขนาดของหน้าต่างจำนวน 3 ขนาด ได้แก่ 0.6x1.2 เมตร, 0.9 x1.2 เมตร และ 1.2x1.2 เมตร ใน 2 กรณี คือ มีและไม่มีการติดมุ้งลวดซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการป้องกันยุงและฝุ่นจากทะเลทราย โดยใช้ความเร็วลมภายนอกที่ 3.1 เมตร/วินาที ที่ระดับความสูง 10 เมตรจากระดับพื้น ซึ่งเป็นค่าความเร็วลมที่เก็บมาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้ที่สุด เพื่อศึกษาหาขนาดของช่องเปิดที่มากพอที่จะทำให้หอพักผู้ป่วยมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม FLUENT ผลการจำลองพบว่า การติดตั้งมุ้งลวดทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ลดลงถึงร้อยละ 70 กล่าวคือ ก่อนการติดตั้งมุ้งลวดจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 10.8 ACH แต่ภายหลังการติดตั้งมุ้งลวด อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะเหลือ 3.5 ACH ทั้งนี้ จากการทดลองขนาดช่องเปิด 3 ขนาด พบว่า หากช่องเปิดมีพื้นที่มากกว่าร้อยละ 8 ของพื้นที่ห้อง จะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2.12 และ 2.13

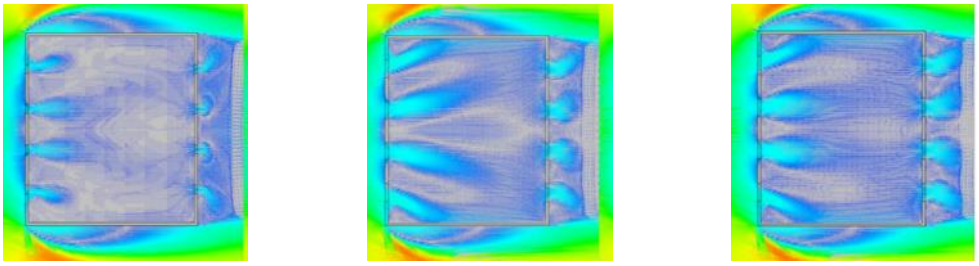


ภาพที่ 2.12 การเปรียบเทียบความเร็วลมและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีการติดมุ้งลวด (ซ้าย) และไม่มีการติดมุ้งลวด (ขวา)

(ที่มา : Mohammed, 2013)

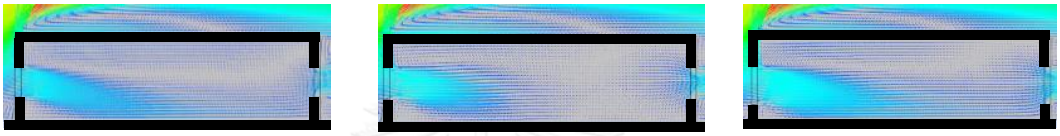
ผังพื้นแสดงระดับพื้นที่ช่องเปิดเมื่อมีการติดตั้งมุ้งลวด

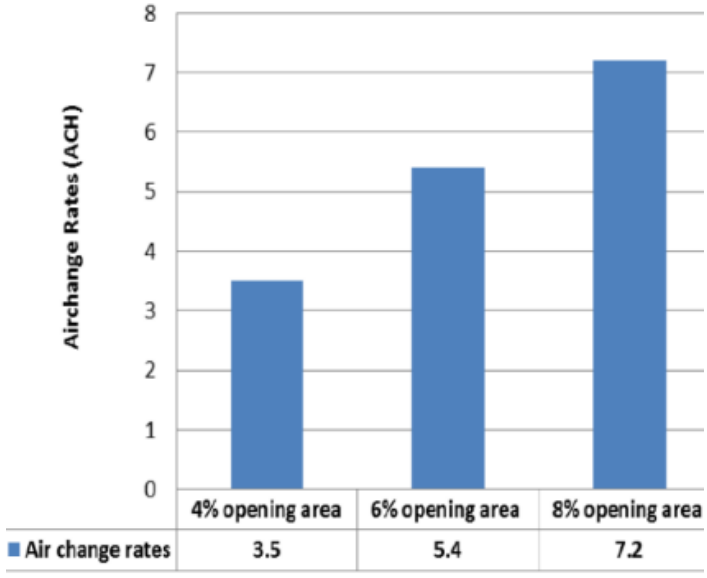
พื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ห้อง พื้นที่ช่องเปิด 6% ของพื้นที่ห้อง พื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ห้อง



ภาพตัดแสดงขนาดหน้าต่าง 3 ขนาด

0.6x1.2 เมตร 0.9x1.2 เมตร 1.2x1.2 เมตร





ภาพที่ 2.13 การเปรียบเทียบความเร็วลมและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีการเพิ่มพื้นที่ช่องเปิด 3 ระดับ เมื่อมีการติดมุ้งลวด

(ที่มา : Mohammed, 2013)

2.2.3 รูปแบบผังอาคารและการกั้นห้อง

เมื่ออากาศภายนอกไหลเข้ามาภายในอาคารผ่านทางช่องเปิดแล้ว รูปแบบผังอาคารและการกั้นห้องจะเป็นส่วนต่อไปที่มีผลกระทบต่อการระบายอากาศ จากการจำลองสถานการณ์การ

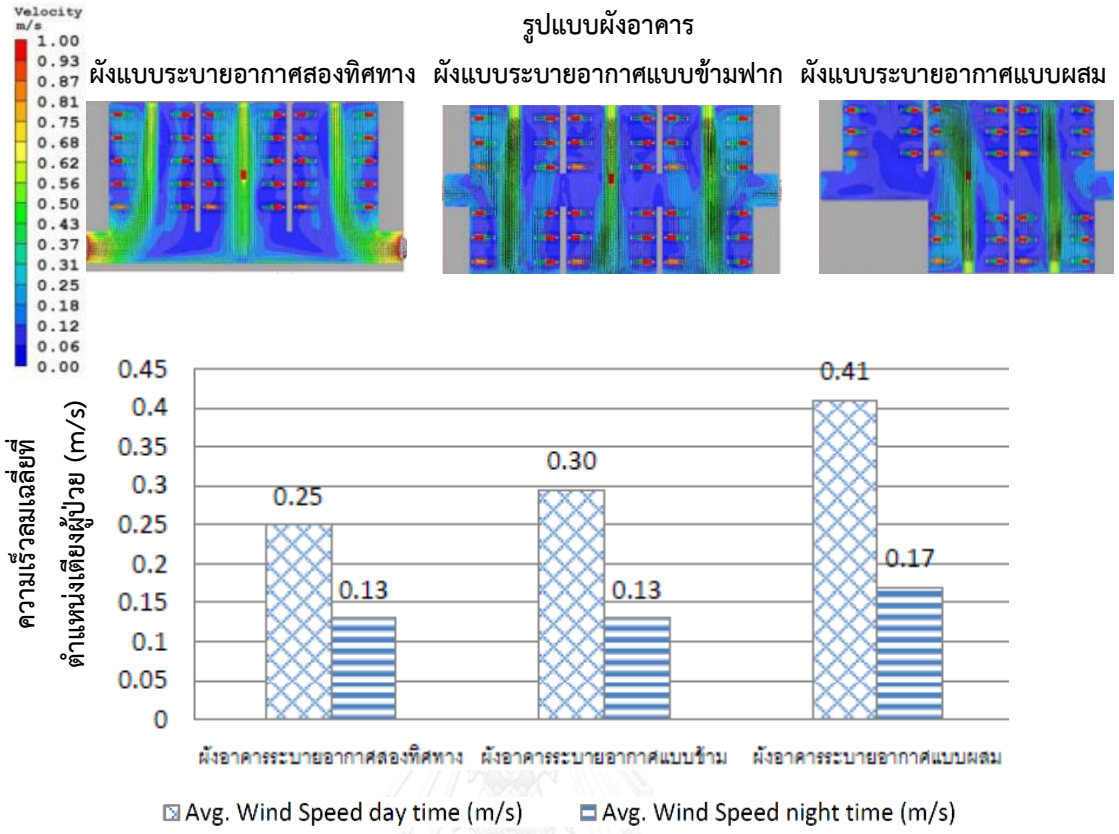
ไหลของอากาศด้วยโปรแกรม PHOENICS FLAIR ของกิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วย 3 รูปแบบผังตามลักษณะการระบายอากาศ ได้แก่

2.2.3.1 ผังแบบระบายอากาศสองทิศทาง ซึ่งมีหน้าต่าง 1 ด้านออกสู่ภายนอก มีการไหลของอากาศจากประตูไปยังหน้าต่าง โดยมีลักษณะการเข้าถึงพื้นที่ใช้สอย (เตียงผู้ป่วย) ด้วยทางสัญจรแนวราบภายในอาคารได้ด้านเดียว จึงมีลักษณะเป็นผังแบบทางเดินเดี่ยว (single-loaded corridor) ทั้งนี้ ในพื้นที่เตียงผู้ป่วยจะมีผนัง (partition) ความสูง 0.90 เมตร กั้นระหว่างเตียงผู้ป่วยแต่ละส่วน

2.2.3.2 ผังแบบระบายอากาศแบบข้ามฟาก ซึ่งมีหน้าต่าง 2 ด้านออกสู่ภายนอก มีการไหลของอากาศจากหน้าต่างอีกด้านไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยมีลักษณะการเข้าถึงพื้นที่ใช้สอย (เตียงผู้ป่วย) ด้วยทางสัญจรแนวราบภายในอาคารได้สองด้าน จึงมีลักษณะเป็นผังแบบทางเดินร่วม (double-loaded corridor)

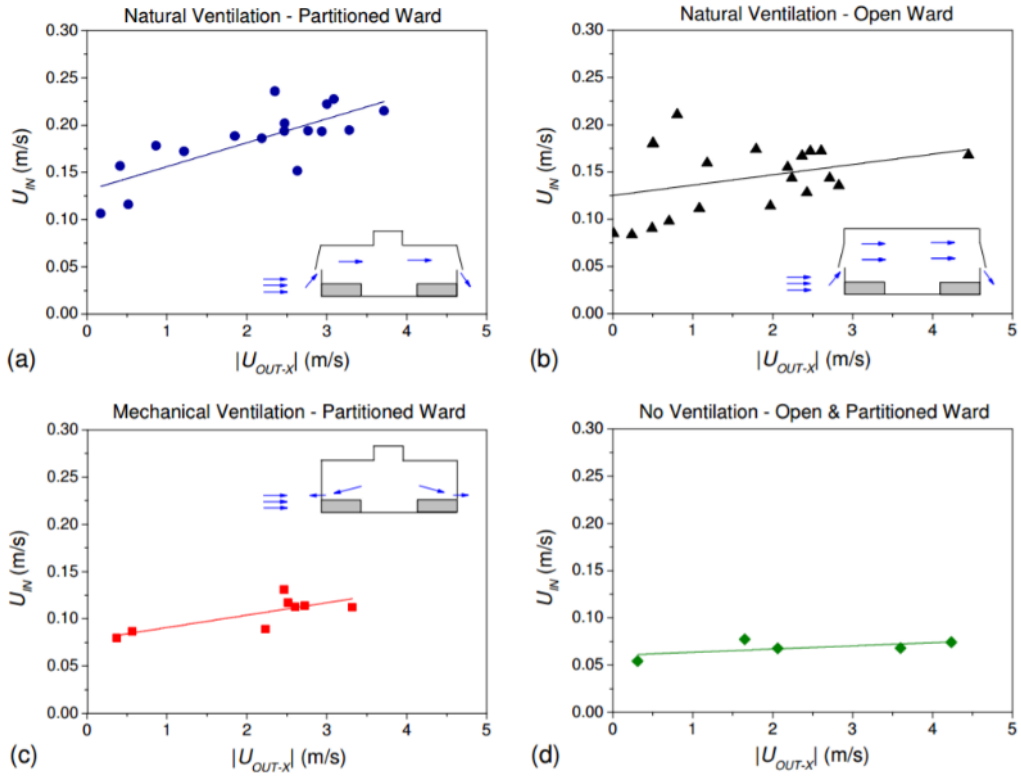
2.2.3.3 ผังแบบระบายอากาศแบบผสม ซึ่งมีลักษณะผสมระหว่างผังแบบระบายอากาศสองทิศทาง และผังแบบระบายอากาศแบบข้ามฟาก โดยมีหน้าต่าง 2 ด้านออกสู่ภายนอก แต่มีปริมาณไม่เท่ากับผังแบบระบายอากาศสองทิศทาง เนื่องจากมีสิ่งกีดขวาง เช่น ห้องเจ้าหน้าที่ โดยมีลักษณะการเข้าถึงพื้นที่ใช้สอย (เตียงผู้ป่วย) ด้วยทางสัญจรแนวราบภายในอาคารได้ทั้งด้านเดียวและสองด้าน จึงมีลักษณะเป็นผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว (double- and single- loaded corridor)

ผลการทดลอง พบว่า รูปแบบผังอาคารที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงที่สุด คือ ผังแบบระบายอากาศสองทิศทาง รองลงมาเป็นผังแบบระบายอากาศแบบข้ามฟาก แต่เมื่อศึกษาความเร็วลมที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยกลับพบว่าผังแบบระบายอากาศแบบข้ามฟาก และผังแบบระบายอากาศแบบผสมกลับมีความเร็วลมที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าอายุอากาศเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงกลับพบว่าผังแบบระบายอากาศแบบผสมมีอายุอากาศที่มากที่สุด ดังนั้นแล้ว รูปแบบผังอาคารที่สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้ดีที่สุดจึงเป็นผังแบบระบายอากาศแบบข้ามฟาก เนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านได้สะดวก ไม่มีพื้นที่เกิดอากาศหมุนวนภายในห้อง รายละเอียดดังภาพที่ 2.14 และจากการศึกษาผลกระทบของสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศ พบว่า ขนาดของสิ่งกีดขวางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เตียงมีแนวโน้มลดลง และมีอายุอากาศที่เพิ่มมากขึ้น และจะยิ่งสูงมากในตำแหน่งที่อยู่บริเวณด้านหลังสิ่งกีดขวาง โดยเมื่อความยาวของสิ่งกีดขวางนั้นยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวพื้นที่หอผู้ป่วย จะทำให้อายุอากาศเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด



ภาพที่ 2.14 ภาพจำลองการไหลของอากาศในผังระบายอากาศแบบสองทิศทาง (ซ้ายบน) ผังระบายอากาศแบบข้ามฟาก (กลางบน) และผังระบายอากาศแบบผสม (ขวาบน) และแผนภูมิค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ตำแหน่งเตียงผู้ป่วยของผังรูปแบบต่างๆ (ล่าง)
(ที่มา : กิตติคุณ ยกทรัพย์, 2558)

นอกจากนี้ ในงานวิจัยเชิงสำรวจของ Gilkeson และคณะ (2013) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศระหว่างหอผู้ป่วยแบบเปิดโล่ง (open ward) กับหอผู้ป่วยแบบมีฉากกั้น (partitioned ward) ซึ่งฉากกั้นมีขนาด 2.6 เมตร และสูงจรดฝ้าเพดาน ผลการสำรวจพบว่าหอผู้ป่วยแบบเปิดโล่งสามารถระบายอากาศได้ดีกว่าหอผู้ป่วยแบบมีฉากกั้น แต่หอผู้ป่วยแบบมีฉากกั้นสามารถป้องกันการติดเชื้อระหว่างเตียงผู้ป่วยได้ดีกว่าแบบเปิดโล่ง แต่กลับทำให้เกิดการสะสมของเชื้อโรคบริเวณเตียงผู้ป่วยที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามพบว่า ความเร็วลมในหอผู้ป่วยแบบเปิดโล่งมีความเร็วลมต่ำกว่าหอผู้ป่วยที่มีฉากกั้น ซึ่ง Gilkeson และคณะได้สรุปว่าเกิดจากความสูงฝ้าเพดานของหอผู้ป่วยแบบเปิดโล่งที่สูงถึง 3.36 เมตร ซึ่งสูงกว่าแบบมีฉากกั้นที่สูงเพียง 2.44 เมตร ดังนั้น Gilkeson และคณะจึงเสนอให้ลดความสูงฝ้าของหอผู้ป่วยแบบเปิดโล่งลงมาให้ใกล้เคียงกับความสูงฝ้าของหอผู้ป่วยที่มีฉากกั้นเพื่อที่จะทำให้มีความเร็วลมที่สูงขึ้น รายละเอียดดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายในและภายนอกในกรณีต่างๆ
(ที่มา : Gilkeson และคณะ, 2013)

2.2.4 การจัดวางเฟอร์นิเจอร์

การจัดวางเฟอร์นิเจอร์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการระบายอากาศเช่นกัน นอกเหนือไปจากการที่เฟอร์นิเจอร์สามารถเป็นสิ่งกีดขวางทางลมได้แล้ว ในงานวิจัยของจิรายุ บุญตัน (2554) การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ยังส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของอากาศภายในห้องซึ่งมีผลต่อความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคได้ จากการที่อากาศไหลเข้าปะทะกับพื้นผิวของเฟอร์นิเจอร์และเกิดการกระทบกลับ ทำให้อากาศไม่สามารถระบายออกสู่ช่องอากาศออกได้โดยตรง ดังนั้น จึงควรจัดวางเฟอร์นิเจอร์ให้พื้นผิวของวัตถุกระทบลมที่ปล่อยออกมาจากช่องปล่อยอากาศเข้าให้น้อยที่สุด เพื่อเป็นการลดจำนวนรอบหมุนของอากาศหมุน (eddy) และลดความแปรปรวนและความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อโรค

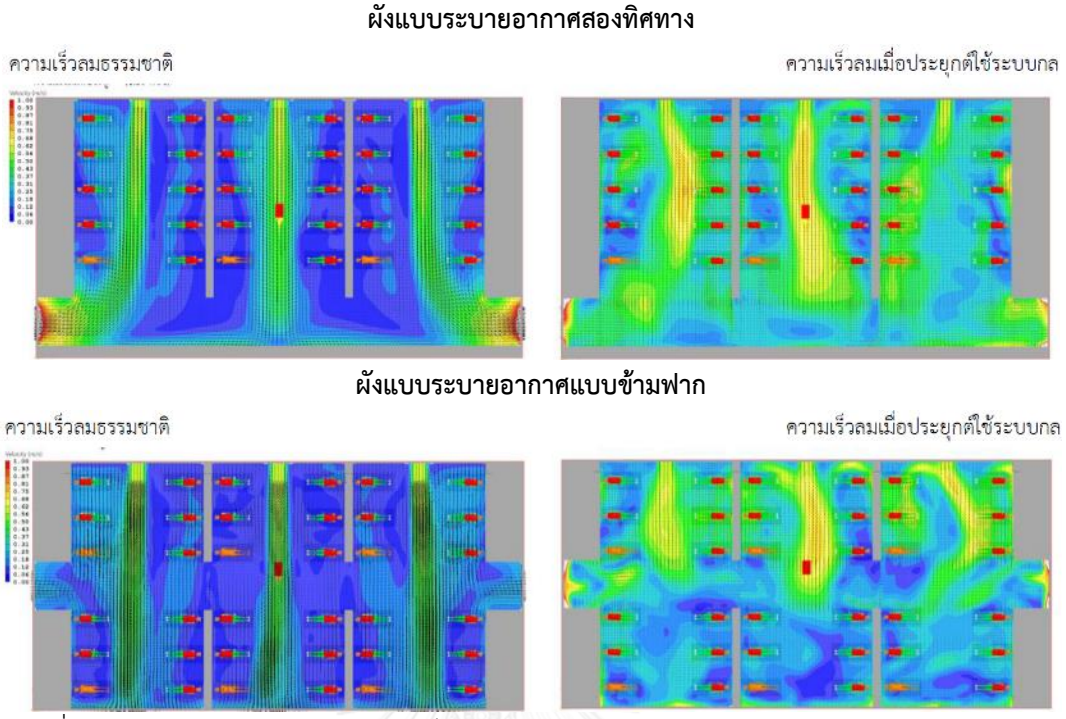
2.2.5 การเสริมระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล

ตามที่ Qian และ Li (2010) Inkarojrit (2010) และ Gilkeson และคณะ (2013) ได้เสนอให้มีการใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ เพื่อเสริมให้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยวิธี

ธรรมชาติเป็นสิ่งที่ไม่สามารถคาดเดาได้แน่นอน จากการที่ทิศทางลมและความเร็วลมที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพิ่มปริมาณอากาศเข้า-ออก และควบคุมทิศทางการไหลของอากาศให้เหมาะสม ดังผลสำรวจการระบายอากาศในหอผู้ป่วยของ Inkarojrit (2010) ที่พบว่า หอผู้ป่วยที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าหอผู้ป่วยที่ไม่ได้ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ทั้งนี้ ขนาดและจำนวนของพัดลมระบายอากาศจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศจะต้องให้พัดลมสามารถดูดอากาศออกไปสู่ภายนอกอาคารได้โดยตรง ไม่ว่าจะเป็นทางผนังหรือหลังคา และควรได้รับการพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติให้มากที่สุด ซึ่งควรมีการวัดและทดสอบผลการติดตั้งพัดลมระบายอากาศก่อนการใช้งานจริง โดยรูปแบบพัดลมระบายอากาศที่พบได้มากในสถานพยาบาล คือ พัดลมระบายอากาศชนิดติดผนังหรือกระจก ซึ่งเป็นพัดลมชนิดใบพัดที่ WHO (1999a) แนะนำให้สถานพยาบาลที่มีทรัพยากรจำกัดใช้ โดยติดตั้งไว้กับผนังและกระจก มีระดับเสียงปานกลาง ใช้ไฟฟ้าน้อย ระบายอากาศได้ตั้งแต่ 200-300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป ส่วนมากพบในห้องผู้ป่วยพิเศษ หอพักผู้ป่วย หรือสำนักงาน (อานุภาพ ละออ, 2558)

ภาพที่ 2.16 พัดลมระบายอากาศชนิดติดผนัง (ซ้าย) และพัดลมระบายอากาศชนิดติดกระจก (ขวา)
(ที่มา : อานุภาพ ละออ, 2558)

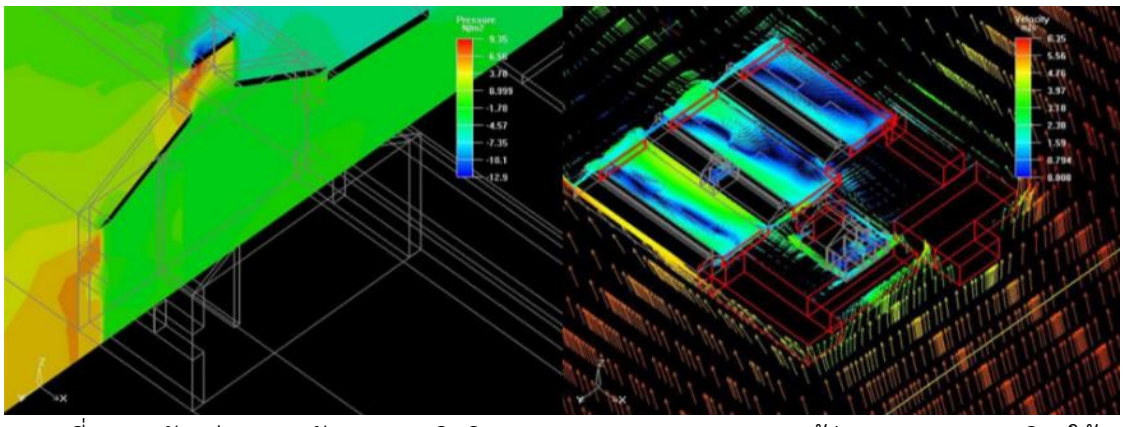
นอกจากนี้ ยังพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการระบายอากาศเมื่อมีการเสริมระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล ทั้งในรูปแบบพัดลมประเภทใบพัด และระบบท่ออากาศของกิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลสามารถช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและลดอายุอากาศได้ในทุกผังอาคาร และทำให้ค่าความเร็วลมภายในพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 0.3 เมตร/วินาที โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะสูงสุดเมื่อติดตั้งระบบกลแบบใบพัดภายในหอผู้ป่วยที่มีการระบายระบายอากาศสองทิศทางและแบบข้ามฟาก รายละเอียดดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 ภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมและอายุอากาศของผังระบายอากาศแบบสองทิศทาง และแบบข้ามฟาก เมื่อมีการติดตั้งระบบกลระบายอากาศ
(ที่มา : กิตติคุณ ยกทรัพย์, 2558)

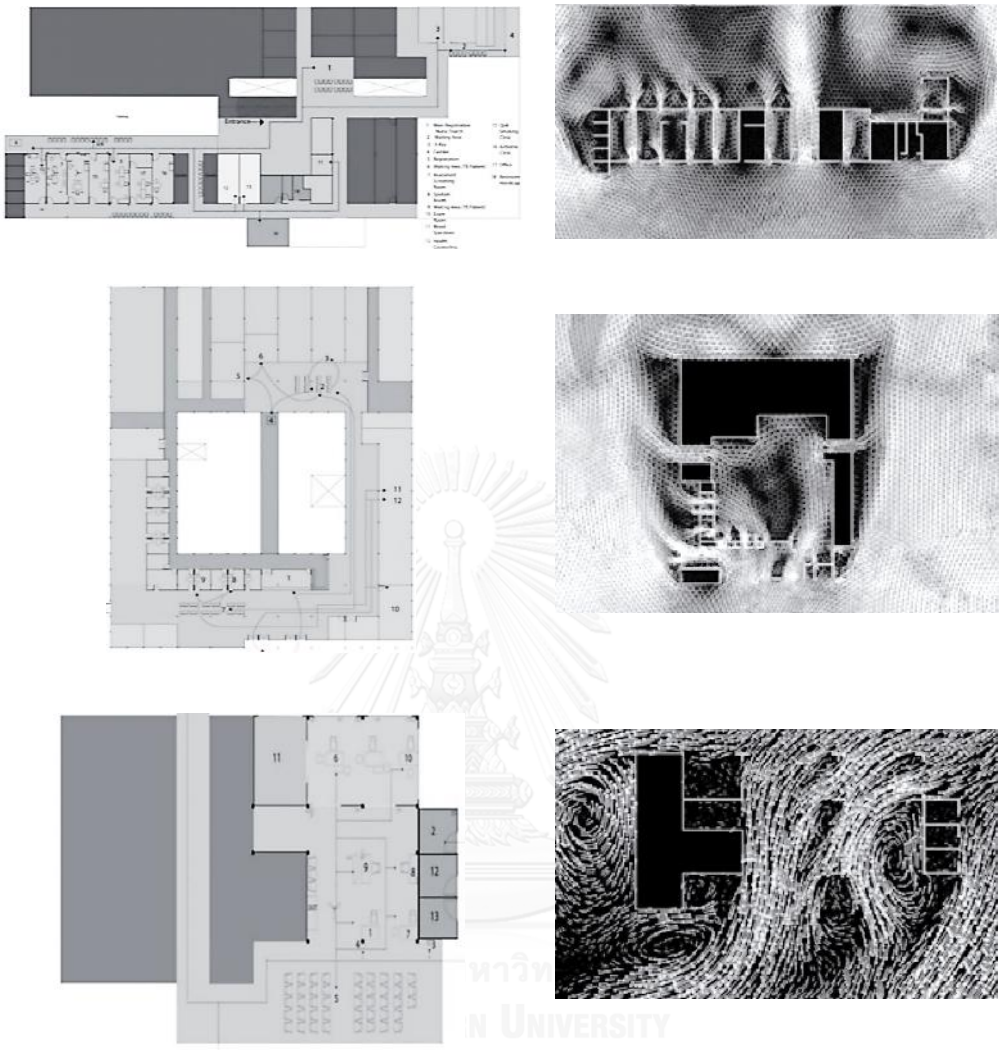
2.2.6 อื่นๆ

นอกจากปัจจัยที่ได้นำเสนอไปแล้วในข้างต้น ยังพบงานวิจัยที่ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงหอผู้ป่วยที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากอีกหลายปัจจัย เช่น งานวิจัยของ Nice และคณะ (2015) เรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติจากการออกแบบกับการประเมินสภาพแวดล้อมจริงในหอผู้ป่วยวัณโรคของประเทศแอฟริกาใต้ เพื่อศึกษาปัจจัยทางด้านองศาของหลังคา ประเภทและขนาดของหน้าต่าง ตำแหน่งของสันหลังคา ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ (ภาพที่ 2.18) ร่วมกับการใช้ tracer gas ทดสอบประสิทธิภาพในสถานที่จริง ผลการศึกษาพบว่าหากมีการใช้ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อย่างเหมาะสมจะสามารถทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ดีถึงดีมากตามเกณฑ์การระบายอากาศที่แนะนำของ WHO และ CDC ซึ่งผลจะชัดเจนยิ่งขึ้นในภูมิภาคทางด้านชายฝั่งของประเทศ รวมทั้งได้มีการทำแบบสอบถามภายหลังการปรับปรุง เพื่อใช้ในการยืนยันว่าการปรับปรุงที่ดำเนินการไปนั้นสามารถพัฒนาคุณภาพอากาศของหอผู้ป่วยวัณโรคได้จริงอีกด้วย



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศของหอผู้ป่วย ประเทศแอฟริกาใต้ (ที่มา : Nice และคณะ, 2558)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติในสถานพยาบาลตามที่ทบทวนวรรณกรรมมาข้างต้นนั้น เห็นได้ว่าจะเน้นศึกษาในส่วนของหอพักผู้ป่วยเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม ยังพบว่ามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรคโดยตรง คือ งานวิจัยของ Phuapradit และ Inkarojrit (2013) เรื่องการประเมินสภาพแวดล้อมสำหรับการควบคุมการติดเชื้อในสถานพยาบาล กรณีศึกษาคลินิกวัณโรค 3 แห่ง ในประเทศไทย โดยศึกษาในพื้นที่ที่มีผู้ป่วยใช้งานด้วยการสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรมการใช้งาน และนำแผนผังของคลินิกดังกล่าวมาจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้งานกับพื้นที่ใช้สอย (ภาพที่ 2.19) โดยพบการวิเคราะห์พบว่า ปัจจุบัน แผนผังอาคารของกรณีศึกษาทั้ง 3 แห่ง มีการกีดกันการไหลของอากาศ ซึ่งอาจทำให้เกิดการติดเชื้อระหว่างผู้ป่วยและเจ้าหน้าที่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณโถงพักคอย ซึ่งเป็นจุดที่มีทั้งผู้ป่วยวัณโรค และไม่ใช่ผู้ป่วยวัณโรคนั่งรอการตรวจรักษา และตำแหน่งและขนาดของหน้าต่างมีขนาดที่เล็กเกินไป รวมถึงการจัดพื้นที่ใช้สอยยังไม่สัมพันธ์กันกับเส้นทางการใช้งานของผู้ป่วยและเจ้าหน้าที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการติดเชื้อได้ โดยสรุปแล้ว การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติสามารถให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าการระบายอากาศด้วยวิธีกลเมื่อเทียบกับความคุ้มค่าทางด้านการใช้พลังงาน และยังเหมาะสมต่อการใช้งานในเขตร้อนชื้น เช่น ในประเทศไทย การติดตั้งระบบปรับอากาศอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้และมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาในระยะยาว ทั้งนี้ ผู้วิจัยเสนอว่าควรมีการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารและเพิ่มช่องเปิดสำหรับการระบายอากาศธรรมชาติที่มากขึ้น รวมถึงการทำฝ้าเพดานสูง



ภาพที่ 2.19 ผลการจำลองการไหลของอากาศในผังคลินิกวัณโรค 3 แห่ง
(ที่มา : Phuapradit และ Inkarojrit, 2013)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอผลการสำรวจประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรคที่ได้รับจากการลงสำรวจในพื้นที่จริง แต่ยังมิได้นำเสนอรายละเอียดเชิงลึกในแนวทางการออกแบบสำหรับส่วนคลินิกวัณโรคสำหรับการประยุกต์ใช้กับพื้นที่จริง

จากการทบทวนวรรณกรรมส่วนที่ 2 เรื่องการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาล สามารถแบ่งงานวิจัยได้ออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ งานวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีการลงสำรวจประสิทธิภาพการระบายอากาศในพื้นที่จริง และงานวิจัยเชิงทดลองด้วยการจำลองพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรมต่างๆ อาทิ PHOENICS FLAIR, HEATX, FLUENT, SolidWorks Flow

Simulation ซึ่งมีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยมีการศึกษาถึงปัจจัยทางด้านช่องเปิดในหลายประเด็น คือ ตำแหน่งช่องเปิดควรตั้งอยู่ในทิศทางตรงข้ามกัน และไม่อยู่ในระดับที่สูงมากจนกระแสลมไม่ผ่านในระดับพื้นที่ใช้งาน ควรมีขนาดช่องเปิดที่ใหญ่เมื่อประกอบกับความเร็วลมภายนอกที่สูง ก็จะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น ส่วนผังอาคารในแบบระบายอากาศข้ามฟากเป็นรูปแบบผังอาคารที่ระบายอากาศได้ดีที่สุด การกั้นห้อง การวางเฟอร์นิเจอร์ควรหลีกเลี่ยงการปะทะกับกระแสลม เพราะมีผลต่อการเกิดอากาศหมุน ซึ่งเชื้อโรคสามารถสะสมอยู่ได้ ทั้งนี้ พฤติกรรมของผู้ใช้งานก็เป็นส่วนสำคัญ เพราะการปิดหน้าต่างมีผลต่อการลดลงของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอย่างมาก ซึ่งการเสริมระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลเป็นวิธีที่สามารถช่วยให้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมีประสิทธิภาพที่สม่ำเสมอ

งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งศึกษาในส่วนหอผู้ป่วยเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ยังพบว่ามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาในส่วนของคลินิกวัณโรคโดยตรง แต่ยังไม่ได้มีการลงรายละเอียดสำหรับการประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบกับพื้นที่จริง อีกทั้งงานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของอาคารข้างเคียงที่มีต่อการระบายอากาศ ซึ่งนิสิตได้พบปัญหามาจากการลงสำรวจในพื้นที่จริง ดังนั้น จึงได้ทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมในเรื่องของผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพิ่มเติม ดังนี้

2.3 ผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ สามารถจำแนกปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการระบายอากาศที่มีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยมาแล้ว ดังนี้

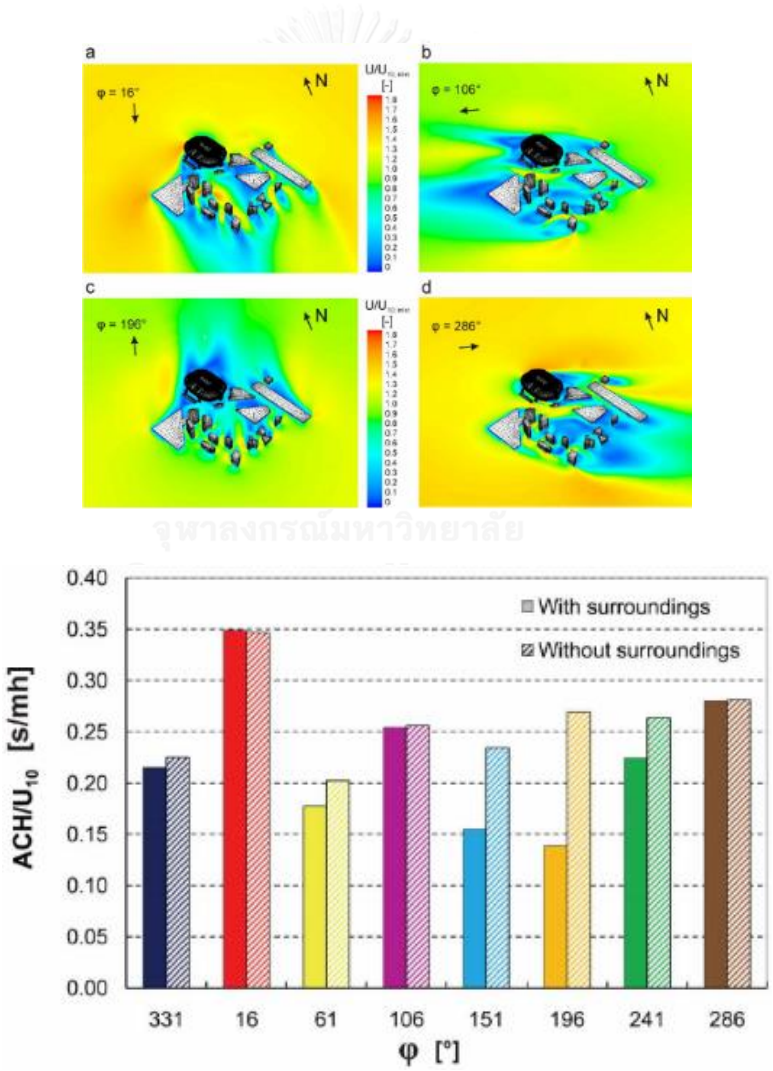
2.3.1 การมีและไม่มีอาคารข้างเคียง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ทำการศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติด้วยวิธีการจำลองการไหลของอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ โดยที่ยังไม่คำนึงถึงบริบทสิ่งแวดล้อมเมือง หรือไม่ได้มีการศึกษาทิศทางลมครบทุกทิศทาง Hooff และ Blocken (2010) จึงทำการจำลอง 8 ทิศทางการไหลของลมในสนามกีฬากึ่งปิด 2 กรณี คือ 1. ไม่มีอาคารแวดล้อม และ 2. มีอาคารแวดล้อม (ในรัศมี 500 เมตร) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีอาคารแวดล้อมจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ลดลง โดยมีรายละเอียดของแต่ละกรณี ดังนี้

2.3.1.1 กรณีไม่มีอาคารแวดล้อม จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 0.20-0.35 เมตร/วินาที โดยเมื่อนำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุด-ต่ำสุดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าสามารถแตกต่างกันได้มากที่สุดถึงร้อยละ 75

2.3.1.2 กรณีมีอาคารแวดล้อม จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 0.14-0.35 เมตร/วินาที โดยเมื่อนำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุด-ต่ำสุดมาเปรียบเทียบกัน พบว่า สามารถแตกต่างกันได้มากที่สุดถึงร้อยละ 152

จากการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของทั้งสองกรณีนี้ (ภาพที่ 2.20) ทำให้สรุปได้ว่า การใช้วิธีการจำลองการไหลของอากาศด้วยคอมพิวเตอร์หากไม่มีการคำนึงถึงอาคารแวดล้อมแล้วอาจทำให้มีการประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงกว่าความเป็นจริงถึงร้อยละ 96 อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันระหว่างด้านต้นลมและด้านใต้ลมมีน้อยลงจากผลกระทบของพื้นที่อับลม (Tominaga และ Blocken, 2015) และยิ่งน้อยลงอีกเมื่อมีอาคารที่ทำการศึกษาอยู่ในพื้นที่ที่ความหนาแน่นของอาคารข้างเคียงสูง



ภาพที่ 2.20 การจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในทิศทางต่างๆ (บน) และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกรณีที่มีและไม่มีอาคารข้างเคียงใน 8 ทิศทางลม (ล่าง)
(ที่มา : Hooff และ Blocken, 2010)

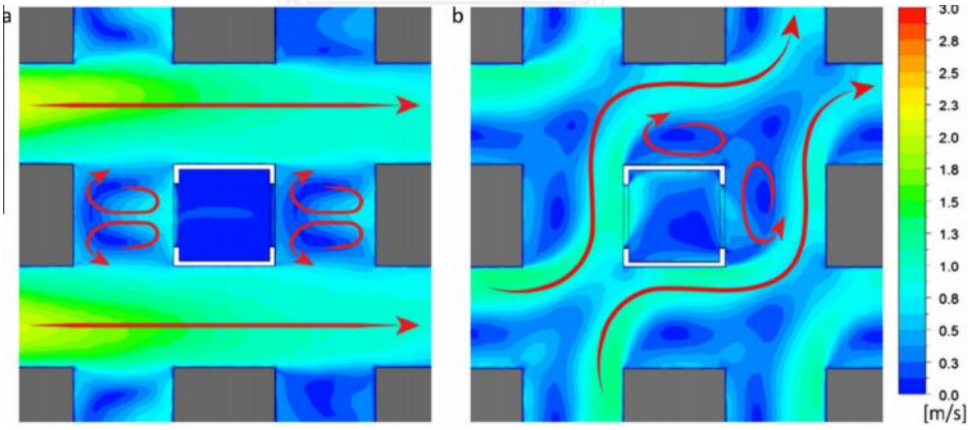
อย่างไรก็ตาม ลักษณะของสภาพแวดล้อมและลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษาล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ จึงพบงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าว โดยแบ่งเป็นงานวิจัยที่ทำการศึกษาปัจจัยลักษณะของสภาพแวดล้อม และปัจจัยลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษา ดังนี้

2.3.2 ลักษณะของสภาพแวดล้อม

ลักษณะของสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารส่งผลต่อความเร็วและการไหลของกระแสลมได้โดยตรง ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีผู้วิจัยทำการศึกษาแล้ว คือ

2.3.2.1 ทิศทางลมภายนอก

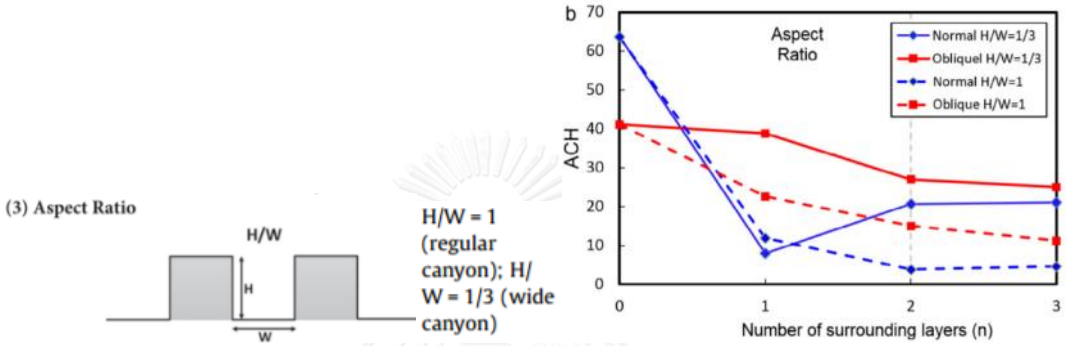
ทิศทางลมภายนอกส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเมื่อทิศทางลมแนวเฉียงให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ที่สูงกว่าทิศทางลมแนวตรง เนื่องจากลมในทิศทางตรงจะปะทะกับอาคารข้างเคียงในด้านต้นลมและก่อให้เกิดพื้นที่ความเร็วลมต่ำบริเวณพื้นผิวใต้ลมซึ่งอยู่ติดกันกับช่องเปิดของอาคารที่ทำการศึกษา แต่ลมในทิศทางแนวเฉียงจะเริ่มแยกตัวเมื่อปะทะกับด้านต้นลมในส่วนหัวมุมอาคารข้างเคียงก่อนที่ลมจะกลับมาบรรจบกันอีกครั้งจะไหลไปยังอาคารข้างเคียงต่อไป (ภาพที่ 2.21) (Tong และคณะ, 2016) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Cui และคณะ, 2013) ที่ระบุว่าทิศทางลมแนวเฉียงสามารถทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ดีขึ้นถึง 2-5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางลมแนวตรงเช่นกัน



ภาพที่ 2.21 ความเร็วลมใน ทิศทางลมแนวตรง (a) และ ทิศทางลมแนวเฉียง (b)
(ที่มา : Tong และคณะ, 2016)

2.3.2.2 ขนาดช่องว่างระหว่างอาคาร

Tong และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนของระยะห่างระหว่างอาคารข้างเคียงในขนาดมาตรฐานและขนาดกว้าง ต่อรูปแบบการไหลของอากาศโดยรอบอาคาร โดยผลการวิจัยพบว่า ระยะที่ห่างมากกว่าจะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ที่สูงกว่า (ภาพที่ 2.22) เนื่องจากระยะห่างที่มากพอระหว่างอาคารข้างเคียง จะช่วยให้ลมที่มีความเร็วสูงมีระยะที่สามารถไหลกลับมาบรรจบกันก่อนที่จะเข้าปะทะอาคารอื่นต่อไปได้ (ภาพที่ 2.21)



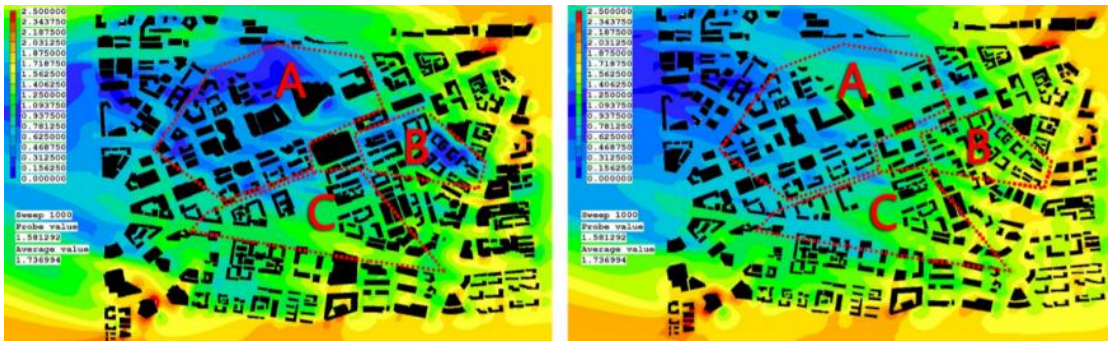
ภาพที่ 2 22 ขนาดช่องว่างระหว่างอาคารที่ทำการศึกษา (ซ้าย) และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในทิศทางลมและขนาดช่องว่างของกรณีต่างๆ (ขวา)

(ที่มา : Tong และคณะ, 2016)

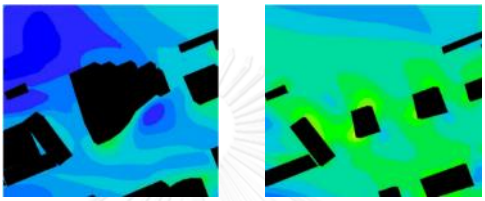
2.3.2.3 รูปทรงและความหนาแน่นของอาคารแวดล้อม

Qian และ Li (2010) ระบุว่า อาคารที่ล้อมรอบด้วยสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่ธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ สนามหญ้า บ่อน้ำ จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและคุณภาพอากาศที่ดีกว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคาร กลุ่มอาคาร หรืออาคารสูง รวมถึงงานวิจัยของ Guo และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาความเร็วลมในเมือง Dalian และพบว่า การวางผังอาคารแบบปิดล้อม การก่อสร้างอพาร์ทเม้นท์ที่แผ่กระจายไปในแนวยาว และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาคารสูงที่มีส่วนฐานอาคารขนาดใหญ่และทึบตัน สามารถลดความเร็วลมที่เข้ามาได้ถึงร้อยละ 78 โดยภายหลังการปรับปรุง พบว่า การเพิ่มความสูงอาคารเพื่อลดพื้นที่ปกคลุมดิน โดยที่พื้นที่ของอาคารที่ทำการปรับปรุงไม่ได้เปลี่ยนแปลงไป เป็นวิธีการที่ทำให้มีการระบายอากาศที่ดีที่สุด โดยจะสามารถเพิ่มความเร็วลมได้มากถึง 2.4 เท่า จากรูปแบบเดิม (ภาพที่ 2.23) เนื่องจากพื้นที่อับลม (เงาลม) จะเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ที่มากขึ้นตามความสูงและความกว้างของอาคารข้างเคียง (พิมพ์ชนก สายพิมพ์, 2552) ดังนั้น อาคารที่ทำการศึกษาที่แวดล้อมด้วยสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่ธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ สนามหญ้า บ่อน้ำ จึงมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและคุณภาพอากาศที่ดีกว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคาร กลุ่มอาคาร หรืออาคารสูง (Qian และ Li, 2010)

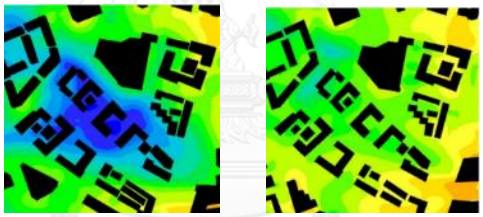
ก่อนการปรับปรุง **หลังการปรับปรุง**



ภาพขยายพื้นที่โซน A

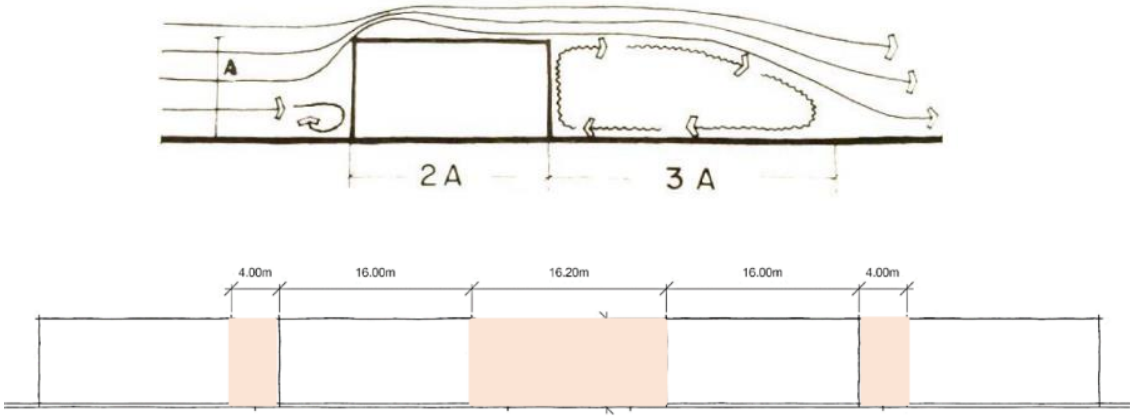


ภาพขยายพื้นที่โซน B



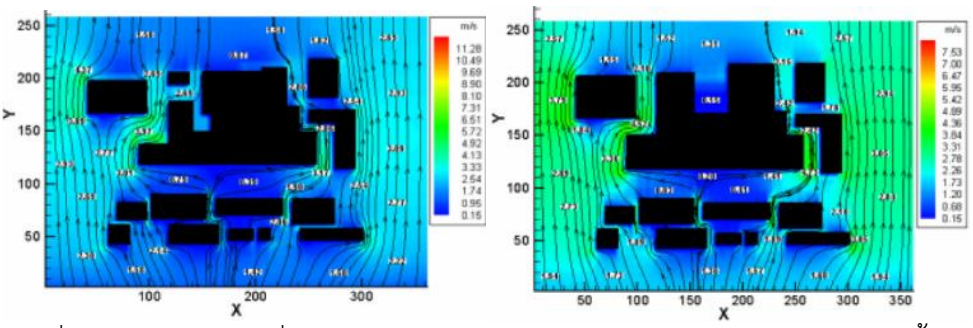
ภาพที่ 2.23 การเปรียบเทียบความเร็วลมก่อนและหลังการปรับปรุงรูปทรงการวางอาคาร
(ซ้าย : ก่อนทำการปรับปรุง ขวา : หลังทำการปรับปรุง)
(ที่มา : Guo และคณะ, 2015)

โดยสัดส่วนระยะความกว้างของพื้นที่อับลมจะแตกต่างกันตามระยะความสูงต่อความลึกของอาคารต่อระยะบังลมในอัตราส่วน 1:2:3 (Melaragno, 1982) แต่ในทางปฏิบัติของกฎหมาย เช่น ในกรณีบ้านตึกแถวของประเทศไทย ซึ่งกฎกระทรวงฉบับที่ 55 ระบุไว้ว่า บ้านแถวสามารถเรียงหน้ากว้างได้ถึง 40 เมตร รวมถึงระยะความกว้างของถนนที่กว้าง 16.20 เมตร ทำให้สัดส่วนของกลุ่มบ้านแถวและที่ว่างระหว่างกลุ่มอาคารไม่เป็นไปตามสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศ (ภาพที่ 2.24) ซึ่งอรุณโรจน์ สิริโภควิบูลย์ และสัทธา ปัญญาแก้ว (2558) เสนอให้โครงการบ้านแถวมีความลึกของอาคารที่น้อยที่สุด และวางผังแบบมีพื้นที่ว่างไว้ตรงกลาง และแบ่งพื้นที่ช่องในแต่ละแถว จะช่วยให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ที่ดีขึ้น



ภาพที่ 2.24 การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่เงาลมตามทฤษฎี (บน) และระยะห่างระหว่างอาคารที่เกิดตามกฎหมายซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่อาคารและพื้นที่ว่างไม่สัมพันธ์ตามทฤษฎี (ล่าง)
(ที่มา : ปรับปรุงจาก Melaragno, 1982; อรุณโรจน์ สิริโภควิบูลย์ และสัทธา ปัญญาแก้ว, 2558)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องผลกระทบของกลุ่มอาคารต่อกระแสลมของสถานพยาบาลด้วย โดยเน้นไปที่การศึกษาผลกระทบของกระแสลมต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร กรณีศึกษาโรงพยาบาลศิริราช (กฤษณพงศ์ ทองศรี, 2549) ซึ่งทำการศึกษาถึงกระทบที่เกิดจากการเพิ่มความเร็วและการเปลี่ยนทิศทางของกระแสลมจากปัจจัยต่างๆ ต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วลม และทิศทางลมจากที่สถานที่จริงก่อนการสร้างอาคาร และทำการจำลองผลกระทบที่เกิดเมื่อการก่อสร้างอาคารแล้วเสร็จ เนื่องจากการก่อสร้างอาจทำให้ลมแรงขึ้น จนนำไปสู่การเสียพื้นที่ใช้สอยบริเวณใต้ถุนอาคาร ด้วยการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในทิศทางต่างๆ ในโปรแกรม HEATX โดยกำหนดความเร็วลมที่เข้าสู่โครงการจำนวน 2 ค่า คือที่ 1.7 m/s ซึ่งกำหนดมาจากความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ที่มีความถี่มากที่สุด และที่ 8.0 m/s ซึ่งกำหนดมาจากค่าความเร็วลมสูงสุดที่ทำการวัดได้ในสถานที่จริง (ภาพที่ 2.25) โดยผลการศึกษา พบว่า หากความเร็วลมเท่ากับค่าเฉลี่ยที่ 1.7 m/s จะทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะน่าสบาย ในขณะที่หากความเร็วลมเท่ากับ 8.0 m/s ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยจะทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะไม่น่าสบาย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของกลุ่มอาคารชิ้นนี้ เป็นการศึกษาในประเด็นของสภาวะน่าสบาย และไม่ได้มีการศึกษาในประเด็นเรื่องการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ จึงใช้งานวิจัยนี้ในการอ้างอิงถึงวิธีการ ตัวแปรด้านความเร็วและทิศทางกระแสลมเท่านั้น



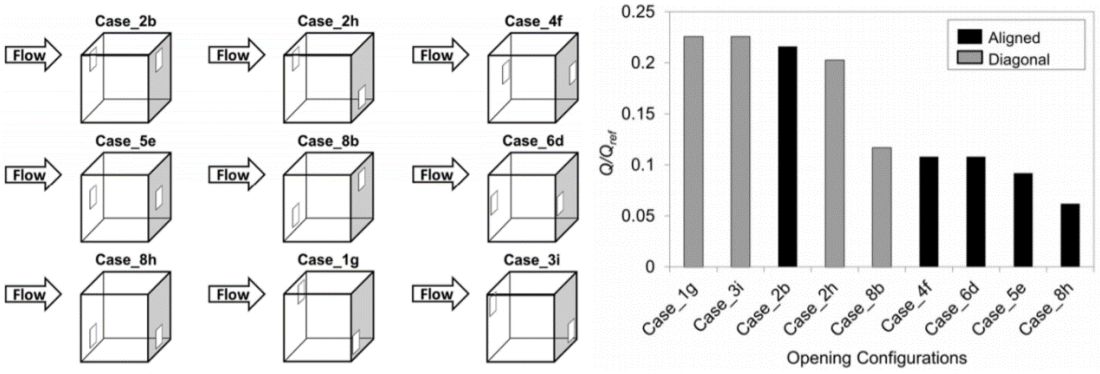
ภาพที่ 2.25 ความเร็วลมที่เข้าปะทะกลุ่มอาคารในระดับความสูง 2 เมตร จากระดับพื้นดิน
(ที่มา : กฤษณพงศ์ ทองศรี, 2549)

2.3.3 ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษา

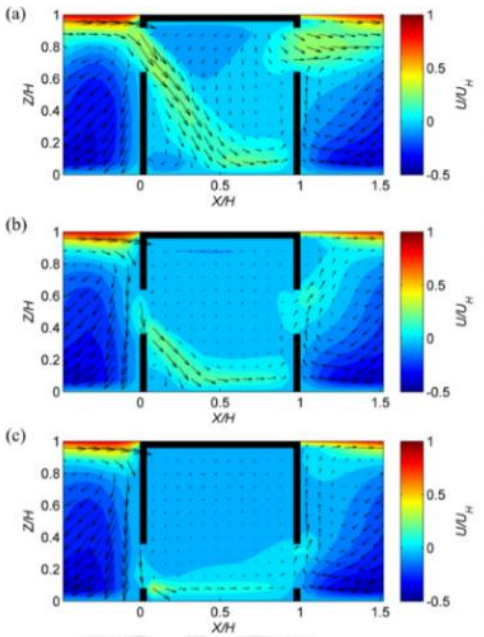
ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษามีผลกระทบต่อการระบายอากาศได้ เนื่องจากส่งผลต่อปริมาตรอากาศที่เข้ามาภายในอาคาร ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีผู้วิจัยทำการศึกษาแล้ว คือ

2.3.3.1 ตำแหน่งช่องเปิดของอาคารที่ทำการศึกษา

จากงานวิจัยเรื่องตำแหน่งช่องเปิดกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในเขตเมืองของ Kasim และคณะ (2016) เล็งเห็นว่าช่องเปิดเป็นส่วนสำคัญสำหรับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ การศึกษาผลกระทบของจากความหนาแน่นของเมืองที่มีต่อช่องเปิดจึงสำคัญ โดยทำการศึกษาตำแหน่งช่องเปิดใน 9 กรณีศึกษา และมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการระบายอากาศด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ดังภาพที่ 2.26 ผลการทดลองพบว่า ตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ในส่วนบนสุดของผนังที่ปะทะต้นลม จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ดีกว่าตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ใกล้พื้นดิน จากการที่ลมที่ปะทะกับผนังไหลลงตั้งฉากกับผนังด้านต้นลม จึงทำให้อากาศที่เข้ามาภายในอาคารที่ช่องเปิดอยู่ใกล้ระดับพื้นน้อยลง ดังภาพที่ 2.27

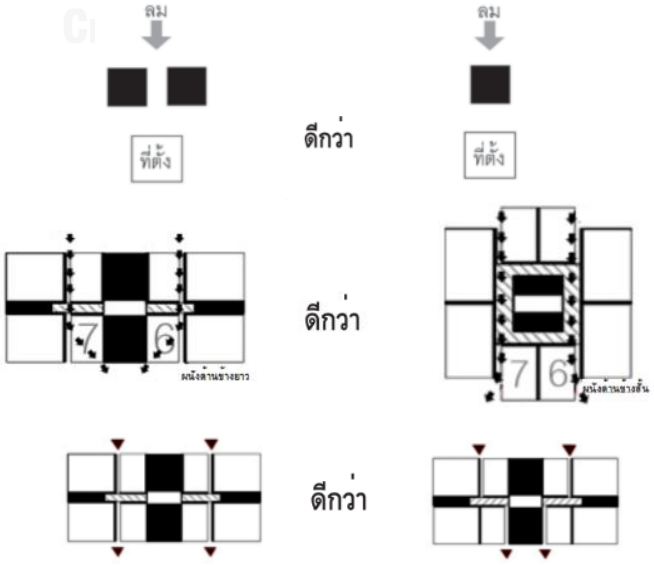


ภาพที่ 2.26 ตำแหน่งช่องเปิดใน 9 กรณีศึกษา (ซ้าย) และผลการระบายอากาศ (ขวา)
(ที่มา : Kasim และคณะ, 2016)



ภาพที่ 2.27 ความเร็วลมในตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ในความสูงระดับสูงสุด (a) ความสูงในระดับปานกลาง (b) และความสูงในระดับล่างสุด (c)
(ที่มา : Kasim และคณะ, 2016)

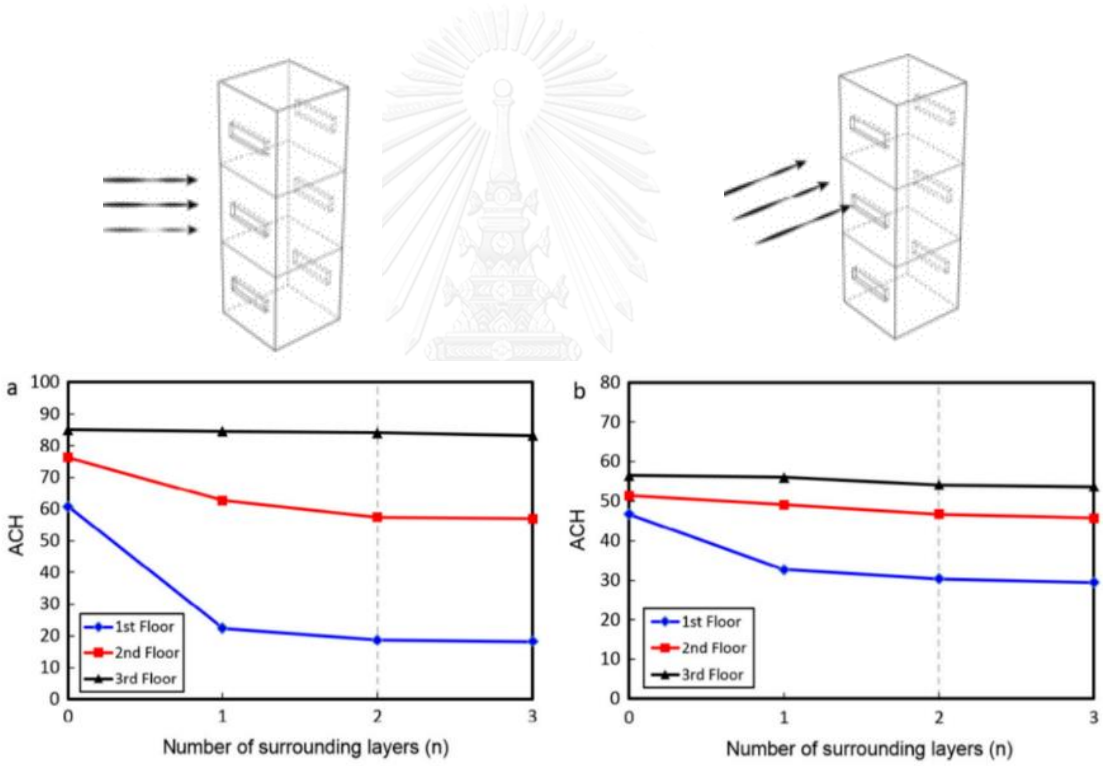
นอกจากนี้ ช่องเปิดยังควรมีตำแหน่งที่ตรงกัน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการรับลมสูงสุด และหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอาคารมากกว่า 1 หลังบังลม และมีช่องว่างระหว่างอาคาร ให้จัดตำแหน่งของอาคารอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างอาคารที่บังลม เพื่อให้ลมเข้าถึงได้ง่ายและยังทำให้ลมที่เข้ามามีความเร็วเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.28)



ภาพที่ 2.28 การเปรียบเทียบรูปแบบของที่ตั้งอาคารและช่องเปิดที่แนะนำ
(ที่มา : เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์ และดารณี จารีมิตร, 2005)

2.3.3.2 ความสูงของอาคารที่ทำการศึกษา

จากการทดลองของ Tong และคณะ (2016) ที่ได้ศึกษาถึงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของอาคารที่ทำการศึกษาในระดับชั้นที่ต่างกัน โดยกำหนดให้อาคารข้างเคียงมีความสูง 1 ชั้น และอาคารที่ทำการศึกษา 3 ชั้น พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของอาคารที่ทำการศึกษาในชั้นที่ 1 มีประมาณ 20-30 ACH และ ชั้นที่ 2 มีประมาณ 50-60 ACH และชั้นที่ 3 มีประมาณ 55-85 ACH จึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่ออาคารที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับที่สูงกว่าอาคารข้างเคียง ไม่ว่าจะมีจำนวนของอาคารข้างเคียงมากเท่าใด ก็จะยังคงมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงได้อยู่เนื่องจากอยู่ในความสูงที่พ้นช่วงพื้นที่อับลมที่เกิดจากอาคารข้างเคียงไปแล้ว รายละเอียดดังภาพที่ 2.29



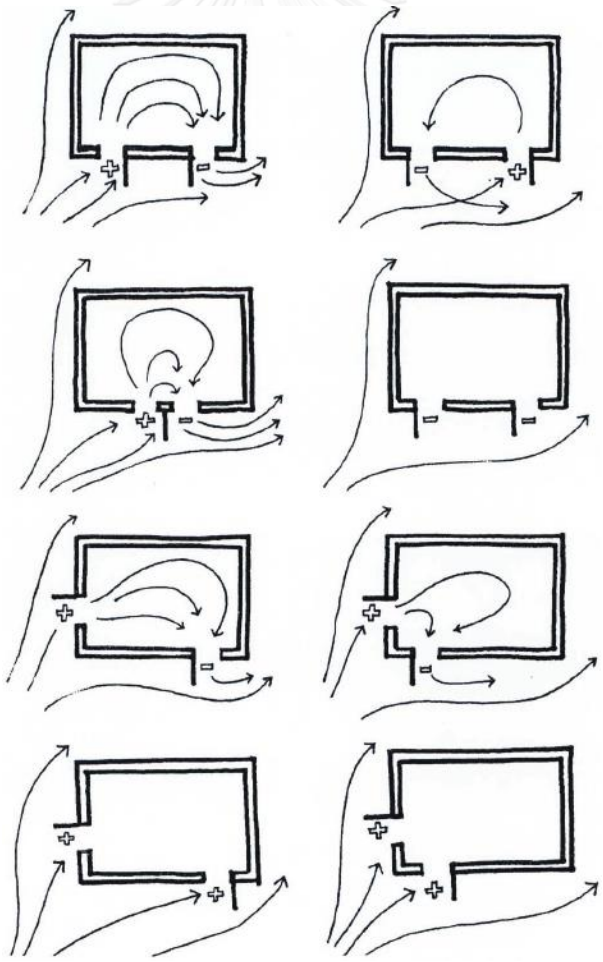
ภาพที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของค่า ACH ที่มีต่อการเพิ่มจำนวนชั้นแถวในความสูง 1-3 ชั้น ในกรณี (a) เมื่อมีทิศทางลมแนวตรง และ (b) เมื่อมีทิศทางลมเฉียง

(ที่มา : Tong และคณะ, 2016)

2.3.3.3 ผนังดักลม (wing wall)

ผนังดักลมเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมในงานอาคารเขียว มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลมเข้าสู่อาคาร เนื่องจากเป็นการเพิ่มความแตกต่างของความดันอากาศระหว่างทางเข้าและทางออกของลม (ภาพที่ 2.30) และสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการระบาย

อากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติได้ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของผนังดักลมร่วมกับอาคารข้างเคียง คือ งานวิจัยของ Cui และคณะ (2013) โดยทำการศึกษารูปแบบผนังดักลมในแนวตั้ง (vertical wing wall) และรูปแบบผนังดักลมในแนวนอน (horizontal wing wall) กับกรณีศึกษาจำนวน 18 กรณี และนำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมาเปรียบเทียบกันระหว่างการมีและไม่มีผนังดักลมแนวตั้งและแนวนอน ทิศทางลมแนวตรงและแนวเฉียง และการมีและไม่มีอาคารข้างเคียง รวมถึงความสูงของอาคารข้างเคียง ดังตารางที่ 2.3 โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการระบายอากาศจากการใช้ผนังดักลมแนวตั้ง มีผลทั้งทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้นและลดลง และผนังดักลมในแนวนอนไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในทุกกรณี และในบางกรณีที่ทำให้ลดลงได้ (ภาพที่ 2.31) ดังนั้น การเลือกใช้ผนังดักลมทั้งแนวตั้งและแนวนอน จึงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ซึ่งรวมถึงทิศทางลม ทิศทางการวางผังอาคาร และความสูงของอาคารข้างเคียง



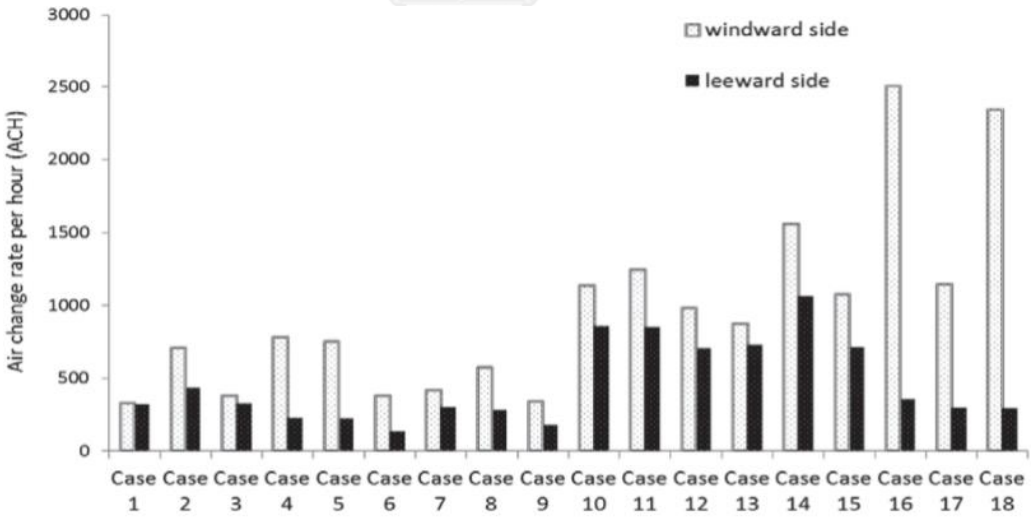
ภาพที่ 2.30 ทิศทางการไหลของอากาศในผังดักลมกรณีต่างๆ

(ที่มา : Moore, 1993)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบที่ทำการทำลองใน 18 กรณี

	No wing walls	Vertical wing walls	Horizontal wing walls	Wind direction (α =0°)	Wind direction (α =45°)	Isolated building	Upstream building (height =Dz)	Upstream building (height=2Dz)
Case 1	√			√		√		
Case 2		√		√		√		
Case 3			√	√		√		
Case 4	√			√			√	
Case 5		√		√			√	
Case 6			√	√			√	
Case 7	√			√				√
Case 8		√		√				√
Case 9			√	√				√
Case 10	√				√	√		
Case 11		√			√	√		
Case 12			√		√	√		
Case 13	√				√		√	
Case 14		√			√		√	
Case 15			√		√		√	
Case 16	√				√			√
Case 17		√			√			√
Case 18			√		√			√

(ที่มา : Cui และคณะ, 2013)



ภาพที่ 2.31 การเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทั้ง 18 กรณี

(ที่มา : Cui และคณะ, 2013)

จากการทบทวนวรรณกรรมส่วนที่ 3 เรื่องผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของคลินิกวัณโรค พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการศึกษาถึงปัจจัยของการมีและไม่มีอาคาร

ข้างเคียง ซึ่งหากไม่มีการมีคำนึงถึงอาคารข้างเคียง อาจทำให้สามารถประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงกว่าความเป็นจริงได้ ลักษณะของสภาพแวดล้อมก็มีส่วนสำคัญ คือ อาคารที่แวดล้อมด้วยสภาพแวดล้อมธรรมชาติจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ดีกว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นกลุ่มอาคารหรืออาคารสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออาคารมีลักษณะทึบตัน อย่างไรก็ตาม ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษาก็มีผลกระทบต่อการระบายอากาศได้ โดยการจัดให้อาคารตั้งอยู่ในระหว่างช่องว่างระหว่างอาคารเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ลมเข้าถึงอาคารได้ง่ายขึ้น และการที่ช่องว่างระหว่างอาคารมีมากขึ้น ก็จะช่วยให้อากาศไหลเข้าสู่อาคารได้ดีขึ้นด้วย ความสูงของอาคารที่ทำการศึกษาก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผล หากอาคารที่ทำการศึกษามีความสูงเหนือไปกว่าอาคารข้างเคียงและมีตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ส่วนบนสุดของผนัง และมีตำแหน่งที่ตรงกัน จะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงปัจจัยผนังดักลม ซึ่งผลการศึกษาพบว่ามีผลทั้งทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ทิศทางการวางอาคาร และความสูงของอาคารข้างเคียง และทิศทางลม ซึ่งพบว่าทิศทางลมในแนวเฉียงจะทำให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ดีกว่า 2-5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางลมแนวตรง

2.4 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมด สามารถสรุปประเด็นที่จะนำมาใช้ในการวิจัยต่อไปได้ ดังนี้

2.4.1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ

เชื้อวัณโรคเป็นเชื้อที่มีการแพร่กระจายทางอากาศ ดังนั้น หากภายในคลินิกวัณโรคมีการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐาน ก็จะทำให้เกิดการติดเชื้อได้ง่ายมากขึ้น จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศของคลินิกวัณโรค ดังนี้

1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) บ่งบอกถึงปริมาณอากาศใหม่ที่เข้ามาภายในห้องเพื่อเจือจางอากาศเก่าซึ่งมีการสะสมของเชื้อโรค คำนวณได้จากค่าความเร็วลมเข้าและปริมาตรห้อง โดยมีเกณฑ์อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำของห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อที่ 12 ACH

2) อายุอากาศ บ่งบอกถึงพื้นที่ที่มีการไหลผ่านของอากาศ กับพื้นที่ที่มีการไหลผ่านของอากาศที่น้อย หรือเป็นพื้นที่อับลม โดยมีเกณฑ์สูงสุดที่ 300 วินาที ซึ่งแปลงค่ามาจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH

3) ทิศทางการไหลของอากาศ บ่งบอกถึงทิศทางการไหลของเชื้อโรคว่ามีการไหลผ่านเจ้าหน้าที่หรือไม่ โดยมีเกณฑ์ว่าอากาศจะต้องไหลจากส่วนที่สะอาด (ส่วนเจ้าหน้าที่) ไปยังส่วนที่สะอาดน้อยกว่า (ส่วนผู้ป่วย)

2.4.2 วิธีการและเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถพบได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1) วิธีการลงสำรวจและวัดพื้นที่จริง โดยทำการวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม เพื่อใช้ค่าความเร็วลมในการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และการจัดทำแผนผังแสดงการไหลของลมภายในอาคาร เพื่อการศึกษาพื้นที่ที่มีลมผ่านมาก-น้อย รวมถึงใช้ tracer gas เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ โดยมีการนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานและเปรียบเทียบกับปัจจัยที่ทำการศึกษา

2) วิธีการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมักจะมีการลงพื้นที่สำรวจการระบายอากาศในสถานที่จริงก่อนเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น และต่อมาจึงทำการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาหาแนวทางการแก้ปัญหานั้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถทดลองตัวแปรได้โดยสะดวก ใช้งบประมาณไม่มาก จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เคยมีผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศแล้ว อาทิ โปรแกรม PHOENICS FLAIR, โปรแกรม HEATX, โปรแกรม FLUENT และ โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation ซึ่งทุกโปรแกรมนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศผ่านค่าความเร็วลมเป็นหลัก ยกเว้นในงานวิจัยของกิตติคุณ ยกทรัพย์ (2558) ซึ่งใช้โปรแกรม PHOENICS FLAIR ในการหาค่าอายุอากาศด้วย และในงานวิจัยของจิรายุ บุญตัน (2554) ซึ่งใช้โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation เป็นในการหาทิศทางการไหลของเชื้อโรคผ่านการศึกษา particle study

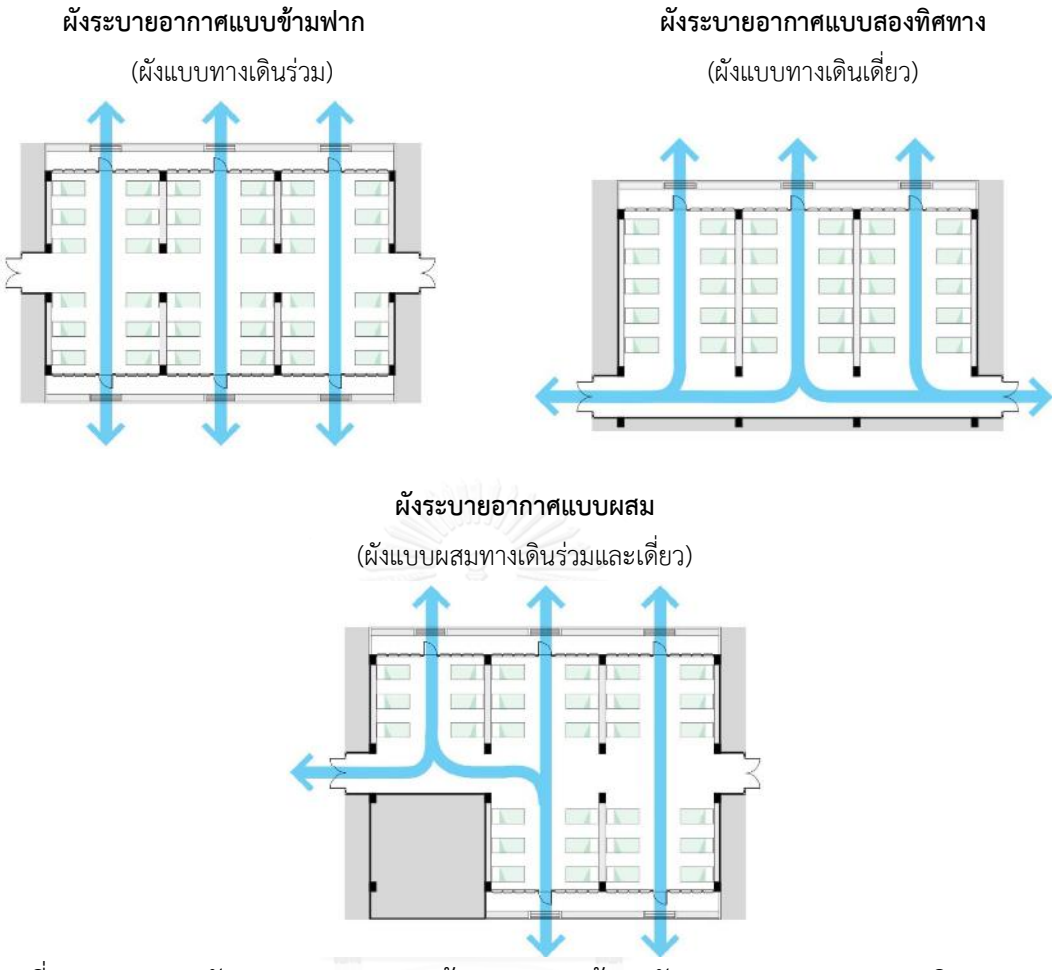
2.4.3 ปัจจัยที่ทำการวิจัย

สามารถจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ ดังนี้

1) ลักษณะของพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติตามที่ได้ทบทวนวรรณกรรมมา ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในส่วนของหอพักผู้ป่วย หอพักผู้ป่วยโรควัณโรค หรือห้องพักผู้ป่วยแยกโรค โดยมีงานวิจัยในส่วนอื่นด้วย เช่น ห้องตรวจโรค และคลินิกวัณโรค แต่ยังคงมีในจำนวนที่น้อย

สำหรับรูปแบบผังที่นำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ มีทั้งการนำรูปแบบผังหอผู้ป่วยในกรณีศึกษาจริง และรูปแบบผังของหอพักผู้ป่วยที่ได้จากการสรุปผังอาคารมาตรฐาน สำหรับผังของหอผู้ป่วยที่ได้รับจากการสรุปผังมาตรฐาน พบว่ามี 3 รูปแบบ คือ ผังระบายอากาศแบบข้ามฟาก ผังระบายอากาศแบบสองทิศ และผังระบายอากาศแบบผสม (ภาพที่ 2.32) หรือเรียกตามลักษณะของการเข้าถึงพื้นที่ใช้สอยได้ คือ ผังแบบทางเดินร่วม (double-loaded corridor plan) ผังแบบทางเดินเดี่ยว (single-loaded corridor plan) และผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว (double- and single- loaded corridor plan)



ภาพที่ 2.32 รูปแบบผังระบายอากาศแบบข้ามฟาก (บนซ้าย) ผังระบายอากาศแบบสองทิศ (บนขวา) และผังระบายอากาศแบบผสม (ล่าง)
(ที่มา : กิตติคุณ ยกทรัพย์, 2558)

2) ตัวแปรที่ทำการศึกษา

จากงานวิจัยที่ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในสถานพยาบาล ตัวแปรที่มีการศึกษากันมากคือตัวแปรช่องเปิด เนื่องจากเป็นปัจจัยทางองค์ประกอบอาคารที่ส่งผลต่อการระบายอากาศโดยตรง ทั้งการเปิด-ปิดหน้าต่าง ระดับความสูงช่องเปิด ตำแหน่งช่องเปิด และสิ่งกีดขวางช่องเปิด (มุ้งลวด) รวมถึงการวางผังอาคาร และการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ ทั้งนี้ ด้วยลมธรรมชาตินั้นมีมาไม่สม่ำเสมอ จึงจำเป็นที่จะต้องเสริมการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศด้วย อย่างไรก็ตาม การศึกษาปัจจัยเหล่านี้ทำการจำลองสถานการณ์อยู่ในกรณีที่ยังไม่มีการคำนึงถึงตัวแปรอาคารข้างเคียง ซึ่งอาจทำให้ผลการระบายอากาศสูงกว่าความเป็นจริง โดยขณะที่งานวิจัยที่มีการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียงต่อการระบายอากาศ ส่วนมากเป็นการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่

อาคารที่ทำการศึกษาเป็นรูปแบบมาตรฐานทั่วไป อย่างไรก็ตาม พบว่ามีงานวิจัยที่ทำจำลองสถานการณ์การระบายอากาศด้วยการจำลองในคอมพิวเตอร์ในสถานพยาบาลที่คำนึงถึงตัวแปรอาคารข้างเคียงด้วย แต่กลับเป็นการศึกษาในเรื่องของสภาวะน่าสบายในพื้นที่สาธารณะ ดังนั้น จึงยังไม่พบว่ามีการศึกษาตัวแปรอาคารข้างเคียงร่วมกันกับลักษณะพื้นที่ศึกษาที่เป็นคลินิกวัณโรคในแง่ของประสิทธิภาพการระบายอากาศ เพื่อควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรค

2.4.4 ช่องว่างที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาลมักทำการศึกษาในส่วนหอผู้ป่วย และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาหรือพัฒนาแนวทางการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของทั้งคลินิกวัณโรคในจำนวนน้อย ทั้งที่ส่วนงานคลินิกวัณโรคเป็นส่วนงานที่ควรได้รับการออกแบบเพื่อควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางเช่นกัน โดยมีเพียงการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในงานวิจัยของ Phuapradit และ Inkarojrit (2013) เท่านั้นที่ทำการศึกษาทั้งส่วนงานคลินิกวัณโรค อย่างไรก็ตามพบว่ายังไม่ได้มีการลงรายละเอียดถึงแนวทางการออกแบบปรับปรุงสำหรับพื้นที่จริง และยังไม่มีการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียงต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในคลินิกวัณโรค ซึ่งหากไม่มีการศึกษาผลกระทบของอาคารแวดล้อมแล้วอาจทำให้มีการประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงกว่าความเป็นจริงได้

งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของอาคารแวดล้อมต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค ซึ่งจากการสำรวจคลินิกวัณโรคเบื้องต้น พบว่า คลินิกวัณโรคส่วนใหญ่ยังมีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่ยังไม่เหมาะสม ทั้งจากการจัดพื้นที่ใช้สอย การกำหนดตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคาร และการบดบังกระแสลมภายนอกที่จะเข้ามาภายในอาคารของอาคารข้างเคียง โดยทดลองปรับปรุงคลินิกวัณโรค 3 รูปแบบผัง ได้แก่ ผังแบบทางเดินร่วม (double-loaded corridor plan) ผังแบบทางเดินเดี่ยว (single-loaded corridor plan) และผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว (double- and single- loaded corridor plan) ซึ่งเรียงลำดับการทดลองจากงบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงจากน้อยไปหามาก ได้แก่ การจัดพื้นที่ใช้สอยใหม่ การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด การปรับเปลี่ยนวางผังอาคาร และศึกษาผลกระทบของรูปแบบอาคารข้างเคียงต่อการวางผังอาคารด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWorks Flow Simulation เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุงสถาปัตยกรรมของคลินิกวัณโรคเพื่อลดการติดเชื้อทางอากาศภายในอาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติของคลินิกวัณโรค ศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร ต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ ทำการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics : CFD) ด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในคลินิกวัณโรค และปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศ โดยการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ เพื่อพัฒนารูปแบบการออกแบบปรับปรุงคลินิกวัณโรคให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาสามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการสำรวจคลินิกวัณโรค ประกอบด้วย การคัดเลือกคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา การเก็บข้อมูลองค์ประกอบอาคารและอาคารข้างเคียง การเก็บข้อมูลลม

ส่วนที่ 2 การออกแบบการวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย โดยการกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมจากข้อมูลที่ได้รับจากการทบทวนวรรณกรรมและการลงสำรวจคลินิกวัณโรค การเลือกเครื่องมือและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ โดยการจำลองสถานการณ์การไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และนำผลมาเปรียบเทียบกับการวัดสภาพจริงของคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา และการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล และการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสรุปอิทธิพลของตัวแปร

ส่วนที่ 3 การสรุปผลการวิจัย โดยนำผลวิเคราะห์ข้อมูลมาสรุปผลปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศจากการส่วนที่ 2 มาสรุปเพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขการระบายอากาศในคลินิกวัณโรคต่อไป

3.1 การสำรวจคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา

การสำรวจคลินิกวัณโรคโดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

3.1.1 การคัดเลือกกรณีศึกษา

คัดเลือกกรณีศึกษาคลินิกวัณโรคที่การกระจายตัวอยู่ภายในเขตเมืองใหญ่ เนื่องจากเป็นพื้นที่หลักที่สามารถพบผู้ป่วยวัณโรคได้มากถึงร้อยละ 50 จากการที่มีจำนวนประชากรมาก แออัด มีการเคลื่อนย้ายของประชากรสูง (กรมควบคุมโรค, 2559) จึงได้คัดเลือกกรณีศึกษาคลินิกวัณโรคของศูนย์บริการสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร จำนวน 6 แห่ง โดยคัดเลือกกรณีศึกษาคลินิกวัณโรคที่มีลักษณะเป็นแม่ข่าย ซึ่งเป็นคลินิกวัณโรคที่สามารถทำการตรวจรักษาโรควัณโรคได้ครบวงจร เพื่อให้มีลักษณะของพื้นที่ใช้สอยที่ใกล้เคียงกัน

3.1.2 การเก็บข้อมูลองค์ประกอบอาคารคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา

ทำการสำรวจเก็บข้อมูลรูปแบบผังอาคาร พื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งและขนาดของประตู-หน้าต่าง จากการลงสำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่จริง ด้วยตลับเมตรและเลเซอร์วัดระยะ ในวันและเวลาทำการ ของกรณีศึกษาจำนวน 6 แห่ง โดยมีรายละเอียดขององค์ประกอบอาคาร ดังนี้

- คลินิกวัณโรค ก. ตั้งอยู่บนชั้น 2 มีทางเดินกลางร่วมกันระหว่างห้องทั้งสองฝั่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอย ที่นั่งทานยา (Directly Observed Treatment : DOT) และเคาน์เตอร์พยาบาล ห้องตรวจอยู่บริเวณใกล้หัวมุมอาคาร ภายในห้องมีหน้าต่างบานกระทุ้ง 1 บาน สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากหน้าต่างในห้องตรวจออกไปยังหน้าต่างที่บันไดหนีไฟ (ภาพที่ 3.1)

- คลินิกวัณโรค ข. ตั้งอยู่บนชั้น 2 มีทางเดินเดี่ยวซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอยและที่นั่งทานยา (DOT) เคาน์เตอร์พยาบาลตั้งอยู่ภายในห้องพักแพทย์ โดยเจาะช่องกระจกสำหรับติดต่อกับผู้ป่วย ห้องตรวจอยู่บริเวณริมอาคาร ภายในห้องมีหน้าต่างบานเลื่อน 1 บาน สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากหน้าต่างในห้องตรวจออกไปยังประตูทางเข้าคลินิกวัณโรค (ภาพที่ 3.2)

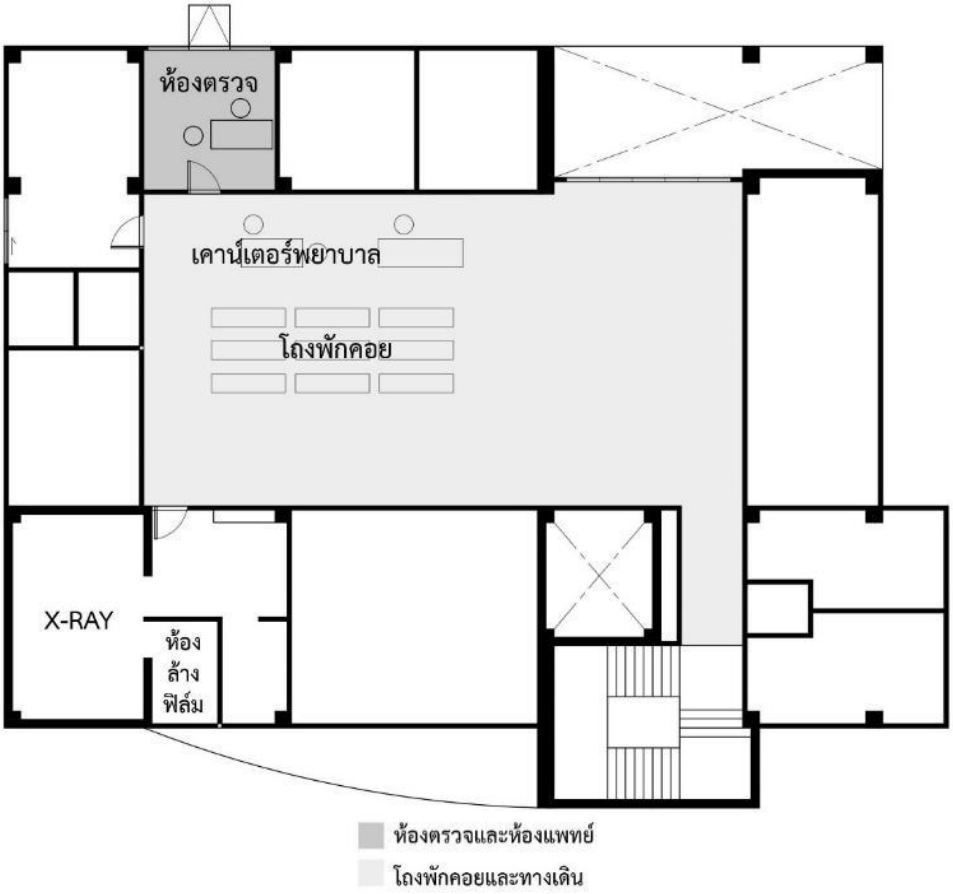
- คลินิกวัณโรค ค. ตั้งอยู่บนชั้น 1 มีทางเดินเดี่ยวซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอยและที่นั่งทานยา (DOT) เคาน์เตอร์พยาบาลตั้งอยู่ภายในห้องพักแพทย์ โดยเจาะช่องกระจกสำหรับติดต่อกับผู้ป่วย ห้องตรวจอยู่บริเวณริมอาคาร ภายในห้องมีหน้าต่างบานเลื่อน 2 บาน สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากหน้าต่างในห้องตรวจออกไปยังประตูทางเข้าคลินิกวัณโรค (ภาพที่ 3.3)

- คลินิกวัณโรค ง. ตั้งอยู่บนชั้น 3 มีทางเดินกลางร่วมกันระหว่างห้องทั้งสองฝั่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอย ที่นั่งทานยา (DOT) และเคาน์เตอร์พยาบาล ห้องตรวจอยู่บริเวณใกล้หัวมุมอาคาร ภายในห้องมีหน้าต่างบานเปิด 1 บาน สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากหน้าต่างในห้องตรวจออกไปยังหน้าต่างบานกระทุ้งที่บันไดหนีไฟ (ภาพที่ 3.4)

- คลินิกวัณโรค จ. ตั้งอยู่บนชั้น 3 มีทางเดินเดี่ยวซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอย ซึ่งอยู่ใกล้กับตำแหน่งหน้าต่างบานเลื่อนจำนวน 2 บาน ก่อนที่จะเป็นทางเดินกลางร่วมกันระหว่างคลินิกวัณโรคกับห้องน้ำ ภายในคลินิกวัณโรค จ. จะพบที่นั่งทานยา (DOT) และเคาน์เตอร์พยาบาลอยู่ใกล้บริเวณทางเข้าคลินิก ก่อนจะแยกเป็นห้องตรวจและห้องพักแพทย์บริเวณหัวมุมอาคาร โดยภายในห้องตรวจและห้องพักแพทย์ จะมีหน้าต่างบานเลื่อนห้องละ 2 บาน (ภาพที่ 3.5)

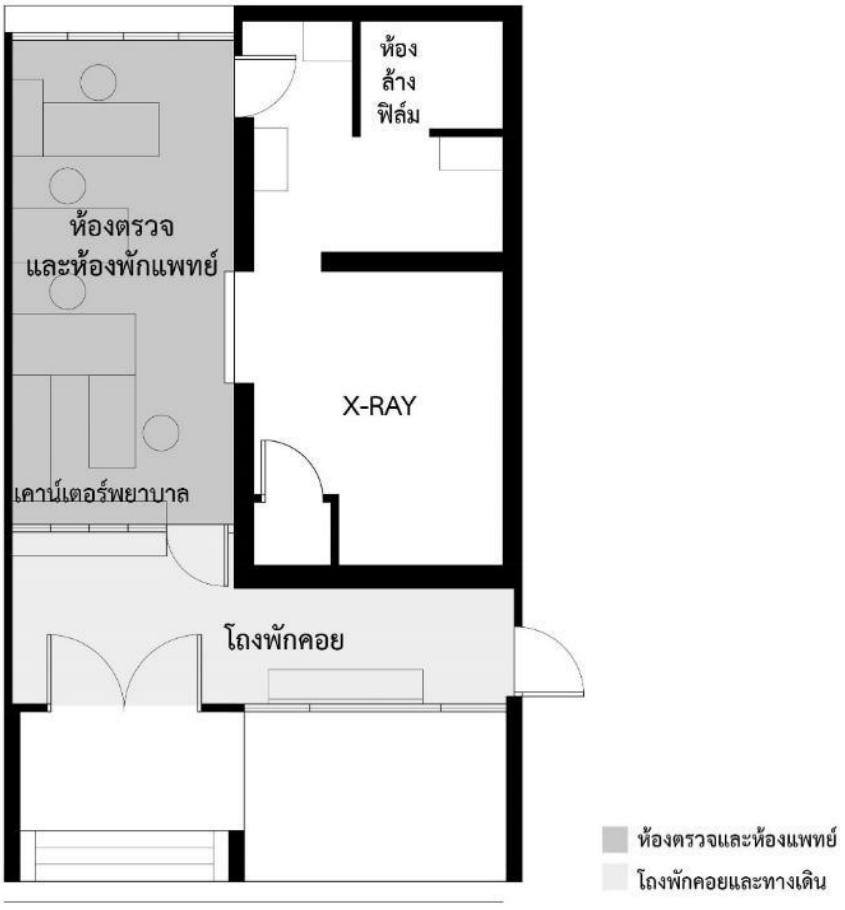
- คลินิกวัณโรค ฉ. ตั้งอยู่บนชั้น 3 มีทางเดินเดี่ยวซึ่งเป็นที่ตั้งของโถงพักคอยและที่นั่งทานยา (DOT) ซึ่งมีหน้าต่างบานเปิด 8 บาน อยู่ติดกับที่นั่งผู้ป่วย โดยเคาน์เตอร์พยาบาลตั้งอยู่ภายในห้องพักแพทย์ และมีการเจาะช่องกระจกสำหรับติดต่อกับผู้ป่วย ห้องตรวจอยู่บริเวณริมอาคาร ภายในห้องพักแพทย์มีหน้าต่างบานเปิด 7 บาน สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจากหน้าต่างในห้องพักแพทย์ออกไปยังหน้าต่างที่โถงพักคอย (ภาพที่ 3.6)

ทั้งนี้ จากข้อมูลองค์ประกอบอาคารคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา จะมีการนำไปสรุปรูปแบบมาตรฐานของผังคลินิกวัณโรคในขั้นตอนการกำหนดตัวแปรต่อไป

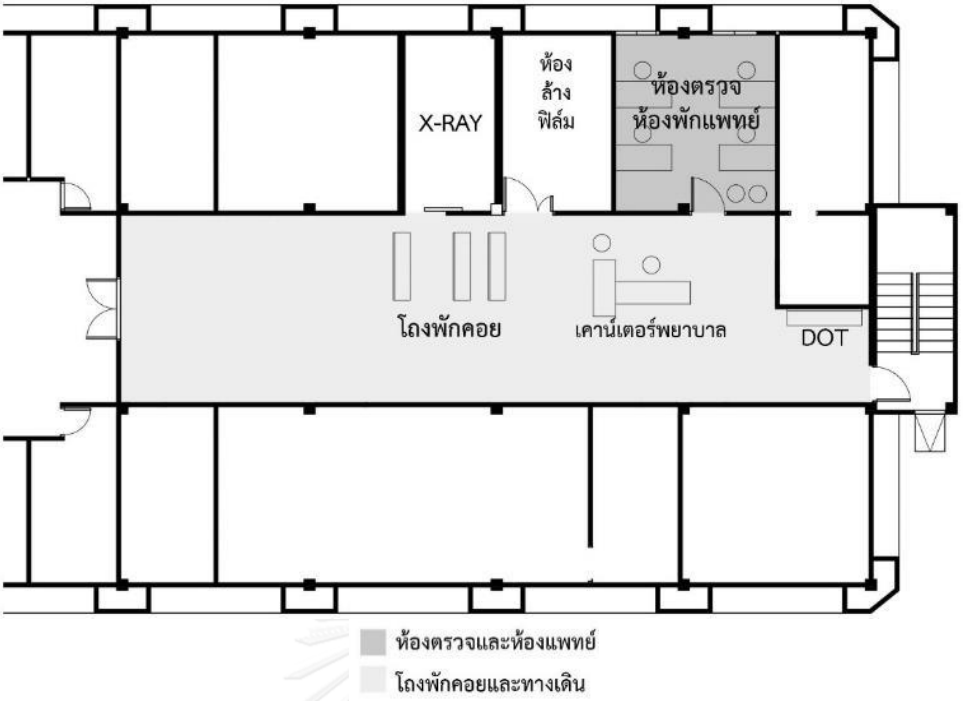


ภาพที่ 3.1 ผังคลินิกวัณโรค ก.

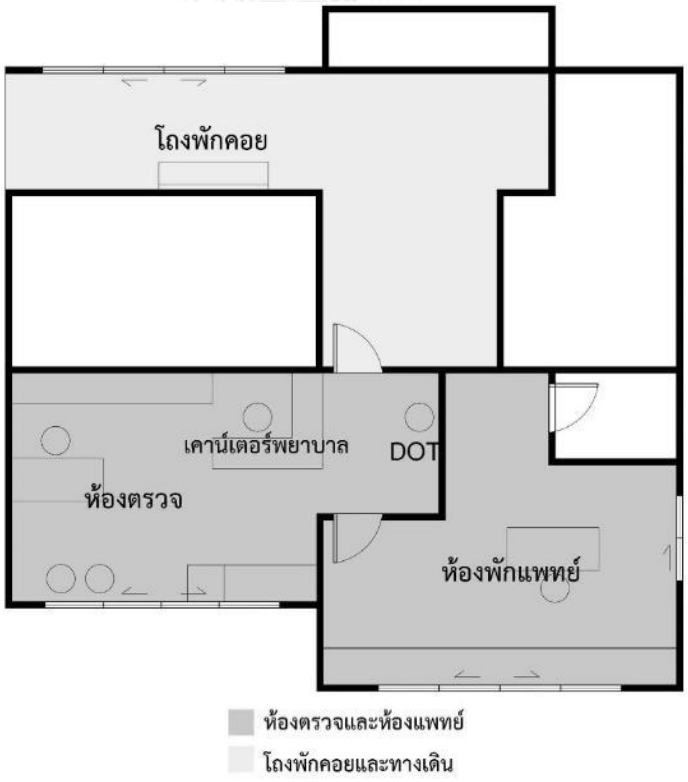
ภาพที่ 3.2 ผังคลินิกวัณโรค ข.



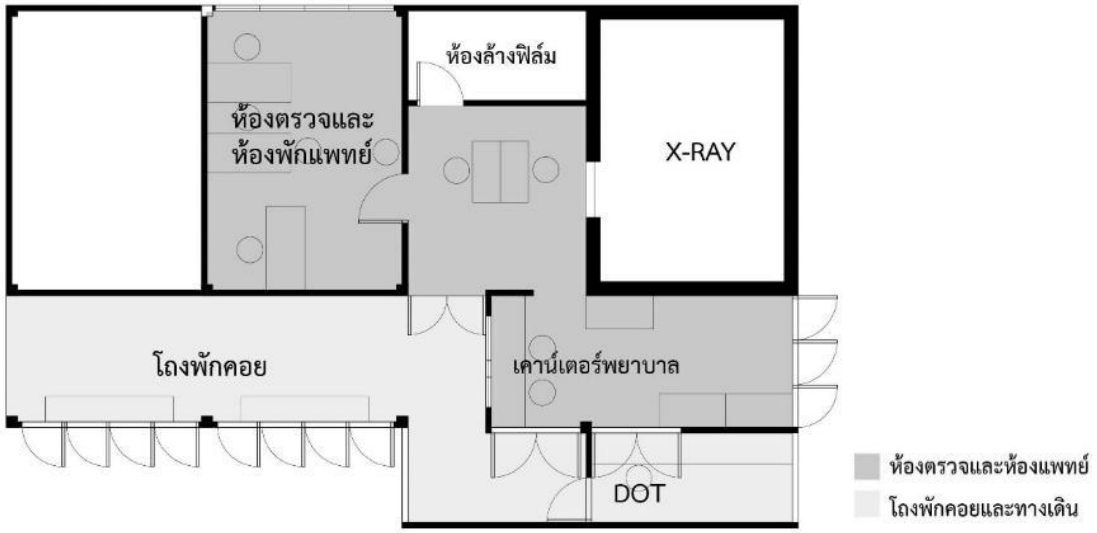
ภาพที่ 3.3 ผังคลินิกวัณโรค ค.



ภาพที่ 3.4 ผังคลินิกวัณโรค ง.



ภาพที่ 3.5 ผังคลินิกวัณโรค จ.



ภาพที่ 3.6 ผังคลินิกวัณโรค ฉ.

3.1.3 การเก็บข้อมูลอาคารข้างเคียงของคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา

ทำการเก็บข้อมูลอาคารข้างเคียงของคลินิกวัณโรคกรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี ด้วยการลงสำรวจขนาดจากการลงพื้นที่จริง และเก็บข้อมูลด้วยเลเซอร์วัดระยะ ร่วมกับระยะจากภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อนำมาจัดทำรูปแบบอาคารข้างเคียงมาตรฐานสำหรับประกอบการทดลองจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ ก่อนการนำผลการจำลองไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ทั้งนี้ จากข้อมูลอาคารข้างเคียงของคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา จะมีการนำไปสรุปรูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียงในขั้นตอนการกำหนดตัวแปรต่อไป

3.2 การกำหนดตัวแปรในการวิจัย

การวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการระบายอากาศของคลินิกวัณโรค เพื่อศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรคตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยใช้ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและข้อมูลจากการลงสำรวจพื้นที่จริง ซึ่งมีการกำหนดตัวแปรเพื่อการศึกษาวิจัยดังนี้

3.2.1 ตัวแปรต้น

3.2.1.1 ปัจจัยรูปแบบผังคลินิกวัณโรค หมายถึง ผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน 3 รูปแบบ คือ ผังแบบทางเดินร่วม (double-loaded corridor) ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว (combined double- and single- loaded corridor) และผังแบบทางเดินเดี่ยว (single-loaded corridor) โดยมีวิธีการสรุปผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลแผนผังอาคารในช่วงการลงสำรวจสถานที่จริง และทำการจำแนกลักษณะของพื้นที่ใช้งานเป็นพื้นที่ส่วนโถงพักคอยและทางเดิน และพื้นที่ส่วนห้อง

ตรวจและห้องพักแพทย์ ซึ่งทำให้สามารถจัดกลุ่มของผังคลินิกวัณโรคได้ 3 รูปแบบจากลักษณะทางเดินภายในคลินิก คือ ผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว ผังแบบทางเดินเดี่ยว (ภาพที่ 3.9)

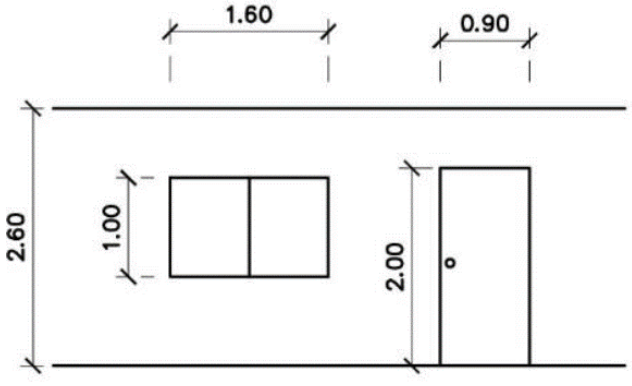
ขั้นตอนที่ 2 การสรุปลักษณะทางกายภาพของคลินิกวัณโรคมาตรฐาน โดยนำข้อมูลจากการจำแนกลักษณะพื้นที่ใช้งาน และขนาดมาตรฐานของคลินิกวัณโรคมากำหนดแบบมาตรฐานขั้นต้น โดยกำหนดให้ผังอาคารมาตรฐานมีขนาด 16.00 x 12.00 เมตร เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบ่งเป็น 3 รูปแบบผัง คือ

1) ผังแบบทางเดินร่วม เป็นผังที่มีทางเดินขั้นกลางระหว่างพื้นที่ใช้สอยทั้งสองฝั่ง มีช่องเปิดบริเวณห้องตรวจและบริเวณโถงทางเดินอย่างละ 1 บาน ที่นั่งพักคอยของผู้ป่วยและเคาน์เตอร์พยาบาลจะอยู่ที่บริเวณทางเดิน เป็นผังที่มีช่องเปิดน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 แบบ

2) ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว เป็นผังที่มีทางเดินอยู่บริเวณริมอาคาร ซึ่งเป็นที่ตั้งของที่นั่งพักคอย แต่มีสิ่งกีดขวางบริเวณหัวมุมอาคาร ทำให้ทางเดินมีลักษณะเป็นทางเดินร่วม ก่อนที่จะเข้าสู่ห้องตรวจ โดยมีที่นั่งทานยาและเคาน์เตอร์พยาบาลอยู่บริเวณหน้าห้องตรวจ มีช่องเปิดบริเวณห้องตรวจ 3 บาน และบริเวณโถงทางเดิน 2 บาน

3) ผังแบบทางเดินเดี่ยว เป็นผังที่มีทางเดินอยู่บริเวณริมอาคาร ซึ่งเป็นที่ตั้งของที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยา เคาน์เตอร์พยาบาลจะอยู่ภายในห้องตรวจกับที่นั่งของแพทย์และเจ้าหน้าที่ มีช่องเปิดภายในห้องตรวจ 1 บาน และบริเวณโถงทางเดิน 4 บาน

โดยจากข้อมูลการสำรวจหน้าต่างและประตู พบว่า หน้าต่างที่พบในคลินิกวัณโรคมี 3 ลักษณะ คือ เป็นหน้าต่างบานเปิด หน้าต่างบานเลื่อน หน้าต่างบานกระทุ้ง ซึ่งปริมาตรอากาศสามารถผ่านได้มาก และมีขนาดใกล้เคียงกันที่ 0.80 x 1.00 เมตร สูงจากพื้น 1.00 เมตร ส่วนประตูมีขนาดใกล้เคียงกันที่ 0.90 x 2.00 เมตร โดยมีความสูงห้องใกล้เคียงกันที่ 2.60 เมตร (ภาพที่ 3.7) จึงใช้ขนาดดังกล่าวเป็นขนาดมาตรฐานของผังมาตรฐาน



ภาพที่ 3.7 ขนาดช่องเปิดและความสูงอาคารมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 3 การสรุปตำแหน่งพื้นที่ใช้สอยของผังมาตรฐาน จากการสำรวจคลินิกวัณโรคพบว่ามีลักษณะพื้นที่ใช้สอยที่ใกล้เคียงกัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ พื้นที่ใช้สอยส่วนผู้ป่วย และพื้นที่ใช้สอยส่วนเจ้าหน้าที่ โดยเรียงลำดับการเข้าถึงได้ ดังนี้ (ภาพที่ 3.8)

1) โถงพักคอย เป็นพื้นที่พักคอยของผู้ป่วยมารักษา ซึ่งโดยมากจะตั้งอยู่ในบริเวณโถงทางเดิน 2) บริเวณกินยา (DOT) เป็นพื้นที่สำหรับการนั่งทานยาของผู้ป่วย เพื่อเป็นการติดตามการทานยาที่ต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะมีเจ้าหน้าที่คอยติดตามการทานยาและจดบันทึก โดยมากจึงพบพื้นที่นี้อยู่ระหว่างพื้นที่โถงพักคอยและเคาน์เตอร์พยาบาล

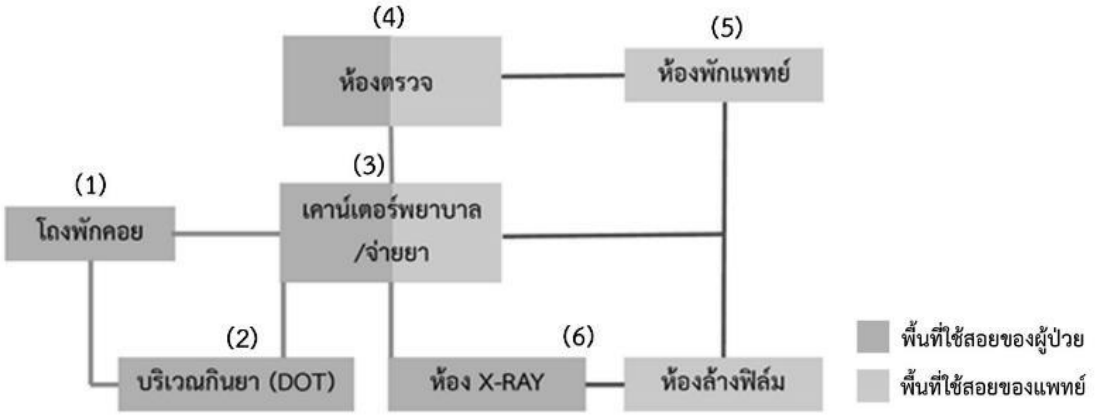
3) เคาน์เตอร์พยาบาล เป็นพื้นที่ส่วนต้อนรับผู้ป่วย มักใช้ร่วมกันกับการเป็นพื้นที่จ่ายยา และตั้งอยู่ระหว่างบริเวณโถงพักคอยและห้องตรวจ

4) ห้องตรวจ เป็นพื้นที่ที่ผู้ป่วยจะพบกับแพทย์ผู้ให้การตรวจรักษา โดยมากภายในห้องตรวจจะใช้งานเป็นพื้นที่นั่งทำงานสำหรับเจ้าหน้าและพยาบาล โดยในคลินิกวัณโรคบางกรณี มีการจัดให้เคาน์เตอร์พยาบาลอยู่ภายในห้องตรวจ และทำการเจาะช่องหน้าต่างกระจกขนาดเล็กสำหรับให้ติดต่อผู้ป่วย

5) ห้องพักแพทย์ ในบางคลินิกวัณโรคมีพื้นที่มากพอสำหรับการจัดให้มีห้องพักแพทย์ ซึ่งตั้งอยู่ติดกับห้องตรวจ แต่อย่างไรก็ตาม คลินิกวัณโรคจำนวนมากมีการใช้ห้องตรวจเป็นห้องพักแพทย์ด้วย

6) ห้อง X-RAY และห้องล้างฟิล์ม เป็นพื้นที่สำหรับการ X-RAY และล้างฟิล์ม ซึ่งเป็นห้องปิด มีการปิดประตูมิดชิดเมื่อมีการใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3.8 รูปแบบพื้นที่ใช้สอยมาตรฐานของคลินิกวัณโรค

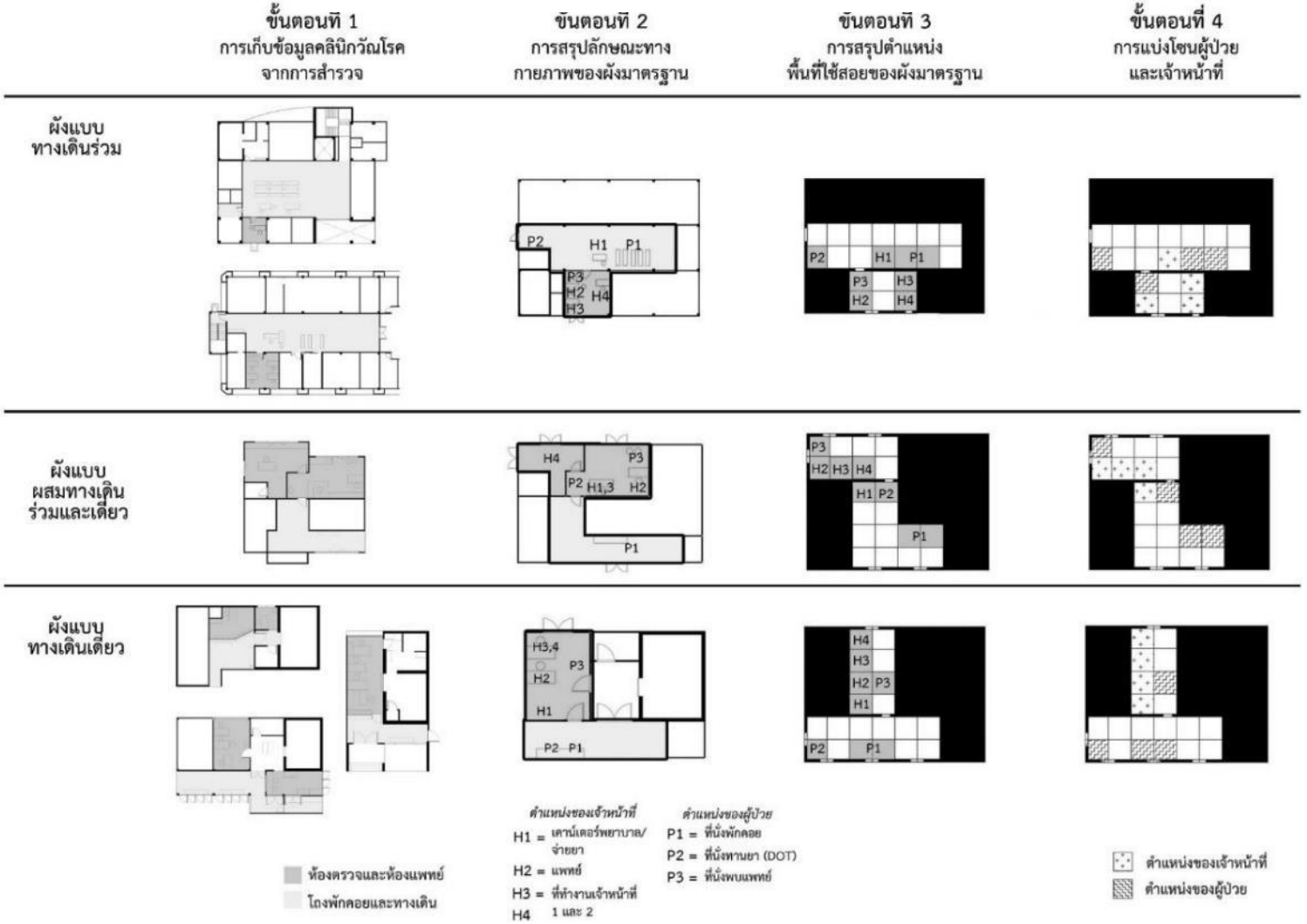
โดยจากพื้นที่ใช้สอยดังกล่าว จึงสามารถกำหนดตำแหน่งของพื้นที่ใช้งานลงบนผังมาตรฐานได้ ดังภาพที่ 3.9 ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย ตำแหน่งของผู้ป่วย คือ P1 = ที่นั่งพักคอย, P2 = ที่นั่งทานยา, P3 = ที่นั่งพบแพทย์ในห้องตรวจ และตำแหน่งของเจ้าหน้าที่ คือ H1= เคาน์เตอร์พยาบาล, H2 = ที่นั่งแพทย์ผู้ตรวจ, H3 และ H4 = ที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่

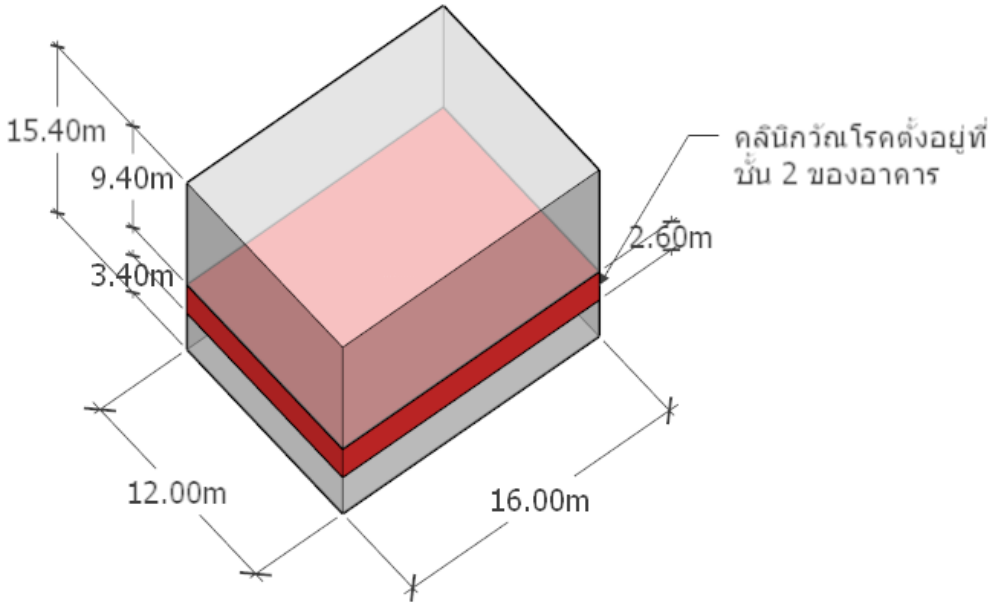
ขั้นตอนที่ 4 การแบ่งโซนผู้ป่วยและเจ้าหน้าที่ เพื่อใช้ในการศึกษาว่าทิศทางการการไหลของอากาศที่จะไหลจากอากาศส่วนสะอาดมากกว่าไปยังส่วนอากาศที่สะอาดน้อยกว่าได้อย่างเหมาะสมหรือไม่ โดยตำแหน่งที่ P1, P2, P3 จะกำหนดให้เป็นพื้นที่ส่วนที่สะอาดน้อยกว่า เนื่องจากเป็นตำแหน่งของผู้ป่วย และตำแหน่งที่ H1, H2, H3, H4 จะกำหนดให้เป็นพื้นที่ส่วนที่สะอาดมากกว่า เนื่องจากเป็นตำแหน่งของเจ้าหน้าที่

โดยสามารถสรุปขั้นตอนการสรุปรูปแบบผังมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 3.9 และมีขนาดและระยะดังภาพที่ 3.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการสรุปรูปแบบผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน





ภาพที่ 3.10 ขนาดและระยะของคลินิกวัณโรค

3.2.1.2 ปัจจัยด้านการจัดพื้นที่ใช้สอย คือ การจัดพื้นที่ใช้สอยในส่วนโถงพักคอย ได้แก่ ที่นั่งพักคอย ที่นั่งทานยา (DOT) และเคาน์เตอร์พยาบาล และการจัดพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจ ได้แก่ ที่นั่งพบแพทย์ ที่นั่งแพทย์ ที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่

3.2.1.3 ปัจจัยด้านตำแหน่งช่องเปิด คือ การกำหนดตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกัน ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การกำหนดให้ช่องเปิดมีตำแหน่งที่ตรงกันจะช่วยให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงสุด และกำหนดให้ช่องเปิดเข้าใกล้บริเวณจุดอับลมเพื่อเพิ่มการระบายอากาศในบริเวณนั้น

3.2.1.4 ปัจจัยด้านการวางผังอาคาร คือ การวางผังอาคารให้มีช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกอาคาร และการจัดห้องตรวจให้อยู่บริเวณหัวมุมอาคาร เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มช่องเปิดและลดพื้นที่มุมอับ เพื่อช่วยให้ภายในอาคารระบายอากาศได้ดีขึ้น

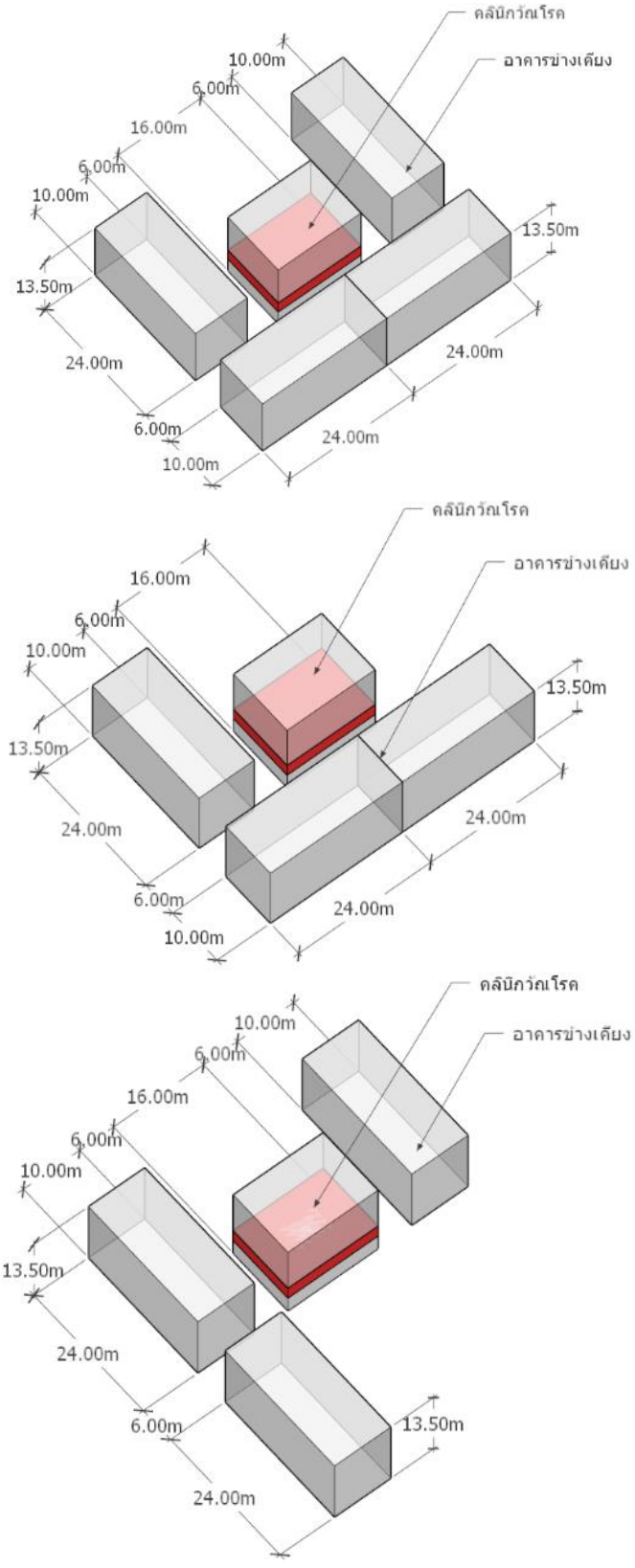
3.2.1.5 ปัจจัยด้านอาคารข้างเคียง คือ รูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียง จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว แบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านมุม และแบบเปิดโล่งสองทิศทางบริเวณด้านตรงข้าม ซึ่งมีขั้นตอนการสรุปรูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียง ดังนี้ (ภาพที่ 3.11)

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลอาคารข้างเคียงของอาคารคลินิกวัณโรคใน 6 กรณี จากการลงสำรวจขนาดของอาคารข้างเคียงจากการลงพื้นที่จริง ร่วมกับการศึกษารูปแบบการวางอาคารจากภาพถ่ายทางอากาศ จากการสำรวจพบว่าอาคารข้างเคียงคลินิกวัณโรคส่วนใหญ่เป็นลักษณะของบ้านพักอาศัยและอาคารแถว ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 4 ชั้นครึ่ง หรือประมาณ 13.50 เมตร ขนาดอาคารเฉลี่ยประมาณ 10.00 x 24.00 เมตร มีระยะห่างระหว่างอาคารคลินิกวัณโรค 6 เมตร ซึ่งเกิดจากระยะถอยร่นของแต่ละที่ดิน 3 เมตร รายละเอียดของขนาดอาคารดังภาพที่ 3.12 และทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะการวางอาคารของกลุ่มอาคารข้างเคียงกับที่ตั้งของคลินิกวัณโรค และจุดที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งและไม่มีอาคารข้างเคียงบดบังการบังลม ทำให้สามารถจำแนกรูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียงได้ 3 รูปแบบ คือ อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว แบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านมุม และแบบเปิดโล่งสองทิศทางบริเวณด้านตรงข้าม

ขั้นตอนที่ 2 การสรุปรูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียง โดยอ้างอิงขนาดและระยะของอาคารข้างเคียง และรูปแบบการวางกลุ่มอาคารมาจากข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 เพื่อนำมาสรุปรูปแบบมาตรฐานของอาคารข้างเคียงสำหรับการนำมาจัดทำรูปแบบอาคารข้างเคียงมาตรฐานสำหรับประกอบการทดลองจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการสรุปรูปแบบผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน



ภาพที่ 3.12 ขนาดและระยะของอาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว (บน) อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านหัวมุม (กลาง) อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านตรงข้าม (ล่าง)

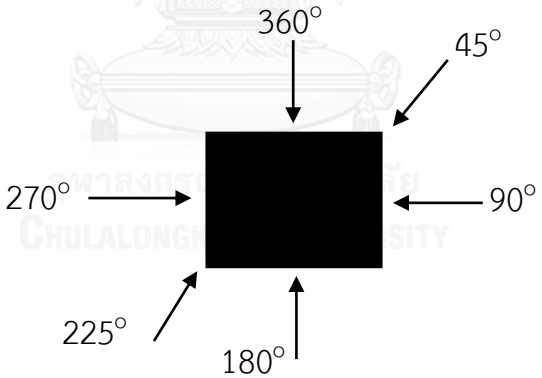
3.2.1.6 ปัจจัยด้านทิศทางกระแสลม คือ ทิศทางของกระแสลมภายนอกก่อนเข้าสู่ภายในอาคาร จำนวน 6 ทิศทาง โดยทิศทางลมจะเรียกเป็นองศาจากทิศจริง อ้างอิงวิธีการเรียกทิศตามกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งกลุ่มทิศทางลมเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (ภาพที่ 3.13)

1) กลุ่มกระแสลมด้านหน้า

- ทิศใต้ (180 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่ตั้งฉากกับด้านล่างตามยาวของอาคาร
- ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (225 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่กระแสลมทำมุม 45 องศากับด้านล่างตามยาวของอาคาร
- ทิศตะวันตก (270 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่กระแสลมตั้งฉากกับด้านกว้างของอาคารด้านซ้าย

2) กลุ่มกระแสลมด้านหลัง

- ทิศเหนือ (360 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่ตั้งฉากกับด้านบนตามยาวของอาคาร
- ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (45 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่กระแสลมทำมุม 45 องศากับด้านบนตามยาวของอาคาร
- ทิศตะวันออก (90 องศา) ซึ่งเป็นทิศที่กระแสลมตั้งฉากกับด้านกว้างของอาคารด้านขวา



ภาพที่ 3.13 ทิศทางกระแสลมทั้ง 6 ทิศทาง

3.2.1.7 ปัจจัยด้านความเร็วลมภายนอกอาคาร คือ ความเร็วลมจำนวน 3 ระดับ คือ ความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที 1.00 เมตรต่อวินาที และ 1.75 เมตรต่อวินาที

โดยอ้างอิงความเร็วลมของกระแสลมทั้งจากการวัดความเร็วลมภายนอกของสถานที่จริง ซึ่งพบว่ามีความเร็วลมเฉลี่ยที่พบได้บ่อยที่สุดคือ 1.00 เมตรต่อวินาที และความเร็วกระแสลมจากการศึกษาความเร็วลมจากงานวิจัยข้อมูลอากาศในประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน (ธนิต จินดาวณิค และคณะ, 2543) พบว่า ลมจะพัดเข้ามาจากทุกทิศทาง แต่โดยส่วนใหญ่จะพัดเข้ามาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 1.7 เมตรต่อวินาทีในระดับความสูง

2 เมตรจากระดับพื้นดิน อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจสถานที่จริงและได้ทำการวัดความเร็วลมภายนอกอาคาร พบว่า บ่อยครั้งสามารถวัดความเร็วลมได้ต่ำกว่า 1.75 เมตร/วินาที ดังนั้น เพื่อทำให้การศึกษาความเร็วลมเป็นไปอย่างครอบคลุม จึงทำการแบ่งระดับความเร็วลมออกเป็น 3 ระดับ โดยความเร็วลมในแต่ระดับจะแตกต่างกันประมาณ 0.75 เมตร/วินาที

3.2.2 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค ได้แก่ ทิศทางการไหลเวียนของอากาศและเชื้อโรคภายในอาคาร ความเร็วลม อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และอายุอากาศ ที่ระดับ 1.10 เมตรจากระดับพื้นห้อง ซึ่งเป็นระดับการหายใจของมนุษย์

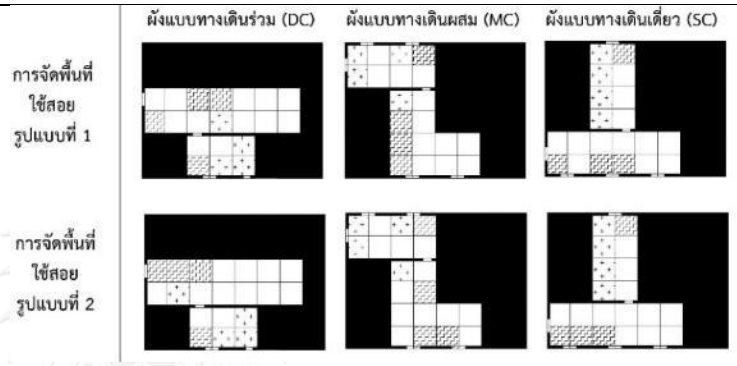
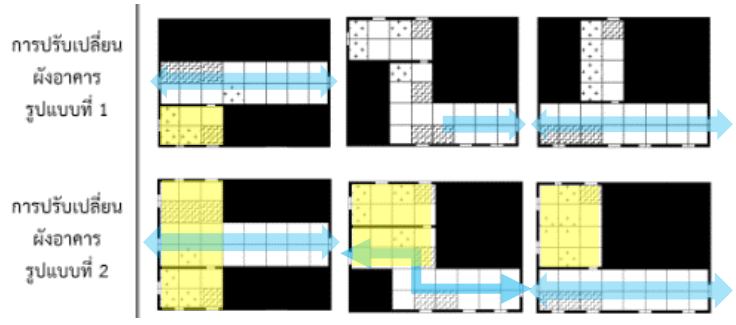
3.2.3 ตัวแปรควบคุม

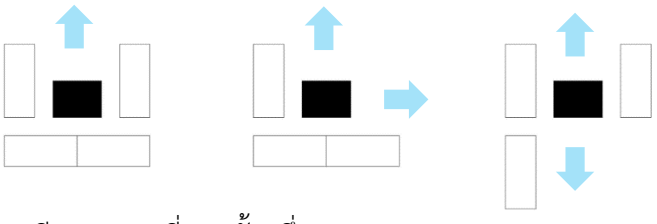
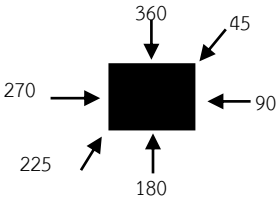
กำหนดให้อาคารศูนย์บริการสาธารณสุขมีขนาด 16x12 เมตร และมีคลินิกวัณโรคตั้งอยู่ที่บริเวณชั้น 2 ของอาคาร สูงจากพื้น 3.40 เมตร โดยวางอาคารให้ทิศใต้ตั้งฉากกับด้านยาวของอาคาร

โดยสามารถสรุปตัวแปรในงานวิจัยทั้งหมดได้ในตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวแปรในงานวิจัย

ลักษณะตัวแปร	ปัจจัย	ตัวแปร
ตัวแปรต้น ตัวแปรต้น	รูปแบบผังพื้น	
	การจัดพื้นที่ใช้สอย	
	ตำแหน่งช่องเปิด	การกำหนดตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกัน
	การวางผังอาคาร	การวางผังอาคารให้มีช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกอาคาร การจัดห้องตรวจให้อยู่บริเวณหัวมุมอาคาร 

ลักษณะตัวแปร	ปัจจัย	ตัวแปร
ตัวแปรต้น	อาคารข้างเคียง	อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว แบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านมุม แบบเปิดโล่งสองทิศทางบริเวณด้านตรงข้าม  โดยมีความสูงเฉลี่ย 4 ชั้นครึ่ง
	ทิศทางกระแสลม	ทิศทางกระแสลม จำนวน 6 ทิศทาง คือ 180 (S), 225 (SW),270 (W), 360 (N), 45 (NE), 90 (E) 
	ความเร็วลมภายนอกอาคาร	ความเร็วลมที่ 0.25, 1.00, 1.75 m/s
ตัวแปรตาม	ประสิทธิภาพการระบายอากาศ	- ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค - อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ที่ระดับความสูง 1.10 ม. - อายุอากาศ
ตัวแปรควบคุม	คลินิกวัณโรคตั้งอยู่ที่บริเวณชั้น 2 ของอาคาร ทิศใต้ตั้งฉากกับด้านยาวของอาคาร	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การเลือกเครื่องมือและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

3.3.1 การเลือกวิธีการและเครื่องมือในการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการทดลองด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics : CFD) ซึ่งเป็นกระบวนการในการนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) มาประยุกต์ใช้กับระบบสมการเครื่องกล เช่น สมการการเคลื่อนที่ของของไหลทั้งแบบราบเรียบและแบบแปรปรวน การถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวล และสมการอื่นๆ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์เพื่อทำนายค่าขององค์ประกอบต่างๆ ที่ขอบเขตการไหล โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการออกแบบหรือพัฒนา และทำให้เห็นภาพของการไหลชัดเจนมากขึ้น ซึ่งแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวได้ ทั้งนี้ จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทดลองด้วยอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ พบว่า การทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการทดลองการไหล

คุณสมบัติ	โต๊ะจำลองการไหล	อุโมงค์ลม	การคำนวณพลศาสตร์ของไหล
ความถูกต้องแม่นยำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความครบถ้วนของข้อมูล	ต่ำ (เฉพาะรูปแบบการไหลในแบบสองมิติ)	ปานกลาง (ครบถ้วนยกเว้นอุณหภูมิและความเข้มข้นของอากาศ)	ครบถ้วน
สร้างความเข้าใจต่อผลการจำลอง	ปานกลาง (ด้วยสีของเหลวที่ผสมกับน้ำ)	ยาก (ด้วยควันที่ผสมกับอากาศและค่าที่วัดได้)	ง่าย (ด้วยกราฟิกสีและเวกเตอร์)
ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
ระยะเวลา	สั้น	นาน	ปานกลาง
ความต้องการความรู้พิเศษ	น้อย	ปานกลาง	มาก
ความเหมาะสมกับกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม	ขั้นต้น	ขั้นปลาย	ตั้งแต่ขั้นต้นถึงขั้นปลาย

(ที่มา : เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์, 2547)

ด้วยงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากจะศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ซึ่งใช้ค่าความเร็วลมในการคำนวณเช่นเดียวกับงานวิจัยทั่วไปแล้ว ยังมีการศึกษาทิศทางการไหลของเชื้อโรคด้วย จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยจิรายุ บุญตัน (2554) ที่ทำการศึกษาทิศทางการไหลของเชื้อโรคในห้องตรวจโรควัณโรคด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation มีลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016 มาเป็นเครื่องมือในการทดลอง ทั้งนี้ โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016 เป็นซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล โดยทำการสร้าง mesh หรือ cell ของชิ้นงาน และใช้ระเบียบวิธีการแบ่งช่วงที่เรียกว่าวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume) และอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ร่วมกับใช้สมการอื่นๆ ในการแก้ปัญหาไปพร้อมๆ กัน ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลและแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ตามต้องการ ซึ่งมีรายละเอียดของการตั้งค่าต่างๆ ของโปรแกรมในหัวข้อที่ 3.5 ต่อไป

3.3.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

งานวิจัยชิ้นนี้ใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลหลายชนิด เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากชนิดของเครื่องมือ จึงมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ ด้วยการนำผลที่ได้จากการวัดความเร็วลมในสถานที่จริงมาเทียบเคียงกับผลการจำลองสถานการณ์ไหลของอากาศของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016 เพื่อนำมาตรวจสอบว่ามีความแม่นยำหรือไม่ โดยอ้างอิงวิธีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือจากอุษณ จันทรทรัพย์ (2553) ดังนี้

3.3.2.1 การเก็บข้อมูลลมจากคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลลมจากคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่ ความเร็วลมภายนอกอาคาร ความเร็วลมภายในพื้นที่ใช้งาน และทิศทางกระแสลมภายในห้อง โดยการวัดความเร็วลมจะใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Hot Wire ยี่ห้อ Tenmars รุ่น TM-4001 เนื่องจากให้ผลการวัดที่แม่นยำในอาคารที่ความเร็วลมต่ำกว่าเครื่องวัดความเร็วแบบใบพัด โดยทำการวัดความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ระดับหายใจของมนุษย์ คือ 1.10 เมตรจากระดับพื้นห้อง มีรายละเอียดดังนี้

1) ความเร็วลมภายนอกอาคาร

วัดความเร็วลมบริเวณพื้นที่โล่งภายนอกอาคาร ในระดับความสูงที่ระดับหายใจของมนุษย์ คือ 1.10 เมตรจากระดับพื้น โดยสามารถพบความเร็วลมต่ำสุดที่วัดได้ที่ 0.18 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมสูงสุดที่วัดได้ที่ 2.13 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ ความเร็วลมที่สามารถพบได้บ่อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.66 – 1.00 เมตรต่อวินาที

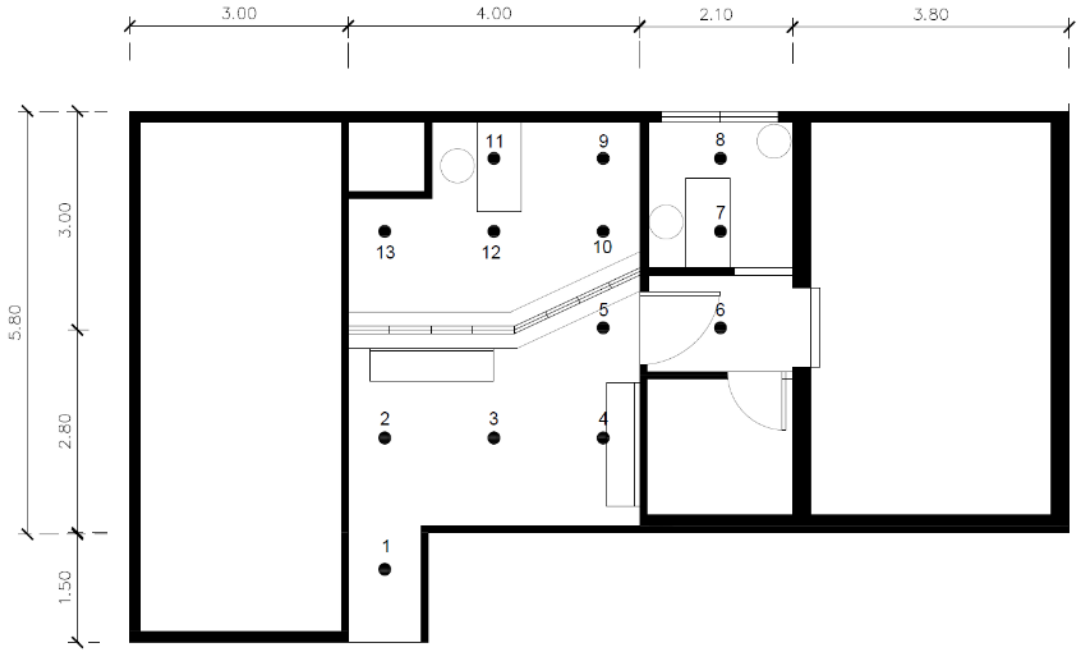
2) ทิศทางการไหลของอากาศ

เก็บข้อมูลด้วยการดูทิศทางการปลิวของกระดาษทิชชู่ ด้วยการสังเกตเพื่อดูทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ หากกระดาษทิชชู่ถูกพัดไปในทิศทางใด แสดงว่าอากาศไหลไปในทิศทางนั้น

ภาพที่ 3.14 การเก็บข้อมูลทิศทางลมด้วยกระดาษทิชชู่

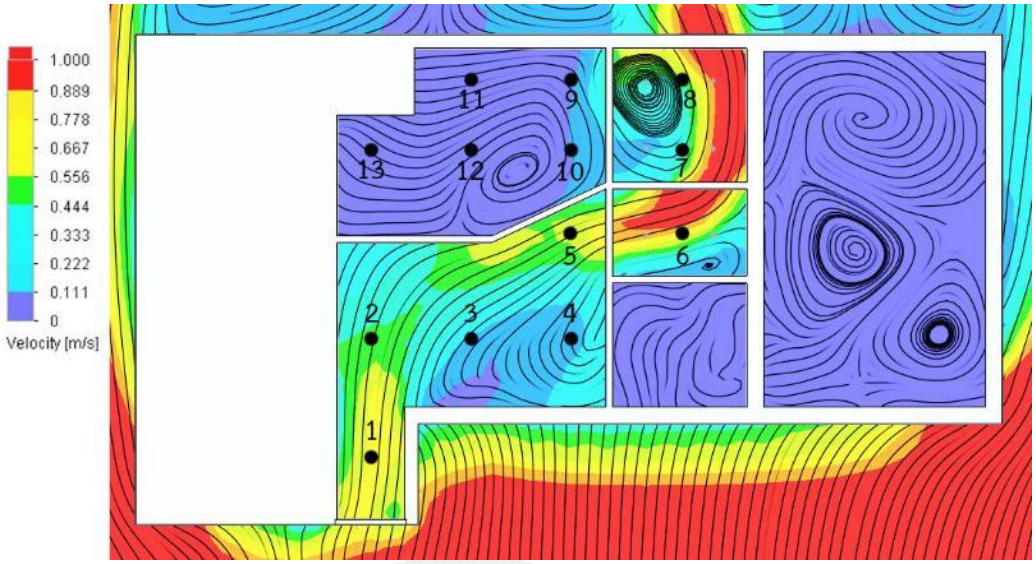
3) ความเร็วลมภายในพื้นที่ใช้งาน

กำหนดตำแหน่งที่ทำการวัดให้ครอบคลุมทั้งคลินิกวัณโรคที่บริเวณโถงพักคอย ห้องตรวจ และห้องพักเจ้าหน้าที่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานเป็นประจำ รวม 13 จุด ที่ระดับความสูงที่ระดับหายใจของมนุษย์ คือ 1.10 เมตรจากระดับพื้น ตามตำแหน่งดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายในคลินิกวัณโรคแห่งหนึ่ง

3.3.2.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศในคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016 โดยกำหนดค่าความเร็วลมภายนอกที่ 2.13 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมภายนอกสูงสุดที่วัดได้จริงการลงสำรวจพื้นที่ เพื่อหาความเร็วลมภายในอาคารตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ 13 จุด ที่ระดับความสูงที่ระดับหายใจของมนุษย์ คือ 1.10 เมตร ดังภาพที่ 3.16



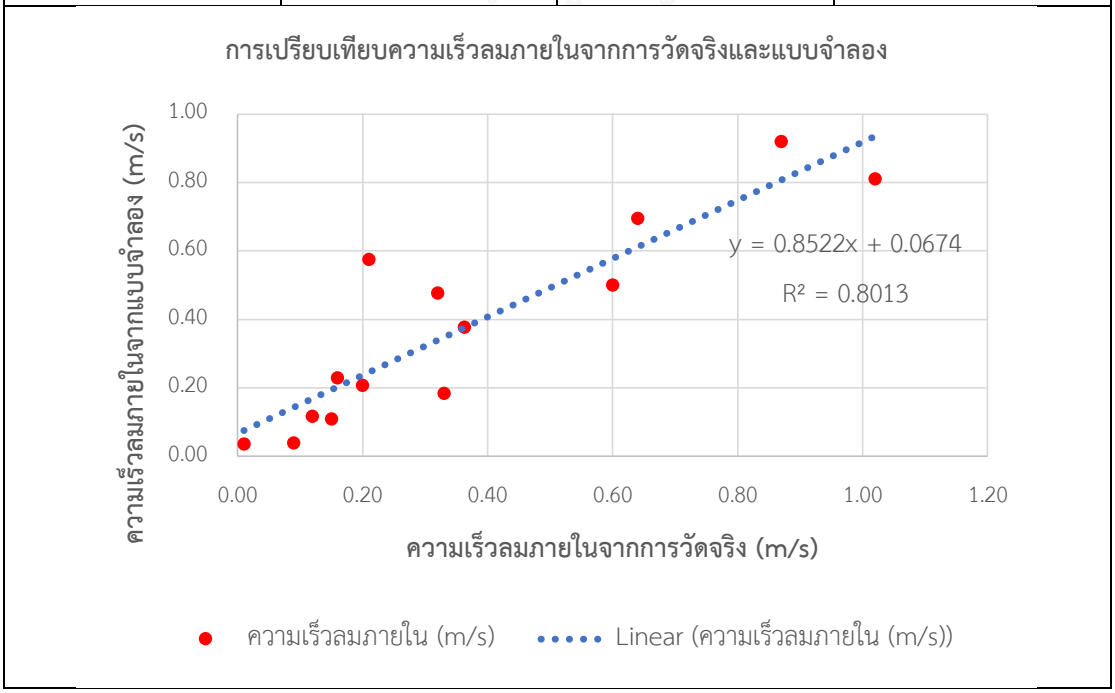
ภาพที่ 3.16 การจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรม

3.3.2.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับกรณีศึกษาจริง

ใช้วิธีการเปรียบเทียบทางสถิติจากข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จริงจากคลินิกวัณโรคกรณีศึกษา กับข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016 โดยนำค่าความเร็วลมภายในจากการวัดจริงและจากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับความเร็วลมภายนอกที่ 2.13 เมตรต่อวินาที และนำไปคำนวณเป็นร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง และตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการวัดค่าความเร็วลมจากสถานที่จริงกับการวัดค่าจากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมภายในจากการวัดจริงและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตำแหน่งที่	ความเร็วภายนอก (m/s)	ความเร็วลมภายใน (m/s)	
		วัดจริง	แบบจำลอง
1	2.13	0.64	0.70
2		0.32	0.48
3		0.16	0.23
4		0.33	0.18
5		0.21	0.57
6		1.02	0.81
7		0.20	0.21
8		0.87	0.92
9		0.15	0.11
10		0.12	0.12
11		0.01	0.04
12		0.60	0.50
13		0.09	0.04
ค่าเฉลี่ย	2.13	0.36	0.38



จากตารางที่ 3.3 พบว่า ในกรณีการวัดค่าความเร็วลมจากสถานที่จริง มีค่าความเร็วลมภายในเฉลี่ยที่ 0.36 เมตรต่อวินาที และในกรณีการวัดค่าความเร็วลมจากจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ มีค่าความเร็วลมภายในเฉลี่ยที่ 0.38 เมตรต่อวินาที เมื่อนำค่าความเร็วลมภายในเฉลี่ยของทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ความเร็วลมจากจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์มีค่ามากกว่าสถานที่จริง โดยในการเปรียบเทียบจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination : R^2) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสัดส่วนความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 หมายความว่า มีความน่าเชื่อถือมาก จากการเปรียบเทียบความเร็วลมจากวัดจริงและจากการจำลอง พบว่า R^2 = 0.80 ซึ่งหมายความว่ามีความแม่นยำสูง (ภัทรภร ทัศพงษ์ และคณะ, 2560)

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWorks Flow Simulation 2016 เข้ามาใช้ในการวิจัยมีความเชื่อถือได้ (Validity)

3.4 การออกแบบการทดลอง

เป็นการออกแบบการทดลองตามวัตถุประสงค์การวิจัยที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถแบ่งการวิจัยได้เป็น 5 ส่วนการทดลอง ได้แก่

3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 : การจำลองการระบายอากาศของคลินิกวัณโรคมาตรฐาน เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน (Base Case) ใน 3 รูปแบบผัง ร่วมกับทิศทางลม 3 ทิศทาง คือ ทิศทางลมที่ 180, 225, 270 องศา และความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.25, 1.00, 1.75 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ

3.4.2 การทดลองส่วนที่ 2 : การศึกษาผลกระทบของการจัดพื้นที่ใช้สอยต่อทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศของผังคลินิกวัณโรคภายหลังการปรับปรุงรูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยของผังคลินิกวัณโรคทั้ง 3 รูปแบบผังใน 2 ลักษณะการจัดพื้นที่ใช้สอย รวม 6 รูปแบบผัง ร่วมกับทิศทางลม 3 ทิศทาง คือ ทิศทางลมที่ 180, 225, 270 องศา และความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.25, 1.00, 1.75 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาจากทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค

3.4.3 การทดลองส่วนที่ 3 : การศึกษาผลกระทบของตำแหน่งช่องเปิดต่อทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศของผังคลินิกวัณโรคภายหลังการปรับปรุงตำแหน่งช่องเปิดของผังคลินิกวัณโรคทั้ง 3 รูปแบบผังให้ตรงกันและเข้าใกล้บริเวณที่เป็นมุมอับเพื่อเพิ่มการระบายอากาศในบริเวณดังกล่าว ร่วมกับทิศทางลม 3 ทิศทาง คือ

ทิศทางลมที่ 180, 225, 270 องศา และความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.25, 1.00, 1.75 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาจากทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรคและอายุอากาศ

3.4.4 การทดลองส่วนที่ 4 : การศึกษาผลกระทบของการวางผังอาคารต่อการระบายอากาศของคลินิกวัณโรค เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศของผังคลินิกวัณโรคภายหลังการปรับปรุงการวางผังอาคารของคลินิกวัณโรคทั้ง 3 รูปแบบผังใน 2 ลักษณะการวางผังอาคารที่มีการเจาะทะลุช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกคลินิก และการจัดให้ห้องตรวจอยู่บริเวณหัวมุมอาคาร ร่วมกับทิศทางลม 3 ทิศทาง คือ ทิศทางลมที่ 180, 225, 270 องศา และความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.25, 1.00, 1.75 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ

3.4.5 การทดลองส่วนที่ 5 : การศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียงที่มีต่อการระบายอากาศของคลินิกวัณโรค เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศของผังคลินิกวัณโรคที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจากการทดลองที่ 1-4 ใน 3 รูปแบบผัง เพื่อศึกษาผลกระทบของการมีอาคารข้างเคียงใน 3 รูปแบบ ร่วมกับทิศทางลม 6 ทิศทาง คือ ทิศทางลมที่ 180, 225, 270, 360, 45, 90 องศา และความเร็วลม 3 ระดับ คือ 0.25, 1.00, 1.75 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ ทั้งนี้ สามารถสรุปจำนวนของตัวแปรและแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองแต่ละส่วน ดังตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.17

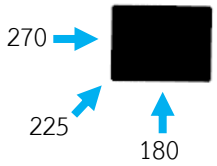
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.4 แบบจำลองและจำนวนที่ใช้ในการทดลองแต่ละส่วน

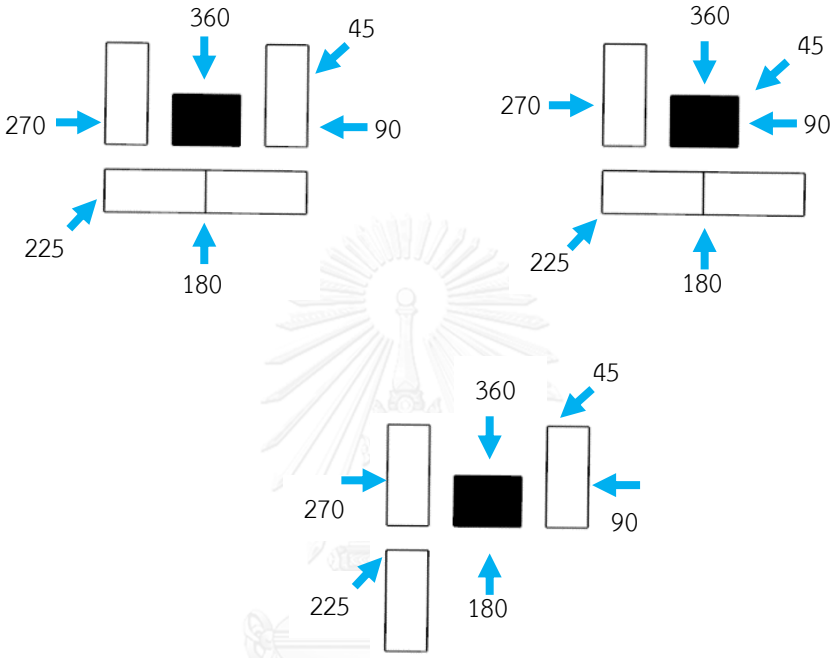
ปัจจัย	ส่วนการทดลอง				
	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3	ส่วนที่ 4	ส่วนที่ 5
รูปแบบผัง	3 (ผังมาตรฐาน)	6 (ผังการจัดพื้นที่ใช้สอยแบบที่ 1,2)	3 (ผังการปรับตำแหน่งช่องเปิด)	6 (ผังการวางผังอาคารแบบที่ 1,2)	3 (ผังการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2)
อาคารข้างเคียง	-	-	-	-	3 (แบบเปิดโล่งด้านเดียว, สองด้าน, สองด้านตรงข้าม)
ทิศทางกระแสลม	3 (180,225, 270 องศา)	3 (180,225, 270 องศา)	3 (180,225, 270 องศา)	3 (180,225, 270 องศา)	6 (180,225,270,360, 45,90 องศา)
ความเร็วลม	3 (0.25/1.00/1.75 เมตร/วินาที)				
จำนวนแบบจำลอง	27	54	27	54	162
รวม	324				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทิศทางลมของการทดลองที่ 1-4



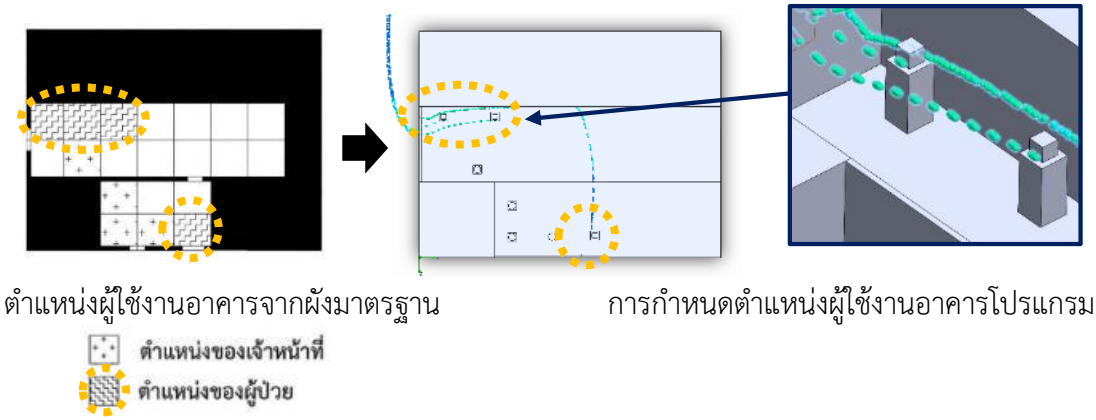
ทิศทางลมของการทดลองที่ 5



ภาพที่ 3.17 ทิศทางลมของการทดลองที่ 1-5

3.5 การจำลองสถานการณ์การระบายอากาศด้วยคอมพิวเตอร์

การวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท CFD ชื่อ SolidWorks Flow Simulation 2016 เป็นเครื่องมือหลักในการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้แสดงผลออกมาใน 2 ลักษณะ คือ ในรูปแบบข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ค่าความเร็วลม ค่าอายุอากาศ และข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ เส้นชั้น (contour line) เส้นแสดงทิศทางการไหลของอากาศ (stream trace) ลูกศรแสดงทิศทาง (vector) ของตัวแปรอายุอากาศ ความเร็วลมและทิศทางลม เพื่อทำการศึกษาอายุอากาศ ความเร็วลมและทิศทางลมภายในอาคาร รวมถึงทิศทางการไหลของเชื้อโรคจากจุดกลมแสดงเชื้อโรค ซึ่งกำเนิดมาจากพื้นผิวบริเวณหน้าผู้ป่วยตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในผังมาตรฐาน (ภาพที่ 3.18) โดยมีการตั้งค่าการคำนวณ ดังตารางที่ 3.5



ตำแหน่งผู้ใช้งานอาคารจากผังมาตรฐาน การกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานอาคารโปรแกรม

ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างการตั้งค่าจุดกำเนิดเชื้อโรค

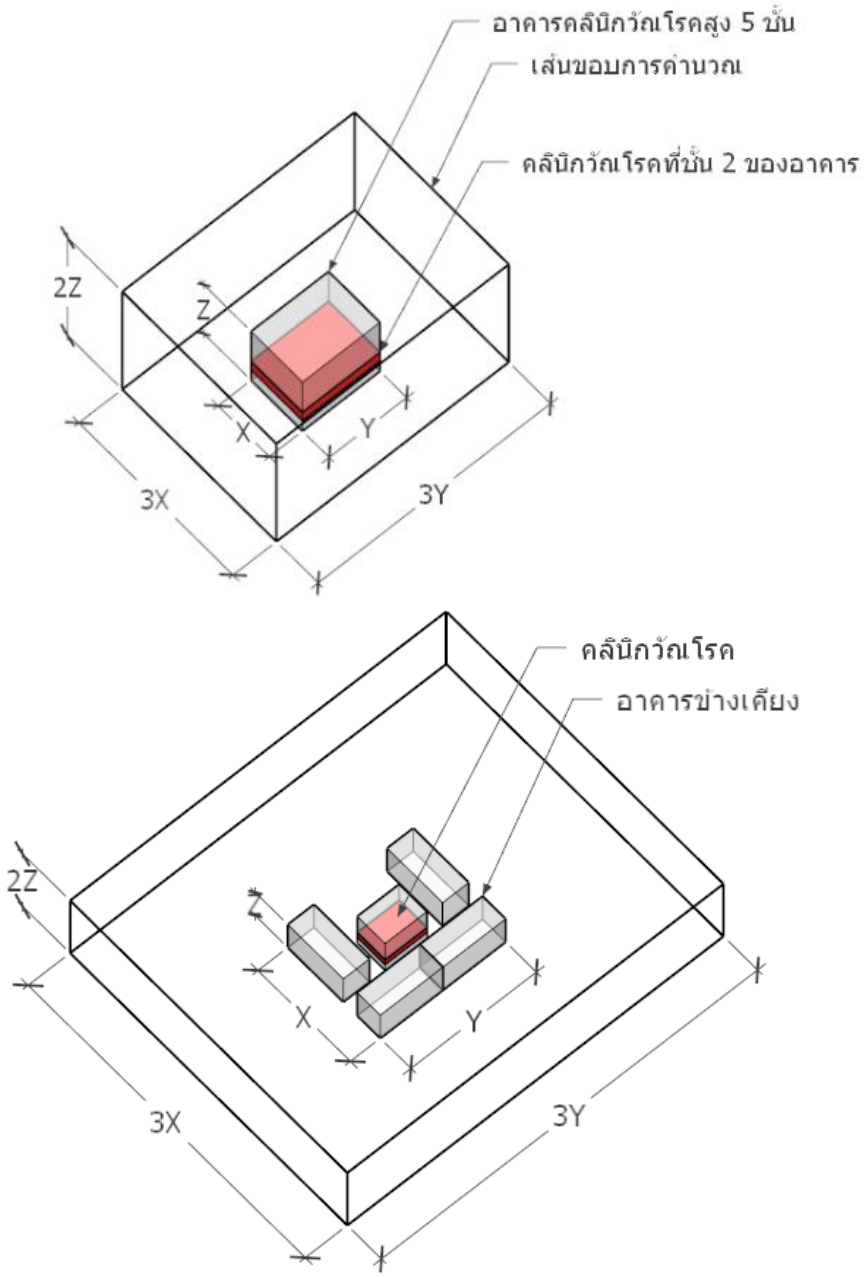
ตารางที่ 3.5 การตั้งค่าการคำนวณการไหลของอากาศด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation 2016

หัวข้อใหญ่	หัวข้อย่อย		การตั้งค่า	หมายเหตุ
Analysis type			External	ใช้การคำนวณแบบภายนอก เนื่องจากวิเคราะห์วัตถุที่ถูกล้อมรอบด้วยของเหลว และไม่สามารถระบุทิศทางการไหลเข้าและออกของของเหลวได้
	Physical Features Gravity	Y component	-9.81 m/s^2	เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
Default Fluid			Air (Gases)	เนื่องจากทำการวิเคราะห์ของไหลประเภทอากาศ
Wall conditions	Default wall thermal condition		Adiabatic wall	การศึกษานี้ไม่คำนวณเรื่องถึงเรื่องอุณหภูมิหรือลักษณะผิวของผนัง
	Roughness		0 micrometer	

หัวข้อใหญ่	หัวข้อย่อย		การตั้งค่า	หมายเหตุ
Initial and Ambient Conditions	Thermody namic Parameters	Pressure	101325 Pa	เป็นค่าเฉลี่ยความดันบรรยากาศของโลก
		Temperature	303.05 K	เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยกรุงเทพฯ
	Velocity Parameters	Velocity in X,Y direction	0.25 m/s 1.00 m/s 1.75 m/s	ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่ใช้ในการทดลอง
Results and geometry resolution	Result resolution		Level 3	กำหนดให้ระบบ Automatic Parameters Definition (APD) การกำหนดค่า basic mesh และ refinement setting โดยอัตโนมัติ จากลักษณะทางกายภาพของขอบเขตการคำนวณของแบบจำลองใน level 3 ซึ่งเป็นค่า recommended สำหรับงานทั่วไปของโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation
Particle Studies	Particle Studies	Wall conditions	Ideal reflection	กำหนดให้ผนังสะท้อนเชื้อโรค
	Injections	Particle properties	5e-006 m Solid	กำหนดให้เชื้อโรคเป็นของแข็งที่มีขนาด 5 ไมครอน (ขนาดของเชื้อวัณโรค)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยกำหนดเส้นขอบเขตพื้นที่การคำนวณแกน X และแกน Y เป็น 3 เท่าของความกว้างความยาวของอาคารที่ทำการศึกษา แกน Z เป็น 2 เท่าของความสูงของอาคารที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 3.19) อ้างอิงระยะขั้นต่ำของความกว้างและความยาวที่ 3 เท่า และความสูงที่ 2 เท่า จากงานวิจัยของ อรุณโรจน์ สิริโภควิบูลย์ และสัทธา ปัญญาแก้ว (2558)



ภาพที่ 3.19 เส้นขอบเขตการคำนวณ ในกรณีไม่มีอาคารข้างเคียง (บน) และมีอาคารข้างเคียง (ล่าง)

3.6 การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์การระบายอากาศด้วยคอมพิวเตอร์

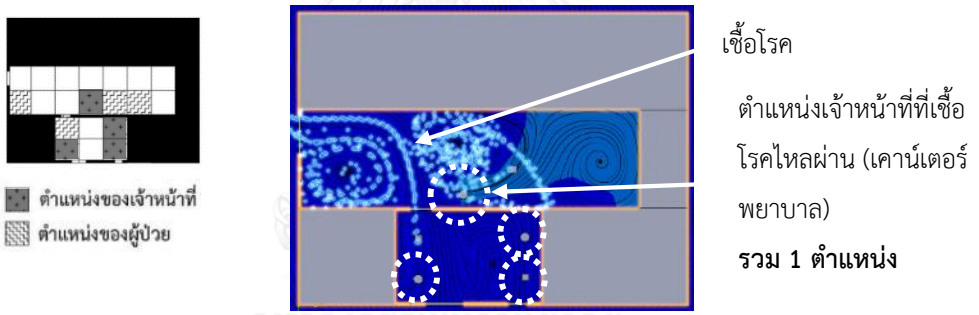
ภายหลังการจำลองสถานการณ์ไหลของอากาศ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ให้ผลลัพธ์จากการจำลองในหลายลักษณะ ซึ่งทำการคัดเลือกข้อมูลที่จะจัดเก็บ คือ 1) ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 2) ข้อมูลการทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค 3) ข้อมูลอายุอากาศ โดยมีวิธีการจัดเก็บข้อมูลดังนี้

3.6.1 ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลความเร็วลมเข้าเฉลี่ยที่ช่องเปิด (m/s) พื้นที่ช่องเปิด (m^2) ปริมาตรห้องคลินิกวัณโรค (m^3) ใช้เพื่อการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยแสดงในรูปแบบตารางข้อมูลเพื่อเตรียมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.6.2 ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค

ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศแสดงข้อมูลในรูปแบบของเส้นการไหลของกระแสลมภายใน และกำหนดทิศทางด้วยหัวลูกศรบน contour plot ส่วนทิศทางการไหลของเชื้อโรค แสดงข้อมูลในรูปแบบจุดเม็ดกลม particle ขนาด 5 ไมครอนตามขนาดของเชื้อโรคที่โตเต็มที่ โดยปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดเชื้อโรค (ที่นั่งของผู้ป่วยที่ความสูง 1.10 เมตรจากระดับพื้นห้อง) ใน 3 ตำแหน่ง คือ 1. ที่นั่งพักคอย 2. ที่ทานยา (DOT) และ 3. ที่นั่งพบแพทย์ และทำการสรุปตำแหน่งและจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านหรือเข้าใกล้บริเวณเจ้าหน้าที่ (1. เคาน์เตอร์พยาบาล 2. ที่นั่งตรวจของแพทย์ 3-4. ที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่) ลงในตาราง (ภาพที่ 3.20)



ภาพที่ 3.20 วิธีการนับจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านหรือเข้าใกล้เจ้าหน้าที่ และตำแหน่งเจ้าหน้าที่ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ

3.6.3 ข้อมูลอายุอากาศ

ข้อมูลอายุอากาศ ทำการแสดงข้อมูลเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) แสดงในรูปแบบของข้อมูลเชิงคุณภาพ ด้วยชั้นอายุอากาศ contour plot ที่ระดับความสูง 1.10 เมตรจากระดับพื้นห้อง และ 2) แสดงข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเชิงปริมาณด้วยค่าอายุอากาศ (วินาที) ของห้องตรวจโรค บริเวณโถงพักคอย และค่าเฉลี่ยคลินิกวัณโรคทั้งคลินิก ซึ่งแสดงผลในรูปแบบตารางข้อมูล

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้รับจากการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.7.1 ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

ข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้จากการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ด้วยการนำค่าความเร็วลมที่ช่องอากาศเข้าจากการจำลองสถานการณ์การไหลมาคำนวณด้วยสูตรคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยอ้างอิงสูตรจาก (WHO, 1999b) ดังนี้

$$ACH = (0.8 \times V_{air} \times A_{inlet} \times 3600)/volume \qquad (1)$$

เมื่อ ACH = อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องในหนึ่งชั่วโมง

V_{air} = ความเร็วลมเฉลี่ยที่ช่องอากาศเข้า (m/s)

A_{inlet} = พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเข้า (m^2)

volume= ปริมาตรห้อง (m^3)

เมื่อได้ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศแล้ว จะนำค่าดังกล่าวมามาเปรียบเทียบค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ยของแต่ละส่วนการทดลอง และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH ตามที่ได้มีการทบทวนวรรณกรรมไว้ในบทที่ 2 และเรียงลำดับรูปแบบผังคลินิกวัณโรคที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากมากไปน้อย

3.7.2 ข้อมูลอายุอากาศ

ค่าอายุอากาศที่สรุปลงในตารางทั้งพื้นที่ใช้งานโถงพักคอย และห้องตรวจ จะนำมาเปรียบเทียบค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ยของแต่ละส่วนการทดลอง และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของอายุอากาศที่ 300 วินาที ตามที่ได้มีการทบทวนวรรณกรรมไว้ในบทที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่ออายุอากาศ และเรียงลำดับรูปแบบผังคลินิกวัณโรคที่มีอายุอากาศจากน้อยไปมาก

3.7.3 ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค

ข้อมูลทั้ง 3 ส่วน นี้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.7.3.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่

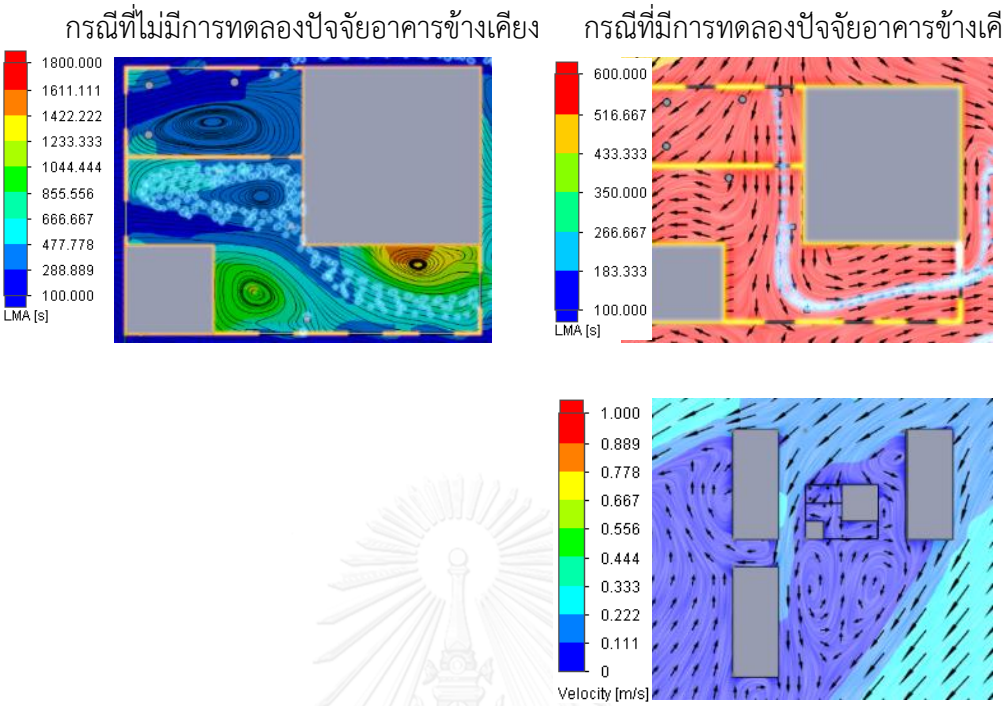
1) จำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านหรือเข้าใกล้เจ้าหน้าที่ที่สรุปลงในตาราง โดยนำมาเปรียบเทียบจำนวนและตำแหน่งของแต่ละส่วนการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านหรือเข้าใกล้เจ้าหน้าที่ และทดสอบว่าการแก้ไขปัญหาการติดเชื้อภายในคลินิกวัณโรคสามารถทำให้ลดลงได้หรือไม่ และตำแหน่งของเจ้าหน้าที่จุดใดเป็นจุดเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูงสุด

3.7.3.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่

ข้อมูลเชิงคุณภาพ มีการนำเสนอภาพใน 2 รูปแบบ คือ

1) ในกรณีที่ไม่ได้มีการทดลองปัจจัยอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 1-4) จะนำเสนอภาพผังคลินิกวัณโรค ซึ่งมี contour plot แสดงสีแทนอายุอากาศ เส้นการไหลของอากาศ และทิศทางการไหลของเชื้อโรค (ภาพที่ 3.20) เพื่อวิเคราะห์จุดอับลม จุดที่เกิดลมหมุน และทิศทางการไหลของเชื้อโรคจากผู้ป่วยสู่พื้นที่ต่างๆ ในคลินิกวัณโรค ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงในการติดเชื้อโรคสูง เพื่อทำการเสนอแนวทางการแก้ไขต่อไป

2) ในกรณีที่มีการทดลองปัจจัยอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 5) จะนำเสนอภาพผังคลินิกวัณโรค ซึ่งมี contour plot แสดงสีแทนอายุอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศด้วยลูกศรและทิศทางการไหลของเชื้อโรค เพื่อทิศทางการไหลของอากาศ และทิศทางการไหลของเชื้อโรคจากผู้ป่วยสู่พื้นที่ต่างๆ ในคลินิกวัณโรค เมื่อมีอาคารข้างเคียงบังลม รวมถึงมีการเพิ่มการนำเสนอภาพผังคลินิกวัณโรคร่วมกับอาคารข้างเคียง ซึ่งมี contour plot แสดงสีแทนความเร็วลม เส้นการไหลของอากาศและลูกศรทิศทางการไหลของอากาศ (ภาพที่ 3.21) เพื่อวิเคราะห์ทิศทางลมที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งภายนอกและภายในคลินิกวัณโรค และนำไปเปรียบเทียบกับทิศทางลมของคลินิกวัณโรคที่ยังไม่ได้มีการศึกษาปัจจัยอาคารข้างเคียง เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นและเสนอแนวทางการแก้ไขต่อไป



ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างของภาพการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของคลินิกวัณโรคในกรณีที่ไม่มีปัจจัยอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และมีปัจจัยอาคารข้างเคียง (ขวา) โดยผู้วิจัย, 2560

3.8 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลข้อมูลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งจากข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ อายุอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค มาประกอบกันและรายงานผลที่พบ เพื่อสรุปอิทธิพลต่อการระบายอากาศของปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทดลอง พร้อมเสนอแนะแนวการปรับปรุงแก้ไขการระบายอากาศ ด้วยวิธีการจัดพื้นที่ใช้สอย ปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการวางผังอาคารที่สอดคล้องกับการใช้งานพื้นที่ รวมถึงการเสนอแนะรูปแบบการปรับปรุงคลินิกวัณโรคเมื่อมีอาคารข้างเคียงบดบังลมจากภายนอก

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษารูปแบบการระบายอากาศของคลินิกวัณโรคด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคารที่มีต่อประสิทธิภาพการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในอากาศ และผลกระทบของรูปร่างและทิศทางของอาคารข้างเคียงที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในคลินิกวัณโรค เพื่อหาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงคลินิกวัณโรค โดยได้ทำการทดลองศึกษาผลกระทบของแต่ละปัจจัยตามวัตถุประสงค์ในการทดลองส่วนที่ 1-5 ซึ่งสามารถแบ่งการรายงานผลได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (การทดลองส่วนที่ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและปัญหาการระบายอากาศในปัจจุบันจากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ

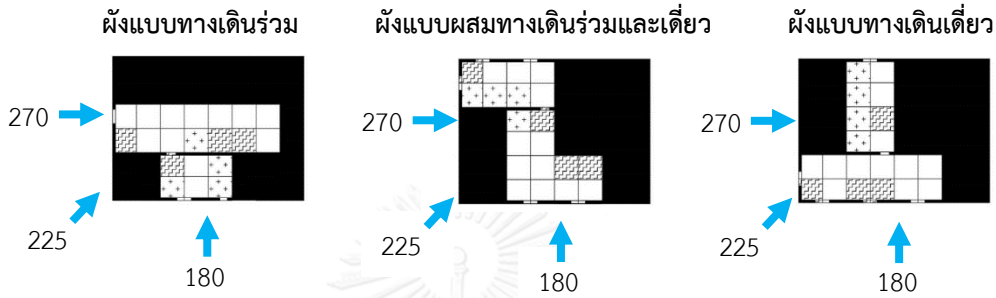
ส่วนที่ 2 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 2-4) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศภายหลังการปรับปรุงตัวแปร จากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ

ส่วนที่ 3 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร เมื่อมีการคำนึงถึงปัจจัยด้านอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 5) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศภายหลังการมีปัจจัยด้านอาคารข้างเคียงใน 3 รูปแบบ จากการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค และอายุอากาศ

ส่วนที่ 4 การสรุปผลจากส่วนที่ 1-3 และแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรคจากการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร

4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (การทดลองส่วนที่ 1)

จากการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (ภาพที่ 4.1) สามารถแบ่งการรายงานผลได้ 3 ส่วน คือ 1. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 2. อายุอากาศ 3. ทิศทางการไหลของเชื้อโรค โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้ (ตารางที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 แบบจำลองในสวนการทดลองที่ 1

4.1.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)

จากการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุงกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 12 ACH พบว่า เมื่อมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที จะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกทิศทางลม ทุกความเร็วลมและทุกรูปแบบผัง แต่หากมีความเร็วลม 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะสามารถผ่านมาตรฐานได้ทั้งหมด ยกเว้นกรณีผังแบบทางเดินร่วมเมื่อมีทิศทางลม 225 องศา ในความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ พบค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวที่ 11.33, 22.85 และ 25.48 ACH ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าผังแบบทางเดินเดี่ยวเป็นผังที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงที่สุด รองมาเป็นผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินร่วม

4.1.2 อายุอากาศ

จากการเปรียบเทียบอายุอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุงกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 วินาที พบว่า เมื่อมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที จะทำให้อายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกทิศทางลม ทุกความเร็วลมและทุกรูปแบบผังเช่นเดียวกันกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ อย่างไรก็ตาม พบว่ายังมีกรณีอื่นๆ ของแต่ละรูปแบบผังที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน คือ

- ผังแบบทางเดินร่วม ในทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยอายุอากาศของทั้งคลินิกวัณโรคไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และในพื้นที่โถงพักคอยเมื่อมีทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยอายุอากาศรวมของทั้งคลินิก วัณโรคไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปด้วย

- ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเฉพาะในส่วนโถงพักคอยเมื่อมีทิศทางลมที่ 270 องศา และความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที

- ผังแบบทางเดินเดี่ยว ในทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลม 1.00 เมตรต่อวินาที ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเฉพาะในส่วนห้องตรวจเมื่อมีทิศทางลมที่ 270 องศา และความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ พบค่าเฉลี่ยอายุอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวที่ 1,729.98, 371.20 และ 351.62 วินาที ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าผังแบบทางเดินเดี่ยวเป็นผังที่มีอายุอากาศน้อยที่สุด รองมาเป็นผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินร่วม ซึ่งพบว่าเมื่อมีกรณีใดที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อายุอากาศก็จะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

4.1.3 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค

จากการศึกษาทิศทางการไหลของเชื้อโรค พบว่า ในทุกรูปแบบผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน ส่วนใหญ่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่เกือบทุกกรณี เว้นแต่ผังแบบทางเดินเดี่ยวที่ในบางกรณีจะไม่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่เลย โดยจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวรวมแล้วคือ 15, 23 และ 11 ตำแหน่ง ตามลำดับ ซึ่งการไหลผ่านของเชื้อโรคในผังแบบทางเดินร่วมเกิดขึ้นทั้งในโถงพักคอยและภายในห้องตรวจ ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวและผังแบบทางเดินเดี่ยวมักเกิดขึ้นในห้องตรวจเป็นหลัก ซึ่งสรุปได้ว่าผังแบบทางเดินเดี่ยวเป็นผังที่มีตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่น้อยที่สุด รองมาเป็นผังแบบผสมทางเดินร่วม และผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว

จากการวิเคราะห์ผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน พบว่า ปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่เกิดจากปัจจัยด้านทิศทางลม ที่มีทิศทางการไหลของอากาศได้หลายทิศทาง ทำให้ในบาง

กรณี ที่นั่งของเจ้าหน้าที่อยู่ฝั่งต้นลมและไม่มีเชื้อโรคไหลผ่าน ในขณะที่บางกรณี ที่นั่งของเจ้าหน้าที่กลายเป็นฝั่งปลายลมที่เชื้อโรคไหลผ่านได้ หรือเกิดจากการที่ที่นั่งของผู้ป่วยอยู่ห่างจากช่องเปิด ซึ่งทำให้เชื้อโรคบางส่วนระบายออกไปภายนอกได้ไม่หมดและหมุนวนอยู่ภายในคลินิก

ทั้งนี้ จากข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่นำมาพิจารณาร่วมกับจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ พบว่า ไม่ได้มีความสัมพันธ์กัน เช่น ในกรณีผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว เมื่อมีทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่กลับมีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่สูงถึงกรณีละ 3 ตำแหน่ง โดยมีรายละเอียดของทิศทางการไหลของเชื้อโรคในแต่ละรูปแบบผัง ดังตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง

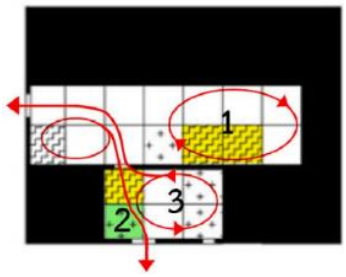
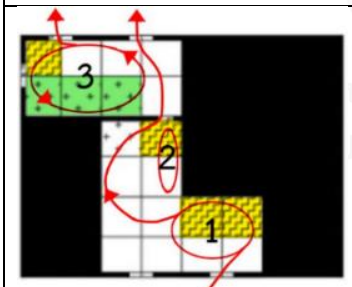
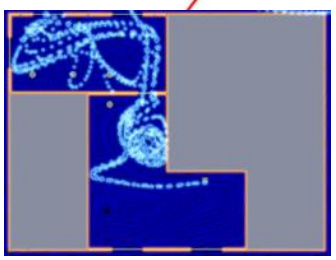
รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินร่วม											
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			3.47	13.92	23.92	1.82	7.44	14.05	3.08	12.48	21.78	1.82	23.92	11.33
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		356.08	91.11	50.52	1,938.95	479.69	265.81	1,147.90	279.28	157.47			
	โถงพักคอย		1,627.15	397.29	226.38	12,374.09	2,764.09	1,644.06	700.42	194.17	112.76			
	รวม		1,248.43	306.15	174.02	9,326.74	2,096.98	1,241.57	831.11	219.03	125.82	125.82	9,326.74	1,729.98
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		1	1	1	3	3	3	1	1	1	รวม	15	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P1	P1	P1									
		HCW2				P3	P3	P3	P3	P1,2,3	P1,2,3			
		HCW3				P3	P3	P3						
		HCW4				P3	P3	P3						

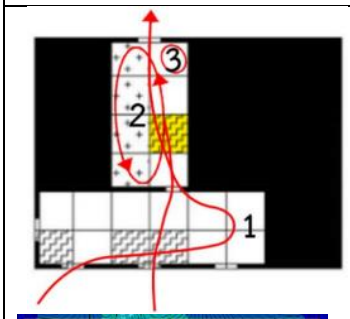
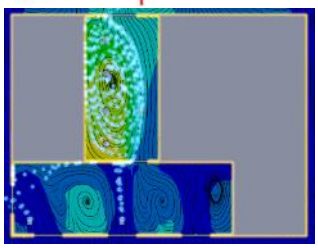
รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว											
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			4.53	18.18	31.24	8.35	33.84	61.29	4.01	16.07	28.18	4.01	61.29	22.85
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		823.54	204.02	117.51	979.88	241.92	138.09	338.90	83.46	47.52			
	โถงพักคอย		384.98	95.29	55.35	562.29	138.91	80.32	1,632.63	402.25	230.76			
	รวม		559.16	138.47	80.04	728.10	179.81	103.26	1,118.46	275.55	157.93	80.04	1,118.46	371.20
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		3	3	3	1	1	3	3	3	3	รวม	23	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1				P1	P1							
		HCW2	P3	P3	P3			P2	P3	P3	P3			
		HCW3	P3	P3	P3			P2	P3	P3	P3			
		HCW4	P3	P3	P3			P2	P3	P3	P3			

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินเดี่ยว											
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			7.09	28.36	49.64	8.04	28.17	59.16	4.07	16.28	28.52	4.07	59.16	25.48
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		875.84	217.54	123.60	977.07	293.65	142.73	1,788.62	439.38	254.66			
	โถงพักคอย		344.39	85.71	48.61	513.64	151.25	78.38	462.30	113.46	66.90			
	รวม		555.59	138.10	78.42	698.50	207.94	104.11	995.16	244.40	142.33	78.42	995.16	351.62
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		4	0	0	0	2	3	0	1	1	รวม	11	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P1											
		HCW2	P1					P1						
		HCW3	P1				P1,2	P1,2						
		HCW4	P1				P1,2	P1,2		P3	P3			

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

ตารางที่ 4.2 ปัญหาทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานผังที่พบก่อนทำการปรับปรุง

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**ผังแบบทางเดินร่วม** **ตำแหน่งที่ 1** เกิดอากาศหมุนวนในทุกทิศทางลม ทำให้เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพักคอยสะสมและไหลวนอยู่บริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 270 องศา ทำให้เชื้อโรคจากบริเวณที่นั่งทานยาและที่นั่งพบแพทย์ไหลผ่านแพทย์ก่อนการระบายออกสู่ภายนอก และเกิดการสะสมเชื้อโรคในอากาศหมุนวนที่บริเวณที่นั่งทานยา เนื่องจากอยู่บริเวณมุมอับ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากผู้ป่วยนั่งพบแพทย์จึงหมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ โดยมีการระบายออกไปนอกห้องตรวจที่น้อยมาก
 	**ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 270 องศา ทำให้เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพักคอยสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน และในทิศทางลมที่ 225 องศา อากาศจากบริเวณนี้ได้ไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา ทำให้เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งทานยาสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 180 และ 270 องศา ทำให้เกิดอากาศหมุนวนในห้องตรวจ เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์จึงแพร่กระจายอยู่ภายในห้อง

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
 	**ผังแบบทางเดินเดี่ยว** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 225 องศา อากาศไหลจากที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาไปในห้องตรวจและเข้าใกล้บริเวณส่วนเจ้าหน้าที่ **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 180 องศา ในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที ทำให้เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์ และที่นั่งพักคอยสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 270 องศา ในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที ทำให้เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์สะสมอยู่บริเวณมุมห้อง

จากข้อมูลทั้งหมด สามารถสรุปปัญหาที่พบได้จากการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง ได้ 3 ประเด็น ดังนี้ (ตารางที่ 4.3)

1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานหากมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที ในทุกรูปแบบผัง เว้นแต่ผังแบบทางเดินร่วมในทิศทางลม 225 องศา ที่ถึงแม้จะมีความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศก็ไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้

2) อายุอากาศจะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกรูปแบบผัง หากมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาทีเช่นเดียวกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ นอกจากนี้ ในความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที ยังพบว่ามีกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอีกทั้งในทุกรูปแบบผัง โดยมีกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุดในผังแบบทางเดินร่วม เมื่อมีทิศทางลมที่ 225 และ 180 องศา

3) ทิศทางการไหลของเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ในทุกรูปแบบผัง ทุกทิศทางลมและทุกความเร็วลม เว้นแต่ผังแบบทางเดินเดี่ยวบางกรณี เช่น ในกรณีที่มีความเร็วลมต่ำที่ 0.25 เมตรต่อวินาที โดยผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวเป็นรูปแบบผังมีจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ประเด็นปัญหาที่พบจากผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง

ประเด็นปัญหาที่พบ	ทิศทางและความเร็วลมภายนอก								
	180 (S)			225 (WS)			270 (W)		
	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75
1. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่เพียงพอ	DMS			DMS	D		DMS		
2. มีค่าเฉลี่ยอายุอากาศของทั้งคลินิกวัณโรคสูงเกินมาตรฐาน	DMS			DMS	D	D	DMS		
3. ทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังส่วนเจ้าหน้าที่	DMS	DM	DM	DM	DMS	DMS	DM	DMS	DMS
หมายเหตุ : D = ผังแบบทางเดินร่วม, M = ผังแบบทางเดินผสม, S = ผังแบบทางเดินเดี่ยว									

จากปัญหาที่พบข้างต้น จึงกำหนดวิธีการปรับปรุงคลินิกวัณโรคด้วยการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบอาคาร ได้แก่ การปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร โดยเรียงจากจำนวนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปรับปรุง ซึ่งในแต่ละวิธีจะสามารถแก้ไขปัญหาได้แตกต่างกัน รายละเอียดดังตารางที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 วิธีการแก้ไขปัญหาที่พบจากผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน

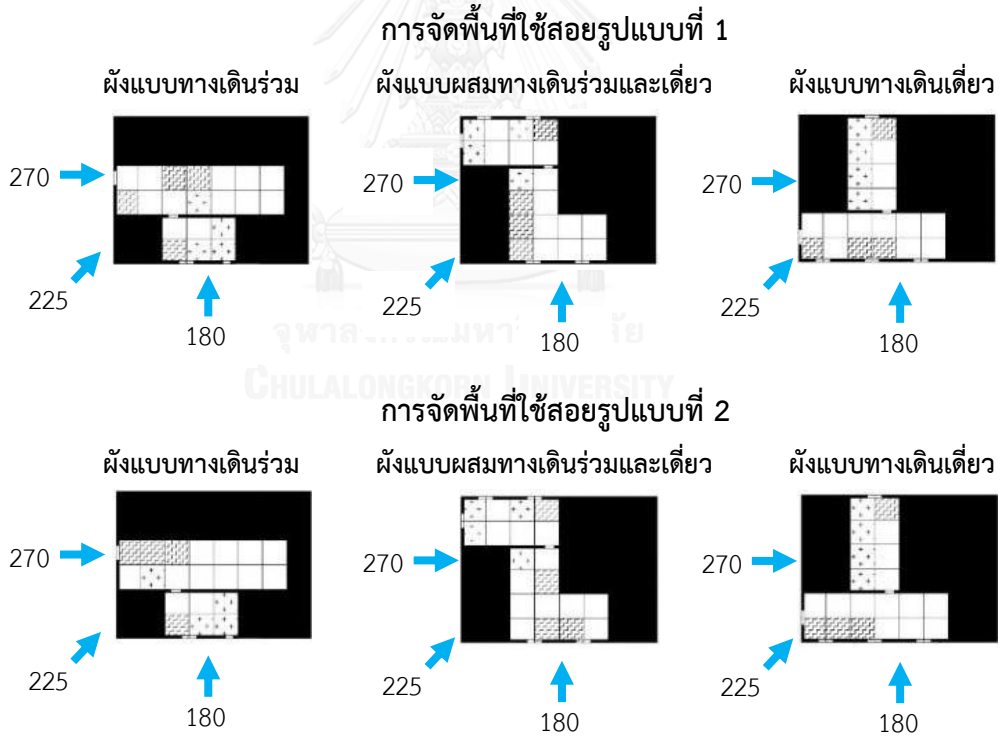
ประเด็นปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ปัญหา	วิธีการแก้ไขปัญหา		
		การจัดพื้นที่ใช้สอย	การเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด	การเปลี่ยนผังอาคาร
1. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่เพียงพอ	เพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ			/
2. มีค่าเฉลี่ยอายุอากาศสูงเกินมาตรฐาน	เพิ่มการไหลของอากาศบริเวณมุมอับ		/	/
3. ทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังส่วนเจ้าหน้าที่	เปลี่ยนทิศทางของการไหลของเชื้อโรค	/	/	/

4.2 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงด้วยการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 2-4)

จากการผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคภายหลังการปรับปรุง สามารถแบ่งผลการวิจัยได้ตามวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุง คือ การปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอย (การทดลองส่วนที่ 2)

การปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอย เป็นวิธีที่ง่ายต่อการดำเนินการมากที่สุด และเป็นวิธีที่ส่งผลต่อปัญหาเรื่องทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังเจ้าหน้าที่ โดยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยใหม่ จำนวน 2 รูปแบบ (ภาพที่ 4.2) มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.5)



ภาพที่ 4.2 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 2

4.2.1.1 ทิศทางการไหลของเชื้อโรคของรูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1

ผลการจำลองการจัดพื้นที่ใช้สอยแบบที่ 1 พบว่า จำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวรวมแล้วคือ 14, 22 และ 7 ตำแหน่ง ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าทุกรูปแบบผังมีจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ลดลง แต่ผังแบบทางเดินร่วมและผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวลดลงเพียง 1 ตำแหน่ง จากการจัดตำแหน่งเจ้าหน้าที่ให้พ้นจากกระแสลมหลักภายในคลินิก และจัดตำแหน่งให้ผู้ป่วยอยู่ห่างจากพื้นที่อับลมและอยู่ตรงกับกระแสลมหลักภายในคลินิกแทน ในขณะที่ผังแบบทางเดินเดี่ยวที่สามารถลดจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ถึง 4 ตำแหน่ง จากการที่ย้ายตำแหน่งผู้ป่วยให้เข้าใกล้ช่องเปิดและอยู่ห่างจากทางเข้าห้องตรวจมากขึ้น ดังนั้น จึงมีการพัฒนารูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยสำหรับผังแบบทางเดินร่วมและผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2 ต่อไป โดยมีรายละเอียดของทิศทางการไหลของเชื้อโรคในแต่ละรูปแบบผัง ดังตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1แ ละ 2

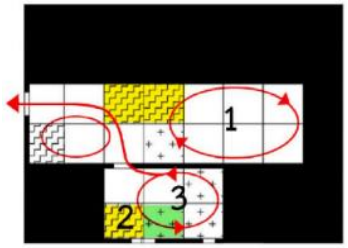
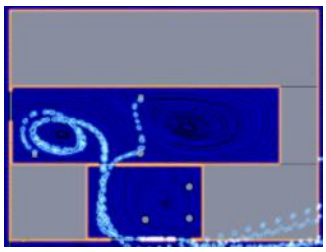
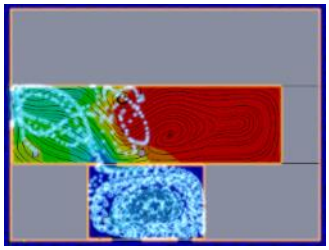
รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วม									
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	
รูปแบบที่ 1	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	1	1	1	2	3	3	1	1	1	รวม ↓ 14
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1	P1	P1	P1				P1	P1	P1	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2				P3	P3	P3				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3				P3	P3	P3				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4					P3	P3				
รูปแบบที่ 2	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	0	0	0	2	3	4	0	0	1	รวม ↓ 10
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1						P2			P1	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2				P3	P3	P3				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3				P3	P3	P3				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4					P3	P3				

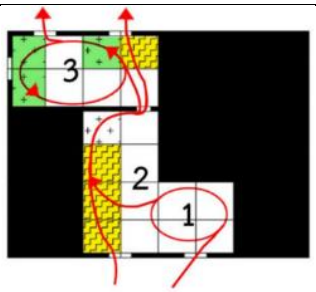
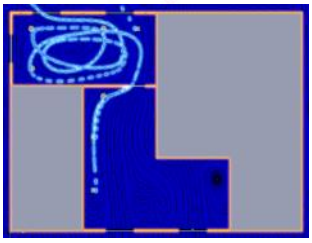
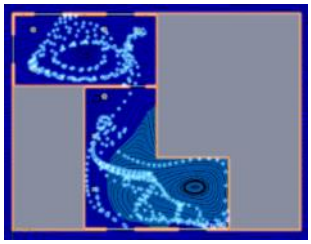
รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว									
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	
รูปแบบที่ 1	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	2	4	4	1	1	1	3	3	3	รวม ↓ 22
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1	P1,2	P1,2	P1,2	P2	P1,2	P1,2				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2		P1,2	P1,2				P3	P3	P3	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3	P1,2	P1,2	P1,2				P3	P3	P3	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4		P1,2	P1,2				P3	P3	P3	
รูปแบบที่ 2	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่งที่	0	0	0	1	0	3	1	3	3	รวม ↓ 11
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1				P1						
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2						P2		P3	P3	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3						P2	P3	P3	P3	
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4						P2		P3	P3	

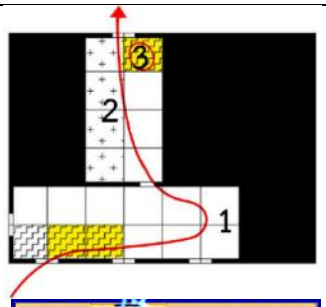
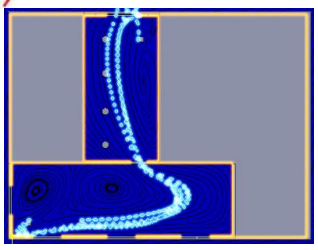
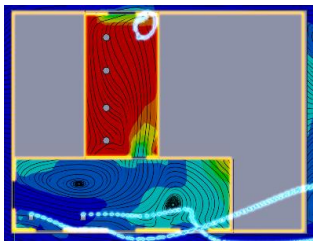
รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินเดี่ยว									
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	
รูปแบบที่ 1	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	0	0	0	0	2	3	0	1	1	รวม ↓ 7
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1										
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2						P1,2				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3					P1,2	P1,2				
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4					P1,2	P1,2		P3	P3	
รูปแบบที่ 2	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่งที่										
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1										
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2										
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3										
		ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4										

มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

ตารางที่ 4.6 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**ผังแบบทางเดินร่วม** **แนวทางการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ย้ายที่นั่งพักคอยให้ออกห่างจากบริเวณที่เกิดอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 2 และ 3** ย้ายที่นั่งแพทย์ให้พ้นจากทางไหลของกระแสลมหลัก และจัดให้ผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์นั่งติดกับช่องเปิดเพื่อที่จะได้สามารถระบายเชื้อโรคออกสู่ภายนอกได้โดยสะดวก **ผลการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ด้วยที่นั่งพักคอยมีลักษณะเป็นแถวยาว ทำให้เชื้อโรคจากบางส่วนของที่นั่งพักคอยยังคงอยู่ในบริเวณพื้นที่อากาศหมุนวน อย่างไรก็ตาม การจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1 มีการสะสมเชื้อโรคในบริเวณดังกล่าวน้อยลงกว่ารูปแบบผังมาตรฐาน **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 270 องศา เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งทานยา และที่นั่งพบแพทย์ไม่ไหลผ่านที่นั่งแพทย์แล้ว แต่ในบริเวณที่นั่งทานยายังอยู่ในบริเวณที่เกิดอากาศหมุนวน ทำให้บริเวณดังกล่าวยังคงมีการสะสมเชื้อโรคอยู่ **ตำแหน่งที่ 3** ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอย

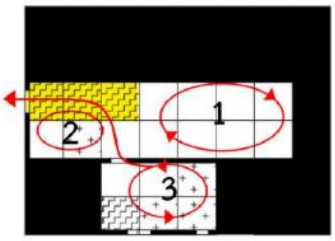
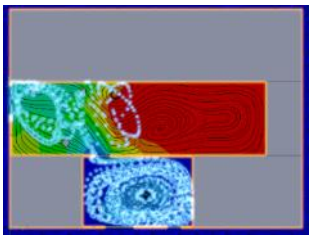
ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว** **การจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ย้ายที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยามาบริเวณทางไหลผ่านของลม **ตำแหน่งที่ 3** ย้ายที่นั่งพบแพทย์และที่นั่งแพทย์ให้อยู่บริเวณทางไหลผ่านของกระแสลม และจัดให้ที่นั่งพบแพทย์ติดกับช่องเปิดเพื่อให้สามารถระบายเชื้อโรคออกสู่ภายนอกอาคารได้โดยสะดวก **ผลการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ลดการสะสมของเชื้อโรคบริเวณอากาศหมุนวนที่จุดอับลมในโถงพักคอยได้ **ตำแหน่งที่ 2** เมื่อมีทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากบริเวณที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาจะไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาลและหมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ แต่เมื่อมีทิศทางลมที่ 225 องศา จะสามารถลดการสะสมเชื้อโรคในอากาศหมุนวนบริเวณทางเข้าห้องตรวจได้ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 180 องศา สามารถลดการไหลผ่านของเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพักคอยไปสู่เจ้าหน้าที่ได้ แต่ในทิศทางลมที่ 270 องศา เชื้อโรคยังคงหมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ

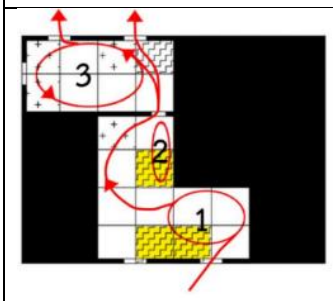
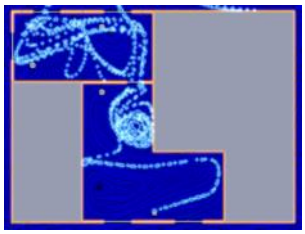
ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**ผังแบบทางเดินเดี่ยว** **แนวทางการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ย้ายที่นั่งพักคอยให้ห่างจากประตูห้องตรวจให้มากขึ้น **ตำแหน่งที่ 3** ย้ายที่นั่งผู้ป่วยให้ติดช่องเปิด เพื่อให้สะดวกต่อการระบายเชื้อโรคออกนอกอาคาร **ผลการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอย **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพักคอยไม่ไหลเข้าห้องตรวจแล้ว แต่ทิศทางลมไหลเข้าไปใกล้บริเวณที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่อยู่ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 270 องศา ในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์ยังคงสะสมอยู่บริเวณมุมห้อง ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอยด้วยการแก้ไขปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ที่สามารถกระทำได้ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอยบรรลุตามวัตถุประสงค์แล้ว ในผังคลินิกวัณโรคแบบทางเดินเดี่ยวจึงไม่ต้องมีการศึกษาการจัดพื้นที่ใช้สอยในรูปแบบที่ 2 อีก

4.2.1.2 ทิศทางการไหลของเชื้อโรคของรูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2

จากปัญหาที่พบในการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1 ของผังแบบทางเดินร่วมและผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว จึงนำมาพัฒนาการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2 โดยพบว่าปัญหาเกิดจากการที่ยังจัดให้ผู้ป่วยนั่งห่างจากมุมอับลมและนั่งตรงกันกับช่องทางการไหลของอากาศที่ยังไม่มากพอ จากการทดลองจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2 พบว่า จำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม และผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวรวมแล้วคือ 10 และ 11 ตำแหน่ง ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ยิ่งจัดให้ผู้ป่วยนั่งห่างจากมุมอับลมและนั่งตรงกันกับช่องทางการไหลของอากาศมากขึ้นเท่าไร จะยิ่งช่วยลดจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้มากขึ้นเท่านั้น รายละเอียดของทิศทางการไหลของเชื้อโรคในแต่ละรูปแบบผัง ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
 	**ผังแบบทางเดินร่วม** **แนวทางการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1** ย้ายที่นั่งพักคอยให้ออกห่างจากอากาศหมุนวนมากขึ้น **ตำแหน่งที่ 2** ย้ายที่นั่งทานยาออกจากบริเวณอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 3** ใช้รูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 1 **ผลการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1** ที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยา มีการไหลผ่านและสะสมเชื้อโรคที่น้อยลง ยกเว้นในกรณีทิศทางลมที่ 270 องศา ซึ่งเกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที เนื่องจากกระแสลมกระทบกับผนังของห้องตรวจ ทำให้เชื้อโรคที่ไหลมาตามกระแสลมแพร่กระจายอยู่ในโถงพักคอย **ตำแหน่งที่ 2** ในทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากบริเวณที่นั่งทานยาไม่สะสมอยู่ในอากาศหมุนวนแล้ว ยกเว้นแต่ในกรณีความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ในทิศทางลมที่ 225 และ 270 องศา **ตำแหน่งที่ 3** ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอย

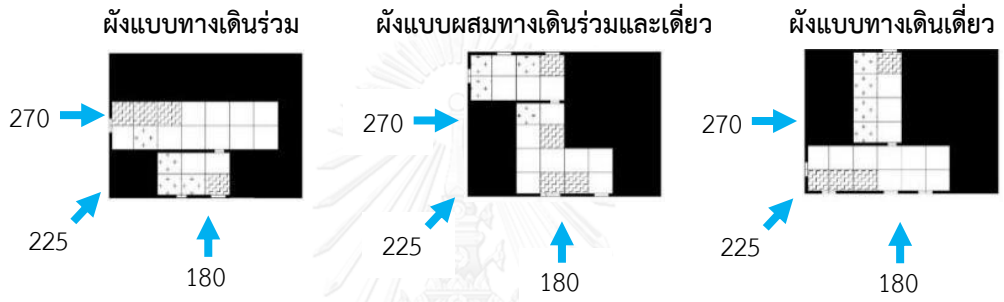
ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
 	**ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว** **การจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ย้ายที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาให้อยู่บริเวณทางไหลผ่านของลม และตรงกับช่องเปิดมากขึ้น **ตำแหน่งที่ 3** ย้ายที่นั่งพบแพทย์และที่นั่งแพทย์ให้อยู่บริเวณทางไหลผ่านของกระแสลม และจัดให้ที่นั่งพบแพทย์ติดกับช่องเปิดเพื่อให้สามารถระบายเชื้อโรคออกสู่ภายนอกอาคารได้โดยสะดวก **ผลการจัดพื้นที่ใช้สอยรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยา ไม่ไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาลแล้ว ช่วยลดการสะสมเชื้อโรคในอากาศหมุนวนในห้องตรวจ ส่วนในทิศทางลมที่ 270 องศา สามารถลดการสะสมเชื้อโรคในอากาศหมุนวนบริเวณโถงพักคอยได้ อย่างไรก็ตาม ในทิศทางลมที่ 225 องศา ได้เกิดปัญหาเชื้อโรคจากที่นั่งทานยาสะสมอยู่ในบริเวณอากาศหมุนวน และมีเชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 180 องศา ไม่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่แล้ว แต่ในทิศทางลมที่ 270 และ 225 องศา ยังคงพบปัญหาเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์หมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ

ดังนั้น จากผลการปรับเปลี่ยนจัดพื้นที่ใช้สอยของคลินิกวัณโรคจึงสรุปได้ว่าเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ในทุกรูปแบบผัง โดยจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยว เมื่อเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดลงไปได้ 5, 12 และ 4 ตำแหน่ง ตามลำดับ โดยทิศทางลมที่ 180 องศา เป็นทิศทางที่ภายหลังการปรับปรุง สามารถลดจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้เหลือ 0 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม ยังคงมีตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้อยู่ในทิศทางลมที่ 225 และ 270 องศา และพบมากเมื่อมีความเร็วลมที่

1.00-1.75 วินาที ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดทางด้านวิธีการ จึงจะมีการเสนอรูปแบบการปรับปรุงด้วยวิธีการอื่นต่อไป

4.2.2 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด (การทดลองส่วนที่ 3)

การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด เป็นวิธีที่ส่งผลต่อปัญหาเรื่องทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังเจ้าหน้าที่และอายุอากาศ ด้วยเป็นการย้ายตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกันมากขึ้น เพื่อลดโอกาสที่กระแสลมจะไหลเข้าไปใกล้ส่วนเจ้าหน้าที่ และย้ายตำแหน่งช่องเปิดให้เข้าไปใกล้บริเวณที่เป็นมุมอับของอากาศมากขึ้น เพื่อลดอายุอากาศในบริเวณดังกล่าว (ภาพที่ 4.3) ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.9)

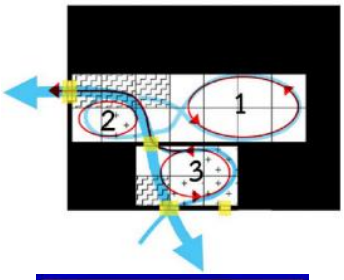
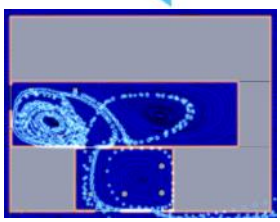
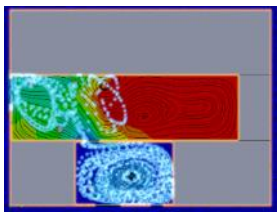


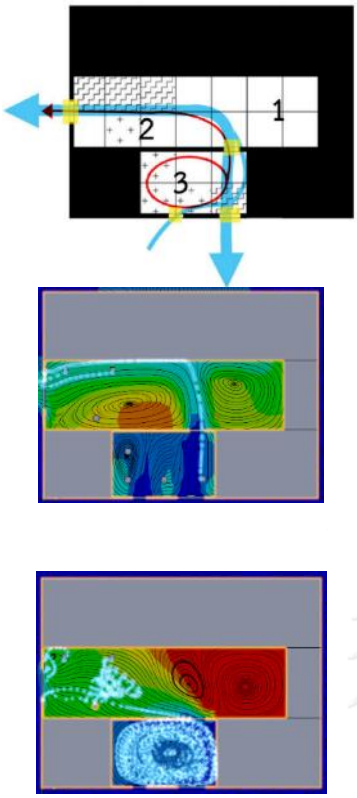
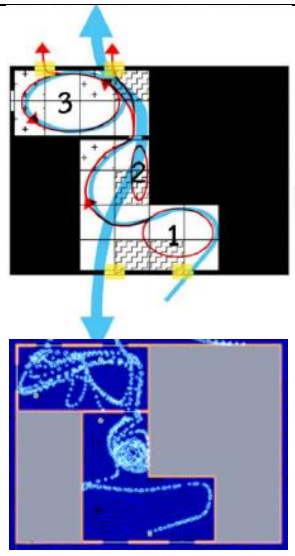
ภาพที่ 4.3 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 3

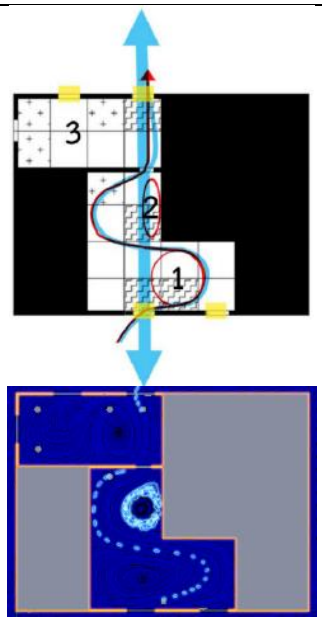
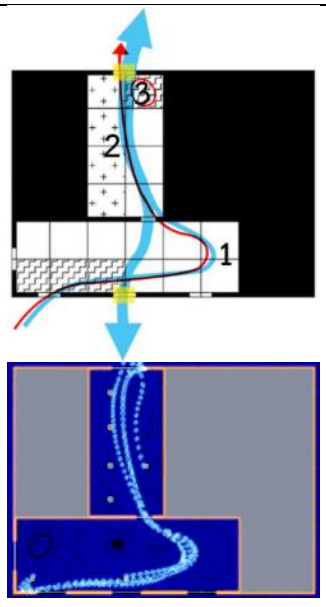
4.2.2.1 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค

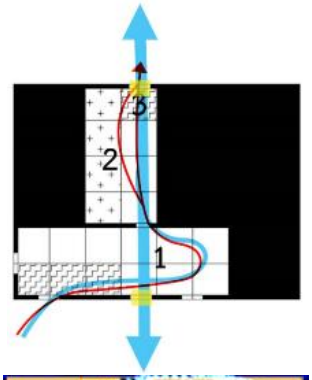
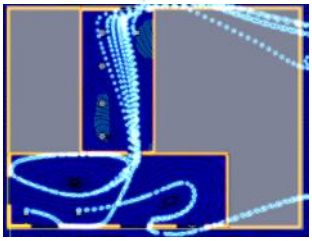
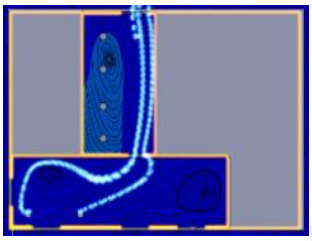
ผลการจำลองการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด พบว่า จำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวรวมแล้วคือ 11, 3 และ 2 ตำแหน่ง ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าทุกรูปแบบผังมีจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ลดลงมาก โดยผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวยังคงเกิดปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่เมื่อมีทิศทางลมที่ 225 องศา บริเวณโถงพักคอย และผังแบบทางเดินเดี่ยวยังคงเกิดปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่เมื่อมีทิศทางลมที่ 270 องศา ภายในห้องตรวจ อย่างไรก็ตาม ผังแบบทางเดินร่วมกลับมีตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่เพิ่มขึ้น 1 ตำแหน่ง ซึ่งเกิดขึ้นในทุกพื้นที่ของคลินิกวัณโรคเมื่อมีทิศทางลมที่ 225 องศา โดยมีรายละเอียดของทิศทางการไหลของเชื้อโรคในแต่ละรูปแบบผัง ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**ผังแบบทางเดินร่วม** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการจัดพื้นที่ใช้สอย** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 270 องศา เกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที เนื่องจากกระแสลมตกกระทบกับผนังของห้องตรวจ ซึ่งเชื้อโรคไปสะสมอยู่ในจุดอับลมดังกล่าว **ตำแหน่งที่ 2** เชื้อโรคจากบริเวณที่นั่งทานยาในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ที่ทิศทางลมที่ 225 และ 270 องศา สะสมอยู่ในจุดอับลมดังกล่าว **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์จะไหลวนอยู่ภายในห้องตรวจ ในทิศทวนเข็มนาฬิกา **แนวทางการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1** เปลี่ยนตำแหน่งประตูให้เข้ามาใกล้จุดอับลมในโถงพักคอยมากขึ้น เพื่อลดอากาศหมุนวน และตั้งอยู่ในตำแหน่งที่กระแสลมจะตกกระทบกับผนังของห้องตรวจในทิศทางลมที่ 270 องศา เพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อโรคในโถงพักคอย **ตำแหน่งที่ 2** เปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดให้อยู่ตรงกลางเพื่อลดพื้นที่อับลม และการสะสมเชื้อโรคในบริเวณดังกล่าว **ตำแหน่งที่ 3** เปลี่ยนตำแหน่งประตูให้สอดคล้องกับการระบายอากาศในทิศทางการไหลของลมที่ 225 องศา และเปลี่ยนตำแหน่งหน้าต่างห้องตรวจให้ตรงกับประตู เพื่อให้สามารถระบายเชื้อโรคออกตามทิศทางการไหลของกระแสลมหลักโดยไม่ไหลไปใกล้ส่วนของเจ้าหน้าที่

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**ผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1** สามารถลดพื้นที่อากาศหมุนวนในโถงพักคอยได้ และในทิศทางลมที่ 270 องศา สามารถลดการแพร่กระจายเชื้อโรคที่เคยตกกระทบกับผนังห้องตรวจได้ **ตำแหน่งที่ 2** สามารถลดอากาศหมุนวนและการสะสมเชื้อโรคในบริเวณดังกล่าวได้ แต่ยังคงมีการแพร่กระจายเชื้อโรคอยู่เมื่อมีทิศทางลมที่ 225 องศา **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางการไหลของลมที่ 225 องศา ช่วยให้เชื้อโรคที่หมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจสามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ดีขึ้น แต่ยังคงมีการสะสมเชื้อโรคในห้องตรวจอยู่ และในทิศทางลมที่ 270 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพบแพทย์สามารถระบายออกสู่ภายนอกโดยไม่ไหลไปใกล้กับส่วนเจ้าหน้าที่ได้
	**ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการจัดพื้นที่ใช้สอย** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 270 องศา ยังคงมีเชื้อโรคจากที่นั่งทานยา และที่นั่งพักคอยสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน และในทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งทานยาสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 270 และ 225 องศา พบปัญหาเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์หมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**แนวทางการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** เปลี่ยนตำแหน่งหน้าต่างให้อยู่ใกล้จุดอับลมมากขึ้น เพื่อลดอากาศหมุนวนในบริเวณดังกล่าว และเปลี่ยนตำแหน่งหน้าต่างให้ตรงกับประตู เพื่อให้ทิศทางการไหลของเชื้อโรคบริเวณที่พักคอยและที่นั่งทานยาไหลออกไปภายนอกอาคารได้ดียิ่งขึ้น **ตำแหน่งที่ 3** เปลี่ยนตำแหน่งหน้าต่างที่ติดกับที่นั่งพบแพทย์ให้อยู่ริมห้องและใกล้กับผู้ป่วยมากขึ้น เพื่อกันไม่ให้เชื้อโรคไหลเข้าไปใกล้ส่วนเจ้าหน้าที่ และสามารถระบายออกสู่ภายนอกได้โดยตรง **ผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1** ในทิศทางลมที่ 270 องศา ยังคงมีเชื้อโรคจากที่นั่งทานยา และที่นั่งพักคอยสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน และในทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยยังคงไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งทานยายังคงสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน **ตำแหน่งที่ 3** เชื้อโรคจากส่วนผู้ป่วยสามารถระบายออกสู่ภายนอกได้และไม่ไหลเข้าไปใกล้ส่วนเจ้าหน้าที่แล้ว
	**ผังแบบทางเดินเดี่ยว** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการจัดพื้นที่ใช้สอย** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา นำพาเชื้อโรคจากโถงพักคอยไหลไปใกล้กับส่วนที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 270 องศา ในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที เชื้อโรคจากผู้ป่วยที่นั่งพบแพทย์ยังคงสะสมอยู่บริเวณมุมห้อง

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**แนวทางการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** เปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกัน เพื่อให้ทิศทางการไหลไม่เข้าไปใกล้กับที่นั่งทำงานเจ้าหน้าที่ **ตำแหน่งที่ 3** เปลี่ยนตำแหน่งหน้าต่างที่ติดกับที่นั่งพบแพทย์ให้อยู่ริมห้อง เพื่อลดมุมอับและให้เชื้อโรคระบายออกสู่ภายนอกได้ดีขึ้น **ผลการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากโถงพักคอยไม่ไหลเข้าไปใกล้กับที่ทำงานเจ้าหน้าที่แล้ว แต่ในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ทิศทางลมที่ 270 องศา กลับมีเชื้อโรคจากที่นั่งทานยา ไหลไปกระทบกับผนังบริเวณทางเดินและไหลเข้าไปใกล้กับที่นั่งทำงานของเจ้าหน้าที่ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 270 องศา ในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที ไม่มีเชื้อโรคสะสมอยู่มุมห้องแล้ว

4.2.2.2 อายุอากาศ

จากการเปรียบเทียบอายุอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 วินาที ในภาพรวมพบว่าสามารถช่วยลดอายุอากาศในผังแบบทางเดินร่วมและผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวได้ แต่ในผังแบบทางเดินเดี่ยวกลับทำให้มีอายุอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย้ายตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกันเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้แก่มุมอับลมภายในห้องตรวจมากขึ้น โดยเมื่อมีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที ยังคงทำให้อายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกทิศทางลม ทุกความเร็วลมและทุกรูปแบบผังเช่นเดียวกับก่อนการปรับปรุง ทั้งนี้ พบค่าเฉลี่ยอายุอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวที่ 1,458.19, 353.26 และ 421.85 วินาที ตามลำดับ โดยสามารถลดอายุอากาศในผังแบบทางเดินร่วมได้ 244.79 วินาที และเพิ่มกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ 1 กรณี ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวลดอายุอากาศได้ไม่มากนักที่ 17.94 วินาที และในผังแบบทางเดินเดี่ยวกลับเป็นการเพิ่มอายุอากาศอีก 70.23 วินาที และทำให้มีกรณีที่ผังแบบทางเดินเดี่ยวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพิ่มขึ้น 1 กรณี ซึ่งเกิดจากอายุอากาศที่เพิ่มขึ้นในห้องตรวจ

ตารางที่ 4.9 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด

รูปแบบผัง		ผังแบบทางเดินร่วม											
ทิศทางลมภายนอก		0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก		0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ	397.31	99.09	56.83	2,110.52	547.95	302.41	1,290.43	326.37	188.31			
	โถงพักคอย	986.94	238.92	136.15	10,639.37	2,110.55	1,495.83	802.05	189.87	107.43			
	รวม	806.80	196.22	111.99	8,145.72	1,653.68	1,146.90	944.66	229.73	131.05	111.99	8,145.72	1,485.19
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	0	0	0	3	4	4	0	0	0	รวม	↑ 11	
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1					P1	P1						
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2				P3	P3	P3						
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3				P3	P3	P3						
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4				P3	P3	P3						

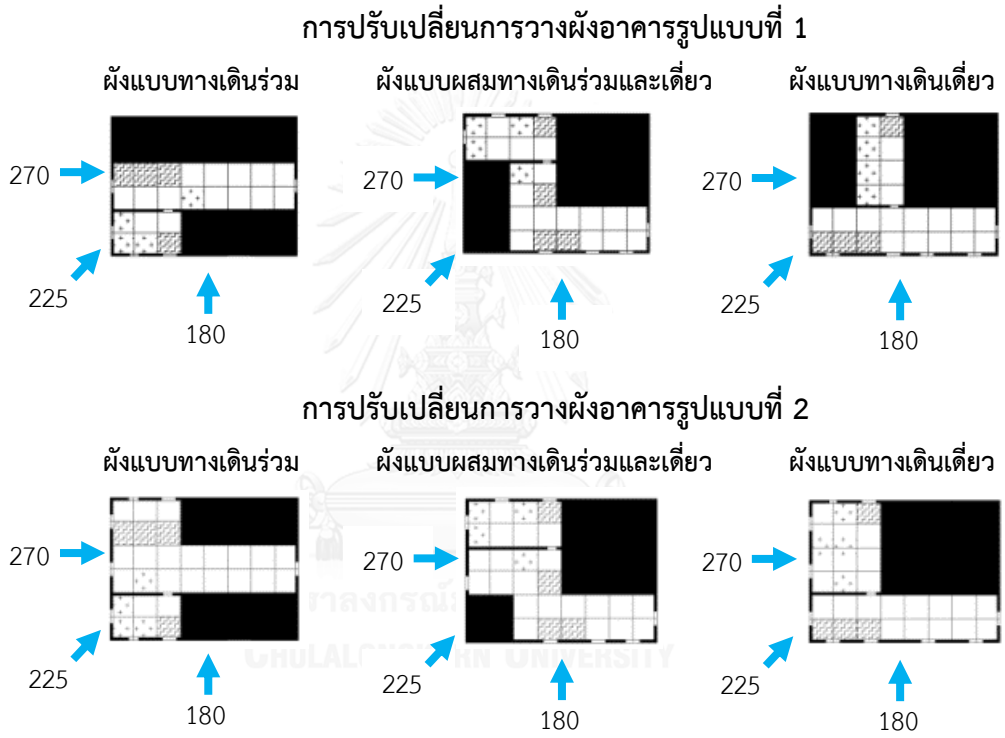
รูปแบบผัง		ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว											
ทิศทางลมภายนอก		0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก		0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ	854.27	210.16	122.10	840.35	211.77	120.35	349.10	87.00	49.62			
	โถงพักคอย	380.88	94.94	55.34	599.93	149.60	86.08	1,461.70	359.61	212.44			
	รวม	568.97	140.72	81.87	695.32	174.27	99.68	1,019.52	251.26	147.73	81.87	1,019.52	353.26
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	0	0	0	1	1	1	0	0	0	รวม	↓ 3	
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1				P1	P1	P1						
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2												
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3												
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4												

รูปแบบผัง		ผังแบบทางเดินเดี่ยว											
ทิศทางลมภายนอก		0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก		0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ	701.62	172.21	98.34	1,835.30	464.36	262.67	1,689.34	467.55	245.26			
	โถงพักคอย	385.47	96.73	55.39	911.85	223.04	124.00	408.60	103.32	60.52			
	รวม	512.48	127.05	72.65	1,278.96	318.90	179.12	923.13	249.65	134.74	72.65	1,278.96	421.85
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง	0	0	0	0	0	0	0	0	2	รวม	↓ 2	
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW1												
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW2									P2			
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW3									P2			
	ตำแหน่งที่ผ่าน HCW4												

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

4.2.3 การปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 4)

การปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารเป็นวิธีที่ส่งผลต่อปัญหาเรื่องทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังเจ้าหน้าที่ อายุอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้วยเป็นการเจาะช่องเปิดเพิ่มขึ้นบริเวณทางเข้า-ออกซึ่งเดิมเป็นพื้นที่อับลม และเปลี่ยนตำแหน่งห้องตรวจและโถงพักคอยให้อยู่บริเวณหัวมุมของอาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนช่องเปิดมากขึ้น โดยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารใหม่ จำนวน 2 รูปแบบ (ภาพที่ 4.4) มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.10)



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 4

4.2.3.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)

จากการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 12 ACH ในภาพรวมพบว่าสามารถช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในได้ในทุกรูปแบบผัง โดยคงเหลือกรณีที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้วยกรณีที่มีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น แต่หากมีความเร็วลม 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะสามารถผ่านมาตรฐานได้ทั้งหมด ยกเว้นกรณีผังแบบทางเดินเดี่ยวใน

ทิศทางลมที่ 225 องศา ซึ่งทำการเจาะช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกและย้ายตำแหน่งห้องตรวจมาไว้ในบริเวณหัวมุมอาคารที่สามารถผ่านมาตรฐานได้แม้มีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ พบค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวเมื่อมีการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1 ที่ 22.71, 26.10 และ 31.41 ACH ตามลำดับ และรูปแบบที่ 2 ที่ 26.16, 31.65 และ 38.98 ACH ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศก่อนการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร จะพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวได้สูงสุดถึง 14.83, 8.79 และ 13.50 ACH ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่า การวางผังอาคารรูปแบบที่ 2 จะช่วยให้เพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้มากที่สุด เนื่องจากมีจำนวนช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หากมีความเร็วลมที่ 0.25 วินาที จะยังคงไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกกรณี เว้นแต่ผังแบบทางเดินเดี่ยวในทิศทางลมที่ 225 องศาเท่านั้น

4.2.3.2 อายุอากาศ

จากการเปรียบเทียบอายุอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 วินาที ในภาพรวมพบว่าสามารถช่วยลดอายุอากาศได้ในทุกรูปแบบผัง โดยคงเหลือกรณีที่อายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้วยกรณีที่มีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น แต่หากมีความเร็วลม 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะสามารถผ่านมาตรฐานได้ทั้งหมด ยกเว้นกรณีผังแบบทางเดินร่วมที่ห้องตรวจสามารถมีอายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้แม้มีความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที จากการที่ห้องตรวจมีพื้นที่เล็กและอยู่บริเวณหัวมุมอาคาร

ทั้งนี้ พบค่าเฉลี่ยอายุอากาศของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวน้อยสุดที่ 319.87, 288.94 และ 259.56 วินาที ตามลำดับ โดยวิธีการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารสามารถลดอายุอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงตำแหน่งช่องเปิดในผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวได้มากที่สุดที่ 1,165.32, 64.32 และ 162.29 วินาที โดยการวางผังอาคารในรูปแบบที่ 2 จะช่วยลดอายุอากาศได้มากที่สุดในผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยว เนื่องจากในรูปแบบที่ 1 ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวมีมุมอับลมบริเวณโถงพักคอย การลดพื้นที่มุมอับบริเวณดังกล่าวจึงทำให้อายุอากาศมีน้อยลงได้ และผังแบบทางเดินเดี่ยวมีช่องเปิดที่เจาะทะลุบริเวณทางเข้าออก ทำให้ในทิศทางลมที่ 225 และ 270 องศา อากาศไม่ได้ไหลผ่านส่วนที่เป็นมุมอับของอาคาร ในขณะที่การวางผังอาคารในรูปแบบที่ 1 จะช่วยลดอายุอากาศได้มากที่สุดในผังแบบผสมทางเดินร่วม เนื่องจากในรูปแบบที่ 2 ผังแบบทางเดินร่วมมีช่องเปิดที่มาก ทำให้อากาศไม่ได้ไหลผ่านส่วนที่เป็นมุมอับของอาคาร

4.2.3.3 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค

ผลการจำลองการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร พบว่า จำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวรูปแบบที่ 1 รวมแล้วคือ 6, 1 และ 0 ตำแหน่ง และรูปแบบที่ 2 คือ 5, 14 และ 12 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าในรูปแบบที่ 1 จะสามารถลดตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ทุกรูปแบบผัง แต่ในรูปแบบที่ 2 จะสามารถลดตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้เฉพาะในผังแบบทางเดินร่วมเท่านั้น ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และทางเดินเดี่ยวจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของเชื้อโรคในการวางผังอาคารทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ผังแบบทางเดินร่วมมีตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ลดลงจากการที่มีระยะห่างระหว่างที่นั่งพักคอยและเคาน์เตอร์พยาบาลที่มากขึ้น ร่วมกับการมีช่องเปิดที่มากขึ้น ทำให้เชื้อโรคไม่ไหลเข้าใกล้บริเวณเคาน์เตอร์พยาบาล ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวมีช่องเปิดเพิ่มบริเวณด้านหลังเคาน์เตอร์พยาบาล ทำให้มีโอกาสที่เชื้อโรคจะไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาลได้มากขึ้น จึงเสนอให้ย้ายตำแหน่งเคาน์เตอร์พยาบาลให้อยู่ภายในห้องตรวจเช่นเดียวกับแบบผังแบบทางเดินเดี่ยว และในผังแบบทางเดินเดี่ยว เมื่อย้ายตำแหน่งห้องตรวจมาบริเวณหัวมุมอาคาร ทำให้อยู่ใกล้กับที่นั่งทานยาและพักคอยของผู้ป่วยมากขึ้นและเพิ่มโอกาสที่เชื้อโรคจากส่วนโถงพักคอยจะไหลเข้าสู่ห้องตรวจที่มากขึ้นด้วย จึงเสนอแนะให้ย้ายตำแหน่งของที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาให้ออกห่างจากห้องตรวจต่อไป โดยมีรายละเอียดของทิศทางการไหลของเชื้อโรคในแต่ละรูปแบบผัง ดังตารางที่ 4.11

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1 และ 2

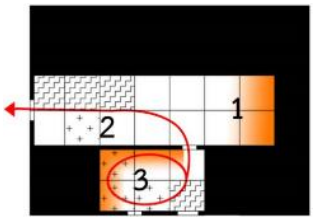
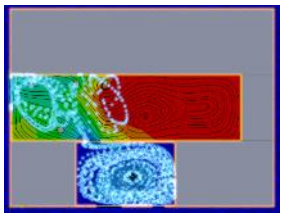
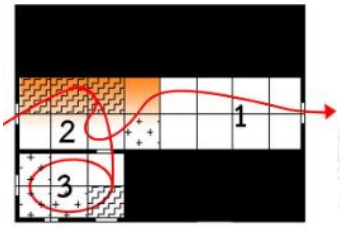
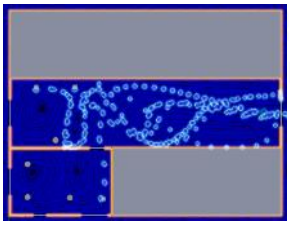
	รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินร่วม										
	ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
	ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
รูปแบบที่ 1	ค่าเฉลี่ย ACH			4.94	19.65	32.68	6.08	25.51	44.57	6.14	23.47	41.31	4.94	44.57	22.71
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		236.59	59.34	26.88	530.52	132.24	76.93	412.79	114.82	65.76			
		โถงพักคอย		881.12	220.41	103.15	841.62	205.39	119.99	671.69	171.56	99.24			
		รวม		711.37	177.98	83.82	759.68	186.12	108.65	604.00	156.72	90.50	83.82	759.68	319.87
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	1	1	1	1	0	2	รวม	6	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1				P2	P2	P2	P2					
			HCW2												
			HCW3									P3			
			HCW4									P3			
รูปแบบที่ 2	ค่าเฉลี่ย ACH			4.00	15.97	27.94	8.09	32.55	58.00	7.56	29.60	51.69	4.00	58.00	26.16
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		237.32	59.41	33.85	399.58	99.80	57.31	332.73	96.63	54.61			
		โถงพักคอย		1,384.35	337.98	184.91	942.27	235.09	134.19	542.20	129.04	74.61			
		รวม		1,146.34	280.21	153.60	829.67	207.02	118.24	499.94	122.11	70.40	70.40	1,146.34	380.84
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		1	1	1	0	0	0	2	0	0	รวม	5	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P2	P1,P2	P1,P2									
			HCW2							P3					
			HCW3							P3					
			HCW4												

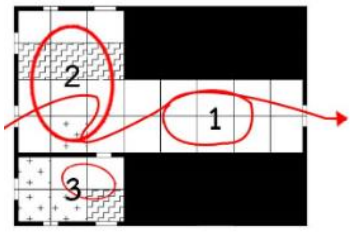
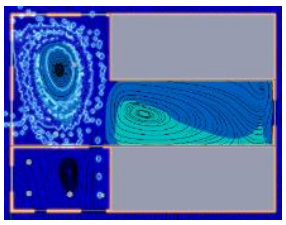
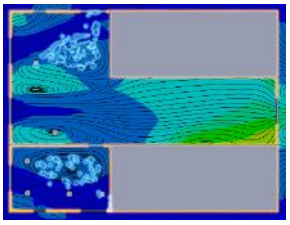
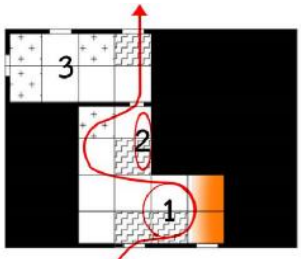
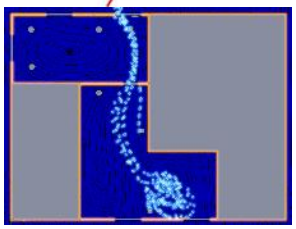
	รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว										
	ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
	ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
รูปแบบที่ 1	ค่าเฉลี่ย ACH			7.15	22.31	39.10	10.06	43.09	72.66	3.37	13.04	24.16	3.37	72.66	26.10
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		903.00	238.94	127.11	889.65	224.22	132.26	342.35	79.82	44.55			
		โถงพักคอย		417.76	91.40	51.96	503.14	147.71	72.67	1,350.93	259.20	165.70			
		รวม		579.80	140.65	77.05	632.51	173.60	92.60	1,014.57	199.12	125.47	77.05	1,014.57	337.26
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	0	0	1	0	0	0	รวม	1	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1						P1						
			HCW2												
			HCW3												
			HCW4												
รูปแบบที่ 2	ค่าเฉลี่ย ACH			7.34	29.23	51.32	10.49	42.83	76.44	5.59	22.41	39.19	5.59	76.44	31.65
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		895.97	219.59	127.25	912.64	223.67	127.16	370.61	90.77	51.54			
		โถงพักคอย		318.63	78.05	44.46	785.84	194.28	108.69	641.13	159.10	91.77			
		รวม		484.72	118.74	68.27	826.61	203.76	114.57	563.92	139.60	80.29	68.27	826.61	288.94
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		3	3	3	0	1	1	1	1	1	รวม	14	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P1	P1			P1	P1	P2	P2	P2			
			HCW2		P1	P1									
			HCW3	P1	P1	P1									
			HCW4	P1		P1									

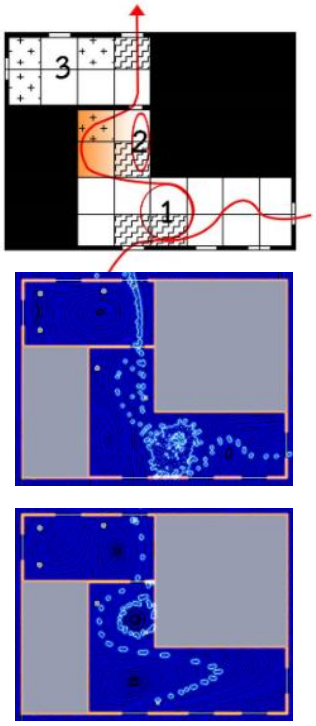
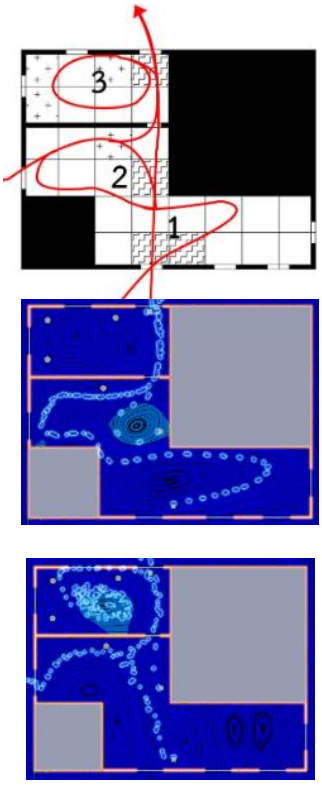
	รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินเดี่ยว										
	ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			สรุปผล		
	ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
รูปแบบที่ 1	ค่าเฉลี่ย ACH			9.25	29.72	64.59	11.11	44.59	81.52	3.52	13.97	24.45	3.52	81.52	31.41
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		956.62	209.69	130.80	1,209.02	305.67	158.30	2,493.21	632.28	344.68			
		โถงพักคอย		347.50	80.64	46.88	389.09	101.82	53.38	435.39	111.14	63.95			
		รวม		548.85	122.82	74.65	659.84	169.31	88.05	1,126.29	286.11	158.21	74.65	1,126.29	359.35
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	0	0	0	0	0	0	รวม	0	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1												
			HCW2												
			HCW3												
			HCW4												
รูปแบบที่ 2	ค่าเฉลี่ย ACH			8.60	34.32	59.93	12.82	52.28	92.92	7.51	29.94	52.50	7.51	92.92	38.98
	ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		827.99	206.05	117.51	821.69	208.72	118.40	351.51	86.55	48.91			
		โถงพักคอย		323.30	79.29	45.09	397.69	99.57	57.94	733.02	178.63	102.89			
		รวม		536.71	132.93	75.74	573.72	144.94	83.07	569.89	139.25	79.81	75.74	573.72	259.56
	ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	3	3	0	3	3	0	0	0	รวม	12	
		ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1		P1	P1									
			HCW2					P2	P2						
			HCW3		P1	P1		P2	P2						
			HCW4		P1	P1		P2	P2						

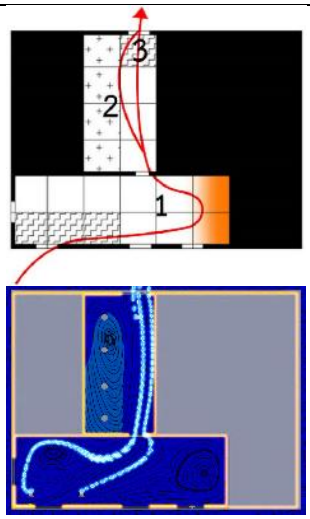
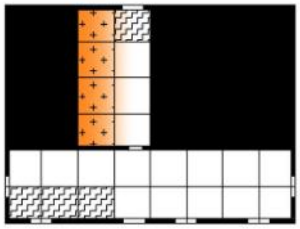
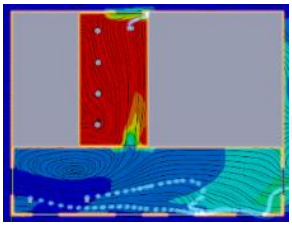
ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

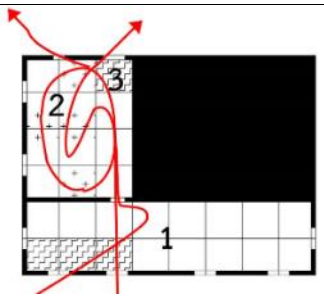
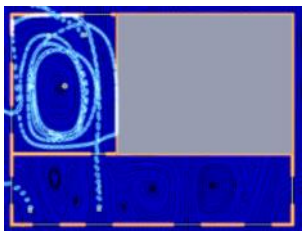
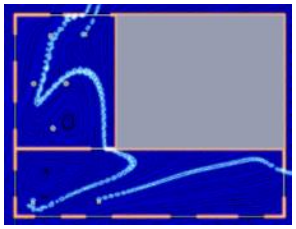
ตารางที่ 4.11 ทิศทางทางการไหลของเชื้อโรคเมื่อปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1 และ 2

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
   	**ผังแบบทางเดินร่วม** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการปรับปรุงตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1** ยังคงมีอากาศหมุนวนอยู่ในบริเวณดังกล่าว **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา ยังคงมีการแพร่กระจายเชื้อโรคในบริเวณโถงพักคอย **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 225 องศา ยังคงมีการสะสมเชื้อโรคอยู่ภายในห้องตรวจ **แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** เจาะช่องเปิดทะลุช่องทางเข้า-ออก **ตำแหน่งที่ 3** ย้ายตำแหน่งห้องตรวจไว้บริเวณหัวมุมอาคาร **ผลการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** สามารถลดพื้นที่อับลมและอากาศหมุนวนได้ **ตำแหน่งที่ 2** ในทิศทางลมที่ 225 องศา มีการแพร่กระจายเชื้อโรคที่น้อยลง เชื้อโรคสามารถระบายออกทางจุดที่เจาะทะลุช่องทางเข้า-ออก แต่เชื้อโรคจากที่นั่งทานยายังคงไหลผ่านเคาน์เตอร์อยู่ **ตำแหน่งที่ 3** ทิศทางลมที่ 225 องศา ไม่เกิดการสะสมเชื้อโรคในห้องตรวจแล้ว แต่ในทิศทางลมที่ 270 องศา ที่ความเร็วลม 0.25 เมตร/วินาที กลับทำให้เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาไหลเข้าไปหมุนวนอยู่ภายในห้องตรวจ อย่างไรก็ตามในภาพรวม เชื้อโรคมีการแพร่กระจายในปริมาณที่น้อยลงกว่าก่อนการปรับเปลี่ยนผังอาคาร

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
  	**แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** เจาะช่องเปิดทะลุหัวมุมอาคารเพิ่มเติม เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาไหลเข้าใกล้เคาน์เตอร์พยาบาล หรือไหลเข้ามาภายในห้องตรวจ **ผลการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1** ในทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคที่บริเวณนั่งพักคอยจะไหลไปสะสมอยู่ในอากาศหมุนวนก่อนการระบายออกไปภายนอกอาคาร **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาเกิดการสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน โดยหากยิ่งความเร็วลมมีสูง จะทำให้เกิดการแพร่กระจายไปยังส่วนที่ 1 **ตำแหน่งที่ 3** ในทิศทางลมที่ 270 องศา เชื้อโรคที่ที่นั่งพบแพทย์จะไหลไปสะสมอยู่บริเวณมุมห้อง และในความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที เชื้อโรคจะไหลผ่านตำแหน่งเจ้าหน้าที่
 	**ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการปรับปรุงตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1** ในทิศทางลมที่ 270 องศายังคงมีเชื้อโรคจากที่นั่งทานยาและที่นั่งพักคอยสะสมอยู่ และในทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยยังคงไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาล **ตำแหน่งที่ 2** ทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งทานยายังคงสะสมอยู่ในอากาศหมุนวน

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** เจาะช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออก เพื่อลดการเกิดอากาศหมุนวนและการสะสมเชื้อโรคในบริเวณดังกล่าว **ผลการปรับเปลี่ยนวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ยังคงเกิดอากาศหมุนวนและการสะสมของเชื้อโรคอยู่ แต่อย่างไรก็ตาม ในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที เชื้อโรคบางส่วนสามารถระบายออกนอกอาคารผ่านช่องเปิดบริเวณทาง-เข้าออกได้ **ตำแหน่งที่ 2** ในทิศทางลมที่ 225 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยในความเร็วลมที่ 0.25 และ 1.00 เมตร/วินาที ไม่ไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาลแล้ว แต่ในความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ยังคงไหลผ่านและอากาศหมุนวนในบริเวณดังกล่าวยังคงมีการสะสมเชื้อโรคอยู่
	**แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** เจาะช่องเปิดบริเวณริมอาคารเพื่อลดมุมอับที่ทำให้เกิดอากาศหมุนในบริเวณดังกล่าว **ผลการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1** เชื้อโรคที่นั่งพักคอยไหลผ่านเคาน์เตอร์พยาบาลในทุกทิศทางลม **ตำแหน่งที่ 2** สามารถช่วยลดพื้นที่มุมอับที่ก่อให้เกิดอากาศหมุนวนได้ **ตำแหน่งที่ 3** ในความเร็วลมที่ 270 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยบางส่วนไหลไปยังบริเวณเคาน์เตอร์พยาบาลและบางส่วนไหลเข้าไปสะสมอยู่ภายในห้องตรวจโรค

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**ผังแบบทางเดินเดี่ยว** **ปัญหาที่ยังคงพบจากการปรับปรุงตำแหน่งช่องเปิด** **ตำแหน่งที่ 1 และ 2** ในทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ยังคงมีเชื้อโรคจากที่นั่งทานยาไหลไปกระทบกับผนังบริเวณทางเข้า-ออกและไหลเข้าไปภายในห้องตรวจใกล้กับที่นั่งทำงานของเจ้าหน้าที่
	**แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** เจาะช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออก เพื่อเอื้อให้เชื้อโรคสามารถระบายออกนอกอาคารได้โดยตรง โดยที่ไม่ไหลไปกระทบกับผนังและไหลเข้าไปภายในห้องตรวจ
	**ผลการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 1** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 270 องศาเชื้อโรคไหลออกภายนอกอาคารผ่านช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออก **ตำแหน่งที่ 2 และ 3** การวางผังอาคารในรูปแบบที่ 1 สามารถช่วยแก้ปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้แล้ว อย่างไรก็ตาม อายุอากาศในห้องตรวจมีสูงมาก ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 300 วินาที ดังนั้น จึงมีการเสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารในรูปแบบที่ 2 ต่อไป

ภาพการวิเคราะห์	รายละเอียด
	**แนวทางการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 2** จัดให้เจ้าหน้าที่นั่งอยู่ในทิศตะวันตก เพื่อให้นั่งอยู่ในทิศทางที่เป็นต้นลม **ตำแหน่งที่ 3 จัด**ห้องตรวจให้อยู่บริเวณหัวมุมอาคาร และเพิ่มขนาดห้องเพื่อเพิ่มจำนวนช่องเปิด และเพิ่มระยะห่างของที่นั่งพบแพทย์กับเจ้าหน้าที่
	**ผลการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารรูปแบบที่ 2** **ตำแหน่งที่ 1** ทิศทางลมที่ 225 องศา ในความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตร/วินาที เชื้อโรคไหลมาตกกระทบบริเวณหน้าประตูและไหลผ่านแพทย์และเจ้าหน้าที่ก่อนไหลออกไปภายนอกอาคาร
	**ตำแหน่งที่ 2 และ 3** ในทิศทางลมที่ 180 องศา เชื้อโรคจากที่นั่งพักคอยไหลเอียงเข้ามาใกล้ส่วนเจ้าหน้าที่ จากการที่มีช่องเปิดอีกบานในบริเวณดังกล่าว

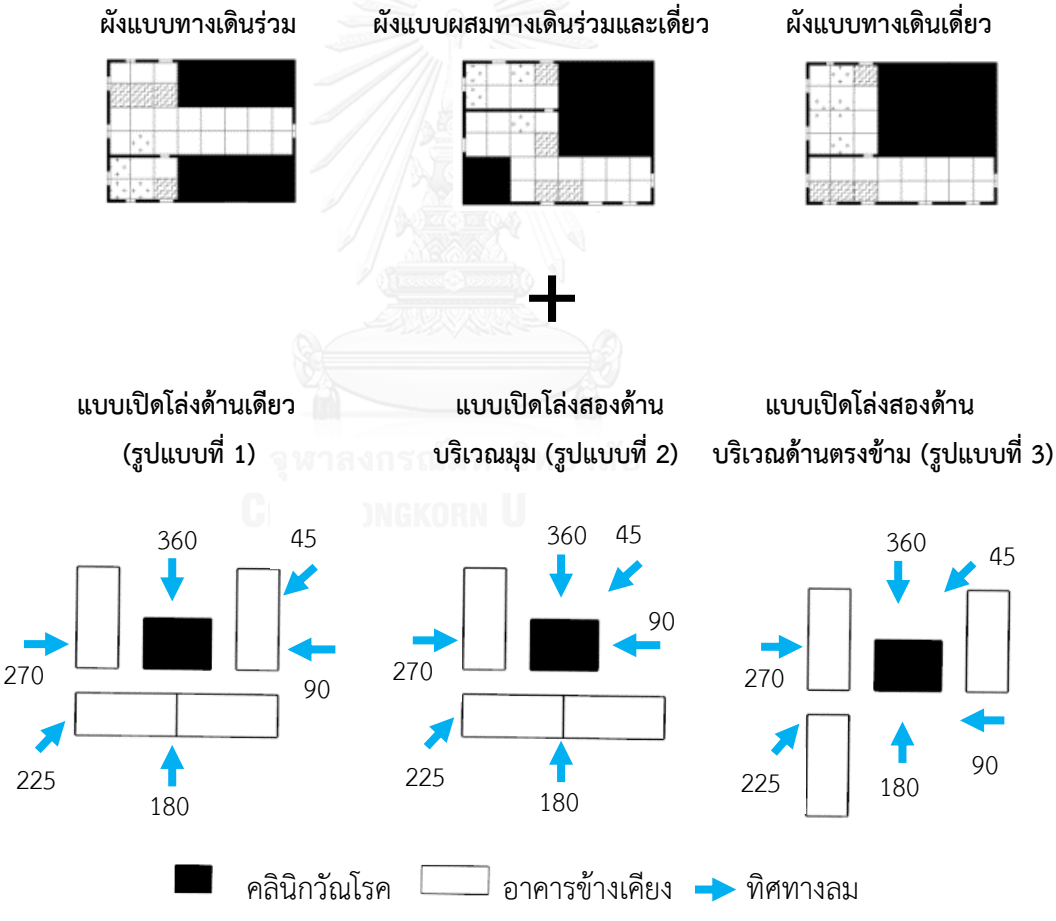
จากการปรับเปลี่ยนคลินิกวัณโรคทั้ง 3 วิธี สามารถสรุปได้ว่า ช่วยลดแก้ปัญหาเรื่องทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังเจ้าหน้าที่ และอายุอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ โดยการจัดพื้นที่ใช้สอยเป็นวิธีที่สามารถช่วยลดตำแหน่งที่เชื้อโรคจะไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากได้รับการเสริมด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด แต่หากสามารถดำเนินการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารได้ จะช่วยให้ลดตำแหน่งที่เชื้อโรคจะไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้มากที่สุด อีกทั้งยังสามารถลดอายุอากาศและเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที แต่หากมีความเร็วลมที่ต่ำ เช่น 0.25 เมตรต่อวินาที การปรับเปลี่ยนด้วยวิธีใดก็ไม่สามารถช่วยให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ จึงจำเป็นที่ต้องใช้วิธีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศแทน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาตินี้ยังไม่ได้มีการคำนึงถึงปัจจัยของอาคารข้างเคียงซึ่งอาจส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ อายุอากาศ และทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรคได้ ดังนั้น จึงคัดเลือกผังคลินิกวัณโรคจากการทดลองส่วนที่ 4 การวางผังอาคาร

รูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้มากที่สุด และช่วยลดอายุอากาศได้มากที่สุด มาเป็นผังสำหรับใช้ในการทดลองเมื่อมีการคำนึงถึงปัจจัยของอาคารข้างเคียง รายละเอียดดังส่วนต่อไป

4.3 ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุง เมื่อมีการคำนึงถึงปัจจัยด้านอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 5)

จากการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงร่วมกับการมีอาคารข้างเคียงใน 3 รูปแบบ คือ อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งทางเดียว อาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทางบริเวณด้านมุม และอาคารข้างเคียงแบบเปิดโล่งสองทิศทางบริเวณด้านตรงข้าม มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.13-4.15)



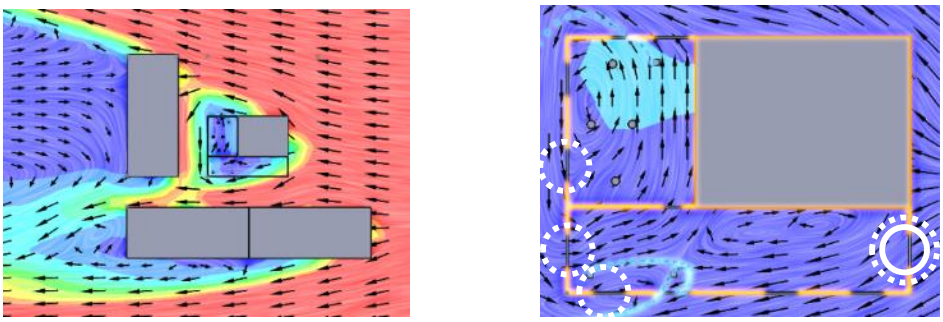
ภาพที่ 4.5 แบบจำลองในส่วนการทดลองที่ 5

4.3.1 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)

การมีอาคารข้างเคียงส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลดลง เนื่องจากเมื่อลมภายนอกปะทะเข้ากับอาคารข้างเคียง จะทำให้เกิดการเบี่ยงของทิศทางลม และลมบางส่วนจะไหลย้อนกลับเข้ามาทางด้านที่เปิดโล่งในความเร็วลมต่ำ ซึ่งกลายเป็นกระแสลมหลักที่ไหลเข้ามาภายในคลินิกวัณโรค อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจึงลดลงไป ดังนั้น จึงพบได้ว่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะสูงสุดในทิศที่เป็นด้านเปิดโล่งของอาคารข้างเคียง และน้อยสุดในทิศที่กระแสลมปะทะเข้ากับอาคารข้างเคียงโดยตรง สอดคล้องกับผลที่ได้รับจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 12 ACH ที่พบว่า เมื่อมีทิศทางลมไหลเข้ามาทางด้านที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง ในความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ แต่ในทิศทางลมที่ไหลเข้าปะทะกับอาคารข้างเคียงโดยตรงจะไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกความเร็วลม

อย่างไรก็ตาม ทั้งในกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน หากมีอาคารข้างเคียงจะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่น้อยลงทั้งหมด โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลดลง 0.3-0.4 เท่า เมื่อเทียบกับก่อนมีอาคารข้างเคียง ดังนั้น จึงเสนอให้ผังคลินิกวัณโรคหันด้านที่มีช่องเปิดมากเข้าหาด้านที่ทิศทางลมเข้า เพื่อเพิ่มปริมาณของช่องอากาศเข้า ซึ่งจะทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นได้ เว้นแต่ในกรณีทิศทางลมที่ 270 องศา ในผังแบบทางเดินเดี่ยว ของอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2 และ 3 ซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นภายหลังการมีอาคารข้างเคียง จากการวิเคราะห์กรณีดังกล่าว พบว่า เกิดจากการที่ก่อนการมีอาคารข้างเคียง ผังแบบทางเดินเดี่ยวมีช่องอากาศเข้าเพียงช่องเดียว แต่เมื่อมีอาคารข้างเคียงแล้วกลับทำให้มีช่องอากาศเข้าที่มากขึ้นถึง 3 ช่องเปิด จึงทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้นได้ แสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7

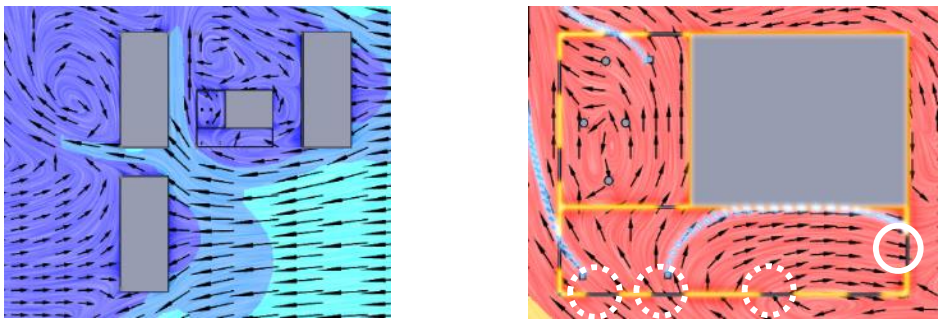
Chulalongkorn University



ช่องอากาศเข้าก่อนการมีอาคารข้างเคียง

ช่องอากาศเข้าหลังการมีอาคารข้างเคียง

ภาพที่ 4.6 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที



ช่องอากาศเข้าก่อนการมีอาคารข้างเคียง

ช่องอากาศเข้าหลังการมีอาคารข้างเคียง

ภาพที่ 4.7 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 0.25 เมตร/วินาที

4.3.2 อายุอากาศ

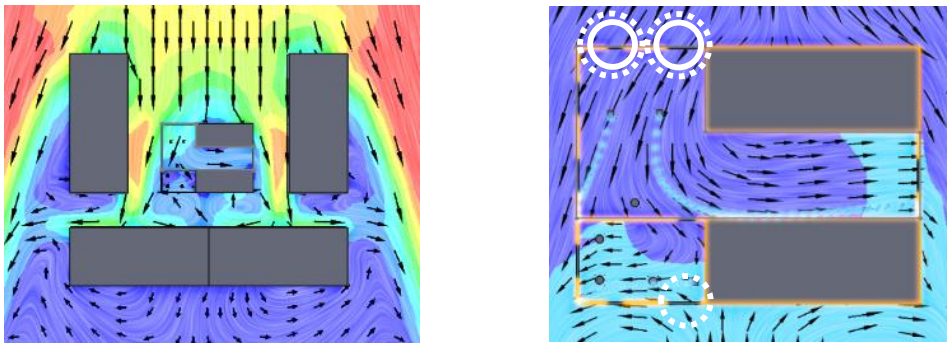
การมีอาคารข้างเคียงส่งผลให้อายุอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาคารข้างเคียงทำให้ความเร็วลมต่ำ ลดช่องอากาศเข้า จึงสามารถระบายอากาศออกสู่ภายนอกอาคารได้ช้า โดยพบว่า เมื่อทิศทางลมเข้ามาในด้านเปิดโล่งของอาคารข้างเคียงจะสามารถมีอายุอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ เมื่อมีความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที แต่เมื่อทิศทางลมไหลปะทะกับด้านที่มีอาคารข้างเคียงโดยตรง อายุอากาศจะไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกความเร็วลม

อย่างไรก็ตาม ทั้งในกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน หากมีอาคารข้างเคียงจะทำให้มีอายุอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งหมด โดยอายุอากาศสูงมากขึ้น 5-6 เท่า เมื่อเทียบกับก่อนมีอาคารข้างเคียง ดังนั้น จึงเสนอให้ผังคลินิกวัณโรคหันด้านที่มีช่องเปิดมากเข้าหาด้านที่ทิศทางลมเข้า เพื่อเพิ่มปริมาณของช่องอากาศเข้า เช่นเดียวกับกรณีของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ เว้นแต่ในกรณีดังต่อไปนี้ที่ภายหลังจากการมีอาคารข้างเคียงกลับมีอายุอากาศที่น้อยลง ซึ่งเกิดจากเหตุ 2 ลักษณะ ดังนี้

- กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ในทุกรูปแบบผังเมื่อมีทิศทางลมที่ 360 และ 45 องศา และกรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2 ในบางรูปแบบผังเมื่อมีทิศทางลมที่ 360, 45, 90 องศา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเกิดจากอากาศหมุนวนบริเวณอาคารข้างเคียงหมุนย้อนกลับเข้ามาภายในคลินิก ทำให้มีช่องอากาศเข้าที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้อายุอากาศน้อยลง (ภาพที่ 4.8)

- กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 ในบางรูปแบบผังเมื่อมีทิศทางลมที่ 180, 360, 45, 90 องศา ซึ่งเกิดจากการที่ทิศทางลมก่อนการมีอาคารข้างเคียงและภายหลังมีอาคารข้างเคียงเปลี่ยนแปลง เช่น ในกรณีผังแบบทางเดินร่วม ทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ซึ่งกระแสลมไหลเอียงเข้ามาภายในคลินิก ทำให้เกิดการกระจายตัวของอากาศได้ดีกว่าการ

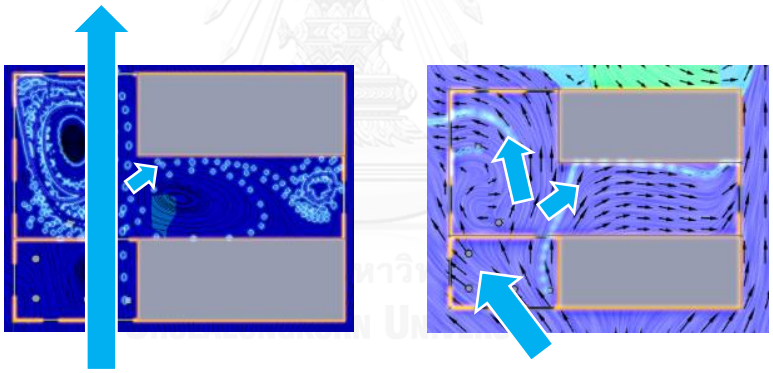
กระแสลมที่ไหลตรงเข้ามาและไหลออกนอกอาคารผ่านช่องเปิดด้านตรงข้ามโดยที่ยังไม่ได้กระจายตัวภายในคลินิกอย่างทั่วถึง (ภาพที่ 4.9)



ช่องอากาศเข้าก่อนการมีอาคารข้างเคียง

ช่องอากาศเข้าหลังการมีอาคารข้างเคียง

ภาพที่ 4.8 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 360 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที



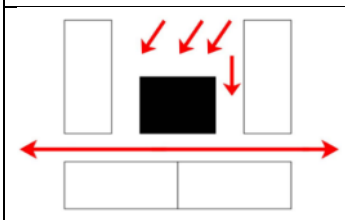
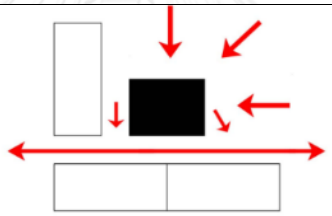
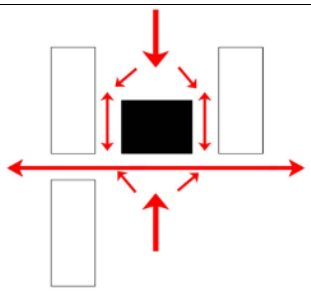
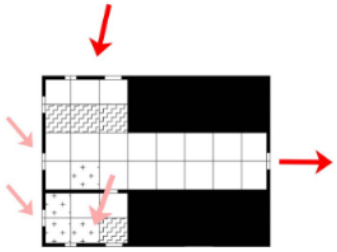
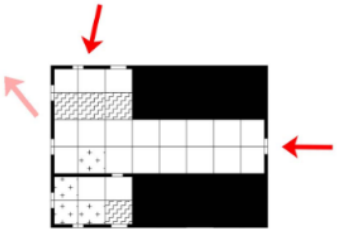
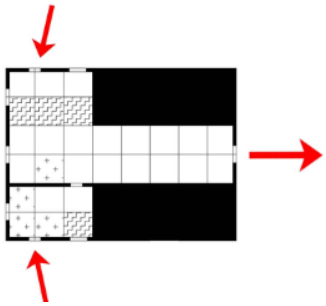
ภาพที่ 4.9 ทิศทางลมที่เข้าสู่ผังแบบทางเดินร่วม กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 ทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 1.75 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ขวา)

4.3.3 ทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค

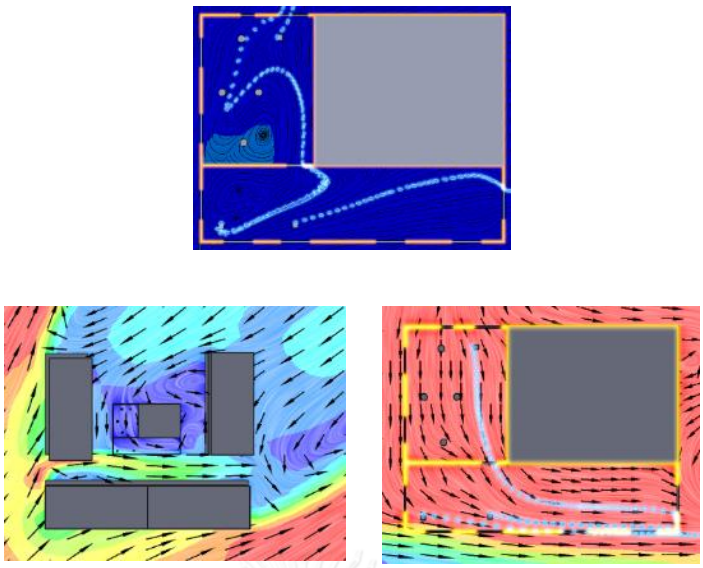
ทิศทางการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับทิศทางลมภายนอก รูปแบบผังคลินิกวัณโรค และรูปแบบอาคารข้างเคียง แต่โดยรวมแล้วจะมีลักษณะทิศทางการไหลที่คล้ายกัน คือ ทิศทางอากาศเข้าจะเป็นไปตามทิศทางที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง (ตารางที่ 4.12) และในบางกรณีอาจมีอากาศเข้าจากหลายทิศทางซึ่งเกิดจากการที่กระแสลมไหลไปปะทะกับอาคารข้างเคียง ทำให้เกิดลมหมุน และมีลมบางส่วนไหลจากลมหมุนเข้ามาช่วยระบายอากาศในคลินิกวัณโรค

ส่วนทิศทางการไหลของเชื้อโรคภายหลังมีอาคารข้างเคียงจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางกระแสลมที่เข้ามาภายในคลินิก (ภาพที่ 4.10) ดังนั้น ในการจัดวางพื้นที่ใช้สอยจึงควรมีการคำนึงถึงปัจจัยอาคารข้างเคียงด้วย โดยให้ตำแหน่งของเจ้าหน้าที่อยู่ในต้นลม หรือด้านที่อยู่ติดกับด้านที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง ซึ่งจะเป็นต้นลมโดยตลอดไม่ว่าจะมีทิศทางของกระแสลมเข้ามาจากทิศทางใด อนึ่ง ด้วยอาคารข้างเคียงมีผลต่อความเร็วของกระแสลมที่เข้ามาภายในอาคาร ทำให้พบว่าในบางกรณีเชื้อโรคไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกอาคารได้ จึงมีจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ลดลงทั้งหมด แต่กลับสะสมอยู่ภายในคลินิกวัณโรคแทน (ภาพที่ 4.11) ซึ่งในกรณีนี้ทำให้เกิดความเสี่ยงในการติดเชื้อของเจ้าหน้าที่ที่สูงมาก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการติดพัดลมระบายอากาศใกล้บริเวณตำแหน่งของผู้ป่วยเพื่อดูดละอองฝอยของเชื้อโรคออกไปภายนอกอาคารแทนการระบายอากาศด้วยลมธรรมชาติ ซึ่งไหลเข้ามาภายในอาคารน้อยลง

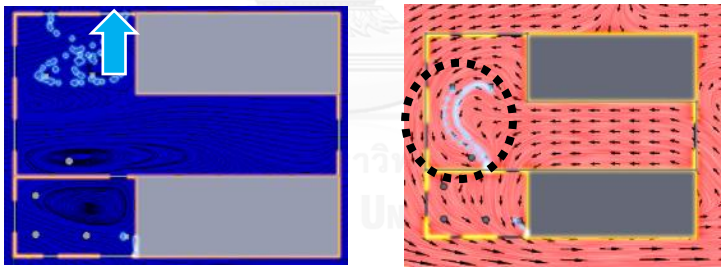
ตารางที่ 4.12 ทิศทางลมภายนอกต่ออาคารข้างเคียงรูปแบบต่างๆ และผังคลินิกวัณโรค

อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1	อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2	อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3
		
		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.10 ทิศทางลมและเชื้อโรคของผังแบบทางเดินเดี่ยว กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (บน) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ล่าง)



ภาพที่ 4.11 ทิศทางลมและเชื้อโรคของผังแบบทางเดินร่วม กรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 270 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที ก่อนมีอาคารข้างเคียง (ซ้าย) และหลังมีอาคารข้างเคียง (ขวา)

ตารางที่ 4.13 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินร่วม																			
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.11	0.76	1.26	1.14	5.40	9.24	0.61	3.66	5.53	2.76	12.82	23.25	2.45	10.31	18.16	0.53	1.79	3.32	0.11	23.25	5.73
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		7,900.35	2,147.23	1,075.74	3,239.72	818.07	420.77	7,912.04	1,340.85	709.15	481.35	113.70	65.45	628.55	144.22	82.55	3,553.01	1,265.66	616.73			
	โถงพักคอย		13,072.48	2,803.87	1,881.52	3,035.09	809.83	427.39	7,948.83	1,447.63	783.20	901.33	192.71	112.74	1,014.31	238.20	138.99	3,553.95	1,068.27	528.06			
	รวม		10,200.08	2,754.40	1,346.69	3,435.23	861.64	464.04	9,051.17	1,334.16	795.40	639.60	148.68	86.20	790.11	182.19	104.85	4,036.48	1,373.27	675.70	86.20	10,200.08	2,126.66
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	0	รวม ↓ 10		
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1		P1	P2	P2				P1,2													
		HCW2										P3	P3	P3	P3								
		HCW3										P3	P3	P3	P3	P3	P3						
		HCW4																					

รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว																			
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.19	1.00	2.01	0.84	2.99	5.45	0.60	2.73	4.30	3.62	14.64	24.01	2.63	12.33	21.94	1.23	4.63	8.97	0.19	24.01	6.34
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		9,843.08	2,220.76	1,320.06	3,444.37	871.39	504.95	8,268.88	1,179.59	650.43	670.39	158.97	82.92	806.08	178.47	104.69	3,518.65	1,155.24	550.28			
	โถงพักคอย		12,358.35	3,179.35	1,822.68	4,054.53	982.64	563.16	8,555.44	1,247.54	713.00	793.64	180.96	100.94	956.43	204.95	116.89	4,734.65	1,292.31	668.51			
	รวม		10,799.10	2,597.35	1,513.54	3,729.83	918.90	529.00	8,451.81	1,205.47	677.89	694.20	162.05	88.09	851.93	185.23	106.74	4,127.81	1,231.98	616.92	88.09	10,799.10	2,138.21
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	รวม ↓ 0		
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1																					
		HCW2																					
		HCW3																					
		HCW4																					

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินเดี่ยว																			
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.36	1.53	2.22	0.80	3.98	7.49	0.65	3.29	6.24	3.84	16.81	28.99	3.27	13.62	24.55	1.17	5.00	9.69	0.36	28.99	7.42
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		9,350.40	1,848.62	1,122.74	3,299.68	841.17	475.58	7,311.52	1,157.85	614.03	511.76	118.86	68.47	667.79	151.32	86.23	3,739.26	1,229.36	579.50			
	โถงพักคอย		14,972.57	2,290.70	1,847.27	3,973.31	893.57	492.37	7,700.27	1,211.71	669.44	1,038.34	219.61	124.30	1,085.56	251.07	146.36	4,290.01	1,190.42	595.38			
	รวม		12,558.18	2,094.95	1,528.20	3,694.16	871.23	485.15	7,526.73	1,182.52	643.10	810.15	176.32	100.37	902.75	207.28	120.09	4,074.75	1,216.54	592.23	100.37	12,558.18	2,154.71
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	รวม ↓ 11		
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P3																				
		HCW2																					
		HCW3			P3							P3					P3						
		HCW4	P3		P3							P3	P3	P3	P3	P3							

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน | มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง | มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

ตารางที่ 4.14 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินร่วม																			
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.55	0.59	1.25	1.16	4.89	9.28	0.76	3.61	6.58	2.65	12.75	21.75	3.89	15.42	27.17	2.77	11.16	19.94	0.55	27.17	8.12
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		6,423.53	2,213.43	1,152.17	2,877.89	706.77	398.32	5,660.55	1,134.74	662.36	570.33	109.36	63.41	706.19	175.89	100.46	780.05	179.53	100.79			
	โถงพักคอย		8,375.89	3,475.27	1,791.00	1,562.97	374.78	208.31	6,101.88	1,111.86	707.71	950.17	199.85	124.57	776.83	203.23	115.12	1,054.30	208.99	113.45			
	รวม		6,929.35	2,726.34	1,417.83	2,865.24	740.54	403.01	5,469.17	973.42	596.19	715.35	139.85	82.61	684.53	175.53	99.88	699.58	157.04	87.77	82.61	6,929.35	1,386.85
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	1	0	0	0	0	1	1	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	รวม	11	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1		P2					P2	P1,2	P1,2	P2											
		HCW2										P3	P3	P2,P3									
		HCW3										P3	P3										
		HCW4																					

รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว																			
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.74	1.20	2.20	0.78	6.29	7.92	0.68	3.68	6.06	2.11	10.13	17.61	5.84	21.64	38.27	2.65	12.00	20.83	0.68	38.27	8.92
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		3,830.22	2,564.02	1,347.31	3,413.19	797.92	550.02	6,880.08	1,181.92	883.53	844.92	192.11	111.16	1,006.71	257.16	142.17	1,641.65	393.64	189.07			
	โถงพักคอย		7,194.90	3,025.75	1,595.03	4,206.51	783.93	554.58	5,153.32	1,156.18	746.41	1,040.17	191.67	110.97	1,000.41	234.99	136.62	728.78	254.03	106.01			
	รวม		5,223.10	2,690.47	1,414.90	3,814.75	805.43	548.91	6,018.35	1,147.06	808.14	892.28	180.93	104.83	961.93	235.48	133.62	1,208.14	342.82	156.43	104.83	6,018.35	1,482.64
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	3	0	รวม	13	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1																					
		HCW2					P3	P3							P3	P3	P3		P3				
		HCW3					P3								P3	P3	P3		P3				
		HCW4						P3											P3				

ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			0.89	1.34	2.25	0.62	3.27	5.88	0.86	5.02	7.59	3.16	15.70	27.48	2.85	11.76	20.23	3.61	15.15	27.70	0.62	27.70	8.63
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		3,726.68	2,234.81	1,182.57	4,224.52	644.38	347.75	6,176.84	1,064.26	432.43	597.58	112.37	64.17	855.25	205.95	114.53	1,396.63	307.71	183.39			
	โถงพักคอย		7,099.68	3,318.29	1,783.57	3,587.18	523.55	278.20	6,038.63	1,099.40	480.09	928.71	186.27	107.90	992.65	247.58	142.48	870.92	196.56	112.82			
	รวม		5,663.71	2,837.67	1,518.89	3,878.77	574.92	308.27	6,059.32	1,075.13	457.43	785.34	153.31	88.33	933.83	229.88	130.62	1,095.38	244.04	142.97	88.33	6,059.32	1,454.32
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	รวม	18	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P3	P3	P3	P3																	
		HCW2					P3	P3															
		HCW3				P3						P3				P3	P3						
		HCW4	P3	P3	P3				P3	P3	P3		P3	P3									

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

ตารางที่ 4.15 ผลจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานเมื่อมีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินร่วม																		
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			3.34	12.80	21.85	0.83	3.24	6.05	0.74	5.11	4.20	2.42	10.82	18.64	2.23	10.15	18.32	1.37	5.53	10.03	0.74	21.85	7.65
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		651.42	167.07	98.25	4,940.94	1,072.46	610.32	5,149.49	1,053.66	471.74	498.15	113.49	65.25	624.97	142.16	80.81	1,152.31	286.49	172.64			
	โถงพักคอย		423.86	108.53	62.52	5,015.13	911.76	485.47	5,746.58	1,251.67	486.10	901.80	206.33	114.05	1,187.35	250.96	142.57	741.31	176.84	111.25			
	รวม		613.71	157.08	90.49	5,658.28	1,244.28	659.09	5,895.01	1,086.07	497.72	673.65	152.27	86.55	859.48	190.77	107.96	1,294.41	437.08	223.73	86.55	5,895.01	1,107.09
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	รวม	9	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1					P1,2		P1														
		HCW2				P2									P1	P1	P1						
		HCW3													P1	P1	P1						
		HCW4																					

รูปแบบผัง			ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว																		
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			4.51	17.10	30.40	0.49	2.40	5.01	1.02	4.03	18.55	3.47	14.84	27.04	3.22	13.41	24.06	1.08	3.82	6.67	0.49	30.40	10.06
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		541.44	140.15	79.39	5,004.39	1,202.82	629.32	6,208.91	965.74	249.40	734.94	151.57	88.56	736.83	169.48	96.15	1,186.16	296.47	181.65			
	โถงพักคอย		425.12	110.42	63.05	4,930.27	1,148.60	597.10	5,511.36	1,036.74	182.70	1,118.51	291.97	123.86	1,229.57	319.69	184.70	906.84	247.53	158.30			
	รวม		485.04	125.73	71.45	4,963.84	1,177.06	615.30	5,937.81	1,007.02	222.30	866.14	207.16	100.63	934.73	230.78	132.36	1,033.99	268.93	168.11	71.45	5,937.81	1,030.47
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	รวม	6	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1	P1	P1	P1																		
		HCW2	P2	P2	P2																		
		HCW3																					
		HCW4																					

รูปแบบผัง			ผังแบบทางเดินเดี่ยว																		
ทิศทางลมภายนอก			0(S)			45(SW)			90(W)			180(N)			225(NE)			270(E)			สรุปผล		
ความเร็วลมภายนอก			0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	0.25	1.00	1.75	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
ค่าเฉลี่ย ACH			6.43	24.19	42.31	1.03	5.10	8.73	0.94	2.10	16.67	2.79	11.95	21.11	10.95	13.12	22.95	2.26	8.79	15.66	0.94	42.31	12.06
ค่าเฉลี่ยอายุอากาศ	ห้องตรวจ		589.61	149.56	85.95	4,893.94	1,033.26	571.53	3,435.21	1,587.28	719.92	497.44	121.16	68.14	663.39	152.69	86.30	1,134.12	282.32	179.13			
	โถงพักคอย		438.86	112.50	64.42	4,803.86	930.54	501.06	2,037.34	1,415.52	714.66	1,678.46	411.87	242.64	2,327.17	610.56	337.77	863.69	213.37	138.64			
	รวม		501.95	127.98	73.40	4,850.25	975.33	531.01	2,624.46	1,484.94	715.81	1,185.28	290.60	169.86	1,631.82	420.50	233.65	981.78	243.56	156.42	73.40	4,850.25	955.48
ทิศทางการไหลของเชื้อโรค	จำนวนตำแหน่ง		0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	1	1	2	2	1	0	0	0	รวม	12	
	ตำแหน่งที่ผ่าน	HCW1																					
		HCW2							P2														
		HCW3										P3			P3	P3	P3						
		HCW4							P2		P3	P3	P3	P3	P3	P3							

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่มากกว่า 0 ตำแหน่ง มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ 3 ตำแหน่งขึ้นไป

บทที่ 5
การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค โดยมีการศึกษาถึง 4 ปัจจัย ได้แก่ การจัดพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งช่องเปิด การวางผังอาคาร และอาคารข้างเคียง โดยได้ทำการจำลองเพื่อศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

5.1.1 การศึกษาการระบายอากาศของคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุงและการปรับปรุง

ปัญหาที่พบในผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง

ผังคลินิกวัณโรคทั้ง 3 รูปแบบ มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อมีความเร็วลมที่ 1.00 และ 1.75 เมตรต่อวินาที ยกเว้นในผังคลินิกวัณโรครูปแบบทางเดินร่วม ที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์ แม้จะมีความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาทีก็ตาม โดยเมื่อมีความเร็วลมภายนอกที่ 0.25 เมตรต่อวินาที จะไม่มีผังรูปแบบใดที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถพบปัญหาทิศทางการไหลของเชื้อโรคแพร่กระจายไปยังส่วนเจ้าหน้าที่ได้ในทุกรูปแบบผัง ทั้งนี้ รูปแบบผังที่มีประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงสุดคือ ผังแบบทางเดินเดี่ยว รองลงมาเป็นผังแบบผสมทางเดินร่วม และผังแบบทางเดินร่วม

การปรับปรุงผังคลินิกวัณโรคมาตรฐาน

จากปัญหาที่พบในคลินิกวัณโรคข้างต้น จึงกำหนดวิธีการแก้ไขได้ 3 วิธี คือ การจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการวางผังอาคาร เรียงลำดับตามงบประมาณที่ใช้ โดยในปัญหาเรื่องทิศทางการไหลของเชื้อโรค การใช้วิธีการจัดพื้นที่ใช้สอยสามารถช่วยลดปัญหาไปได้ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อใช้วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด จะสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวไปได้โดยมาก และลดลงได้อีกเมื่อมีการใช้วิธีการวางผังอาคาร อย่างไรก็ตาม ภายหลังการปรับปรุงคลินิกวัณโรคทั้ง 3 วิธีแล้ว ยังคงพบว่ามีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่อยู่ แต่มีในปริมาณที่น้อยลงมากกว่าก่อนการปรับปรุง จึงเสนอให้เสริมการใช้พัดลดระบายอากาศ เครื่องกรองอากาศและการใช้หลอด UVGI ในการฆ่าเชื้อเพิ่มเติมด้วย

สำหรับปัญหาเรื่องอายุอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมีความสัมพันธ์กัน คือ เมื่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อายุอากาศเฉลี่ยของทั้งคลินิกวัณโรคก็จะไม่

ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน ซึ่งการแก้ไขปัญหาด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดให้เข้าใกล้มุมอับอาคาร สามารถลดอายุอากาศได้ในผังแบบทางเดินร่วมได้มาก และลดอายุอากาศในผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวได้ใกล้เคียงเดิม แต่ในผังแบบทางเดินเดี่ยวกลับทำให้มีอายุอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งให้ตรงกันจะทำให้มุมอับลมมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้นแทน ทำให้วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดไม่สามารถแก้ไขปัญหาอายุอากาศได้ในผังแบบทางเดินเดี่ยว แต่การใช้วิธีการวางผังอาคารใหม่ด้วยการเจาะช่องเปิดและปรับให้ห้องตรวจอยู่บริเวณอาคารสามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องอายุอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ในทุกรูปแบบผัง อย่างไรก็ตาม การวางผังอาคารต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของอากาศด้วย เพราะอาจทำให้กระแสลมไม่ไหลผ่านพื้นที่ที่เป็นมุมอับของอาคารได้ เช่น ในส่วนโถงพักคอยบริเวณทางเดินของผังแบบทางเดินร่วม และในส่วนห้องตรวจของผังแบบทางเดินเดี่ยว ทั้งนี้ หากมีความเร็วลมภายนอกที่ต่ำจะทำให้ไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ จึงเสนอให้เสริมการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐานอย่างสม่ำเสมอแม้ในเวลาที่มีความเร็วลมภายนอกต่ำ

5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค

ศึกษาปัจจัยตัวแปรที่ส่งผลต่อการระบายอากาศ โดยแบ่งแยกผลการวิจัยที่ได้จากแต่ละตัวแปร ดังนี้

5.1.2.1 ตัวแปรการจัดพื้นที่ใช้สอย

การจัดพื้นที่ใช้สอยเป็นวิธีที่สามารถลดแก้ปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ในทุกรูปแบบผัง โดยจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ของผังแบบทางเดินร่วม ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และผังแบบทางเดินเดี่ยวเมื่อเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดลงไปได้ 5, 12 และ 4 ตำแหน่ง ตามลำดับ โดยทิศทางลมที่ 180 องศาเป็นทิศทางที่ภายหลังการปรับปรุง สามารถลดจำนวนตำแหน่งที่มีเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้เหลือ 0 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม ยังคงมีตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้อยู่ในทิศทางลมที่ 225 และ 270 องศา และพบมากเมื่อมีความเร็วลมที่ 1.00-1.75 วินาที ซึ่งสรุปได้ว่า ความเร็วลมที่สูงขึ้นจะทำให้มีโอกาสในการแพร่กระจายเชื้อที่สูงขึ้นด้วย

5.1.2.2 ตัวแปรตำแหน่งช่องเปิด

การแก้ปัญหาด้วยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งช่องเปิดสามารถลดปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้โดยมาก 5-8 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม พบว่า ในผังแบบทางเดินเดี่ยวมีปัญหาเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ใกล้เคียงกับกรณีการจัดพื้นที่ใช้สอยเพียงอย่างเดียว แต่การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดจะช่วยลดอายุอากาศให้กับผังแบบทางเดินร่วมได้ โดยลดกรณีที่จะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปได้ 1 กรณี หรือลดอายุอากาศได้ 244.79 วินาที ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและ

เดี่ยวมีอายุอากาศที่ลดลงแต่ใกล้เคียงเดิม และผังแบบทางเดินเดี่ยวมีอายุอากาศที่มากขึ้นจากการที่จัดช่องเปิดให้ตรงกันอันเป็นผลให้เพิ่มพื้นที่มุมอับที่มากขึ้น แต่เมื่อมีความเร็วลมต่ำที่ 0.25 เมตรต่อวินาที จะยังคงทำให้อายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกกรณีเช่นเดียวกับก่อนการปรับปรุง

5.1.2.3 ตัวแปรการวางผังอาคาร

การปรับเปลี่ยนวางผังอาคารจะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในได้ในทุกรูปแบบผัง และเพิ่มกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพิ่มขึ้นอีก 2 กรณี คือ กรณีผังแบบทางเดินเดี่ยวในทิศทางลมที่ 225 องศา ซึ่งทำการเจาะช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกและย้ายตำแหน่งห้องตรวจมาไว้ในบริเวณหัวมุมอาคารที่สามารถผ่านมาตรฐานได้แม้มีความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที และผังแบบทางเดินร่วมในทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ หากมีความเร็วลมต่ำที่ 0.25 เมตรต่อวินาที จะยังคงทำให้อายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกกรณี

ส่วนอายุอากาศ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร จะช่วยลดอายุอากาศได้โดยมาก คือ ลดกรณีที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปได้ 11 กรณี ซึ่งเกิดจากการจัดให้ห้องตรวจอยู่บริเวณหัวมุมอาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนช่องเปิดโดยมาก อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ในความเร็วลมต่ำที่ 0.25 เมตรต่อวินาที

ส่วนการศึกษาทิศทางการไหลของของเชื้อโรคที่แพร่กระจายไปยังส่วนเจ้าหน้าที่ พบว่า ในการวางผังอาคารในรูปแบบที่ 1 จะสามารถลดตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ทุกรูปแบบผัง แต่การวางผังอาคารในรูปแบบที่ 2 จะสามารถลดตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้เฉพาะในผังแบบทางเดินร่วมเท่านั้น ในขณะที่ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว และทางเดินเดี่ยวจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งเชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของเชื้อโรคในการวางผังอาคารทั้ง 2 รูปแบบ จึงเสนอให้ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยวย้ายตำแหน่งเคาน์เตอร์พยาบาลให้อยู่ภายในห้องตรวจเช่นเดียวกับแบบผังแบบทางเดินเดี่ยว และผังแบบทางเดินร่วม เสนอแนะให้ย้ายตำแหน่งของที่นั่งพักคอยและที่นั่งทานยาให้ออกห่างจากห้องตรวจ เพื่อช่วยลดตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ ภายหลังการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารที่สามารถช่วยทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้มากขึ้น

5.1.2.4 ตัวแปรอาคารข้างเคียง

การมีอาคารข้างเคียงส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศในเชิงลบ เนื่องจากเมื่อลมภายนอกปะทะกับอาคารข้างเคียง และทำให้เกิดการเบี่ยงทิศทางลม จะทำให้ลมบางส่วนได้ไหลย้อนกลับมาในความเร็วลมต่ำ ซึ่งเป็นทิศทางลมหลักที่จะไหลเข้ามาในคลินิกวัณโรค เมื่อมีอาคารข้างเคียงบังลม โดยจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า เมื่อมีทิศทางลมไหลเข้ามาทางด้านที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง ในความเร็วลมที่ 1.00-1.75 เมตรต่อวินาที จะสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ แต่ในทิศทางลมที่ไหลเข้าปะทะกับอาคารข้างเคียงโดยตรงจะไม่สามารถผ่าน

เกณฑ์มาตรฐานได้ในทุกความเร็วลม ยกเว้นในบางกรณีที่อาคารข้างเคียงช่วยให้กระแสลมไหลเข้าอาคารจากหลายทิศทาง ทำให้มีช่องอากาศเข้าที่มากขึ้น (อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 และ2) นอกจากนี้ การหันด้านของอาคารที่มีช่องเปิดจำนวนมากที่สุดไปยังด้านที่ลมเข้าก็ส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นได้จากการที่มีพื้นที่ช่องอากาศเข้าที่มากขึ้น หรืออาคารข้างเคียงส่งผลให้ทิศทางกระแสลมเปลี่ยนไปและทำให้มีการกระจายตัวในคลินิกได้ทั่วถึงมากขึ้นด้วย

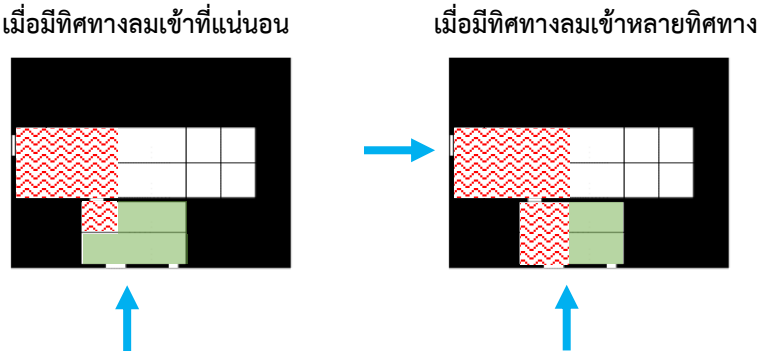
สำหรับทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อโรค พบว่า ทิศทางการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับทิศทางลมภายนอก รูปแบบผังคลินิกวัณโรค และรูปแบบอาคารข้างเคียง แต่โดยสรุปแล้วจะมีลักษณะทิศทางการไหลที่คล้ายกันในทุกทิศทางลมและรูปแบบผัง โดยทิศทางอากาศเข้าจะเป็นไปตามทิศที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง และทิศทางการไหลของเชื้อโรคจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางกระแสลมที่เข้ามาภายในคลินิก ดังนั้น ในการจัดวางพื้นที่ใช้สอยจึงควรมีการคำนึงถึงปัจจัยอาคารข้างเคียงด้วย อนึ่ง ด้วยอาคารข้างเคียงมีผลต่อความเร็วของกระแสลมที่เข้ามาภายในอาคาร ทำให้พบว่าในบางกรณีเชื้อโรคไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกอาคารได้ จึงมีจำนวนตำแหน่งที่เชื้อโรคไหลผ่านเจ้าหน้าที่ลดลงทั้งหมด แต่กลับสะสมอยู่ภายในคลินิกวัณโรคแทน

5.1.3 การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคลินิกวัณโรค

จากการศึกษาวิจัย สามารถนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการออกแบบคลินิกวัณโรคเพื่อให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ดีขึ้น ดังนี้

5.1.3.1 การจัดพื้นที่ใช้สอย

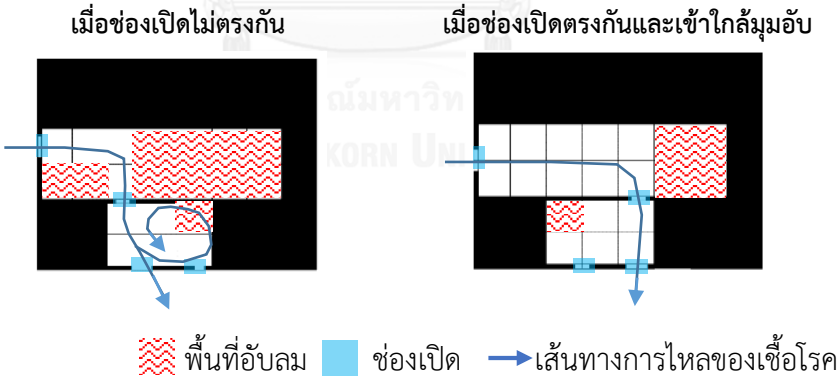
ควรจัดให้ตำแหน่งเจ้าหน้าที่อยู่ในตำแหน่งต้นลม หรือหากในกรณีที่มีทิศทางลมเข้าหลายทิศทางจากการที่มีอาคารข้างเคียง ให้จัดตำแหน่งเจ้าหน้าที่ให้หลบมุมเลี่ยงกระแสลมหลักที่ไหลภายในอาคาร และจัดให้ตำแหน่งของผู้ป่วยอยู่ใกล้กับตำแหน่งช่องเปิดมากที่สุด เพื่อลดระยะการไหลของเชื้อโรคซึ่งอาจไปตกกระทบผนังห้องและเกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคได้ นอกจากนี้ควรจัดตำแหน่งของผู้ป่วยบริเวณที่นั่งพักคอยให้อยู่ห่างจากทางเข้าห้องตรวจ เพื่อลดโอกาสที่เชื้อโรคจะไหลเข้าห้องตรวจและไหลผ่านเจ้าหน้าที่ได้ และหากมีพื้นที่ภายในห้องตรวจมากพอ ควรจัดให้เคาน์เตอร์พยาบาลอยู่ภายในห้องตรวจและเจาะช่องบานเลื่อนกระจกสำหรับติดต่อผู้ป่วย เพื่อแยกให้ห่างออกจากส่วนของผู้ป่วย (ภาพที่ 5.1)



ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างการจัดพื้นที่ใช้สอยส่วนเจ้าหน้าที่และผู้ป่วย

5.1.3.2 ตัวแปรตำแหน่งช่องเปิด

ควรปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดให้ตรงกันเพื่อลดโอกาสเชื้อโรคไหลเอียงเข้าไปในบริเวณที่มีอากาศหมุนวนภายในห้องตรวจได้ และเลื่อนตำแหน่งช่องเปิดให้เข้าไปใกล้บริเวณที่เป็นจุดอับลมจะสามารถช่วยลดขนาดของอากาศหมุนวนและลดอายุอากาศบริเวณดังกล่าวได้ในผังแบบทางเดินร่วม และผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว (ภาพที่ 5.2)

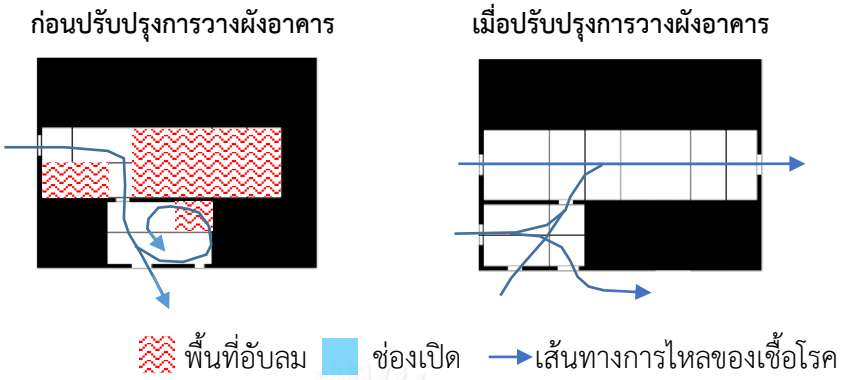


ภาพที่ 5.2 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด

5.1.3.3 ตัวแปรการวางผังอาคาร

ควรเจาะช่องเปิดบริเวณทางเข้า-ออกอาคารและย้ายตำแหน่งห้องตรวจไปอยู่บริเวณหัวมุมอาคาร เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดการแพร่กระจายเชื้อโรคในคลินิกและลดอายุอากาศได้ดีที่สุด และการย้ายตำแหน่งห้องตรวจไปอยู่บริเวณหัวมุมจะช่วยเพิ่มจำนวนช่องเปิดอันนำมาซึ่งอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม การวางผังอาคารควรพิจารณาถึงประเด็นการ

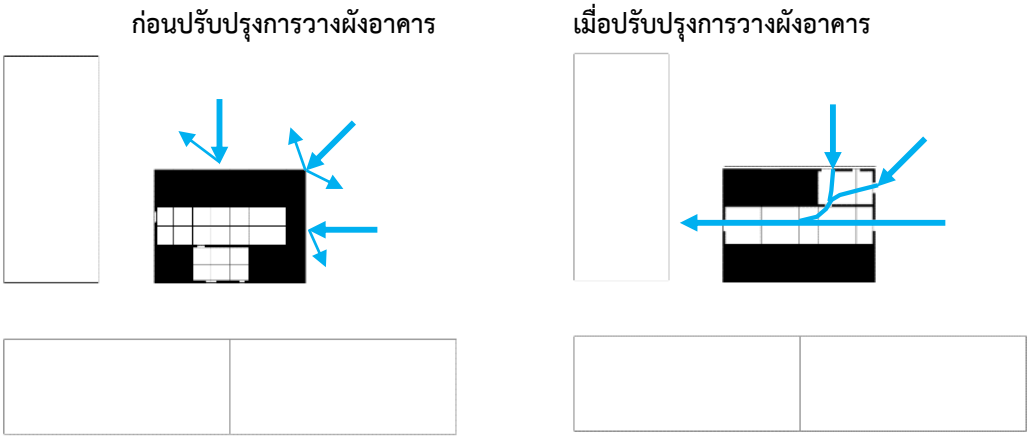
กระจายตัวของอากาศให้เข้าถึงได้ทุกพื้นที่ ร่วมกับการจัดพื้นที่ใช้สอยให้ส่วนของผู้ป่วยอยู่ห่างจากห้องตรวจด้วย (ภาพที่ 5.3)



ภาพที่ 5.3 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร

5.1.3.4 ตัวแปรอาคารข้างเคียง

ในกรณีที่มีอาคารข้างเคียงบังทิศทางลม ควรวางผังอาคารให้หันทิศที่มีช่องเปิดจำนวนมากไปออกจากอาคารข้างเคียงไปยังที่มีพื้นที่เปิดโล่ง และจัดให้ตำแหน่งของเจ้าหน้าที่อยู่บริเวณดังกล่าวซึ่งเป็นต้นลมด้วย อย่างไรก็ตาม ในกรณีอาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 และ 2 กระแสลมภายนอกอาจเกิดอากาศหมุนอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างอาคารข้างเคียง ซึ่งทำให้ในบางกรณีกระแสลมจากอากาศหมุนไหลเข้ามาในคลินิกวัณโรคได้ ดังนั้น ในการวางตำแหน่งของเจ้าหน้าที่จึงควรอยู่ใกล้บริเวณทิศทางที่อากาศหมุนไหลเข้ามา เพื่อที่จะได้อยู่ในบริเวณต้นลมก่อนไหลไปสู่ตำแหน่งผู้ป่วยต่อไป (ภาพที่ 5.4)



ภาพที่ 5.4 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนคลินิกวัณโรคเมื่อมีอาคารข้างเคียง

อย่างไรก็ตาม การมีอาคารข้างเคียงทำให้ลดปริมาณอากาศที่เข้ามาโดยมาก และอาจทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ดังนั้น จึงเสนอให้มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพิ่มในจุดที่อยู่ใกล้ตำแหน่งผู้ป่วย เพื่อลดความเข้มข้นของปริมาณเชื้อโรคที่ผู้ป่วยปล่อยออกมา เพราะถึงแม้จะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่เชื้อโรคจากผู้ป่วยมีทิศทางการไหลที่ถูกต้อง ไม่เข้าหาเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และมีในปริมาณที่ไม่มาก ก็เป็นการลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของผู้ใช้งานอาคารได้ในทางหนึ่ง โดยในกรณีดังกล่าว ควรเสริมด้วยการใช้เครื่องกรองอากาศและการใช้หลอด UVGI ในการฆ่าเชื้อเพิ่มเติมด้วย

ดังนั้น ในการออกแบบคลินิกวัณโรค นอกจากจะคำนึงถึงการออกแบบในระดับผังอาคารและองค์ประกอบอาคาร ด้วยการจัดพื้นที่ใช้สอยเจ้าหน้าที่ให้เลี่ยงทิศทางของกระแสลมหลัก เนื่องจากกระแสลมสามารถไหลเข้ามาได้หลายทิศทาง หรือหากทราบทิศทางลมเข้าที่แน่นอน ให้จัดพื้นที่ใช้สอยเจ้าหน้าที่อยู่ในฝั่งต้นลม การจัดให้ที่นั่งผู้ป่วยอยู่ใกล้กับช่องเปิดที่มีตำแหน่งตรงกันเพื่อเสริมให้เชื้อโรคระบายออกสู่ภายนอกอาคารได้ดีขึ้น และการวางผังอาคารให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกและมีห้องตรวจอยู่บริเวณหัวมุมอาคาร เพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ซึ่งต้องคำนึงถึงรูปแบบในการกระจายตัวของอากาศด้วยแล้ว ยังต้องคำนึงถึงระดับการวางผังอาคารให้สอดคล้องกับพื้นที่โดยรอบด้วย โดยหากเป็นการก่อสร้างใหม่ ให้เว้นระยะร่นระหว่างแนวเขตที่ดินให้เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่การไหลของอากาศ และหันส่วนที่มีช่องเปิดจำนวนมากของอาคารออกจากด้านที่มีอาคารข้างเคียง หรือหากมีอาคารข้างเคียงสร้างขึ้นมาภายหลัง เสนอให้ย้ายตำแหน่งของคลินิกวัณโรคไปยังด้านที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง พร้อมเสริมด้วยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้วยเพื่อให้มีอากาศเข้าในอัตราที่สม่ำเสมอแม้มีความเร็วลมที่ต่ำ โดยควรมีการตรวจสอบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 12 ACH ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วลม และตลับเมตรในการนำ

ค่าที่ได้ไปคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศดังสูตรที่ 1 รายละเอียดดังบทที่ 3 เพื่อลดความเสี่ยงในการติดเชื้อในคลินิกวัณโรคต่อไป

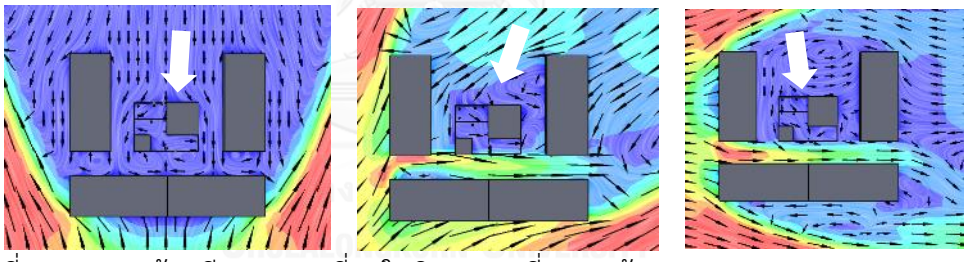
5.1.4 การขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของคลินิกวัณโรค

5.1.4.1 การศึกษาปัจจัยอาคารข้างเคียง

แต่เดิมในงานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาลจะไม่มีการศึกษาถึงปัจจัยอาคารข้างเคียง ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะมีการศึกษาถึงผลกระทบของอาคารข้างเคียงด้วย โดยพบองค์ความรู้จากการศึกษา ดังนี้

- ทิศทางการไหลของอากาศ

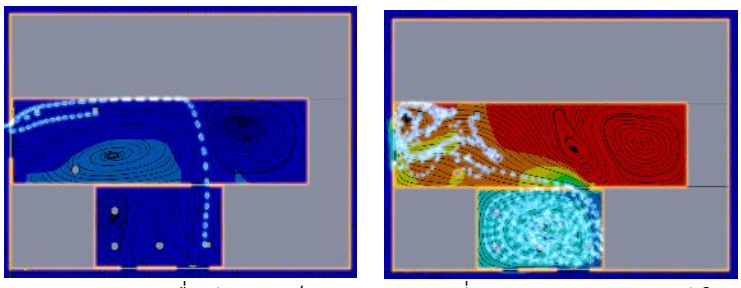
การมีอาคารข้างเคียงส่งผลให้ทิศทางการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อกระแสลมปะทะกับอาคารข้างเคียงแล้ว อากาศจะแยกตัวและไหลย้อนกลับมายังบริเวณที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งของอาคารข้างเคียง ซึ่งจะทำให้ในบริเวณดังกล่าวเป็นทางเข้าของกระแสลมหลัก และจะเป็นไปในลักษณะดังกล่าวในทุกทิศทางและความเร็วลม (ภาพที่ 5.5) ดังนั้น หากอาคารข้างเคียงส่งผลให้ทิศทางการไหลของอากาศเข้ามาในด้านเดียวกันทั้งหมด จึงควรปรับการจัดพื้นที่ใช้สอยให้ตำแหน่งของเจ้าหน้าที่อยู่ในบริเวณนั้นเพื่อให้ตำแหน่งของเจ้าหน้าที่อยู่ในต้นลม



ภาพที่ 5.5 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ในทิศทางลมที่ 180 (ซ้าย), 225 (กลาง), 270 (ขวา) องศา

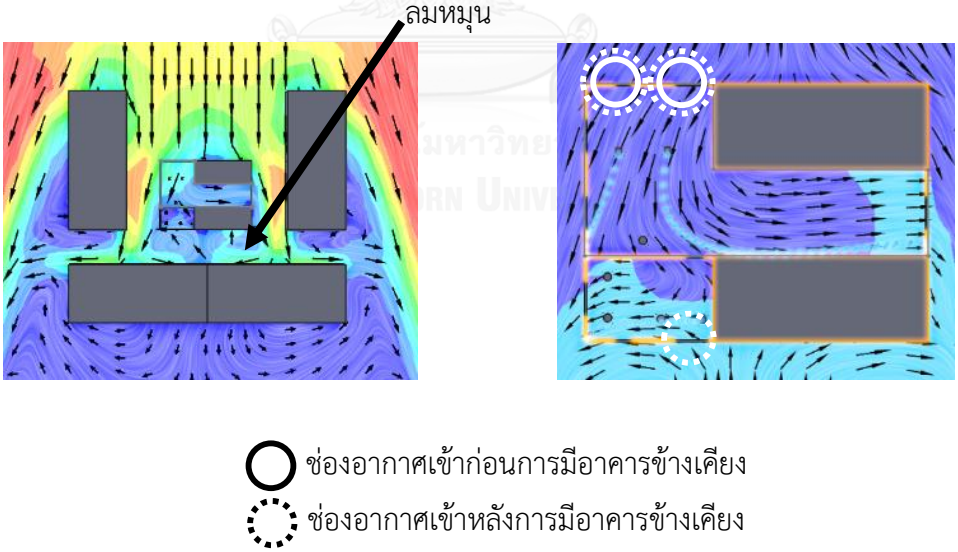
- ทิศทางการไหลของเชื้อโรค

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าหลักเกณฑ์ในการจัดพื้นที่ใช้สอยคือการกำหนดให้สอดคล้องกับทิศทางการไหลของอากาศที่อากาศจะไหลจากส่วนที่สะอาดมากกว่าไปยังส่วนที่สะอาดน้อยกว่า หรือหมายถึงการที่จัดพื้นที่ใช้สอยของแพทย์ให้เป็นต้นลม เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อโรคจากพื้นที่ใช้สอยของผู้ป่วยไหลเข้าหาแพทย์ แต่การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ กระแสลมสามารถไหลมาได้จากหลายทิศทาง การจัดพื้นที่ใช้สอยหนึ่งอาจเหมาะสมกับทิศทางลมในทิศทางหนึ่ง แต่เมื่อกระแสลมเปลี่ยนทิศทางไปอีกทางหนึ่ง การจัดพื้นที่ใช้สอยที่เคยเหมาะสมอาจเกิดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคได้ (ภาพที่ 5.6)



ภาพที่ 5.6 ผังแบบทางเดินร่วมเมื่อมีความเร็วลมภายนอกที่ 1.00 เมตรต่อวินาที ในทิศทางลมที่ 180 องศา (ซ้าย) และ 225 องศา (ขวา)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีปัจจัยอาคารข้างเคียงเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีอาคารข้างเคียงในลักษณะที่ตั้งฉากกับทิศทางลมเข้า ซึ่งก่อให้เกิดลมหมุนบริเวณด้านหลังของอาคารข้างเคียง มีผลให้อากาศจากลมหมุนดังกล่าวไหลเข้ามาภายในอาคารได้หลายทิศทางพร้อมกัน (ภาพที่ 5.7) ดังนั้น ในกรณีที่ทิศทางลมมีโอกาสที่จะเข้ามาได้หลายทิศทาง และเป็นทิศทางที่สามารถส่งผลต่อการแพร่กระจายเชื้อโรคได้ ให้จัดพื้นที่ใช้สอยของแพทย์ให้เลี่ยงทิศทางของกระแสลมหลัก เพื่อลดการไหลผ่านของเชื้อโรค แต่หากในพื้นที่ตั้งคลินิกวัณโรคมีทิศทางลมเข้าในทิศทางที่แน่นอน ไม่ว่าจะเกิดจากการวางผังอาคาร หรือการมีอาคารข้างเคียงบังลมจนทิศทางลมเข้าคลินิกมีเพียงทิศทางเดียว ควรจัดพื้นที่ใช้สอยของแพทย์ไว้ในพื้นที่ที่เป็นต้นลมจะเป็นการดีที่สุด



ภาพที่ 5.7 อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1 ทิศทางลมที่ 360 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาที

- อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และอายุอากาศ

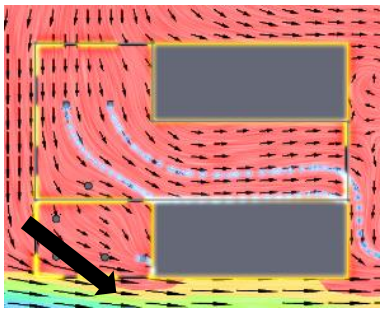
ในงานวิจัยหลายชิ้นมีการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียง และพบว่าอาคารข้างเคียงจะส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลดลง โดยทำการศึกษาผลกระทบของอาคาร

ข้างเคียงที่มีต่อการแลกเปลี่ยนอากาศในสถานที่ต่างๆ แต่ยังไม่มีการทำการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียงที่มีต่อการแลกเปลี่ยนอากาศในคลินิกวัณโรค ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้พบว่า คลินิกวัณโรคที่มีอาคารข้างเคียง ส่วนใหญ่จะลดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศลงมากสุด 0.4 เท่า และเพิ่มอายุอากาศขึ้นสูงสุด 6 เท่า

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่าการบังลมมีผลต่อการลดลงของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจริง จากการที่ลดความเร็วลมที่เข้ามาภายในอาคาร แต่พบว่าในบางกรณีการมีอาคารข้างเคียงกลับทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่กระแสลมเมื่อกระทบกับอาคารข้างเคียงแล้วเบี่ยงทิศทางออก ได้ไหลย้อนกลับเข้ามาหาคลินิกในด้านที่มีช่องเปิดจำนวนมาก ทำให้เป็นการเพิ่มจำนวนของช่องอากาศเข้าแล้วทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้น เมื่อสถานที่ตั้งคลินิกวัณโรคมีอาคารข้างเคียงอยู่โดยรอบ จึงควรจัดให้มีช่องเปิดจำนวนมากอยู่ในฝั่งที่เปิดโล่งจากอาคารข้างเคียง เพื่อให้กระแสลมหลังจากการปะทะกับอาคารข้างเคียงสามารถไหลย้อนกลับเข้ามาภายในคลินิกได้

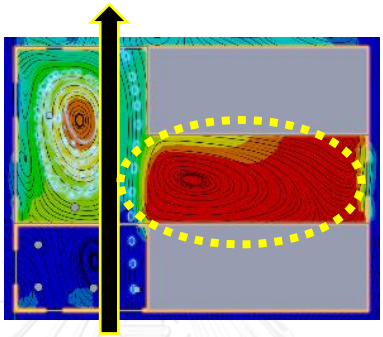
5.1.4.2 ตำแหน่งช่องเปิด

งานวิจัยส่วนใหญ่เสนอให้เพิ่มช่องเปิดให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ซึ่งการทดลองพบว่าเป็นจริง คือ ในกรณีส่วนใหญ่การมีช่องเปิดจำนวนมากจะช่วยส่งเสริมให้มีช่องอากาศเข้าที่มากขึ้นและเสริมให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้นตาม แต่จากการศึกษาอายุอากาศ พบว่า ในบางกรณี (ภาพที่ 5.8) ช่องเปิดจำนวนมากไม่มีได้ผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศที่มากนัก เนื่องจากทำให้กระแสลมไหลออกภายนอกอาคารเร็วเกินไปโดยที่ยังไม่ได้ช่วยระบายอากาศในพื้นที่ที่มีช่องเปิดน้อยและไกลกว่า ดังนั้น นอกจากการส่งเสริมให้มีช่องเปิดจำนวนมากแล้ว การออกแบบการกระจายตัวของอากาศก็มีความสำคัญเช่นกัน



ภาพที่ 5.8 ผังแบบทางเดินร่วมภายหลังการปรับปรุง ทิศทางลมที่ 225 องศา ความเร็วลมที่ 1.00 เมตร/วินาทีซึ่งอากาศที่เข้ามาภายในห้องตรวจไหลออกไปภายนอกอาคารโดยที่ไม่ได้เข้ามาระบายอากาศในส่วนอื่น

เช่นเดียวกับการปรับเปลี่ยนวางผังอาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่คลินิกวัณโรคและเพิ่มจำนวนช่องเปิดและทางออกของอากาศมากขึ้น ในบางกรณี (ภาพที่ 5.9) การเพิ่มช่องเปิดและทางออกของอากาศก็ทำให้อากาศไม่ไหลเข้าไประบายอากาศพื้นที่ที่เป็นมุมอับ และหากการตำแหน่งช่องเปิดนั้นไม่สอดคล้องกับทิศทางของกระแสลมที่เข้ามา อาจทำให้เกิดการสะสมเชื้อโรคในบริเวณดังกล่าวได้



ภาพที่ 5.9 ผังแบบทางเดินร่วมภายหลังการปรับปรุง ทิศทางลมที่ 180 องศา ความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาทีซึ่งอากาศที่เข้ามาภายในคลินิกไหลออกไปยังช่องเปิดฝั่งตรงข้ามโดยที่ไม่ไประบายอากาศบริเวณทางเดินด้านขวา

5.1.4.3 อายุอากาศ

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาลจะทำการศึกษาแต่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องอายุอากาศร่วมด้วย ผลการศึกษาพบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศมีความสัมพันธ์กัน คือ เมื่อมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้น จะช่วยให้อายุอากาศลดลงได้ตามไปด้วย แต่ในบางกรณีที่มีการวางห้องตรวจไว้บริเวณหัวมุมอาคาร ก็ทำให้อายุอากาศในห้องตรวจผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ดังนั้น ในการกำหนดตำแหน่งของคลินิกวัณโรคในอาคารจึงควรจัดให้อยู่ในบริเวณริมหรือหัวมุมอาคาร เพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อโรคต่อไป

5.1.4.4 ระดับความเร็วลม

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในสถานพยาบาลจะทำการเลือกระดับความเร็วลมเพียงระดับเดียว คือ เป็นค่าเฉลี่ยความเร็วลมของจังหวัดที่ทำการศึกษา แต่ด้วยจากการเก็บข้อมูลความเร็วลมภายนอกอาคารในสถานที่จริงพบว่าบ่อยครั้งจะมีความเร็วลมที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยความเร็วลมของจังหวัด ซึ่งหากใช้ค่าเฉลี่ยความเร็วลมเพียงค่าเดียว อาจทำให้ผลการทดลองสูงกว่าความเป็นจริงได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการศึกษาความเร็วลมใน 3 ระดับ ประกอบด้วยความเร็วลมที่พบได้บ่อยและความเร็วลมเฉลี่ยของจังหวัดที่ทำการศึกษา ซึ่งผลการศึกษาพบว่า หากมีความเร็วลมต่ำที่ระดับ 0.25 เมตรต่อวินาที จะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ แต่หากมีความเร็วลมที่ 1.00 เมตรต่อวินาที เป็นต้นไป การปรับเปลี่ยนคลินิกวัณโรคตามแนวทางที่ได้ทำการทดลองไปจะสามารถช่วยเพิ่มกรณีที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานขึ้นได้ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องติดพัดลมระบายอากาศรวมกันให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ใกล้เคียง 12 ACH

5.1.4.5 ทิศทางการไหลของเชื้อโรค

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยส่วนน้อยที่ทำการศึกษาถึงทิศทางการไหลของเชื้อโรคด้วย ส่วนใหญ่พบว่ามีการศึกษาในระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาทิศทางการไหลของเชื้อโรคในระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยผลการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องเช่นเดียวกับในระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล กล่าวคือ เมื่อมีความเร็วลมที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคที่สูงขึ้นตามด้วย และการจัดให้ช่องอากาศออกอยู่ใกล้กับตำแหน่งของผู้ป่วย จะช่วยลดโอกาสในการสะสมเชื้อโรคได้ นอกจากนี้ เนื่องจากช่องอากาศเข้า-ออกของระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมีขนาดที่ใหญ่กว่าระบบระบายอากาศด้วยวิธีกล จึงทำให้เชื้อโรคสามารถไหลออกสู่ภายนอกอาคารได้ดีกว่าระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลเพียงระบบเดียว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ด้วยงานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่สามารถศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศในคลินิกวัณโรคได้ครบถ้วนทุกปัจจัยอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการศึกษา ดังนั้น จึงเสนอแนะให้มีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังต่อไปนี้

5.2.1 งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ในกรณีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเฉพาะปัจจัยการวางผังอาคาร การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคารเท่านั้น ไม่ครอบคลุมบางปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้ เช่น แผงดักลม อีกทั้งยังไม่ได้

ครอบคลุมถึงการระบายอากาศด้วยวิธีกล ซึ่งเป็นระบบที่สถานพยาบาลจำนวนมากเลือกใช้ และมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ เช่น พัดลมตั้งโต๊ะ พัดลมดูดอากาศ เครื่องกรองอากาศ เป็นต้น ดังนั้น ควรได้รับการศึกษาวิจัยต่อไป

5.2.2 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาช่องเปิดในลักษณะที่ลมไหลผ่านได้ร้อยละ 100 โดยไม่มีสิ่งกีดขวางช่องเปิด และไม่มีการระบุชนิดของช่องเปิด แต่ในความเป็นจริงลมอาจไม่สามารถไหลผ่านช่องเปิดได้ร้อยละ 100 เนื่องมาจากการเปิดหน้าต่างไม่เต็มบาน หรือการติดตั้งมุ้งลวด ดังนั้น จึงควรศึกษาสิ่งกีดขวางช่องเปิด เช่น มุ้งลวด รวมถึงชนิดของช่องเปิด ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศต่อไป

5.2.3 การวิจัยนี้ศึกษาระยะห่างระหว่างอาคารที่ 6 เมตร และความสูงอาคาร 4 ชั้นครึ่งเท่านั้น ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ได้จากการสรุปขนาดมาตรฐานของอาคารข้างเคียง แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ระยะห่างของช่องเปิดที่มากขึ้นส่งผลต่อปริมาตรลมที่เข้ามาภายในอาคารมากขึ้น รวมถึงความสูงของอาคารซึ่งมีผลต่อสัดส่วนของพื้นที่อับลม ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงระยะห่างและขนาดความสูงอาคารเพิ่มเติมต่อไป

5.2.4 งานวิจัยชิ้นนี้ไม่ครอบคลุมการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ราคา จึงควรนำมาพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนกับประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ได้รับต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). (2013). *ASHRAE* 170-2013 *Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (1994). *Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Facilities*. Washington, DC: Centers for Disease Control and Prevention.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2003). *Guidelines for environmental infection control in health-care facilities : recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC)*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention.

Cui D.J. Mak C.M. & Kwok K.C.S. (2013). Effects of building configuration on ventilation performance of naturally-ventilated building. *The 8th asia-pacific conference on wind engineering,* 8.

Dimitrova B. Hutchings A. Atun R. Drobniewski F. Marchenleo G. & Zakharova S. (2005). Increased risk of tuberculosis among health care workers in Samara Oblast, Russia: analysis of notification data. *Int J Tubere Lung Dis,* 43, 43-48.

Escombe A. Oeser C. Gilman R. Navincopa M. & Ticona E. (2007). Natural ventilation for the preventaion of airborne contagion. *PLoS Med,* 4, 2.

Gilkeson C.A. Camargo-Valero M.A. Pickin L.E. & Noakes C.J. (2013). Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Building and Environment,* 65, 35-48.

Guo F. Fan Y. & Zhang H. (2015). Natural ventilation performance in a high density urban area based on CFD numerical simulations in Dalian. *9th international conference on urban climate jointly with* 12*th symposium on the urban environment,* 9.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hooff T. & Blocken B. (2010). On the effect of wind direction and urban surroundings on natural ventilation of a large semi-enclosed stadium. *Computers & Fluids,* 39(7), 1146-1155.

Inkarojrit V. (2010). *Natural ventilation in Thai hospitals: a field study*. Paper presented at the 31st AIVC Conference "Low Energy and Sustainable Ventilation Technologies for Green Buildings"

Kasim N.F.M. Zaki S.A. Ali M.S.M. Ikegaya N. & Razak A.A. (2016). Computational study on the influence of different opening position on wind-induced natural ventilation in urban building of cubical array. *Procedia engineering,* 169, 256-263.

Khalil E. E. (2006). Air-conditioning systems development in hospitals : comfort, air quality, and energy utilization. 2*nd Mediterranean congress of climatization*, 85.

Lechner N. (2001). *Heating, Cooling, Cighting*. New York: John Wiley.

Melaragno G. (1982). *Wind In Architectural And Environmental Design*. California: Van Nostrand Reinhold Company.

Mohammed A. (2013). Simulation of natural ventilation in hospitals of semiarid climates for harmattan dust and mosquitoes: a conundrum. 13*th Conference of international building performance simulation association*, 26-28.

Moore F. (1993). *Passive Cooling*. New York: McGraw-Hill.

Nice J. Kumirai T. Conradie D. & Groble J.H. (2015). A comparison of predicted design efficacy and environmental assessment for Tuberculosis care facilities in South Africa. *Smart and sustainable built environments*.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (1996). *Health enforcement procedures and scheduling for occupational exposure to tuberculosis* (Vol. 2).

Phuapradit C. & Inkarojrit V. (2013). Evaluation of environmental aspect of infection control strategy in healthcare facility : case study from three TB clinics in Thailand. *Healthy society beyond frontiers*, 209-218.

Qian H. & Li Y. (2010). Building and environment: Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals. *Building and Environment,* 45, 559–565

Riley R. & Kaufman J. (1972). Effect of relative humidity on the inactivation of airborne Serratia marcescens by ultraviolet radiation. *Applied Microbiology,* 23(6), 1113-1120.

The American Institute of Architects. (2006). *Guidelines for design and construction of health care facilities*. Washington, D.C.: The American Institute of Architects.

Tominaga Y. & Blocken B. (2015). Wind tunnel experiments on cross-ventilation flow of a generic building with contaminant dispersion in unsheltered and sheltered conditions. *Building and Environment,* 92, 452-461.

Tong Z. Chen Y. & Malkawi A. (2016). Defining the influence region in neighborhood-scale CFD simulations for natural ventilation design. *Applied energy,* 182, 625-633.

World Health Organization. (1999a). *Guidelines for the prevention of tuberculosis in health care facilities in resource-limited settings*. Italy: Design and printing: Jotto Associati s.a.s.

World Health Organization. (1999b). *Tuberculosis infection control in the era of expanding HIV care and Treatment*. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization. (2009). *Natural ventilation for infection control in health-care setting*. Geneva: World Health Organization.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาษาไทย

กฎกระทรวงฉบับที่ 33 ภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522, (2522).

กรมควบคุมโรค. (2559). กรอบแผนปฏิบัติราชการเชิงยุทธศาสตร์ กรมควบคุมโรค ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 สืบค้นจาก http://plan.ddc.moph.go.th

กฤษณพงศ์ ทองศรี. (2549). การศึกษาผลกระทบของกระแสลมต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร : กรณีศึกษาโรงพยาบาลศิริราช. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กิตติคุณ ยกทรัพย์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จริยา แสงสัจจา และทรงยศ ภารดี. (2550). คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาล. นนทบุรี: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

จิรายุ บุญตัน. (2554). การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศในห้องตรวจรักษาโรค. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์. (2547). เครื่องช่วย (สลาย) ฝันสถาปนิก: การคำนวณพลศาสตร์ของไหลสร้างสรรค์อาคารสบาย กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยามฯ.

เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์ และดารณี จารีมิตร. (2005). การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ: แนวทางการออกแบบผังอาคารชุดพักอาศัยประเภทอาคารสูง *journal of architectural/planning research and studies,* 3, 23-36.

ธนิต จินดาวณิค คมกฤช ชูเกียรติมั่น และปริมลาภ วสุวัต. (2543). ข้อมูลอากาศประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

พวงเพชร วุฒิคุณาภรณ์. (2547). ระบบระบายอากาศและวัณโรคในบุคลากรทางการแพทย์โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิพัฒน์ ลักษมีจรัลกุล. (2543). โรคติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน = *Work-related infectious diseases*. กรุงเทพฯ: เจริญดีการพิมพ์.

พิมพ์ชนก สายพิมพ์. (2552). แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม : การบังลม. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรภร ทัศพงษ์ เปรมกมล ทองดอนเสียง และกาญจนา โพธิ์เนียม. (2560). การทำนายส่วนประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยเนียร์อินฟราเรดรีเฟลกแตนซ์สเปกโทรสโกปี (NIRS) *Naresuan University Journal : Science and Technology,* 25(2), 113-121.

ภาณุมาศ ภูมาศ ตวงรัตน์ โพธะ วิษณุ ธรรมลิขิตกุล อาธร ริ้วไพบูลย์ ภูษิต ประคองสาย และ สุพล ลิมวัฒนานนท์. (2555). ผลกระทบด้านสุขภาพและเศรษฐศาสตร์จากการติดเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในประเทศไทย : การศึกษาเบื้องต้น. วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข, 6(3), 352-360.

วรากร ราชธา. (2557). แนวทางการออกแบบห้องพักผู้ป่วยติดเชื้อวัณโรคที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศศิธร สุธนรักษ์. (2558). การควบคุมการติดเชื้อทางทันตกรรมกับวัณโรคและโรคติดเชื้อทางอากาศ. *Dental Magazine,* 8, 20-25.

สมาคมปราบวัณโรคแห่งประเทศไทย. (2542). วัณโรค. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. (2544). บทความวิชาการชุดที่ 6 เรื่องการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศสำหรับโรงพยาบาล. กรุงเทพฯ: โกลบอล กราฟฟิค จำกัด.

สำนักวัณโรค. (2552). แนวทางการดำเนินงานควบคุมวัณโรคแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์.

สำนักวัณโรค. (2556). แนวทางการดำเนินงานควบคุมวัณโรคแห่งชาติ พ.ศ. 2556. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์.

สำนักวัณโรค. (2560). คู่มือประเมินมาตรฐานโรงพยาบาลคุณภาพการดูแลรักษาวัณโรค *QTB*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์.

อรุณโรจน์ สิริโภควิบูลย์ และสัทธา ปัญญาแก้ว. (2558). การจัดกลุ่มบ้านแถวที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ : กรณีศึกษาบ้านแถวในเขตปริมณฑลของกรุงเทพมหานคร. สถาปัตย์กระบวนทัศน์ พ.ศ. 2558.

อานุภาพ ละออ. (2558). ปัญหาระบบระบายอากาศธรรมชาติในโรงพยาบาลและแนวทางแก้ไข. นครสวรรค์: ศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 3.

อุษณ จันทรทรัพย์. (2553). การประเมินผลการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในหอผู้ป่วยของโรงพยาบาล. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

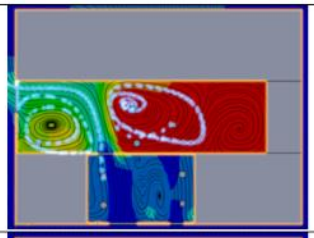
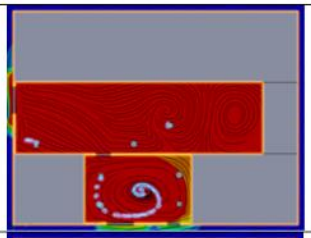
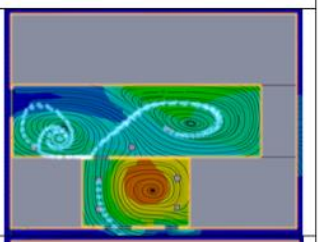
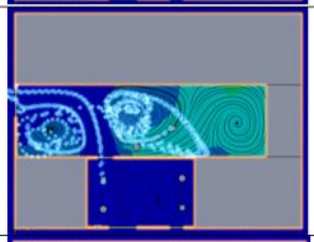
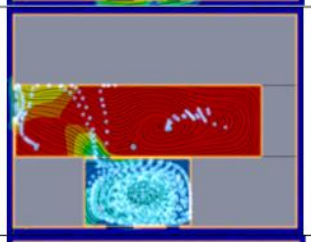
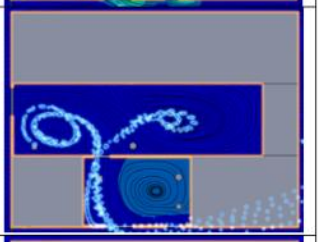
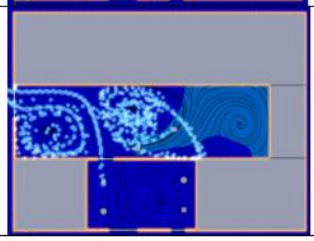
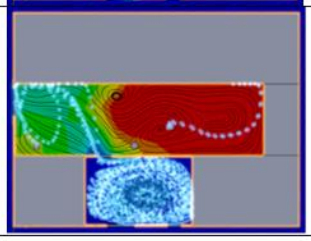
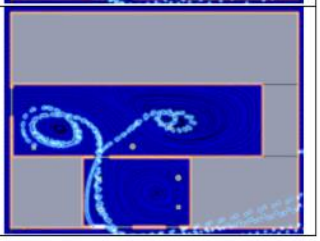
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

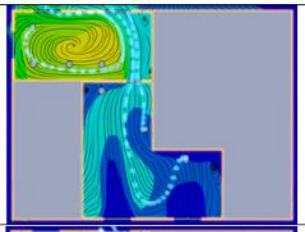
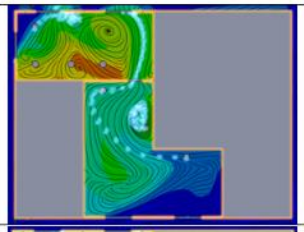
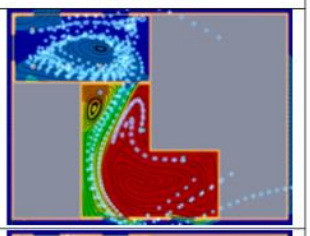
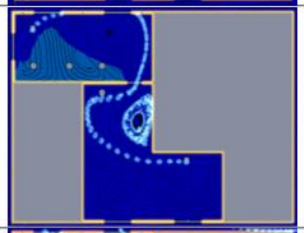
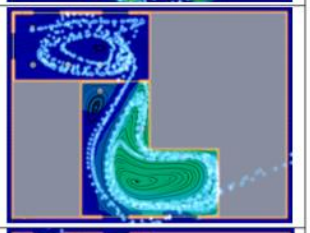
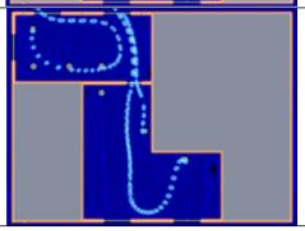
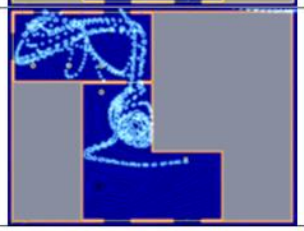
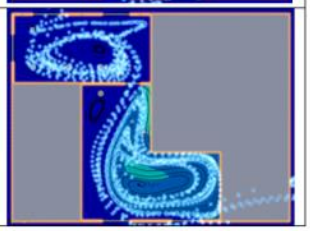
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

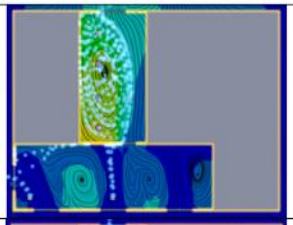
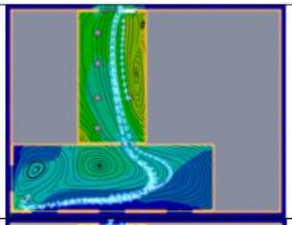
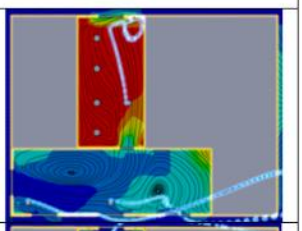
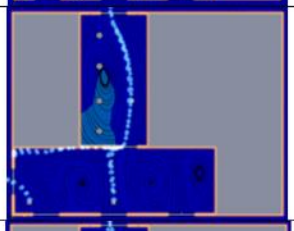
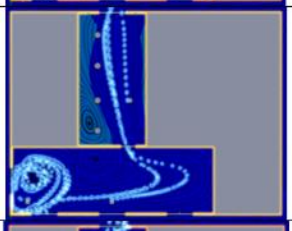
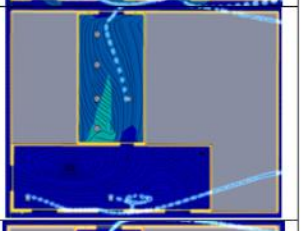
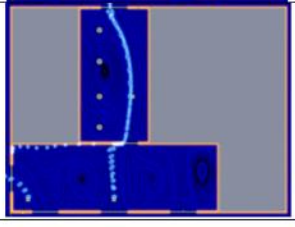
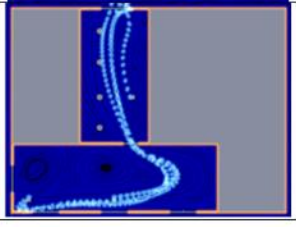
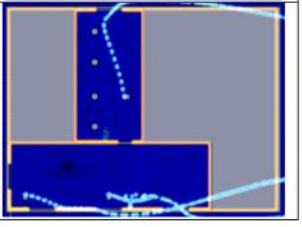
ภาคผนวก ก

ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานก่อนการปรับปรุง (การทดลองส่วนที่ 1)

ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

CHULALONGKORN UNIVERSITY

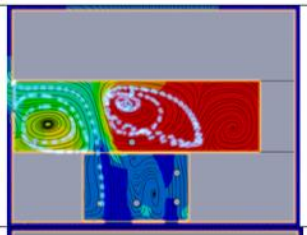
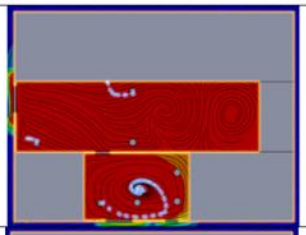
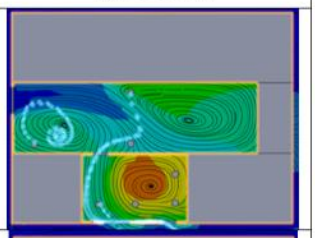
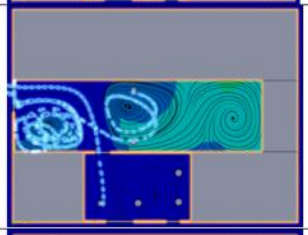
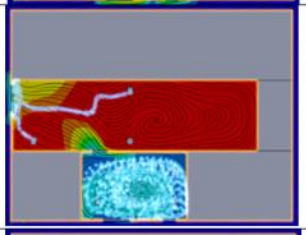
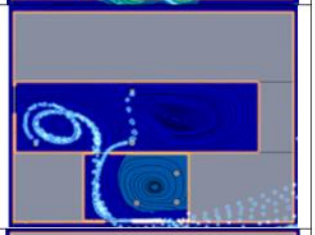
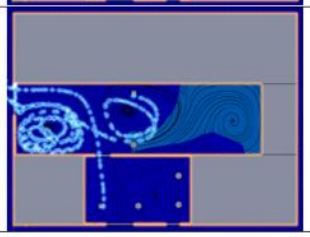
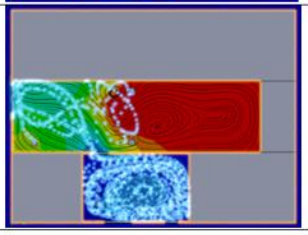
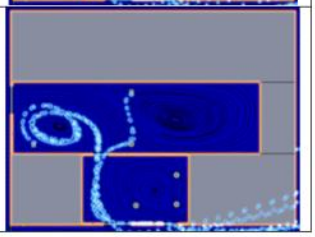
ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

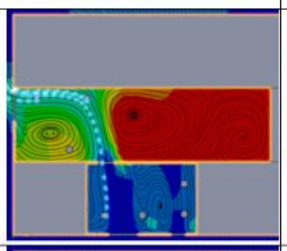
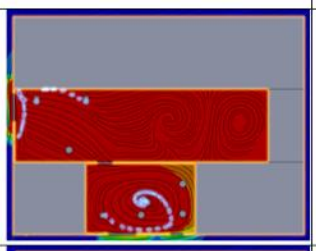
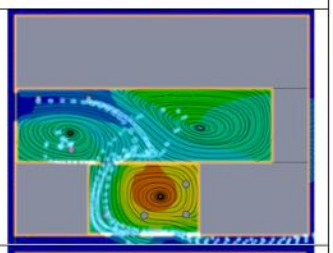
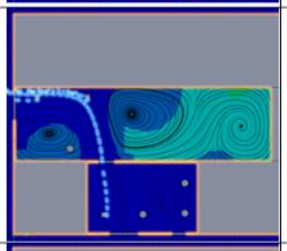
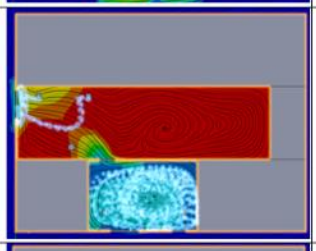
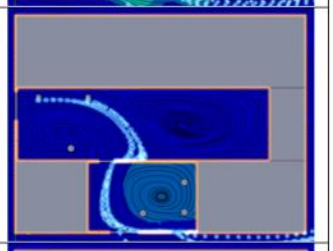
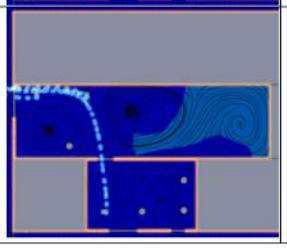
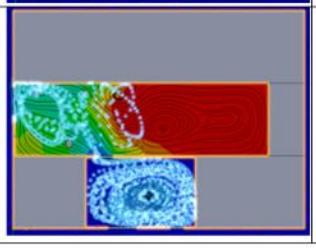
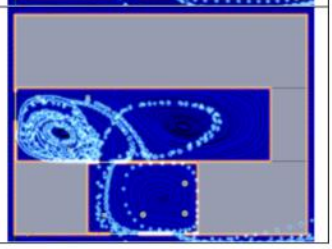
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

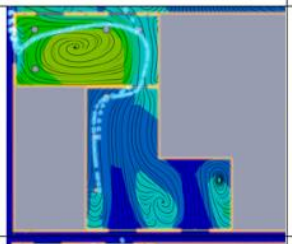
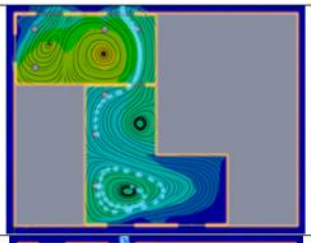
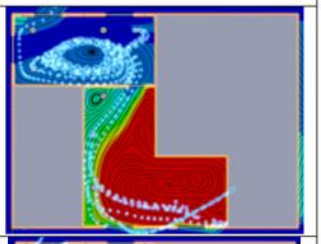
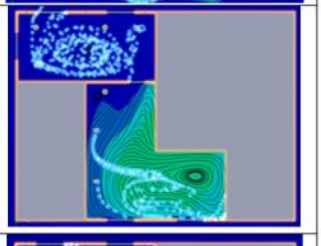
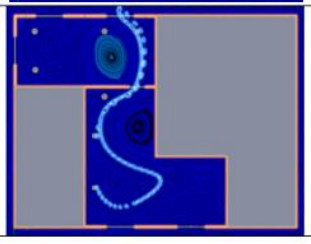
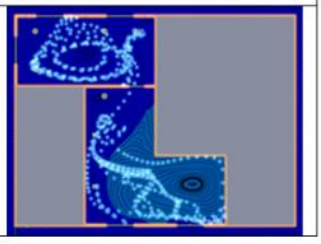
ภาคผนวก ข

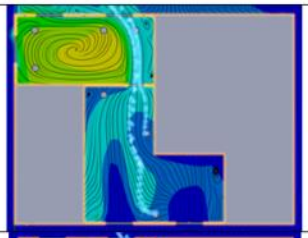
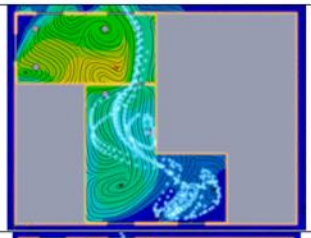
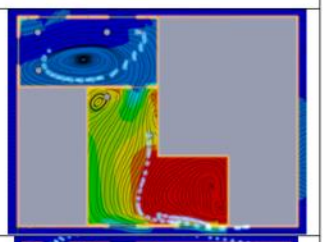
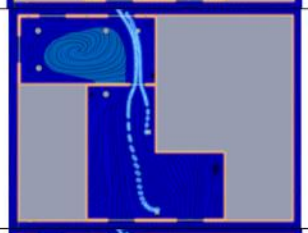
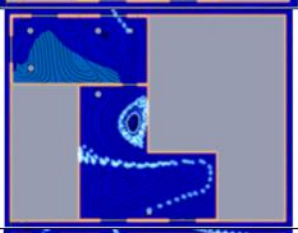
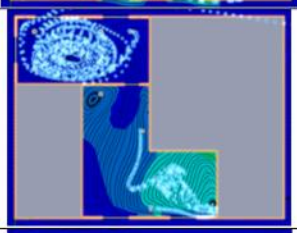
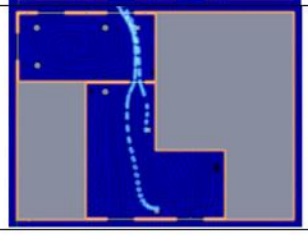
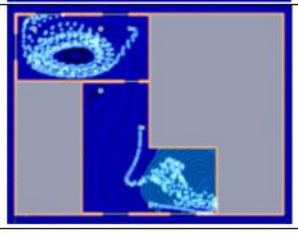
ผลการจำลองการระบายอากาศของผังคลินิกวัณโรคมาตรฐานภายหลังการปรับปรุงด้วยการปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด และการปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองส่วนที่ 2-4)

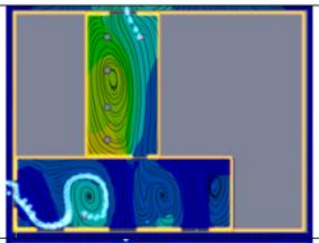
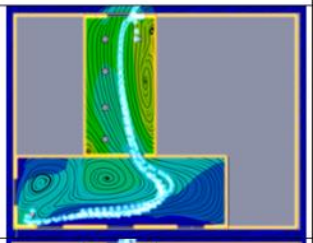
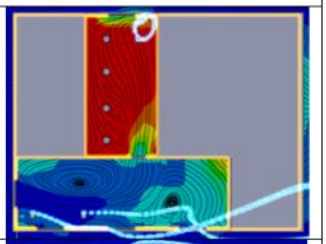
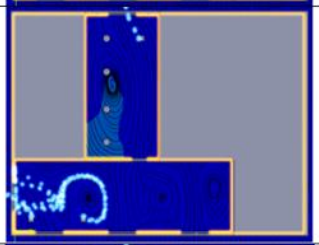
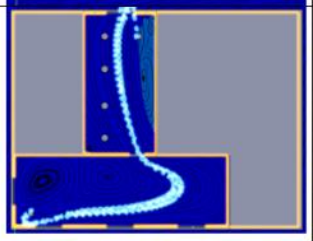
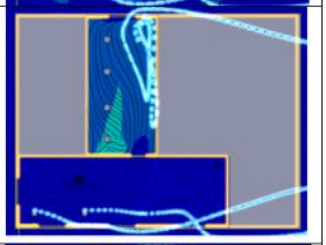
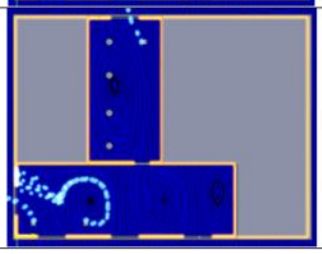
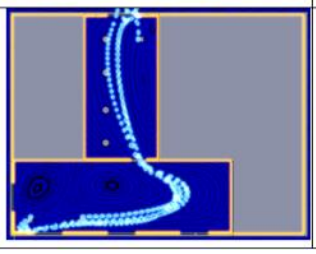
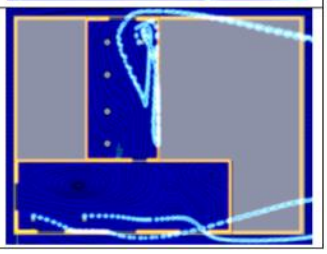
1. การปรับปรุงการจัดพื้นที่ใช้สอย (การทดลองที่ 2)

ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

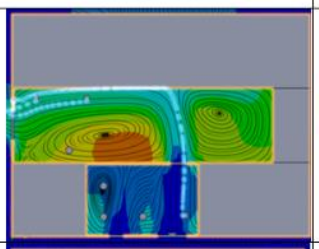
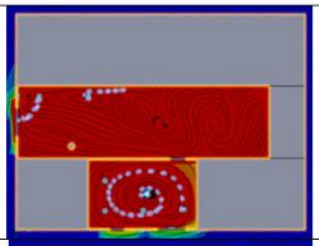
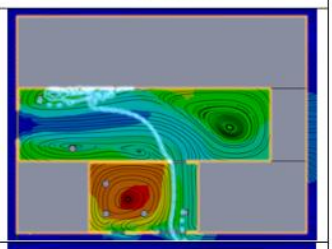
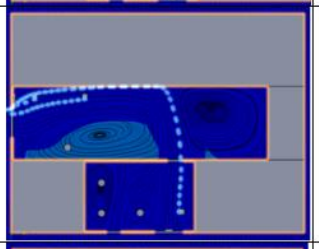
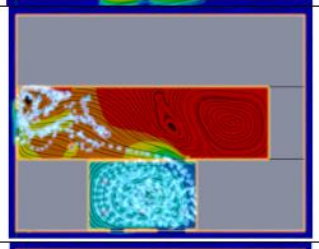
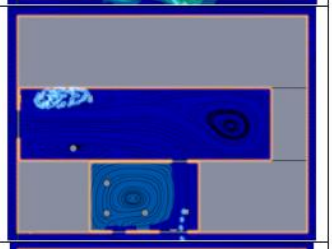
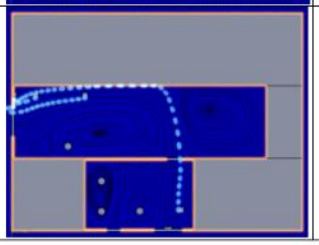
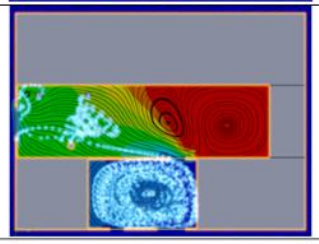
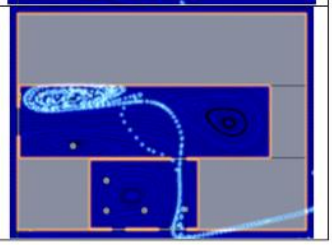
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

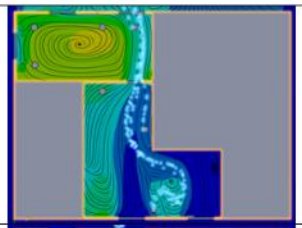
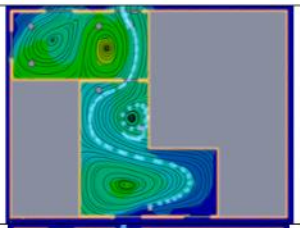
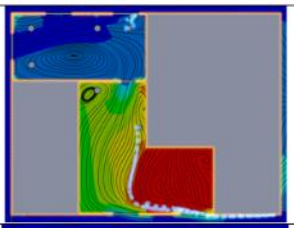
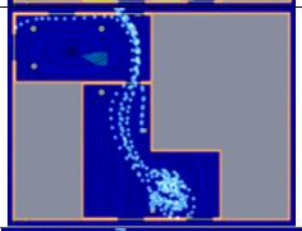
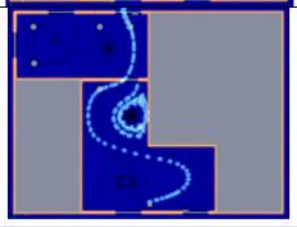
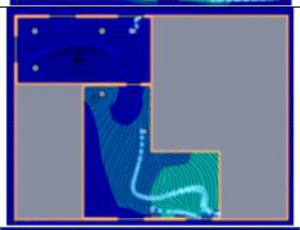
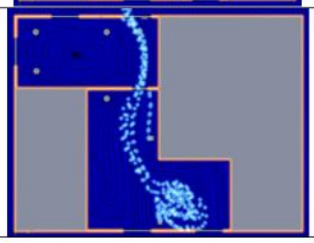
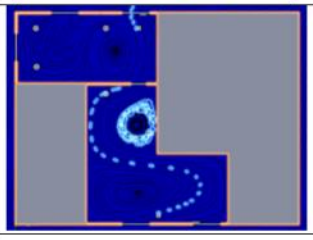
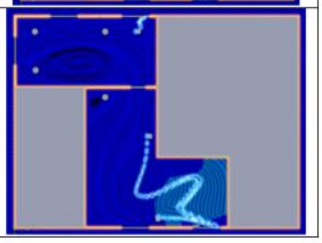
ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

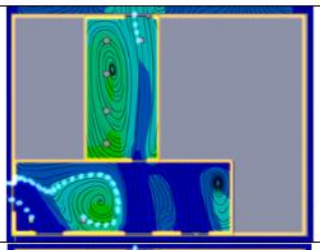
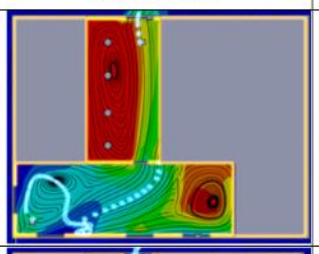
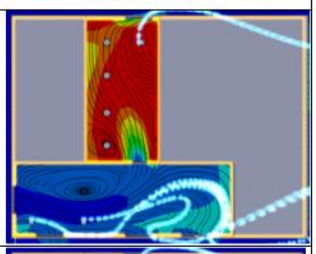
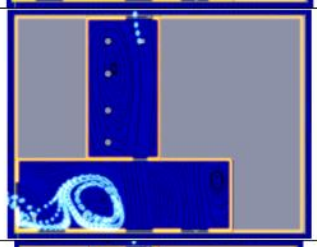
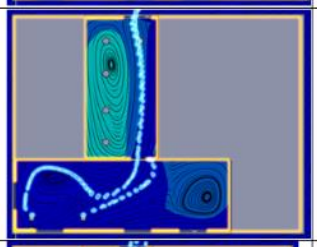
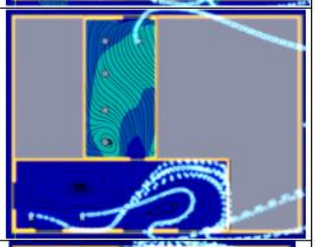
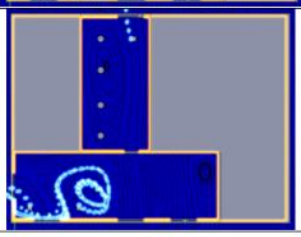
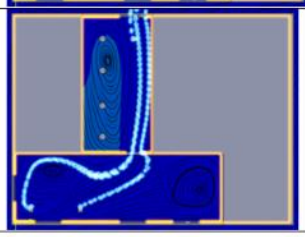
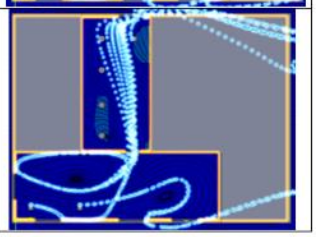
ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

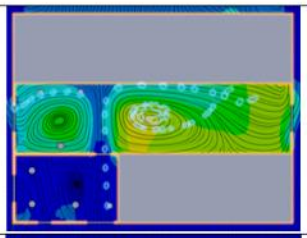
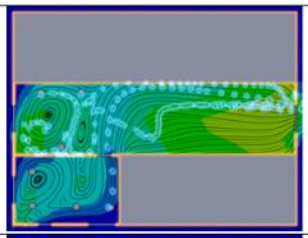
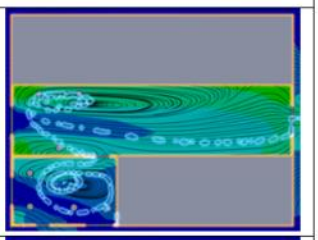
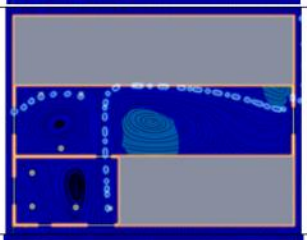
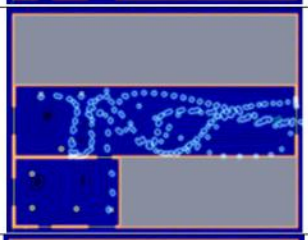
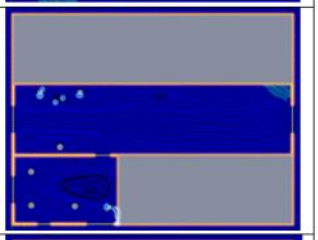
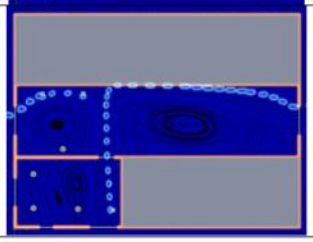
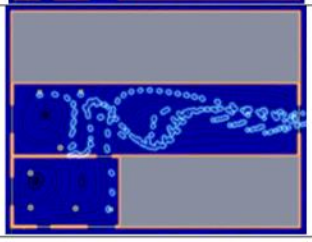
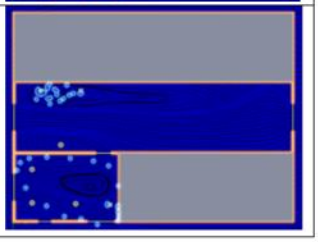
2. การปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิด (การทดลองที่ 3)

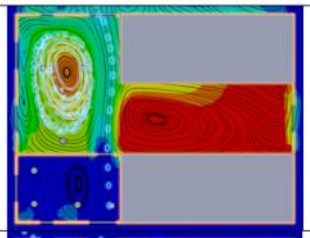
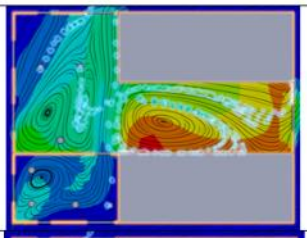
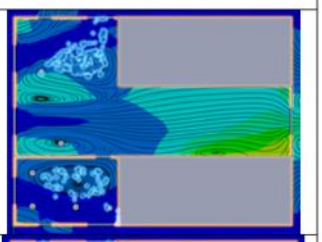
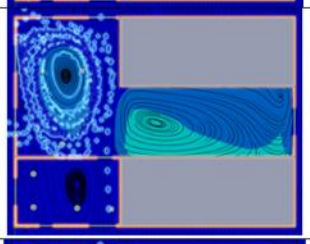
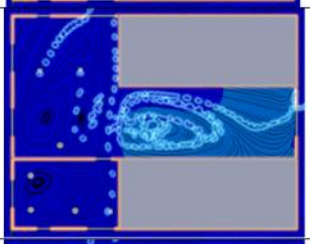
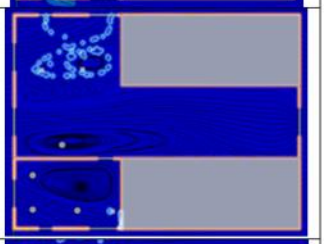
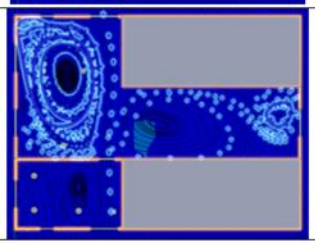
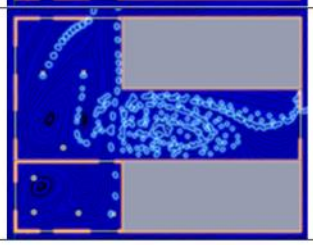
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

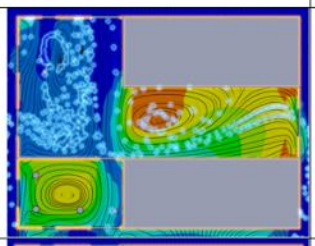
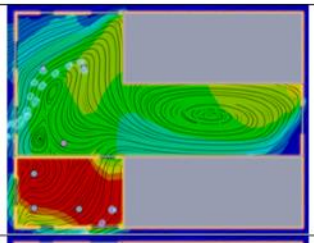
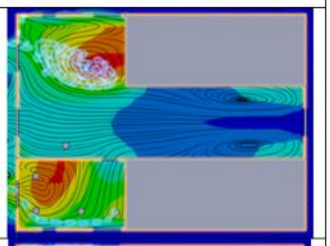
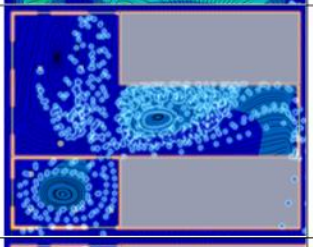
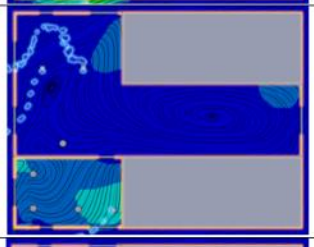
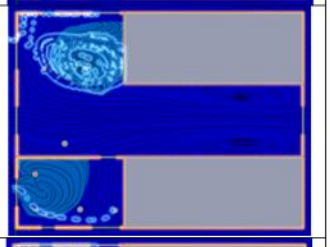
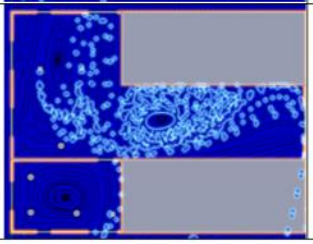
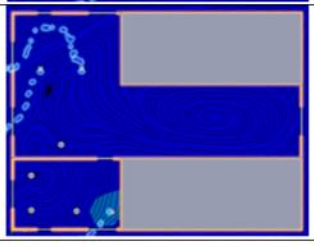
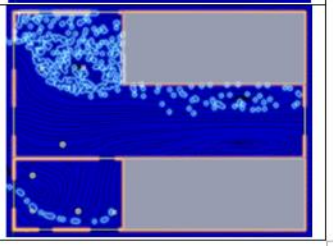
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วมผสมเดี่ยว		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

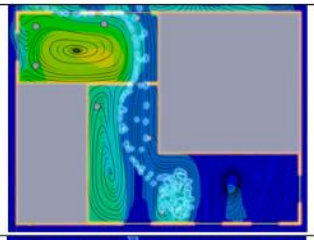
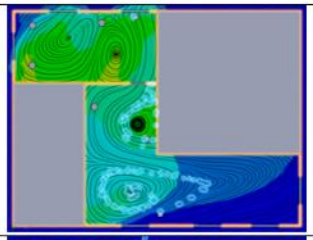
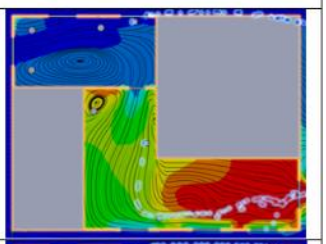
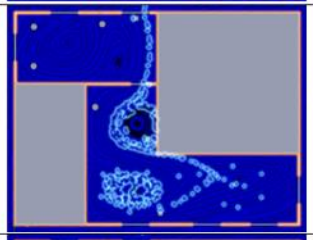
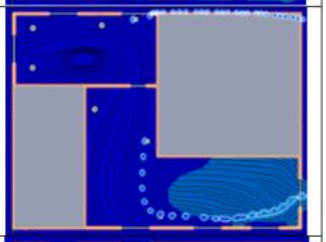
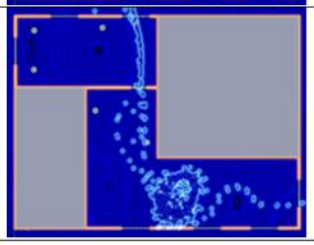
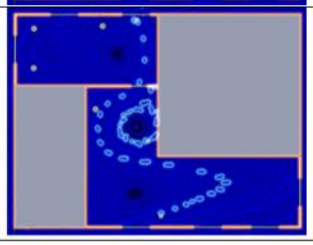
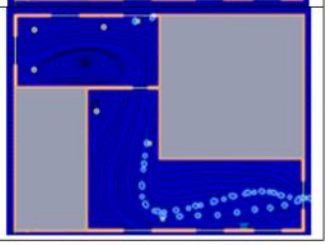
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

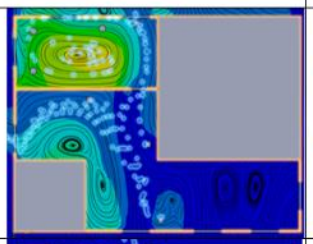
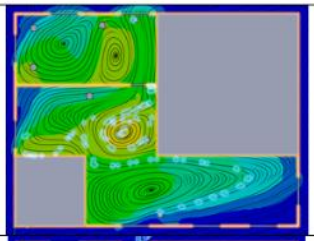
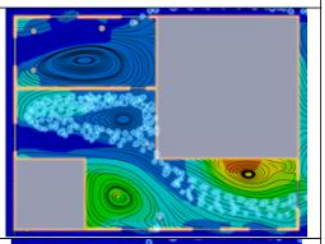
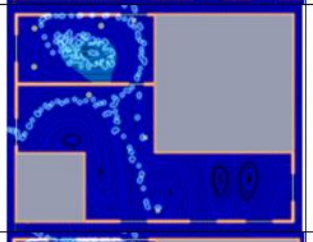
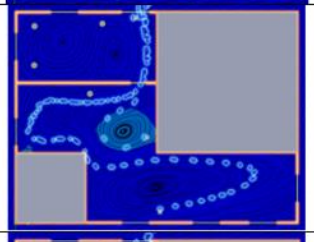
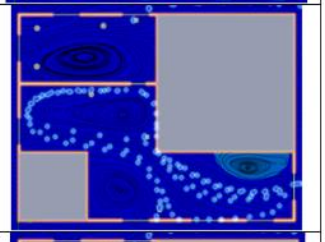
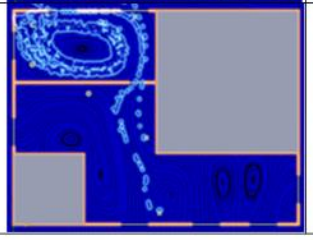
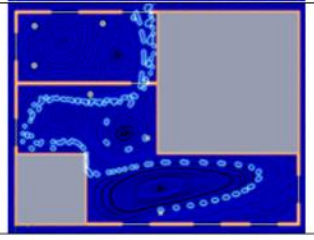
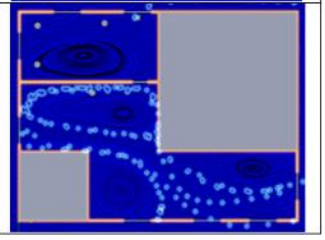
3. การปรับเปลี่ยนการวางผังอาคาร (การทดลองที่ 4)

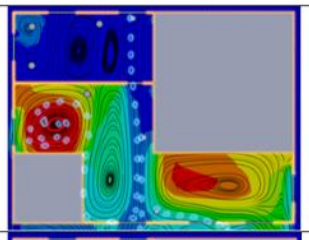
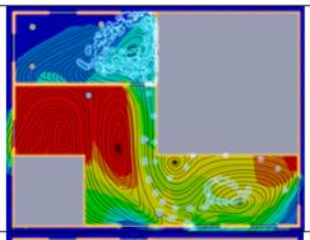
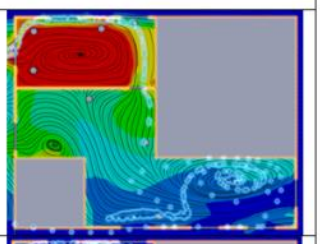
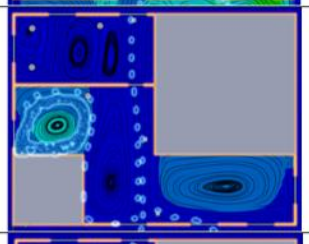
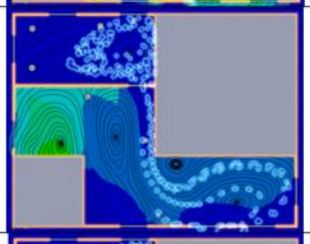
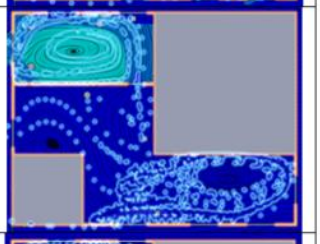
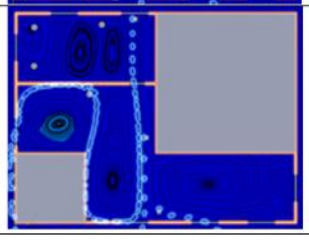
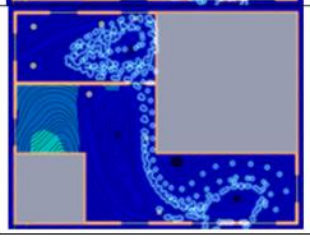
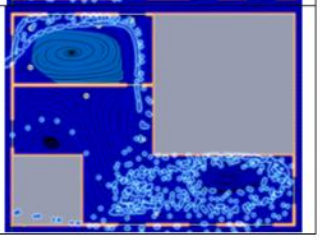
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

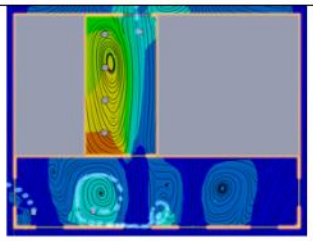
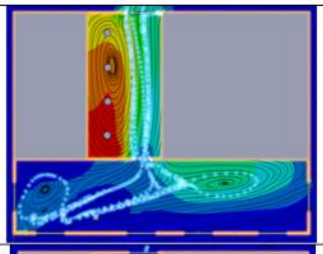
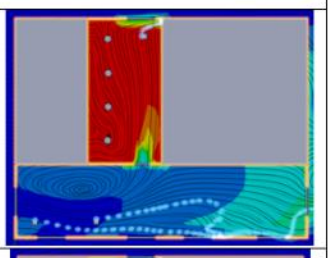
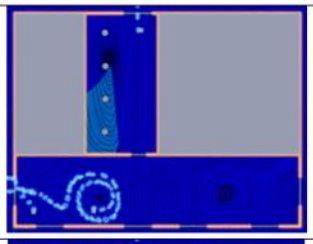
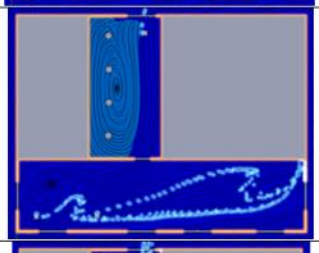
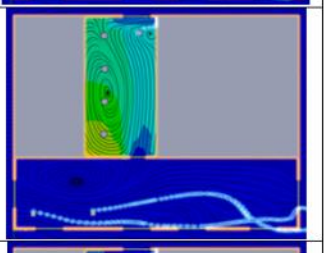
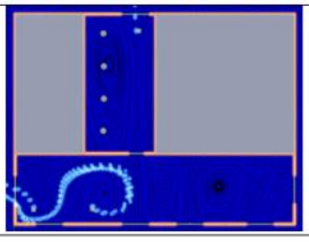
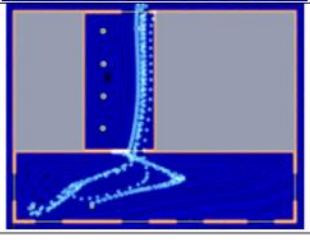
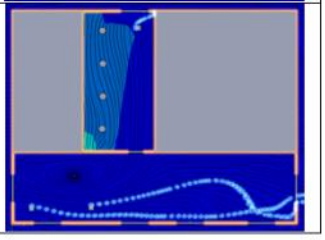
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

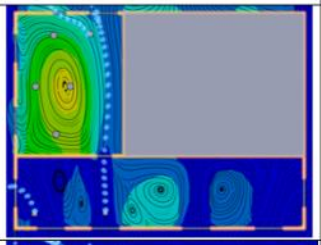
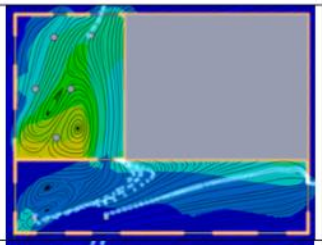
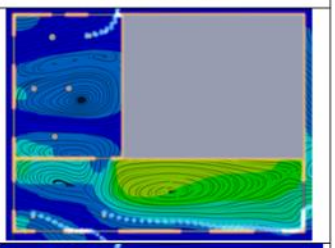
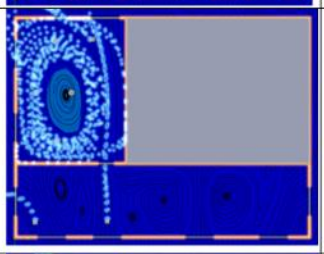
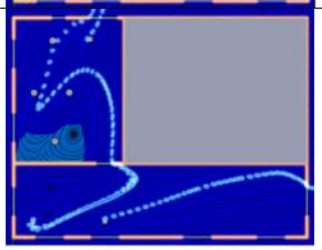
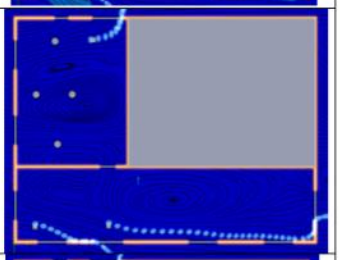
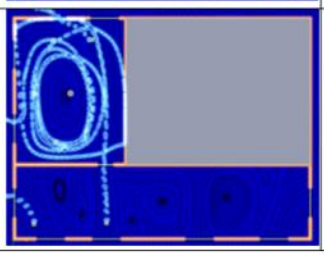
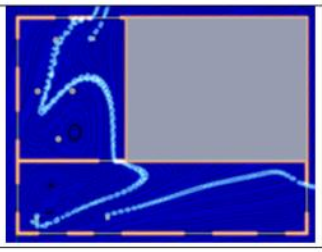
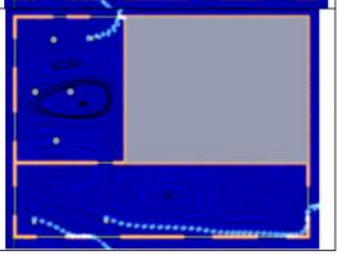
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินร่วม รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

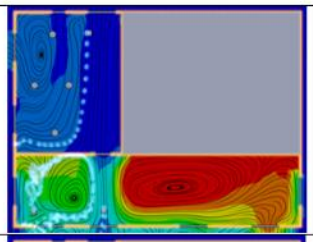
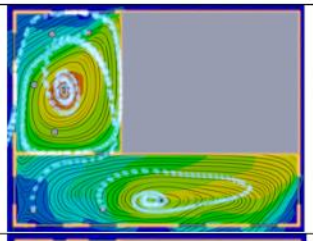
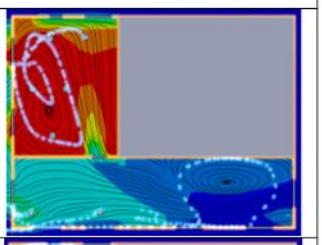
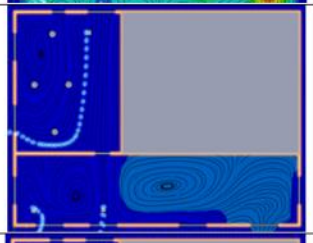
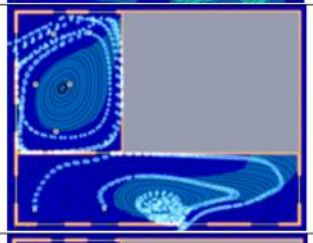
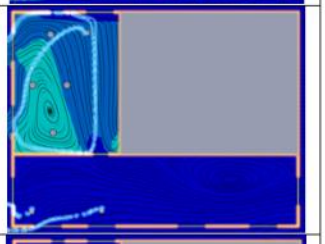
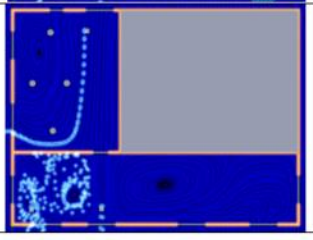
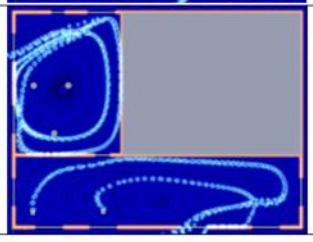
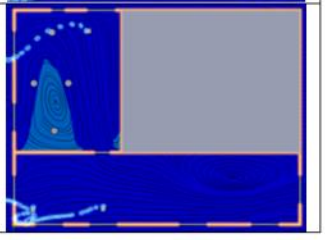
ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

ความเร็วลม	ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว รูปแบบที่ 1		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

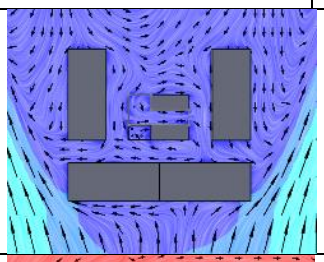
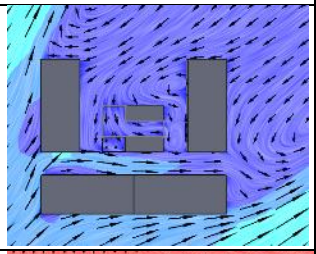
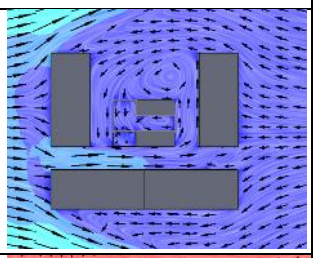
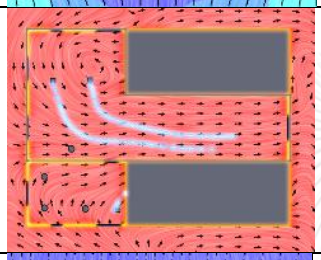
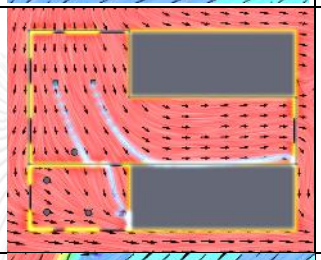
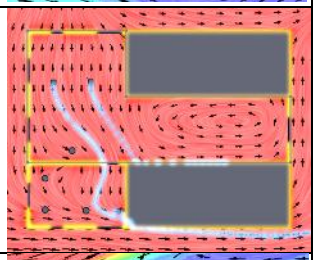
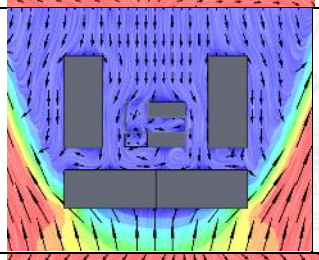
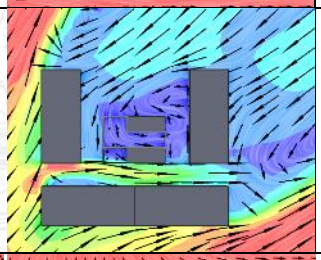
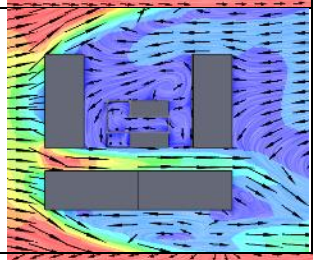
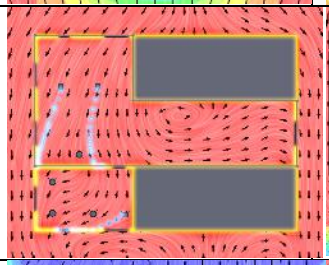
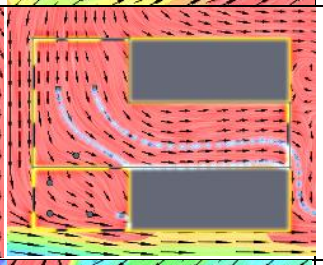
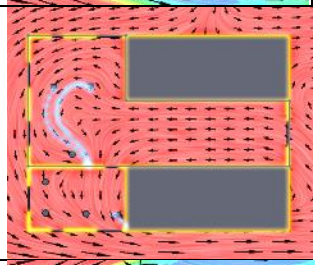
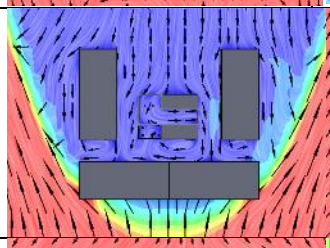
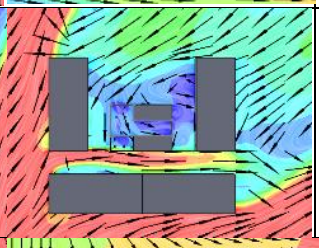
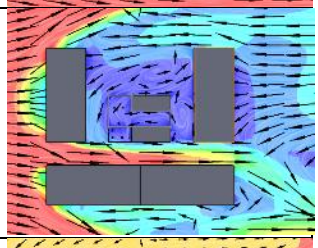
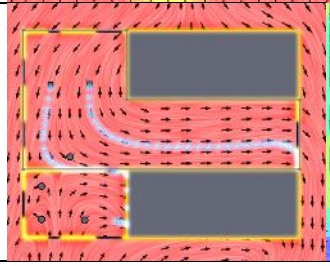
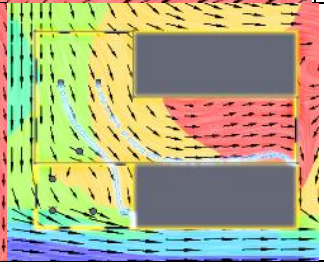
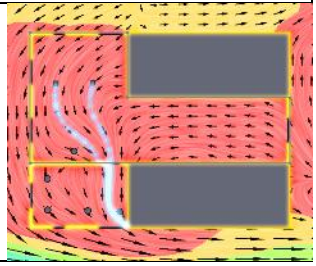
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

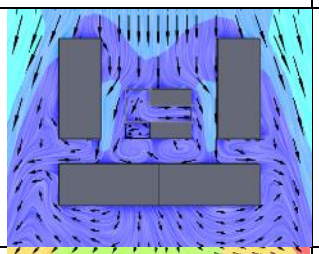
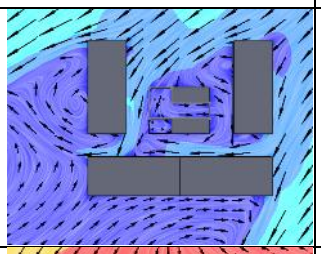
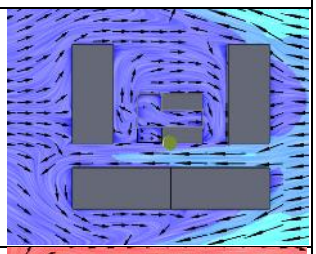
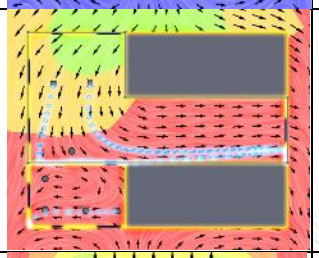
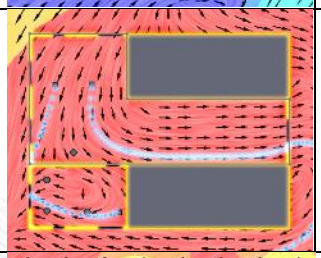
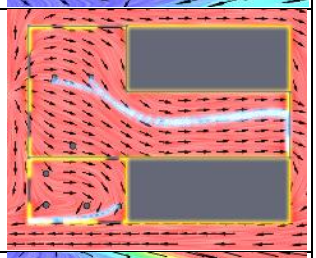
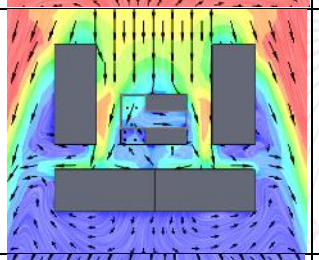
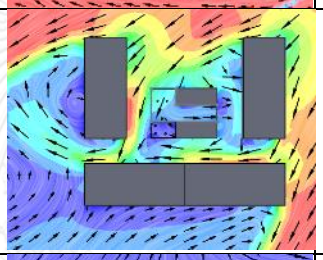
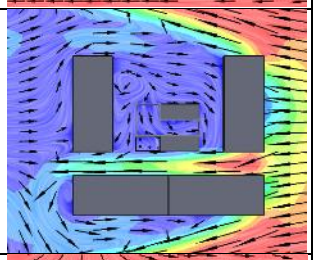
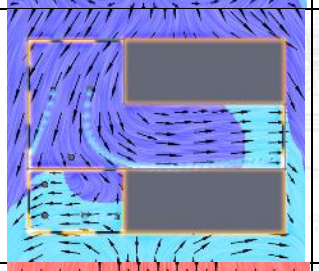
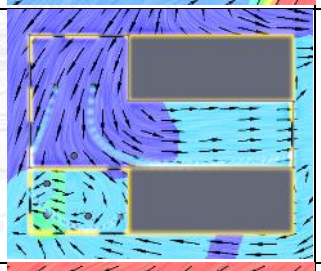
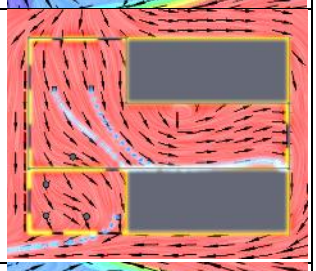
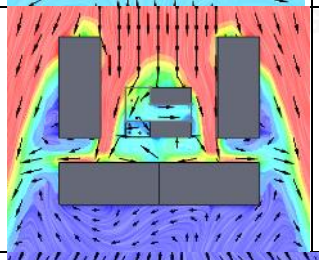
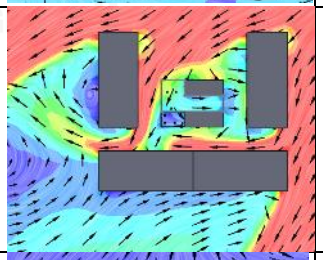
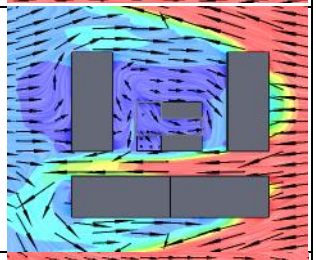
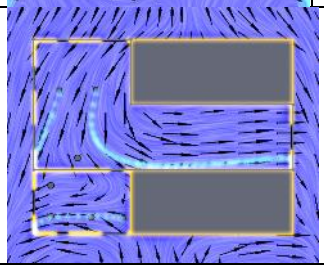
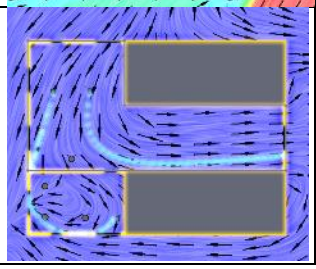
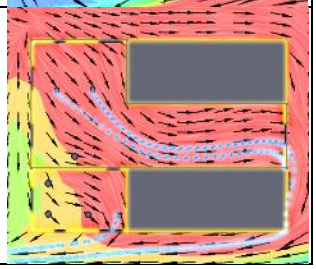
ความเร็วลม	ผังแบบทางเดินเดี่ยว รูปแบบที่ 2		
	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

ภาคผนวก ค

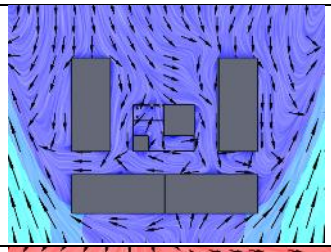
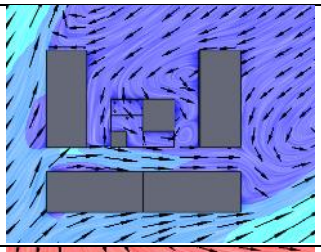
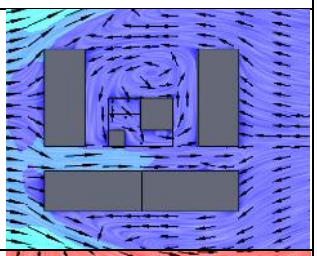
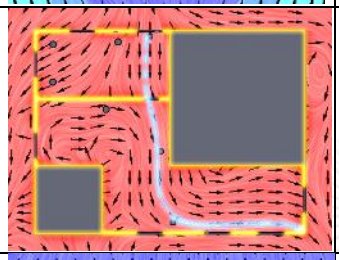
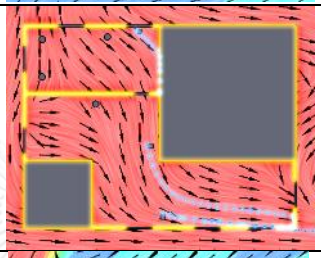
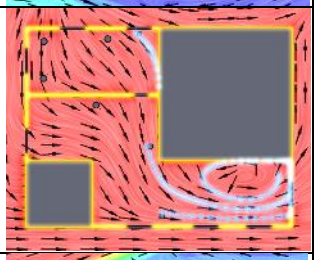
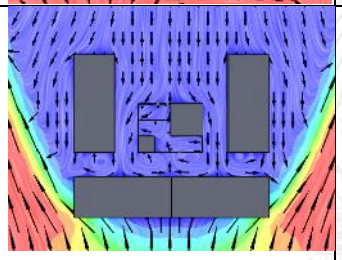
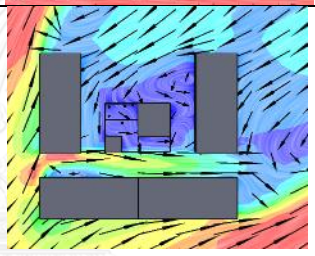
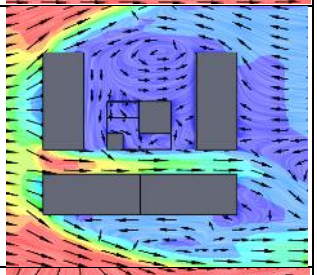
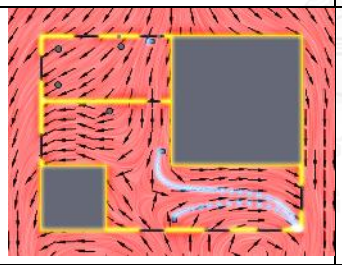
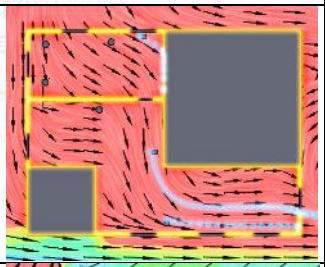
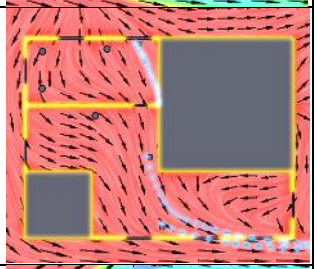
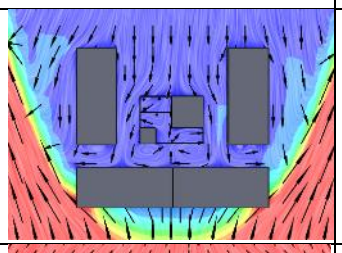
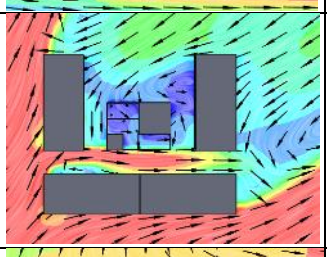
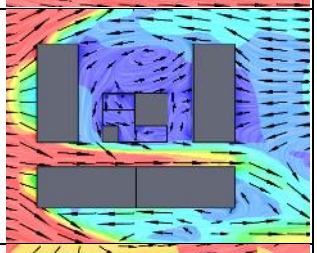
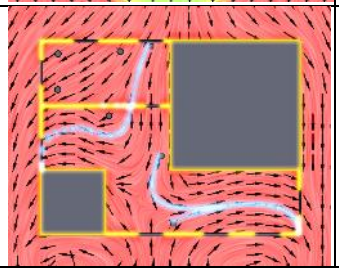
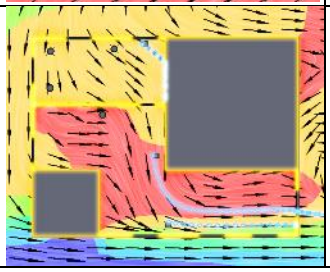
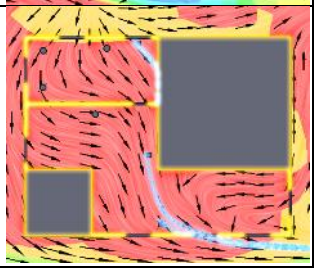
ผลการจำลองการเมื่อมีการคำนึงถึงปัจจัยด้านอาคารข้างเคียง (การทดลองส่วนที่ 5)

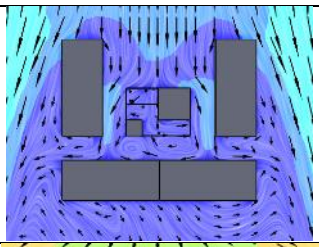
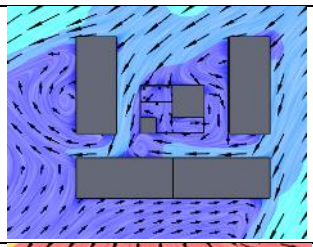
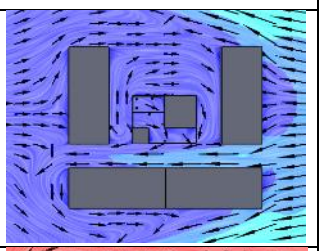
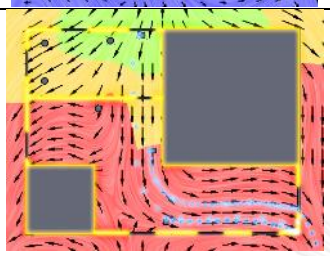
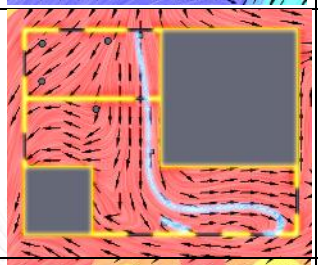
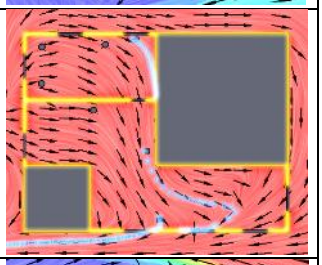
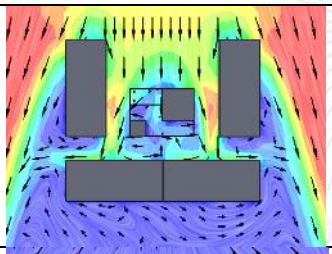
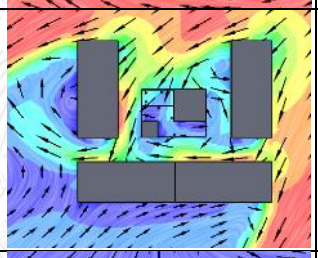
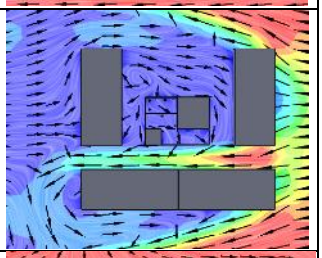
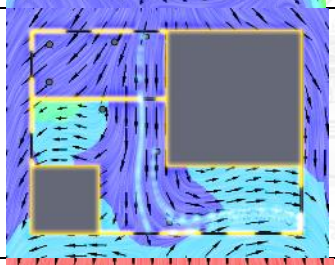
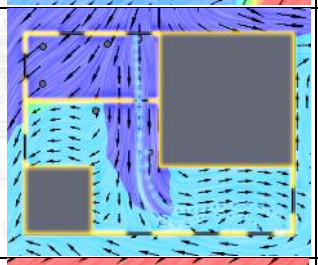
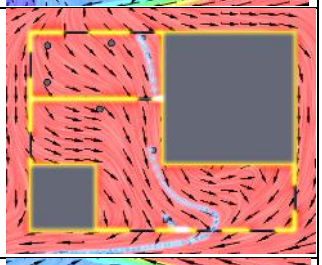
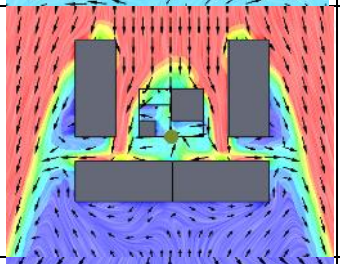
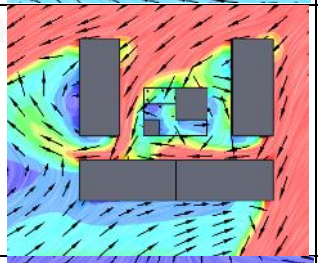
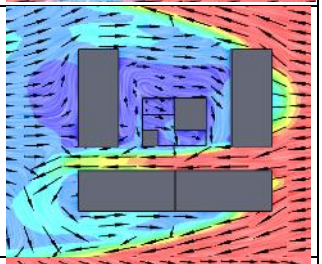
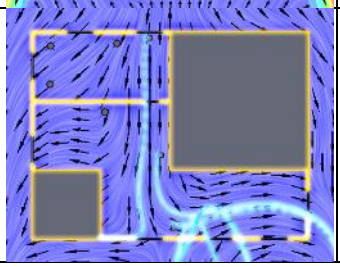
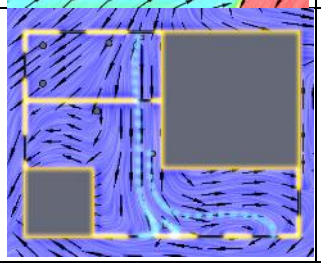
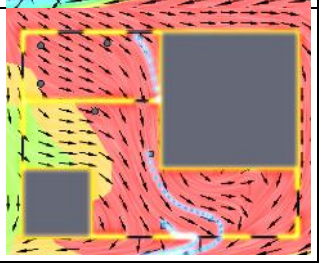
1. อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 1: ผังทางเดินร่วม

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

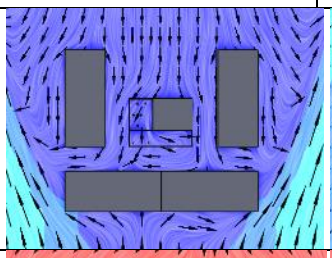
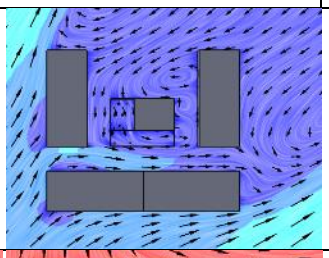
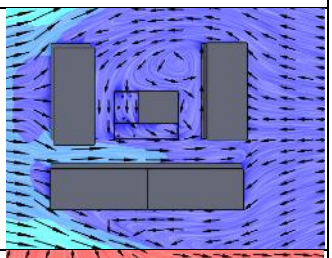
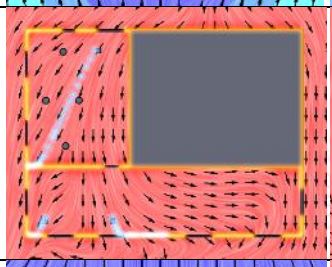
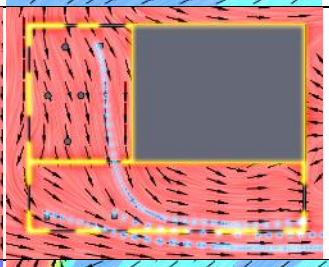
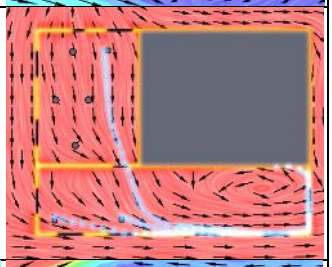
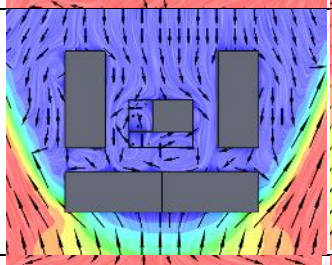
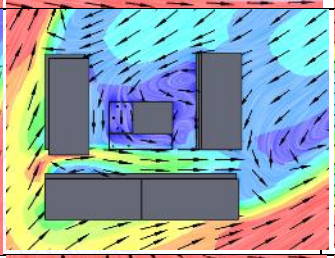
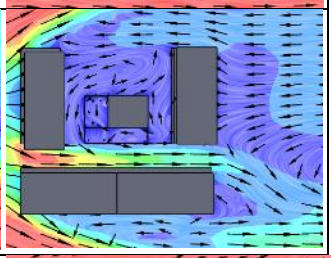
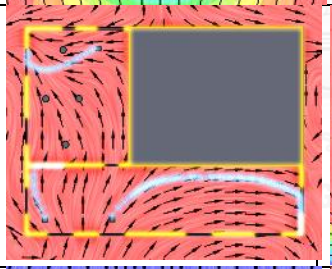
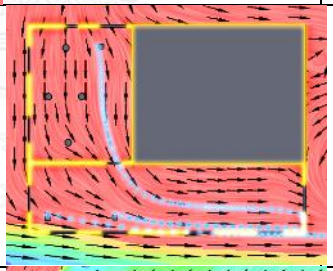
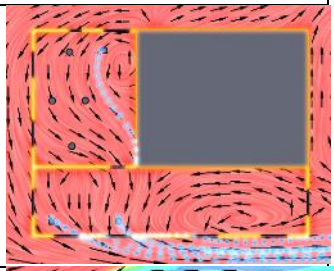
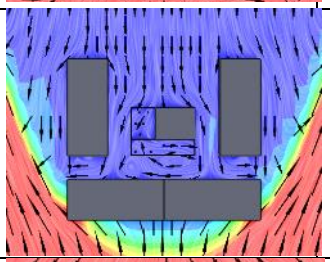
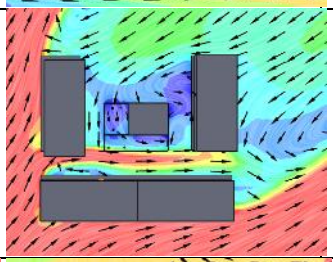
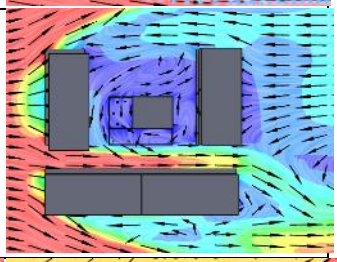
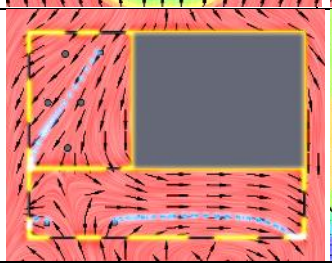
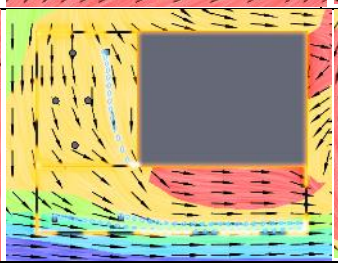
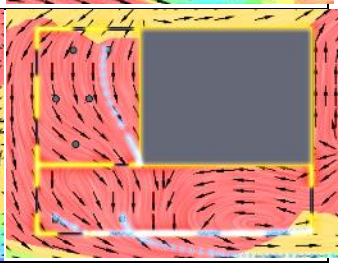
ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

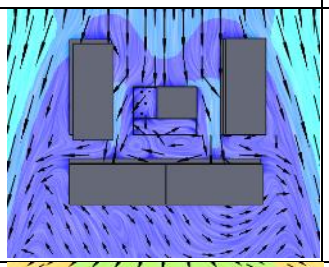
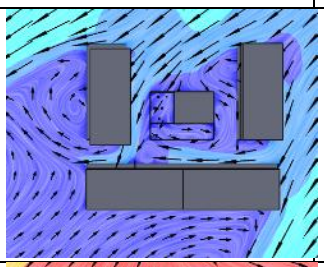
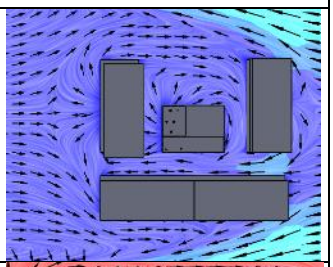
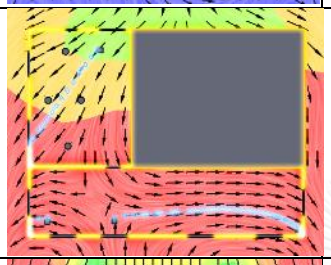
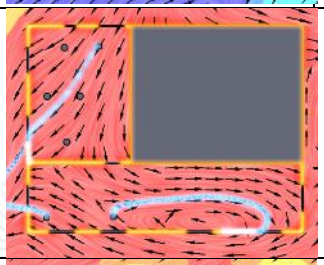
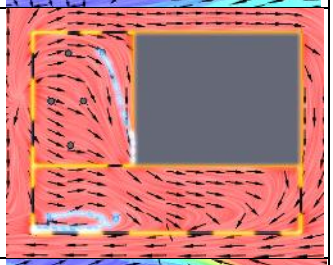
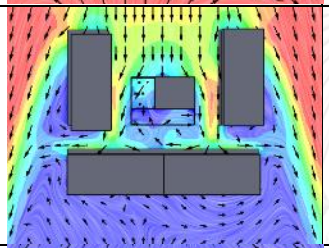
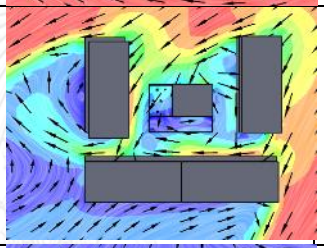
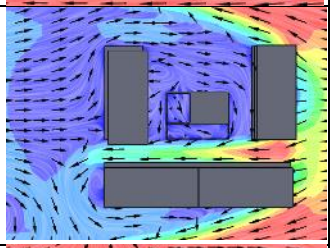
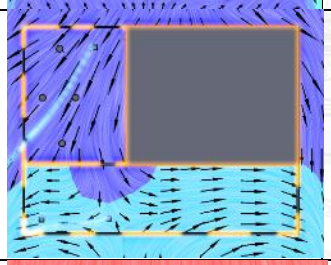
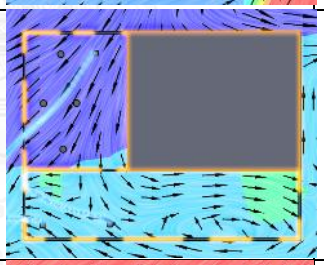
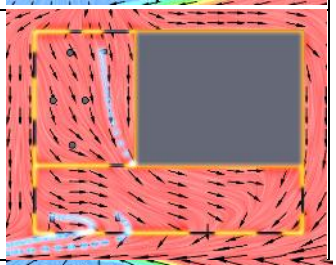
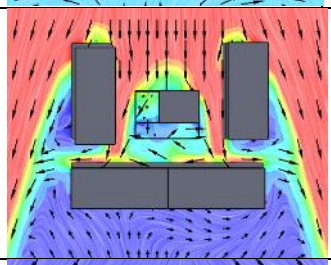
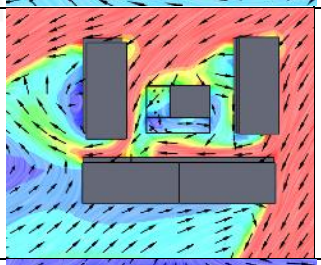
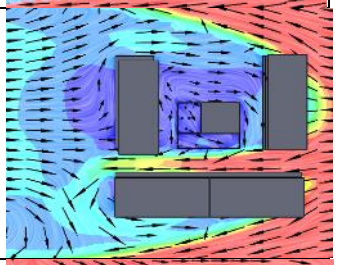
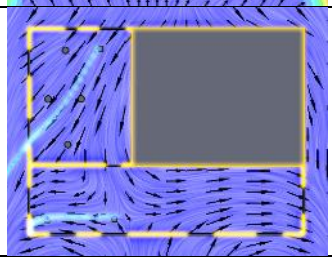
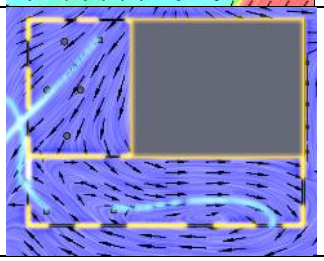
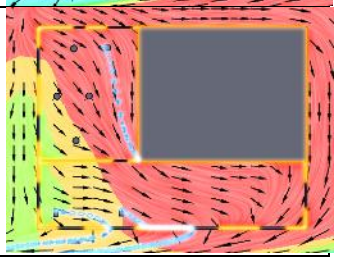
ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

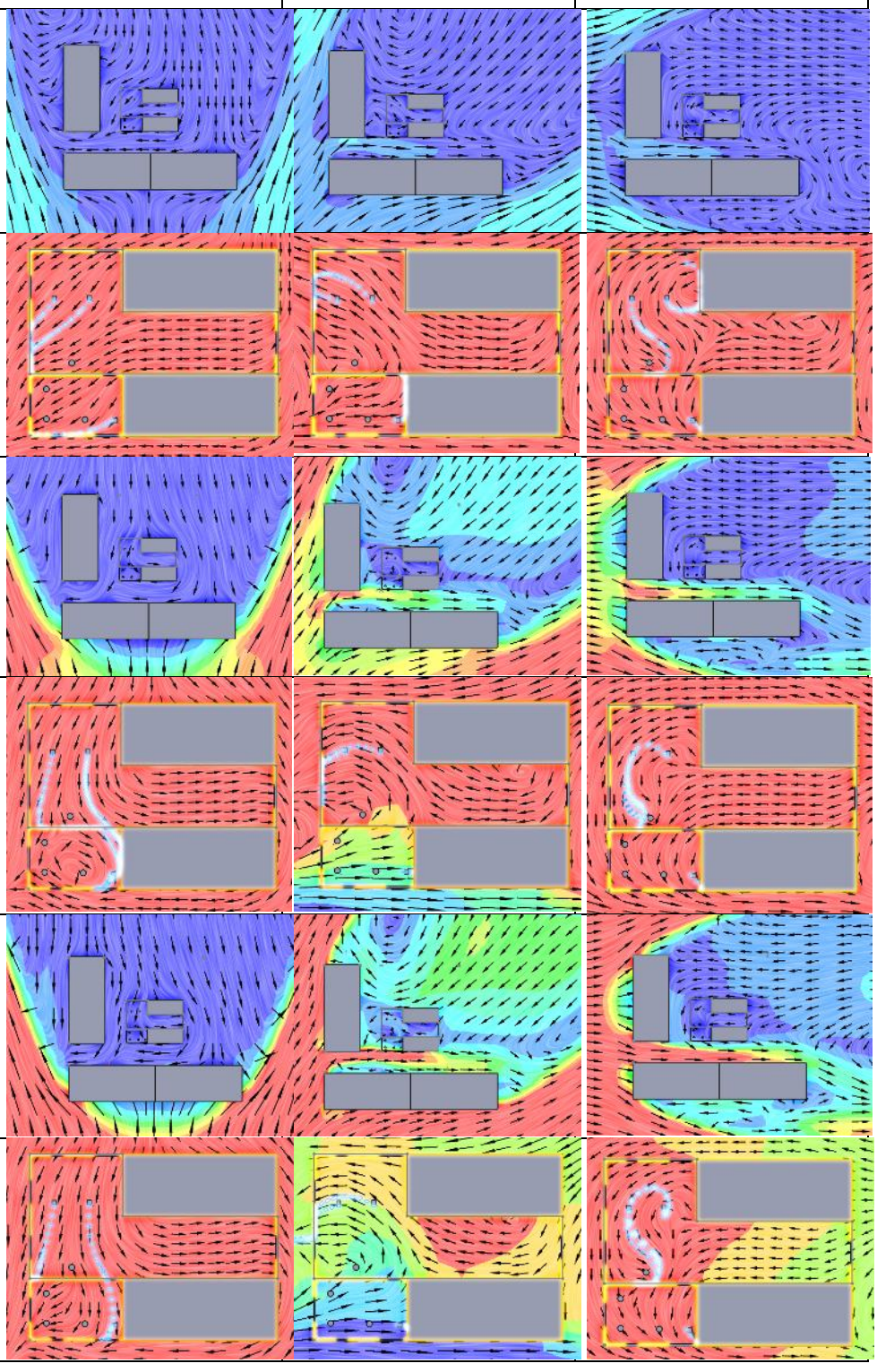
ผังแบบทางเดินเดี่ยว

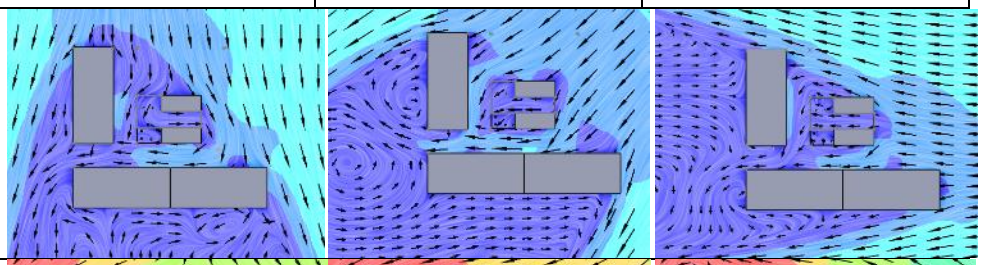
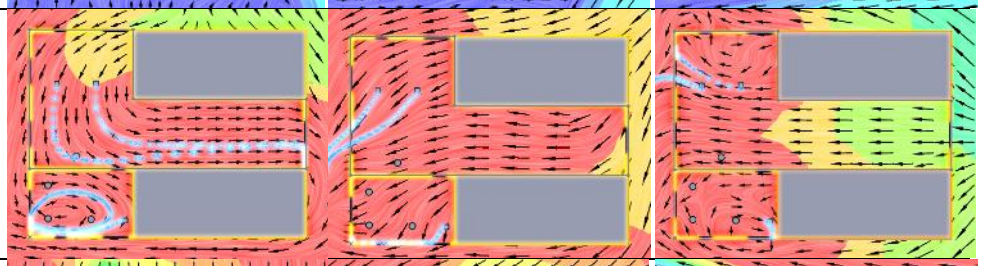
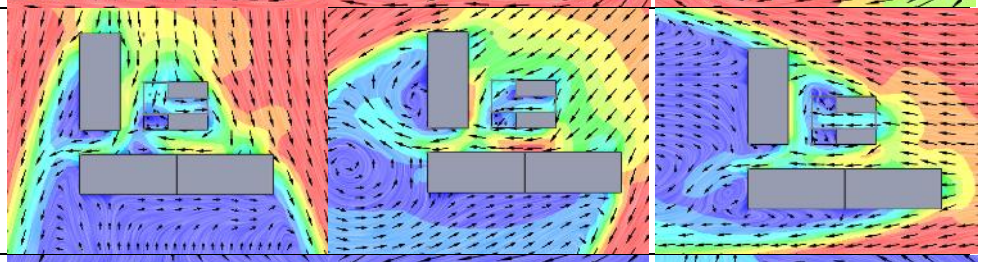
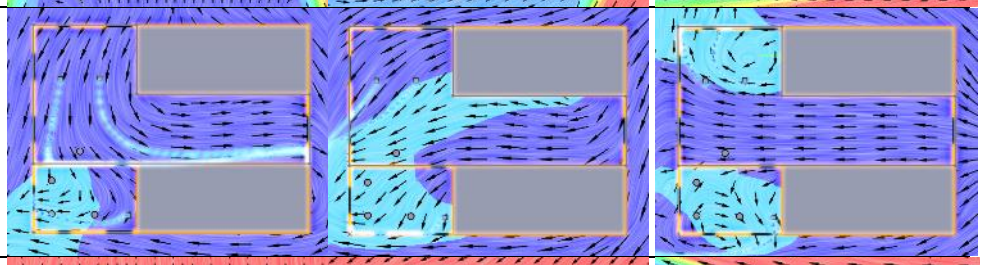
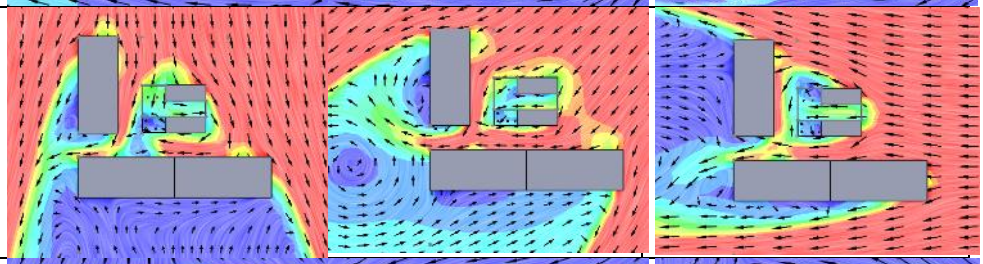
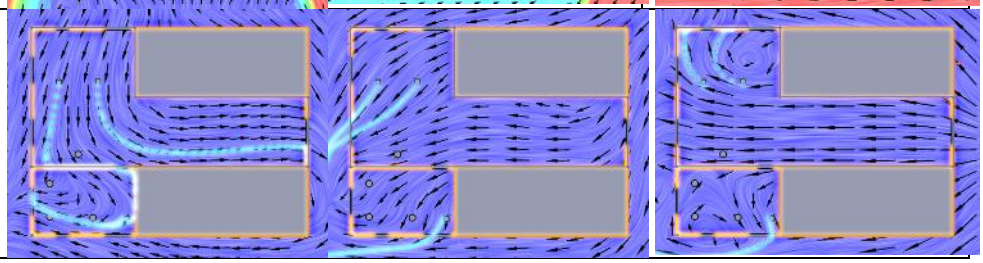
ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

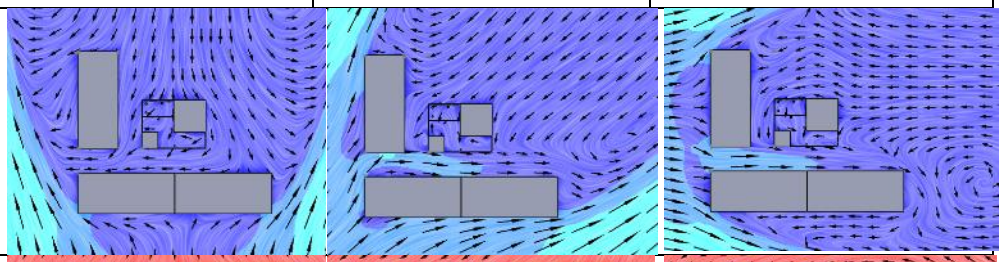
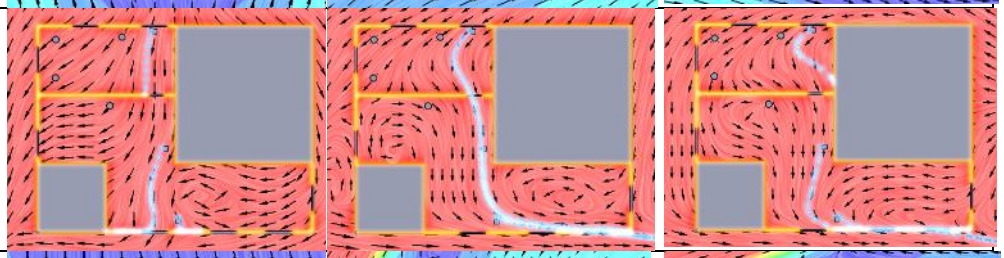
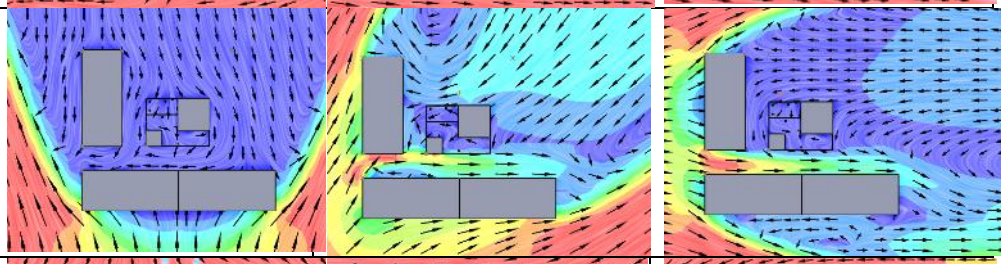
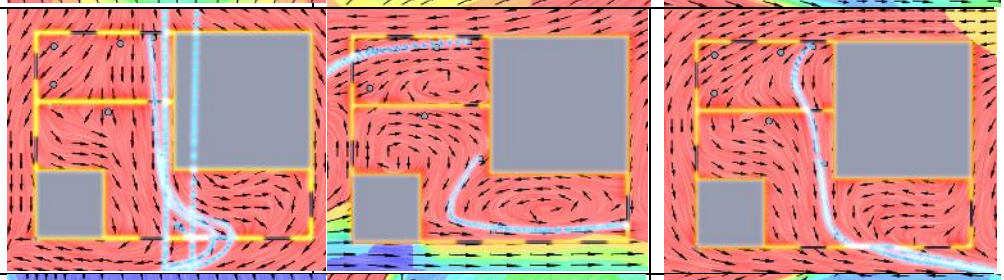
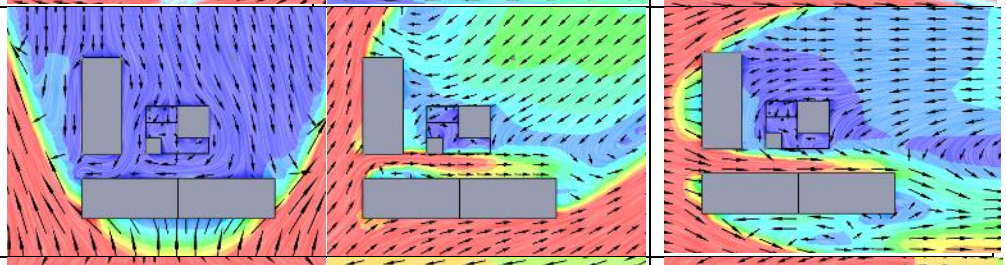
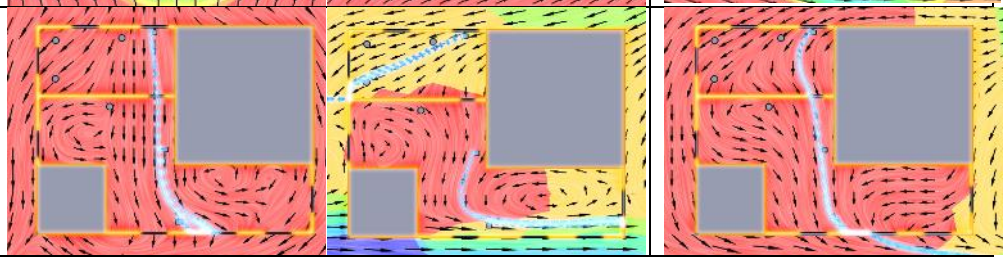
2. อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 2

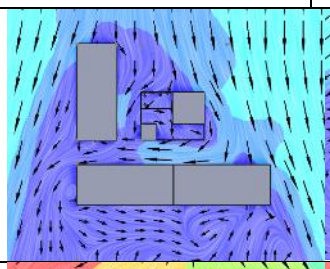
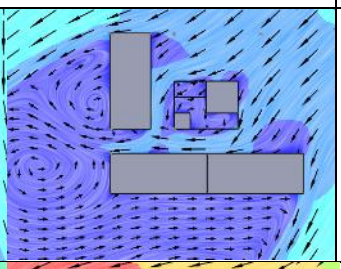
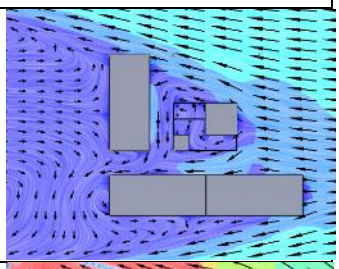
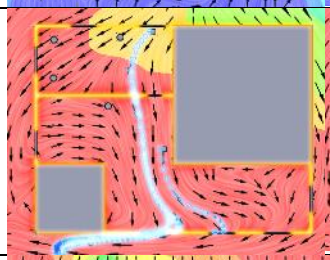
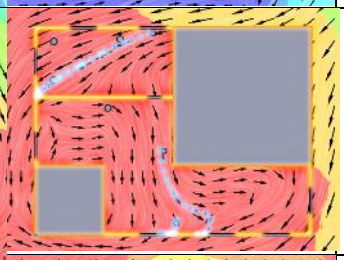
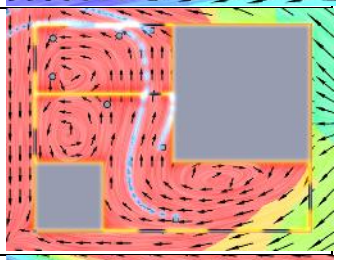
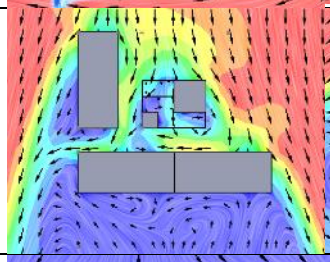
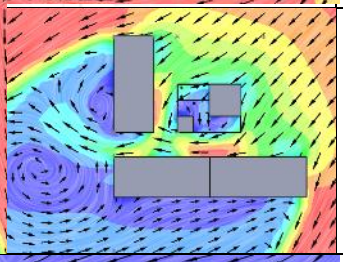
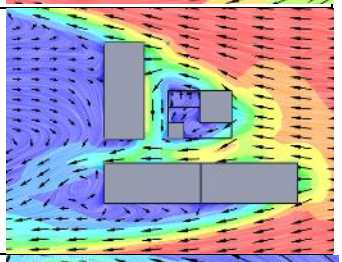
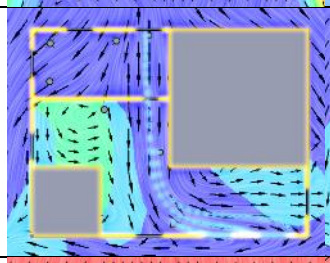
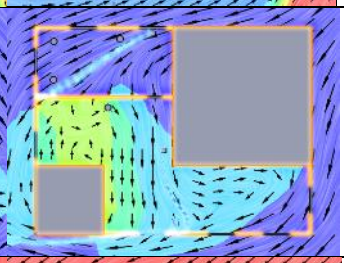
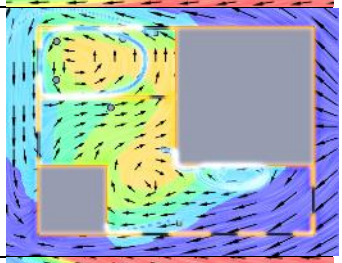
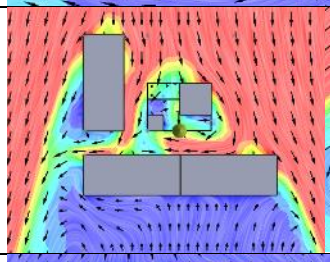
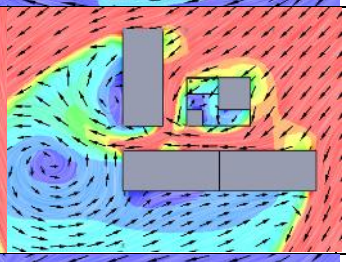
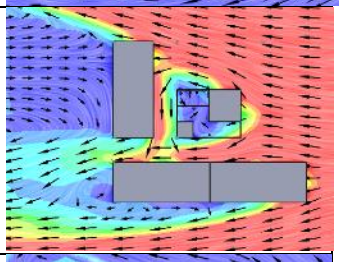
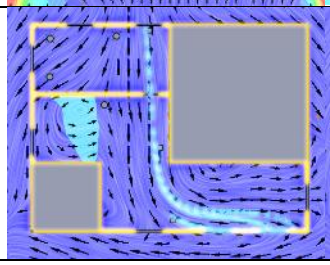
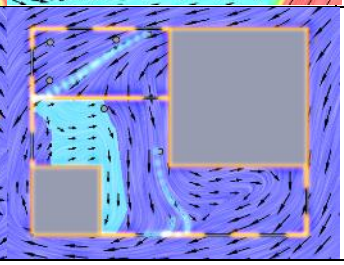
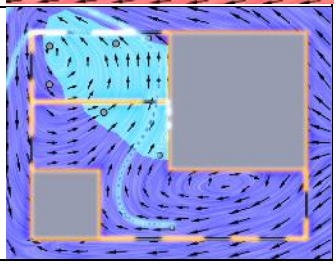
ผังแบบทางเดินร่วม

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
1.00 m/s			
1.75 m/s			

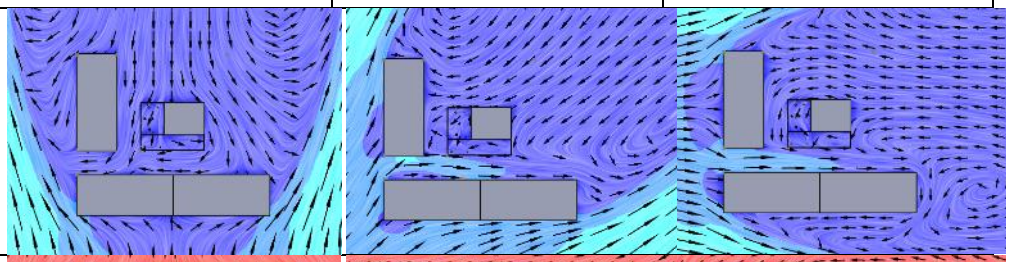
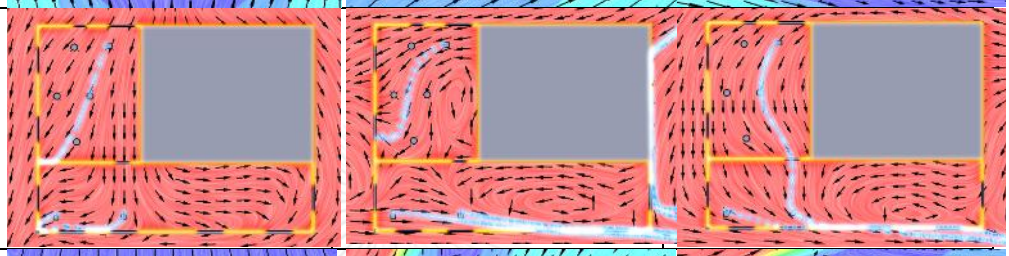
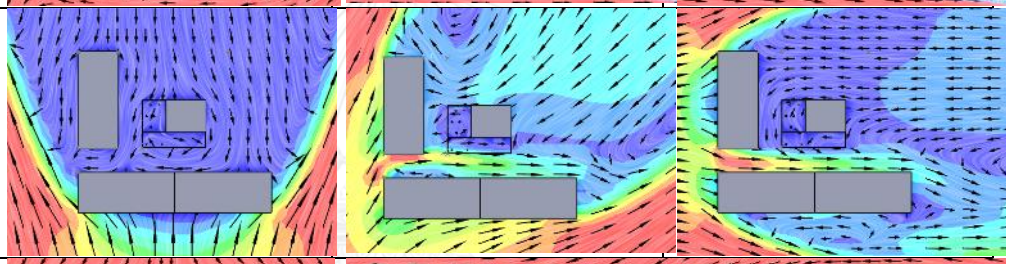
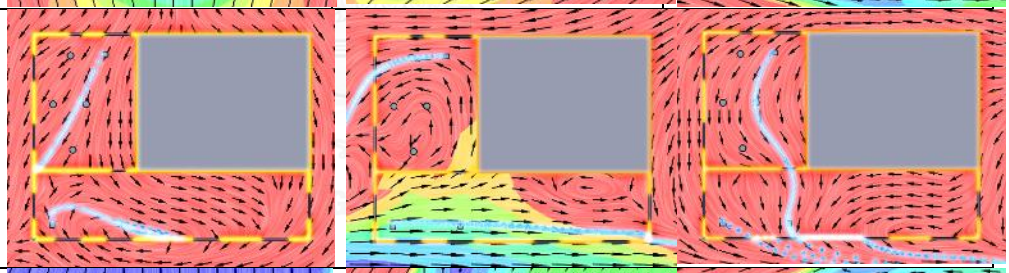
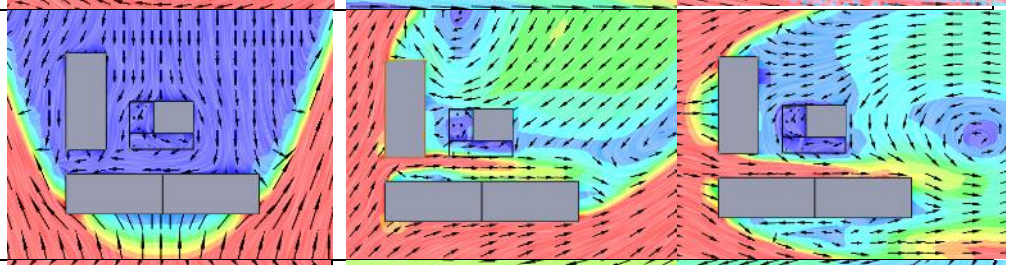
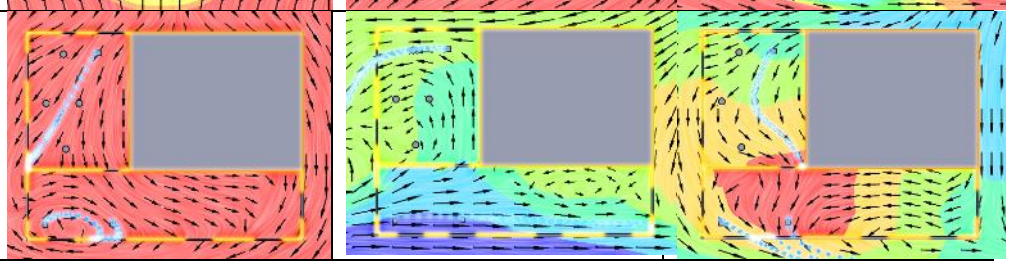
ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

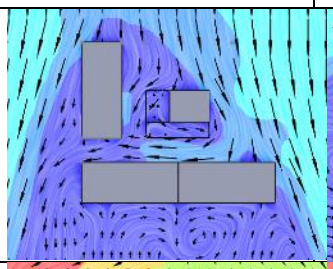
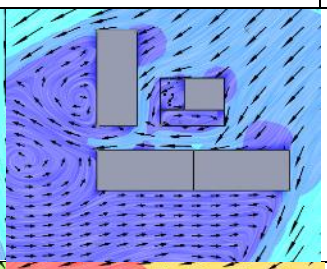
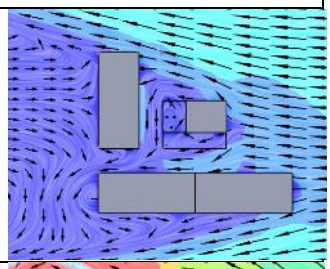
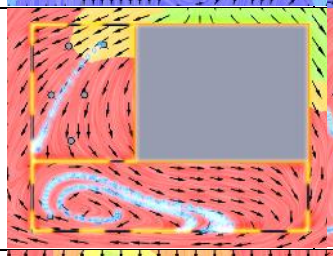
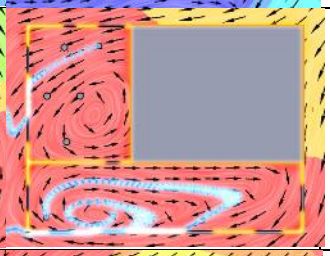
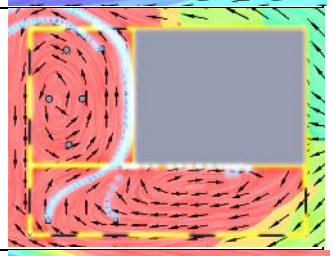
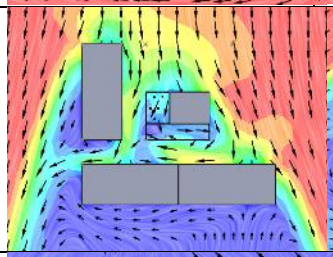
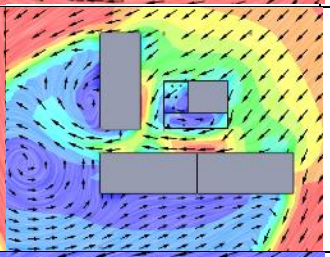
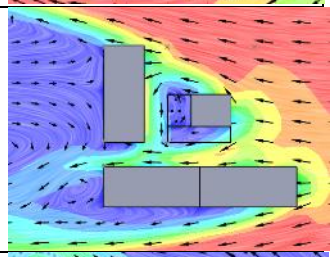
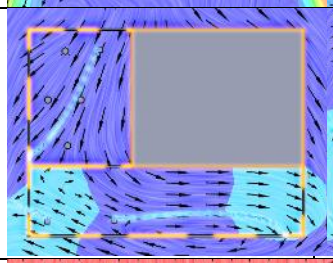
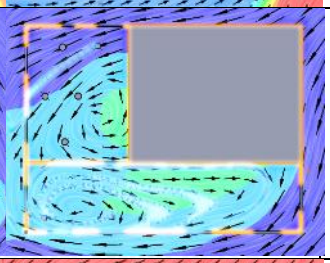
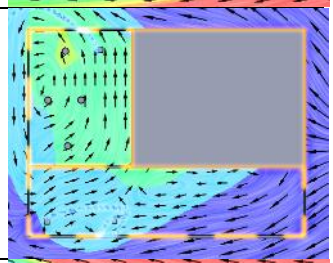
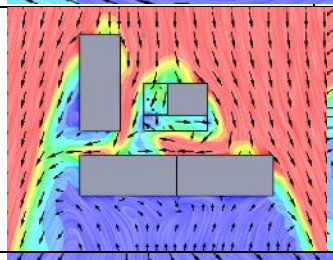
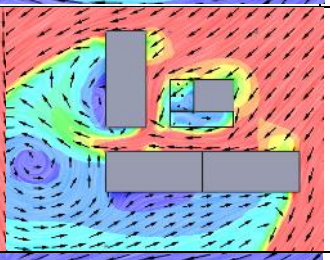
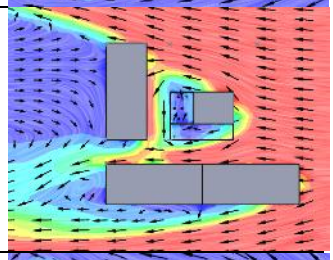
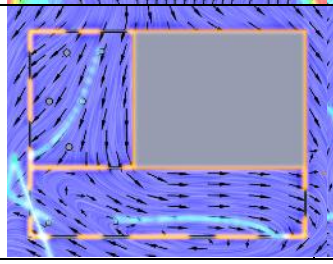
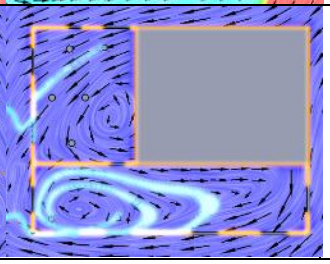
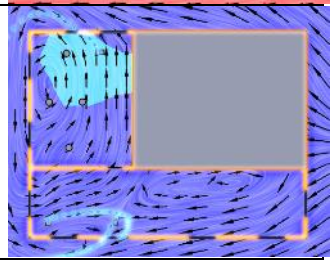
ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

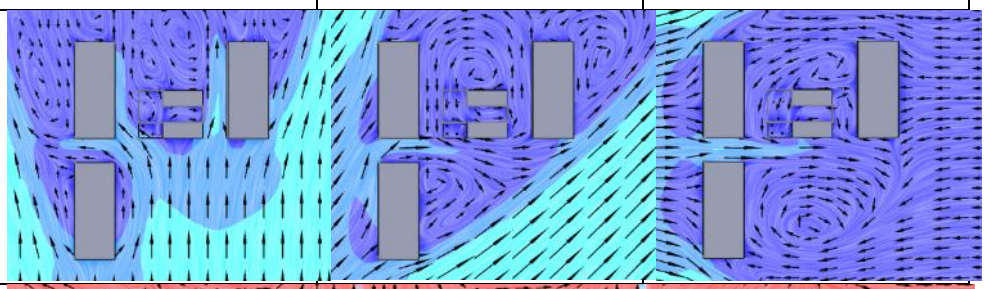
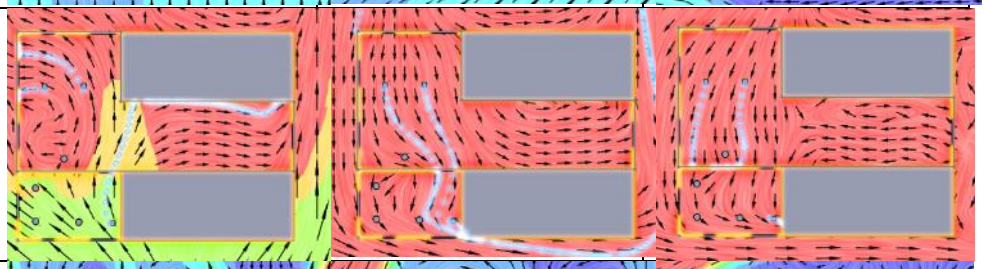
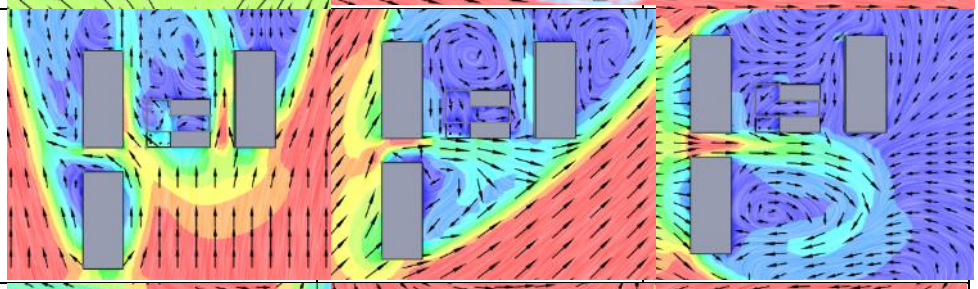
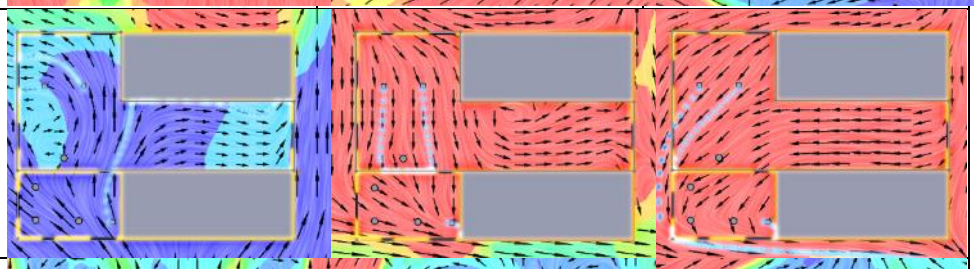
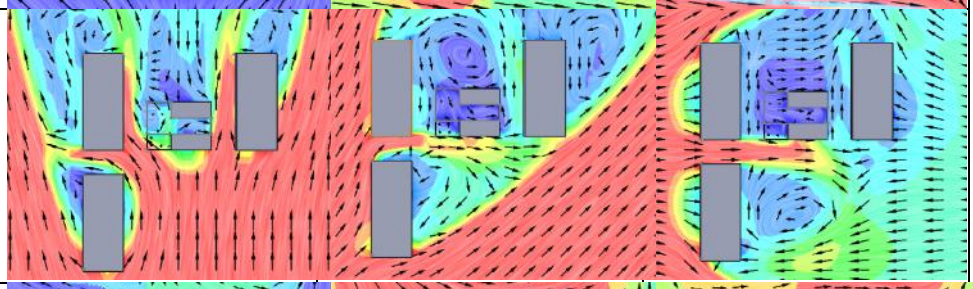
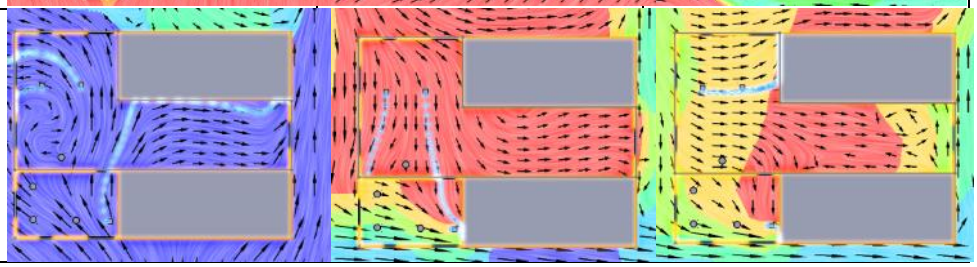
ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

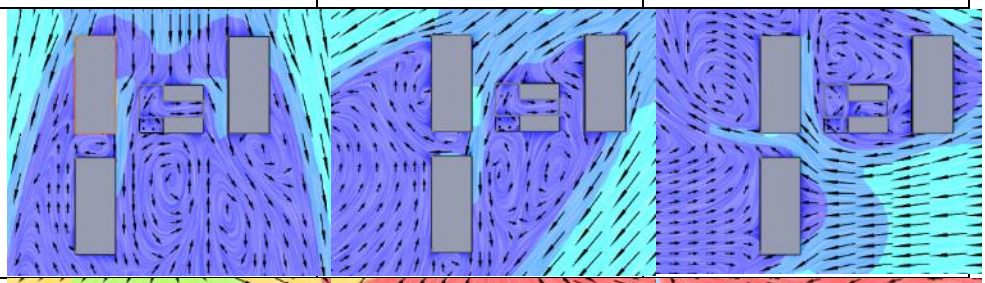
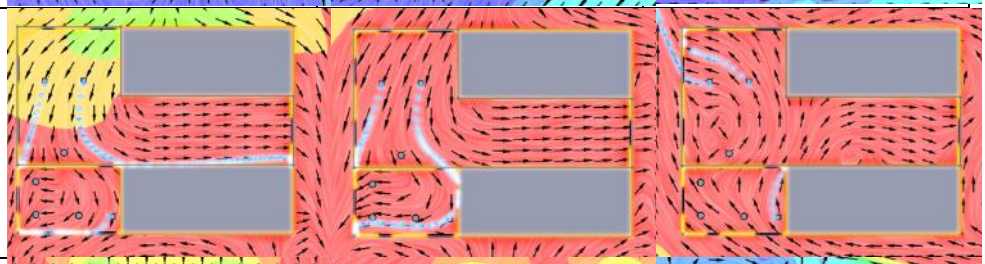
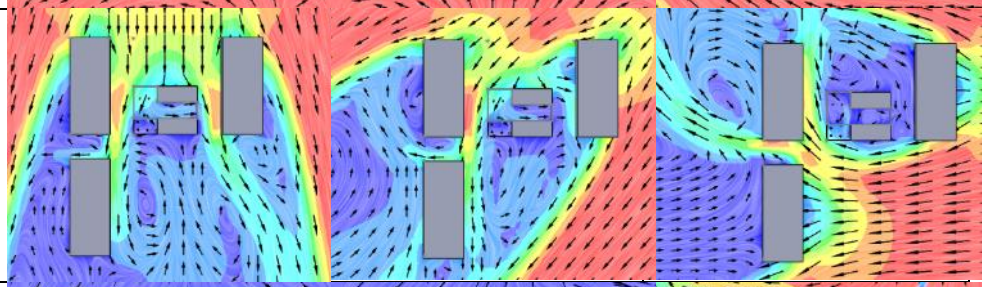
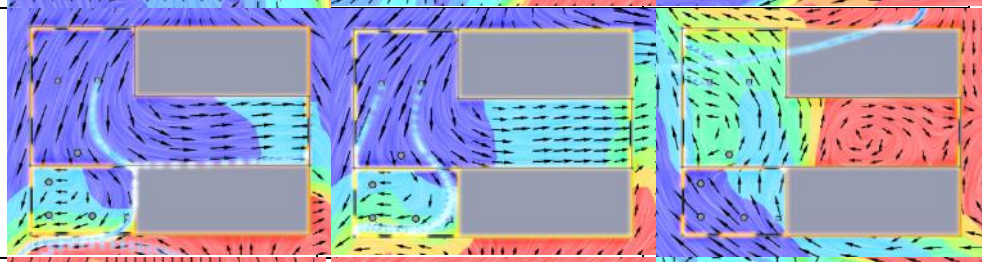
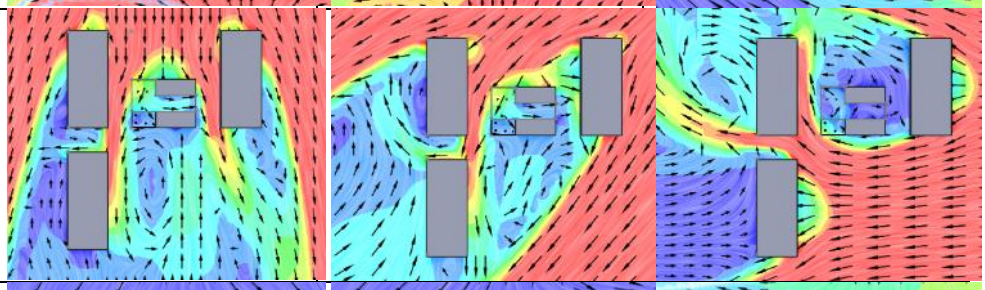
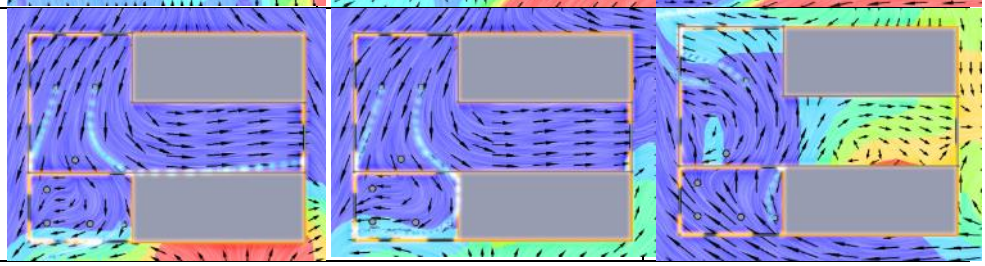
ผังแบบทางเดินเดี่ยว

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

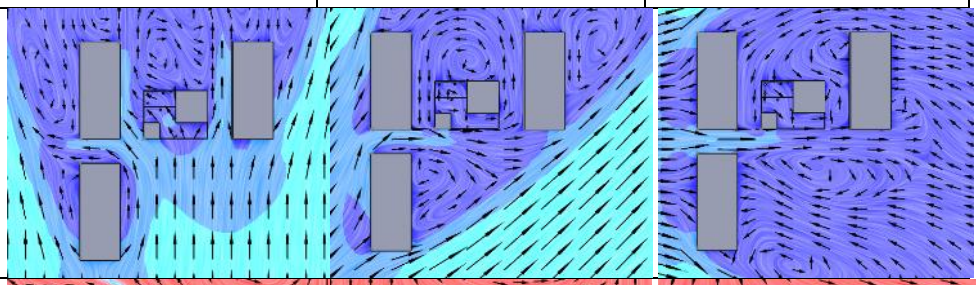
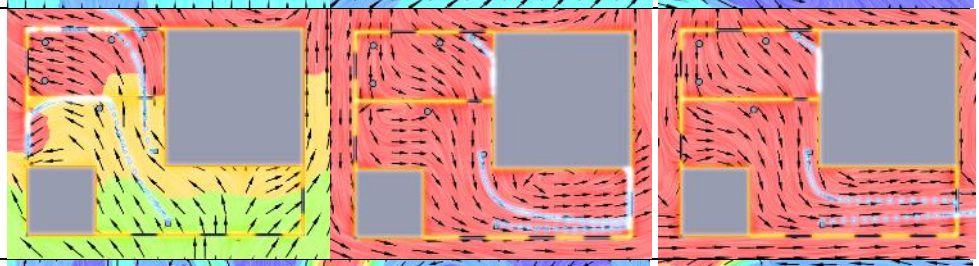
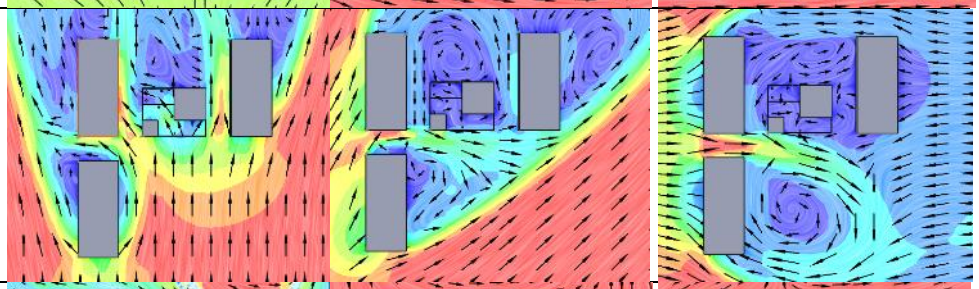
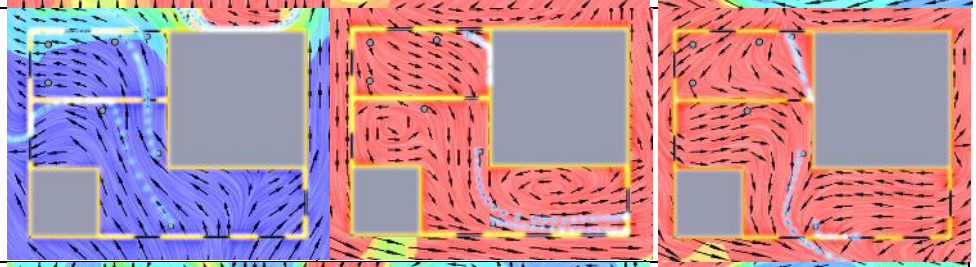
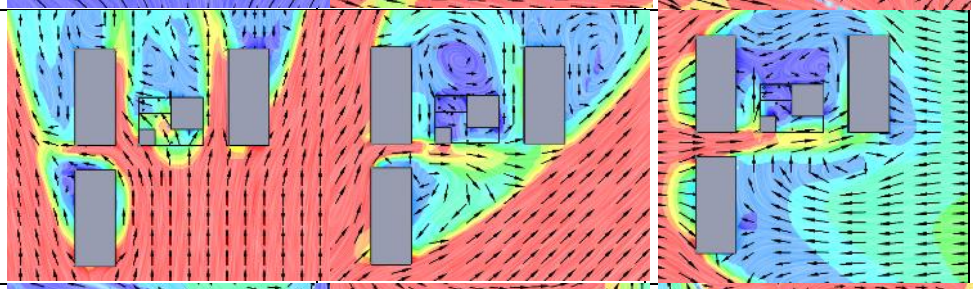
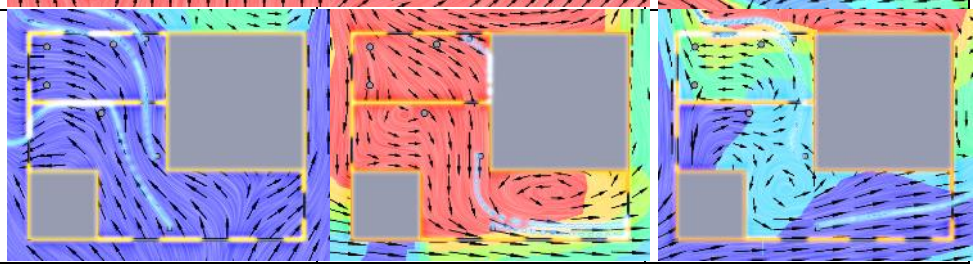
ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

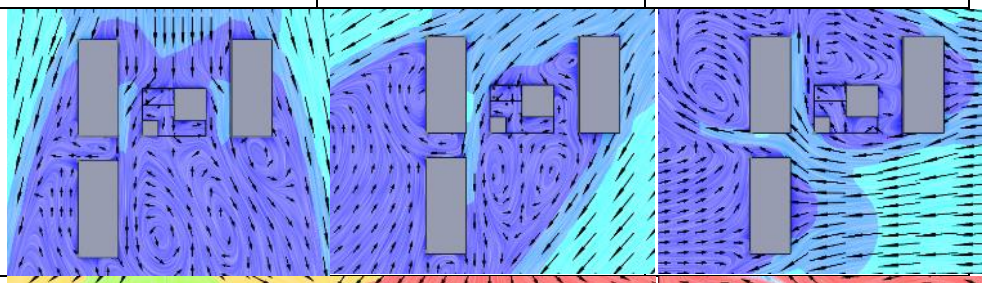
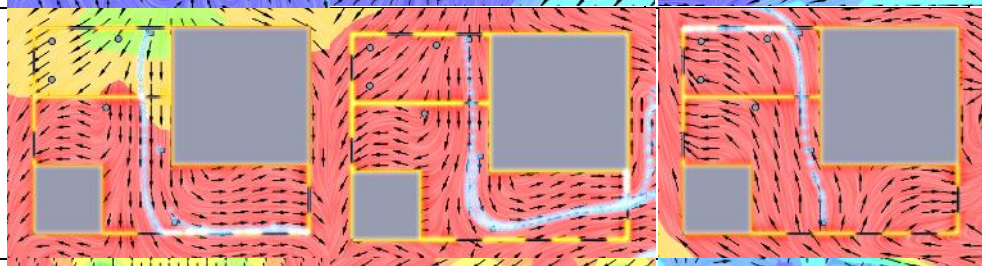
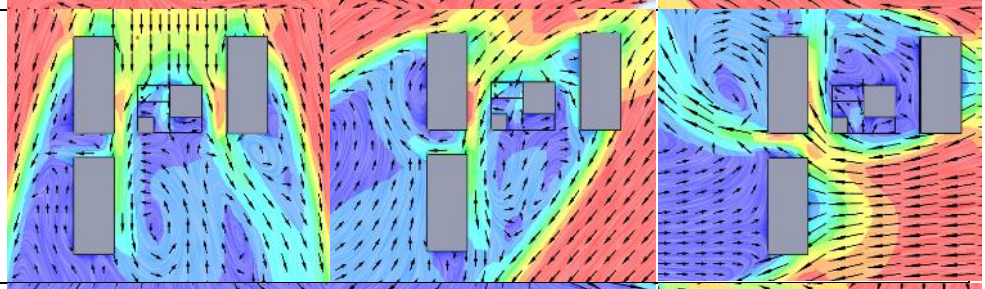
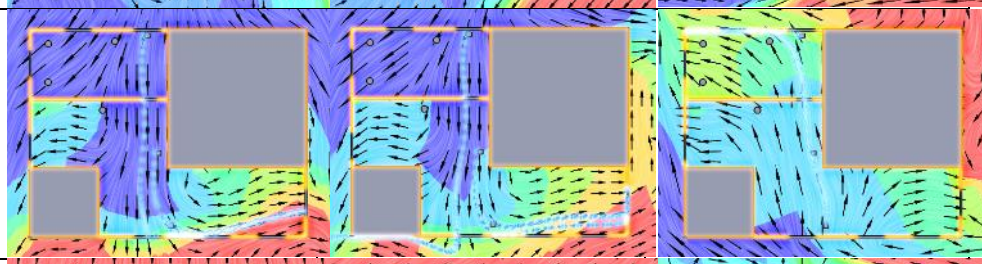
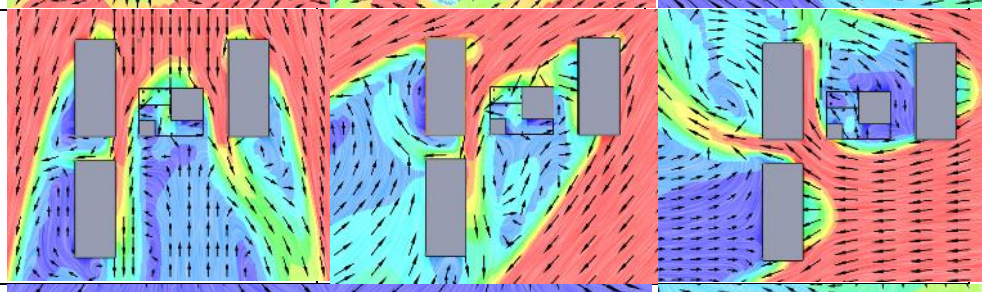
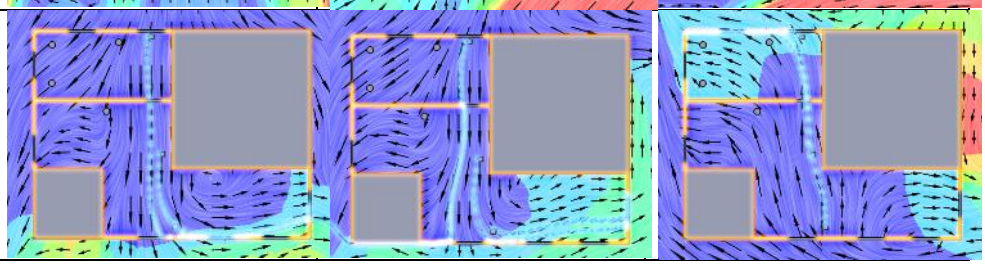
3. อาคารข้างเคียงรูปแบบที่ 3 : ผังแบบทางเดินร่วม

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

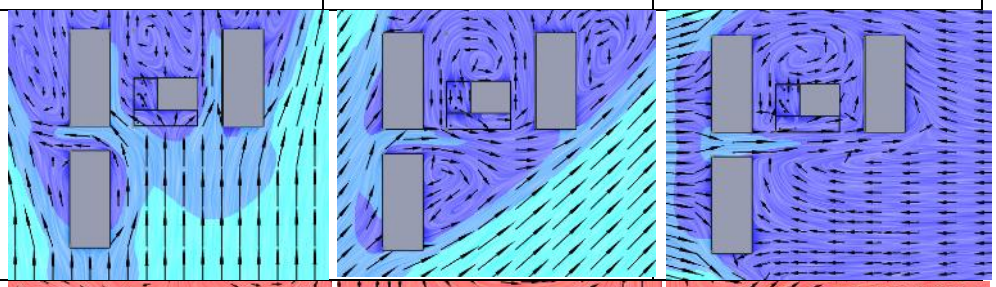
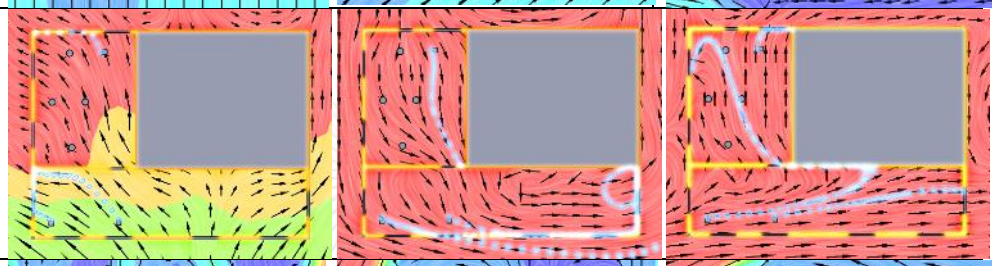
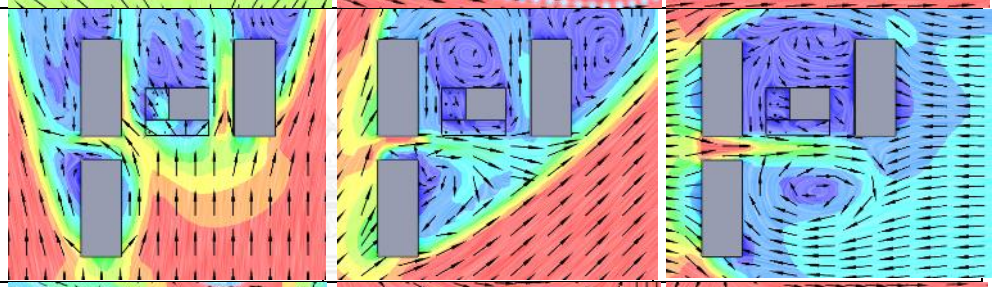
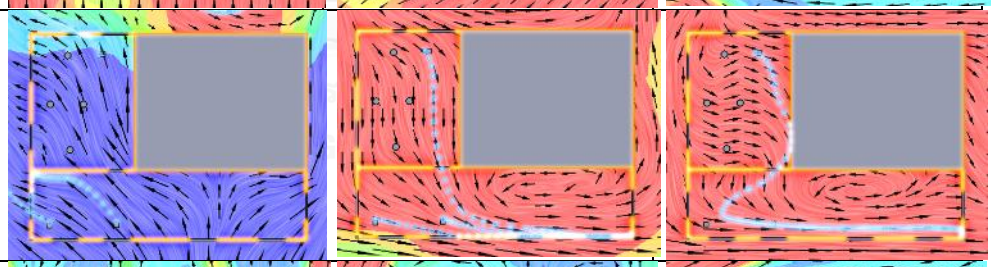
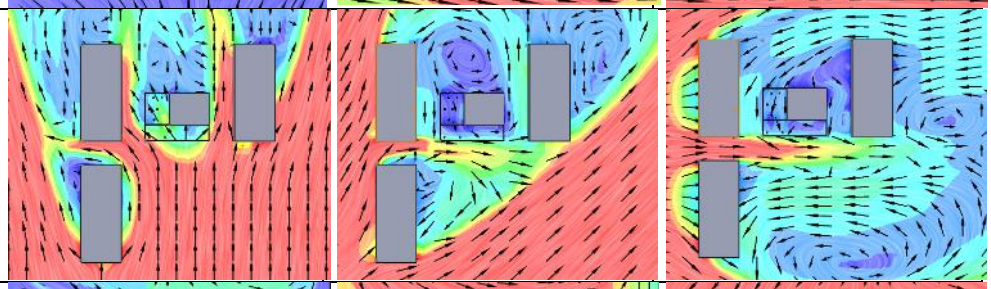
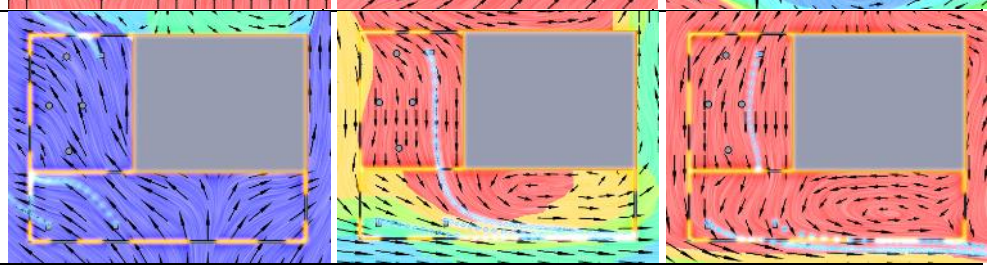
ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

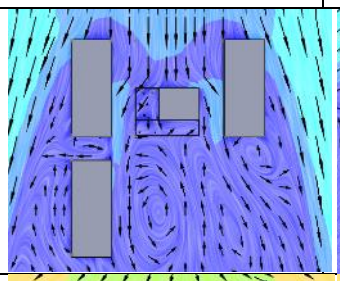
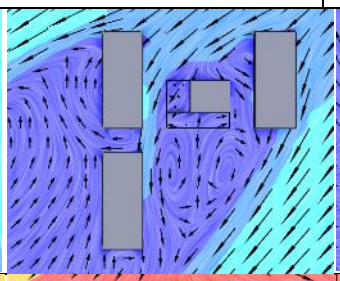
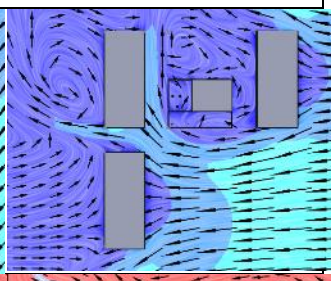
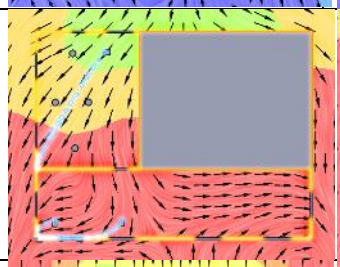
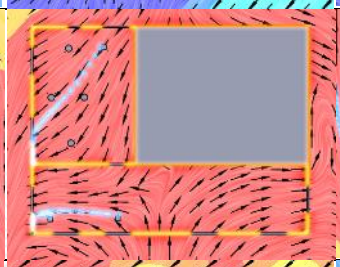
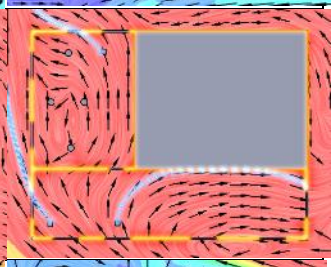
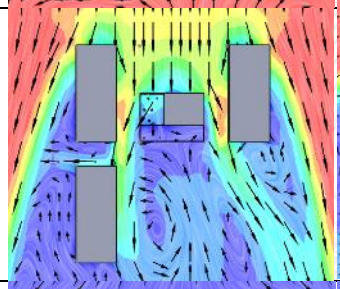
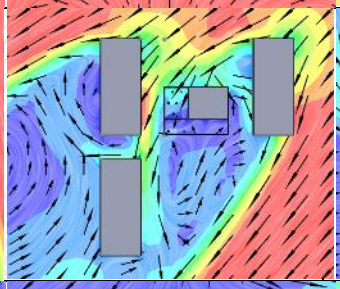
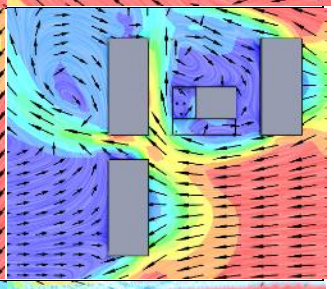
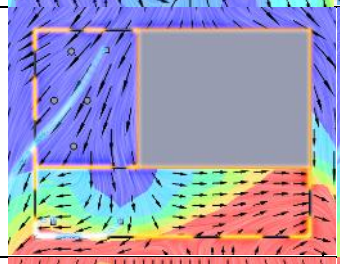
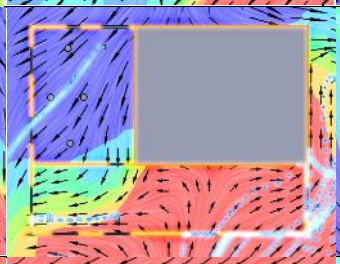
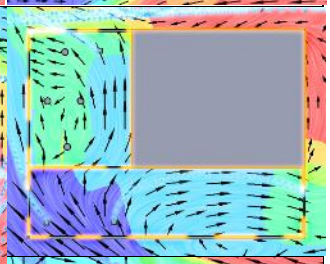
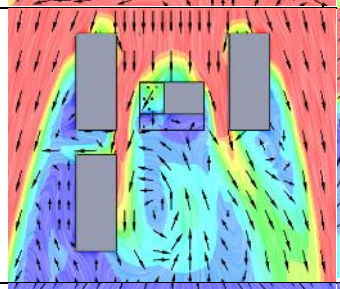
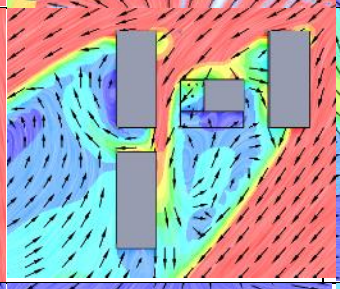
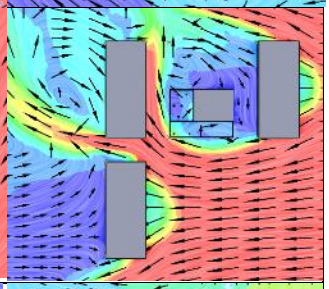
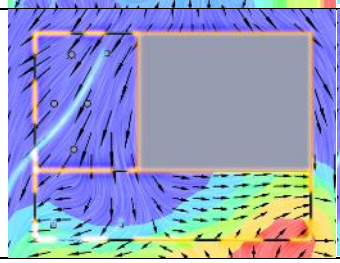
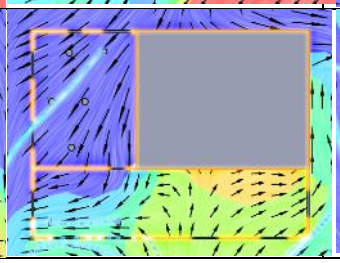
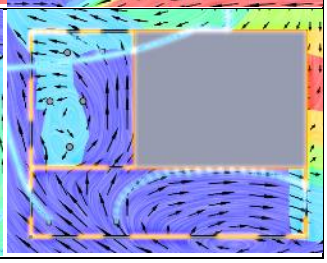
ผังแบบผสมทางเดินร่วมและเดี่ยว

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ผังแบบทางเดินเดี่ยว

ความเร็วลม	ทิศ 180 องศา	ทิศ 225 องศา	ทิศ 270 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ความเร็วลม	ทิศ 360 องศา	ทิศ 45 องศา	ทิศ 90 องศา
0.25 m/s			
			
1.00 m/s			
			
1.75 m/s			
			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน ระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

ด้านการทำงานหลังการจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ได้ทำงานตำแหน่งเจ้าหน้าที่บริหารโครงการที่สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ ระหว่างปี 2557-2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University