

แนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ สำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม

นางสาวมณีนาด ลินวัฒนา



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 LOUVER DESIGN GUIDELINES FOR DOUBLE LOADED CORRIDOR IN  
RESIDENTIAL BUILDING

Miss Maneenart Linwatana



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

แนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ สำหรับ

อาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม

โดย

นางสาวมณีนาด ลินวัฒนา

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลิท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตุตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์)



# # 5773331825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: LOUVERS / VENTILATION RATES / RESIDENTIAL BUILDING

MANEENART LINWATANA: VENTILATION LOUVER DESIGN GUIDELINES FOR DOUBLE LOADED CORRIDOR IN RESIDENTIAL BUILDING. ADVISOR: ASSOC. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 188 pp.

The purpose of this research is to develop design guidelines of louvers that help natural ventilation and reduce cooling energy consumption in double loaded corridor residential building in Bangkok. This research has 3 sections, the first section is the hypothesis testing regarding the ventilation rates to validate that increasing ventilation rates prior to activate the air conditioner can reduce the cooling duration. The second section is to investigate the louver performance under 5 variables, louver angles ( $-45^\circ$ ,  $90^\circ$  and  $45^\circ$ ), wind directions (perpendicular and oblique), height of the room, additional vertical fin and openings at the building corridor cross ventilation. The last section is to examine the correlation between the increments of ventilation rate prior to activate the air conditioner and cooling energy consumption. In this study, the ventilation rates are simulated by the computational fluid dynamics software (Autodesk CFD Simulation 2015) and Visual DOE 4.1 software was used to calculate energy consumption and indoor temperatures.

The results show that increasing ventilation rates before switching on the air conditioner can reduce the period for the indoor condition to enter comfort zone completely 4 hours to 1 hour and save 16% of cooling energy or 612 kWh/year/unit. The proposed louver design guidelines can be summarized as follows: the oblique wind can increase ventilation rates up to 52 ACH, the  $90^\circ$  louver blade angles is the most efficient type compared to others, the height affect the ventilation rates for perpendicular wind more than oblique wind, Additional vertical fin gives negative effect to ventilation rates and additional openings to building corridor create cross ventilation and improve ventilation up to 12 times for perpendicular wind and 2 times for oblique wind.

Department: Architecture

Student's Signature .....

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากอาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตฺร ขอขอบพระคุณในความกรุณา การอบรมสั่งสอน  
และการให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตร ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์  
ฤทธิ์ กรรมการวิทยานิพนธ์ผู้เป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาความรู้ความสามารถ และการฝึกฝน  
เพื่อพัฒนาตนเองในหลายด้าน ขอขอบพระคุณ รศ.พรพรรณชลัท สุริโยธิน ประธานกรรมการสำหรับ  
คำแนะนำ และการให้กำลังใจเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ ที่สละ  
เวลามาร่วมเป็นกรรมการสำหรับการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณภาควิชาและเจ้าหน้าที่ทุก  
ท่าน สำหรับคำแนะนำ การติดต่อดำเนินการ และความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ อรรถ ลินวัฒนา และคุณแม่ นลิน ลินวัฒนา สำหรับ  
การสนับสนุนเงินทุน ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจสำคัญในการศึกษาต่อ ครั้งนี้  
ขอขอบพระคุณครอบครัวสามัคคีธรรมและเพื่อนๆ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และการ  
ให้คำปรึกษาตลอดขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณกำลังใจและความปรารถนาดีจากพี่ ๆ  
น้อง ๆ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกคน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ณ
สารบัญแผนภูมิ.....	ป
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา .....	4
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา .....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	8
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ .....	10
2.1.1 กระแสลม (Air flow).....	10
2.1.2 การไหลของกระแสลม .....	11
2.1.3 การไหลของกระแสลมผ่านอาคาร.....	14
2.1.3.1 การระบายอากาศ (Ventilation).....	14
2.1.3.2 การระบายอากาศด้วยวิธีตามธรรมชาติ (Natural Ventilation) .....	17
2.1.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลของกระแสลมผ่านอาคาร.....	18
2.2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ .....	27

2.3 เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางในการออกแบบที่เกี่ยวข้อง.....	29
2.3.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 .....	29
2.3.2 มาตรฐาน ASHRAE standard 62-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality โดย ASHRAE .....	31
2.3.3 Apartment Design Guide 2015 โดย NSW Department of Planning and Environment.....	32
2.3.4 Guideline on Design and Construction Requirements for Energy Efficiency of Residential Building 2014 โดย Hong Kong Building Department .....	34
2.3.5 National Building code of India 2005 โดย Bureau of Indian standards.....	35
2.3.6 CIBSE Guide B2: Ventilation and air conditioning โดย Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) .....	36
2.3.7 คู่มือเกณฑ์การประเมินชุมชนอยู่อาศัยอย่างยั่งยืน : ECOVILLAGE โดยการเคหะแห่งชาติ.....	36
2.4 งานวิจัยและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.4.1 การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม .....	37
2.4.2 การออกแบบอาคารสูงในเขตร้อนชื้น.....	41
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	46
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	46
3.1.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	46
3.1.2 การพิสูจน์สมมุติฐาน.....	46
3.1.2.1 การกำหนดรูปแบบอาคารอ้างอิง .....	46
3.1.2.2 จำลองอาคารเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1.....	47



3.1.2.3 การวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการพิสูจน์สมมุติฐาน .....	49
3.1.2.4 สรุปผลข้อมูลจากการพิสูจน์สมมุติฐาน.....	52
3.1.3 การกำหนดรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ.....	52
3.1.4 ตัวแปรในการวิจัย .....	53
3.1.5 จำลองอาคารอ้างอิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) .....	57
3.1.5.1 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อม.....	59
3.1.5.2 การตั้งค่าการคำนวณและสภาวะเงื่อนไข.....	60
3.1.5.3 ตำแหน่งการตรวจวัดค่าความเร็วลม .....	66
3.1.6 ผลการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม CFD .....	66
3.1.7 การจำลองค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 ..	70
3.1.7.1 กำหนดตัวแปร.....	70
3.1.7.2 กำหนดรายละเอียดการจำลองห้องพัก.....	70
3.1.7.3 ตั้งค่าการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1.....	71
3.1.8 ผลการจำลองค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ.....	74
3.1.9 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ .....	74
3.1.10 สรุปแนวทางการใช้งานช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ .....	75
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย .....	75
3.2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล CFD .....	75
3.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณการใช้พลังงาน VISUAL DOE 4.1 .....	76
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลข้อมูล.....	77
4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก .....	79
4.1.1 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก .....	81
4.1.2 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก .....	83

4.1.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	85
4.1.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก ....	87
4.1.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	87
4.1.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	89
4.2	ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม .....	90
4.2.1	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม.....	93
4.2.2	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม.....	96
4.2.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม.....	99
4.2.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม....	102
4.2.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	103
4.2.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	103
4.3	ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก .....	105
4.3.1	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก .....	107
4.3.2	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก .....	109
4.3.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก.....	111
4.3.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก ..	113
4.3.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	113
4.3.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	114
4.4	ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม .....	116
4.4.1	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม.....	119
4.4.2	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม.....	123
4.4.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม.....	126
4.4.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม....	129

4.4.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	131
4.4.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	132
4.5	ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก.....	132
4.5.1	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	135
4.5.2	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	138
4.5.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก .....	141
4.5.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก..	144
4.5.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	146
4.5.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	147
4.6	ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม .....	147
4.6.1	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม .....	150
4.6.2	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม .....	153
4.6.3	เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม.....	156
4.6.4	วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม ...	159
4.6.4.1	อัตราการระบายอากาศ.....	161
4.6.4.2	รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ .....	162
4.7	ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น.....	162
4.8	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบ.....	165
4.8.1	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารใน ทิศทางตั้งฉาก (ตาราง 4.26 และตาราง 4.27).....	166
4.8.2	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารใน ทิศทางทำมุม (ตาราง 4.28 และตาราง 4.29) .....	171
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	172
5.1	ประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ.....	173

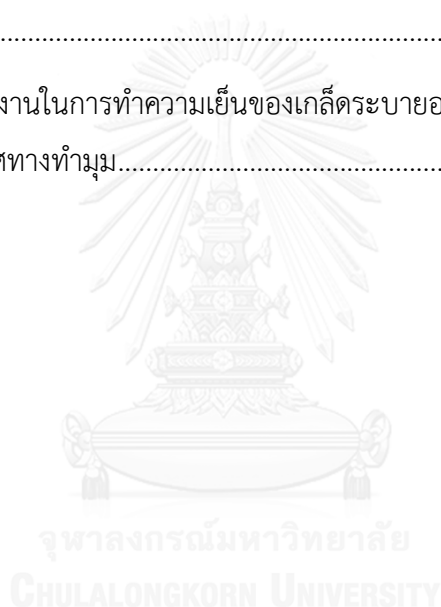
5.1.1 ทิศทางลมตั้งฉาก .....	173
5.1.2 ทิศทางลมทำมุม.....	174
5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับค่าการใช้พลังงาน และอุณหภูมิภายใน .....	174
5.3 แนวทางการออกแบบช่องเปิดรูปแบบเกลี๊ตระบายอากาศ .....	175
5.3.1 ทิศทางลมภายนอก.....	176
5.3.2 ระดับความสูง .....	176
5.3.3 องศาเกลี๊ตระบายอากาศ .....	176
5.3.4 การเพิ่มองค์ประกอบครีบผนังแนวตั้ง.....	176
5.3.5 การเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศสู่โถงทางเดินกลาง.....	176
5.3.6 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกลี๊ตระบายอากาศ .....	177
5.4 การอภิปรายผล .....	180
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	181
รายการอ้างอิง .....	183
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	188

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ความต้องการอากาศภายนอก สำหรับการระบายอากาศพื้นที่อยู่อาศัย .....	15
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับสภาวะน่าสบาย.....	16
ตารางที่ 2.3	ทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร .....	29
ตารางที่ 2.4	อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับพื้นที่ระบายอากาศโดยวิธีกล .....	30
ตารางที่ 2.5	อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับอาคารที่มีการปรับภาวะอากาศด้วยระบบปรับอากาศ.....	30
ตารางที่ 2.6	ความต้องการการระบายอากาศจากภายนอกตามเกณฑ์ ASHRAE .....	32
ตารางที่ 2.7	อัตราการระบายอากาศจากภายนอกตาม National Building code of India .....	35
ตารางที่ 2.8	อัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศภายนอกตาม CIBSE Guide B2 .....	36
ตารางที่ 2.9	รายละเอียดอาคารที่ทำการศึกษารวม 8 กรณี .....	37
ตารางที่ 2.10	การพัฒนางานออกแบบการระบายอากาศ Bawa' s bioclimatic façade .....	42
ตารางที่ 3.1	การกำหนดค่าในการจำลองอาคารเพื่อการพิสูจน์สมมุติฐาน .....	48
ตารางที่ 3.2	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของ 4 สถานีอากาศในกรุงเทพมหานคร .....	55
ตารางที่ 3.3	รูปแบบอาคาร ทิศทางลม และลักษณะของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศทั้ง 54 กรณี ..	67
ตารางที่ 4.1	ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษารวม 54 กรณี .....	78
ตารางที่ 4.2	ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV_aa, SV_ab และ SV_ac ทิศทางลมตั้งฉาก.....	81
ตารางที่ 4.3	ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV_bb, SV_ba และSV_bc ทิศทางลมตั้งฉาก.....	83
ตารางที่ 4.4	ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV_cc, SV_ca และ SV_cb ทิศทางลมตั้งฉาก.....	85
ตารางที่ 4.5	รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก .....	88

ตารางที่ 4.6 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45_aa, SV45_ab และ SV45_ac.....	94
ตารางที่ 4.7 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45_bb, SV45_ba และ SV45_bc.....	97
ตารางที่ 4.8 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45_cc, SV45_ca และ SV45_cb ....	100
ตารางที่ 4.9 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม .....	104
ตารางที่ 4.10 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF_aa, VF_ab และ VF_ac ทิศทาง ลมตั้งฉาก.....	108
ตารางที่ 4.11 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF_bb, VF_ba และ VF_bc ทิศทาง ลมตั้งฉาก.....	110
ตารางที่ 4.12 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF_cc, VF_ca และ VF_cb ทิศทาง ลมตั้งฉาก.....	112
ตารางที่ 4.13 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก .....	115
ตารางที่ 4.14 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45_aa, VF45_ab และ VF45_ac..	120
ตารางที่ 4.15 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45_bb, VF45_ba และ VF45_bc.	124
ตารางที่ 4.16 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45_cc, VF45_ca และ VF45_cb..	127
ตารางที่ 4.17 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม .....	130
ตารางที่ 4.18 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV_aa, CV_ab และ CV_ac .....	136
ตารางที่ 4.19 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV_bb, CV_ba และ CV_bc .....	139
ตารางที่ 4.20 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV_cc, CV_ca และ CV_cb .....	142
ตารางที่ 4.21 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก.....	145
ตารางที่ 4.22 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45_aa, CV45_ab และ CV45_ac.	151
ตารางที่ 4.23 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45_bb, CV45_ba และ CV45_bc	154
ตารางที่ 4.24 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45_cc, CV45_ca และ CV45_cb.	157

ตารางที่ 4.25 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม.....	160
ตารางที่ 4.26 มาตรฐานปริมาณความต้องการอากาศภายนอกสำหรับอาคารพักอาศัย.....	165
ตารางที่ 4.27 ลำดับอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก .....	167
ตารางที่ 4.28 การใช้พลังงานในการทำความเย็นของเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก .....	168
ตารางที่ 4.29 ลำดับอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม.....	169
ตารางที่ 4.30 การใช้พลังงานในการทำความเย็นของเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม.....	170



## สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างการจำลองสภาพแวดล้อมและรูปแบบ mesh sizing model จากโปรแกรม Autodesk CFD simulation 2015 .....	7
ภาพที่ 2.1 การหมุนเวียนของกระแสลมโลก (ที่มา : Krautheim, M., City and wind) .....	10
ภาพที่ 2.2 รูปแบบการไหลของกระแสลม (ที่มา : Lechner, N., Heating Cooling Lighting) .....	11
ภาพที่ 2.3 ความเร็วลมกับลักษณะภูมิประเทศ (ที่มา : Krautheim, M., City and wind).....	12
ภาพที่ 2.4 การกระจายตัวของความกดอากาศรอบอาคารกับการไหลของกระแสลม (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	13
ภาพที่ 2.5 รูปแบบความกดอากาศเมื่อกระแสลมปะทะกับหลังคา (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	13
ภาพที่ 2.6 รูปแบบ Venturi tube ที่เหนี่ยวนำให้เกิด Bernoulli effect (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	14
ภาพที่ 2.7 Bernoulli effect (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting) .....	14
ภาพที่ 2.8 การรับรู้ต่ออุณหภูมิอากาศภายนอกที่ลดลงเนื่องจากผลของกระแสลม (ที่มา : Krautheim, M. City and wind).....	16
ภาพที่ 2.9 เทคนิคการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	17
ภาพที่ 2.10 การไหลของกระแสลมเมื่อแรงลมและการลอยตัวของอากาศร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน (ที่มา : ต๋อวงศ์ เจนวิทย์การ, บทความปริทรรศน์ : การออกแบบโดยวิธีธรรมชาติเพื่อความสบายเชิงคุณภาพในเขตอากาศร้อนชื้น).....	18
ภาพที่ 2.11 สภาพแวดล้อมโดยรอบที่ส่งผลต่อการไหลของกระแสลม (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	19
ภาพที่ 2.12 การไหลกระแสลมภายในเมื่อลมทำมุมกับผนังอาคารต่างกัน (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	19
ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของลมด้วยองค์ประกอบโดยรอบ (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	20



ภาพที่ 2.14 การไหลของลมเมื่อช่องเปิดทั้ง 2 ช่อง อยู่บนผนังติดกันและบนผนังเดียวกัน (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	20
ภาพที่ 2.15 การไหลของลมเมื่อมีการติดตั้งครีบนั่งทางตั้งกับช่องเปิด 2 ช่องบนผนังเดียวกัน และผนังติดกัน (ที่มา : G.Z. Brown and Mark Dekay, Sun, Wind, and Light).....	21
ภาพที่ 2.16 การไหลของลมเมื่อมีการติดตั้งแผงกันแดดทางนอน (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	22
ภาพที่ 2.17 ชนิดของหน้าต่างแบบบานเลื่อน (ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings).....	23
ภาพที่ 2.18 ชนิดของหน้าต่างแบบบานเปิด (ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings).....	23
ภาพที่ 2.19 ชนิดของหน้าต่างแบบบานกระทุ้ง และบานเกล็ด (ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings).....	23
ภาพที่ 2.20 การประยุกต์ใช้บานเกล็ดเพื่อระบายความร้อนจากโครงสร้าง (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	24
ภาพที่ 2.21 ระดับความสูงของหน้าต่างกับลักษณะการใช้งาน (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	24
ภาพที่ 2.22 ขนาดช่องเปิดที่ต่างกันกับผลต่อความเร็วลมภายใน (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	25
ภาพที่ 2.23 ขนาดช่องเปิดที่ต่างกันกับผลต่อความเร็วลมภายใน (ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling).....	25
ภาพที่ 2.24 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการระบายอากาศทางธรรมชาติ Stack ventilation และ Ceiling fans (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	26
ภาพที่ 2.25 การออกแบบอาคาร Unite d Habitation ที่ Marseilles (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting).....	27
ภาพที่ 2.26 ตัวอย่างการวัดความกว้างของอาคาร (ที่มา: NSW Department of Planning and Environment, Apartment Design Guide 2015).....	33

ภาพที่ 2.27 สัดส่วนความสูงต่อความลึกของห้องพักที่มีการระบายอากาศแบบด้านเดียว (ที่มา: NSW Department of Planning and Environment, Apartment Design Guide 2015)..... 33

ภาพที่ 2.28 ตัวอย่างการวัดความลึกของห้องพัก ช่องเปิดเชื่อมต่อกับภายนอก (ซ้าย) ช่องเปิดรับเข้าจากผนังอาคาร (ขวา) (ที่มา: Hong Kong Building Department, Guideline on Design and Construction Requirements for Energy Efficiency of Residential Building 2014) ..... 34

ภาพที่ 2.29 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อเกิดการลอยตัวของอากาศร้อนและมีลมมากระทำ (ที่มา: Allocca, C. และคณะ, Design analysis of single-sided natural ventilation) ..... 37

ภาพที่ 2.30 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่านอาคารที่ชั้น 4-6 (ที่มา: Cui, D. J. และคณะ, Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilation building) ..... 39

ภาพที่ 2.31 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระแสลมเมื่อปะทะกับอาคารในแนวตั้งฉาก (ที่มา: ASHRAE, ASHRAE handbook-fundamentals 2001)..... 39

ภาพที่ 2.32 รูปแบบ Air Post ที่ทำการติดตั้งที่ขอบประตูห้องชุดคอนโดมิเนียม (ที่มา: อรรถนั เศรษฐบุตร, ประสิทธิภาพการระบายอากาศของบานเลื่อนขอบประตู ในอาคารชุดพักอาศัยแนวตั้ง)..... 40

ภาพที่ 2.33 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่าน Monsoon window (ที่มา: Mingwei, S. และคณะ, The Applicability of the Bio-Climatic Façade in a Hot and Humid Climate)..... 43

ภาพที่ 2.34 ตำแหน่งช่องเปิด 3 ส่วนของ Monsoon window (ซ้าย) ตำแหน่งตรวจวัด (ขวา) (ที่มา: Kiang, T. B. and others, Naturally ventilated tall office building in the tropics-Learning from Bawa)..... 44

ภาพที่ 2.35 รูปแบบ Monsoon window อาคาร Moulmein rise residential tower (ที่มา: Zainab, F., A., NO1 Moulmein Rise Singapore)..... 45

ภาพที่ 3.1 ผังอาคารอ้างอิงใช้พิสูจน์สมมุติฐาน..... 47

ภาพที่ 3.2 ลักษณะการวางอาคารอ้างอิง 2 ทิศทาง ..... 48

ภาพที่ 3.3 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องพัก.....	49
ภาพที่ 3.4 รูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ .....	53
ภาพที่ 3.5 การทำมุมเกล็ดระบายอากาศ 3 แบบ .....	54
ภาพที่ 3.6 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ 9 แบบ .....	54
ภาพที่ 3.7 รูปแบบห้องพักของอาคาร 3 รูปแบบ.....	58
ภาพที่ 3.8 การจำลองอาคาร 3 รูปแบบที่ตำแหน่งความสูงห้องพักทุก ๆ 5 ชั้น .....	58
ภาพที่ 3.9 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเทียบจากแบบจำลอง (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network).....	59
ภาพที่ 3.10 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเมื่อทิศทางลมเป็นแบบตั้งฉาก (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network).....	59
ภาพที่ 3.11 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเมื่อทิศทางลมเป็นแบบทำมุม 45° (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network).....	60
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD) .....	61
ภาพที่ 3.13 การกำหนดประเภทของวัสดุและของไหลในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network).....	61
ภาพที่ 3.14 การกำหนดลักษณะของขอบเขตสภาพแวดล้อมในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	62
ภาพที่ 3.15 วิธีตั้งค่าการคำนวณ Mesh Sizing ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network).....	62
ภาพที่ 3.16 รูปแบบเซลล์ Mesh Sizing ของแบบจำลองในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	63
ภาพที่ 3.17 วิธีตั้งค่าการประมวลผล และSolution control ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	63
ภาพที่ 3.18 วิธีตั้งค่าการประมวลผลและSolution control ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	64

ภาพที่ 3.19 การวัดค่าความเร็วลมด้วยการระบุตำแหน่ง (Points) ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	65
ภาพที่ 3.20 การแสดงผลภาพ Velocity vector ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	65
ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งตรวจวัดค่าความเร็วลม 8 จุด.....	66
ภาพที่ 3.22 ตัวแปรการคำนวณ Free area สำหรับ Horizontal blade louvers (ที่มา: AMCA, AMCA Publication 511-10).....	68
ภาพที่ 3.23 ขนาดของช่องเปิดระบายอากาศแบบ a, c (ซ้าย) แบบ b (ขวา).....	69
ภาพที่ 3.24 การวางทิศทางอาคารเพื่อคำนวณการใช้พลังงาน 4 ทิศทาง.....	70
ภาพที่ 3.25 ลักษณะอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม Visual DOE 4.1.....	71
ภาพที่ 3.26 การกำหนดค่าการใช้พลังงานพื้นที่ส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ.....	72
ภาพที่ 3.27 การกำหนดช่วงเวลาการใช้งานห้องพักสำหรับวันจันทร์ถึงศุกร์ และวันเสาร์ถึงอาทิตย์.....	72
ภาพที่ 3.28 การกำหนดช่วงเวลาการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ และการระบายอากาศตามธรรมชาติ.....	72
ภาพที่ 3.29 การกำหนดค่า HVAC system ของเครื่องปรับอากาศ.....	73
ภาพที่ 3.30 การกำหนดรูปแบบช่องเปิดส่วน Façade อาคาร.....	73
ภาพที่ 3.31 การกำหนดรูปแบบผนังที่อยู่ติดภายนอกอาคาร (ซ้าย) และผนังภายในอาคาร (ขวา)...	74
ภาพที่ 3.32 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD).....	75
ภาพที่ 3.33 ตัวอย่างผังอาคารและระบบปรับอากาศของโปรแกรม Visual DOE 4.1 (ที่มา: โปรแกรม Visual DOE 4.1).....	76
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งตรวจวัดค่าความเร็วลม 8 ตำแหน่งด้านบนและด้านล่าง.....	77
ภาพที่ 4.2 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 30.....	79
ภาพที่ 4.3 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 25.....	79
ภาพที่ 4.4 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 20.....	80

ภาพที่ 4.5 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 15.....	80
ภาพที่ 4.6 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 10.....	80
ภาพที่ 4.7 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV_aa ชั้นที่ 5.....	80
ภาพที่ 4.8 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45_ab ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านบน.....	90
ภาพที่ 4.9 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45_ab ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านล่าง.....	91
ภาพที่ 4.10 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45_ab ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน.....	91
ภาพที่ 4.11 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45_ab ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง.....	92
ภาพที่ 4.12 รูปตัดเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45_ab ชั้นที่ 5 ทั้ง 8 ตำแหน่ง เพื่อวิเคราะห์ พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุม.....	92
ภาพที่ 4.13 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ aa, ab และ ac.....	93
ภาพที่ 4.14 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ bb, ba และ bc.....	96
ภาพที่ 4.15 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ cc, ca และ cb.....	99
ภาพที่ 4.16 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 30.....	106
ภาพที่ 4.17 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 25.....	106
ภาพที่ 4.18 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 20.....	106
ภาพที่ 4.19 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 15.....	106
ภาพที่ 4.20 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 10.....	107
ภาพที่ 4.21 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF_a ชั้นที่ 5.....	107

ภาพที่ 4.22 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45_cb ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านบน.....	117
ภาพที่ 4.23 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45_cb ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านล่าง.....	117
ภาพที่ 4.24 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45_cb ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน .....	118
ภาพที่ 4.25 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45_cb ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง.....	118
ภาพที่ 4.26 รูปตัดเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45_cb ชั้นที่ 5 ทั้ง 8 ตำแหน่ง เพื่อวิเคราะห์ พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก .....	119
ภาพที่ 4.27 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ aa, ab และ ac.....	120
ภาพที่ 4.28 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ bb, ba และ bc.....	123
ภาพที่ 4.29 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ cc, ca และ cb.....	126
ภาพที่ 4.30 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV_cb ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านบน .....	133
ภาพที่ 4.31 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV_cb ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านล่าง.....	133
ภาพที่ 4.32 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV_cb ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน .....	134
ภาพที่ 4.33 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV_cb ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง.....	134
ภาพที่ 4.34 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ aa, ab และ ac.....	135

ภาพที่ 4.35 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ bb, ba และ bc.....	138
ภาพที่ 4.36 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ cc, ca และ cb.....	141
ภาพที่ 4.37 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45_ab ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านบน .....	148
ภาพที่ 4.38 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45_ab ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านล่าง.....	148
ภาพที่ 4.39 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45_ab ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน .....	149
ภาพที่ 4.40 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45_ab ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง.....	149
ภาพที่ 4.41 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ aa, ab และ ac.....	150
ภาพที่ 4.42 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางทำมุม 45° เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ bb, ba และ bc.....	153
ภาพที่ 4.43 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางทำมุม 45° เกล็ดระบายอากาศ รูปแบบ cc, ca และ cb.....	156
ภาพที่ 5.1 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ แบบที่ 1 .....	178
ภาพที่ 5.2 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ แบบที่ 2 .....	179
ภาพที่ 5.3 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางทำมุม (ซ้าย) และทิศทางตั้งฉาก (ขวา)....	180

## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 1.1 การเปรียบเทียบปริมาณที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จ จดทะเบียนของปี พ.ศ. 2556 และปี พ.ศ. 2557 .....	1
แผนภูมิที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	9
แผนภูมิที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนของกรุงเทพมหานคร (ที่มา: Chalermwat Tantasavasdi and others, Predicting Airflow in Naturally-ventilated Generic House) .....	28
แผนภูมิที่ 2.2 อัตราการระบายอากาศ 8 กรณีตามระดับความสูง 12 ชั้น (ที่มา: Mohamed M. F. และคณะ, A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings).....	38
แผนภูมิที่ 2.3 อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 4-6 ของอาคาร 3 รูปแบบ (ที่มา: Cui, D.J. และคณะ, Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilation building).....	40
แผนภูมิที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในอาคาร เฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 วัน ตลอดทั้งปี.....	49
แผนภูมิที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในอาคาร เฉลี่ยเวลา 18.00 น. ทั้ง 4 ทิศทาง.....	50
แผนภูมิที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของการระบายอากาศกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร รายชั่วโมงวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด (บน) และอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด (ล่าง).....	51
แผนภูมิที่ 3.4 ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงเมื่อแทนค่าตามสมการ.....	56
แผนภูมิที่ 4.1 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	82
แผนภูมิที่ 4.2 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	84
แผนภูมิที่ 4.3 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก.....	86



แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด.....	87
แผนภูมิที่ 4.5 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมทำ มุม.....	95
แผนภูมิที่ 4.6 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมทำ มุม.....	98
แผนภูมิที่ 4.7 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมทำ มุม.....	101
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด.....	103
แผนภูมิที่ 4.9 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	109
แผนภูมิที่ 4.10 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	111
แผนภูมิที่ 4.11 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	113
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก.....	114
แผนภูมิที่ 4.13 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมทำ มุม.....	122
แผนภูมิที่ 4.14 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมทำ มุม.....	125
แผนภูมิที่ 4.15 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมทำ มุม.....	128
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม.....	129
แผนภูมิที่ 4.17 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	137

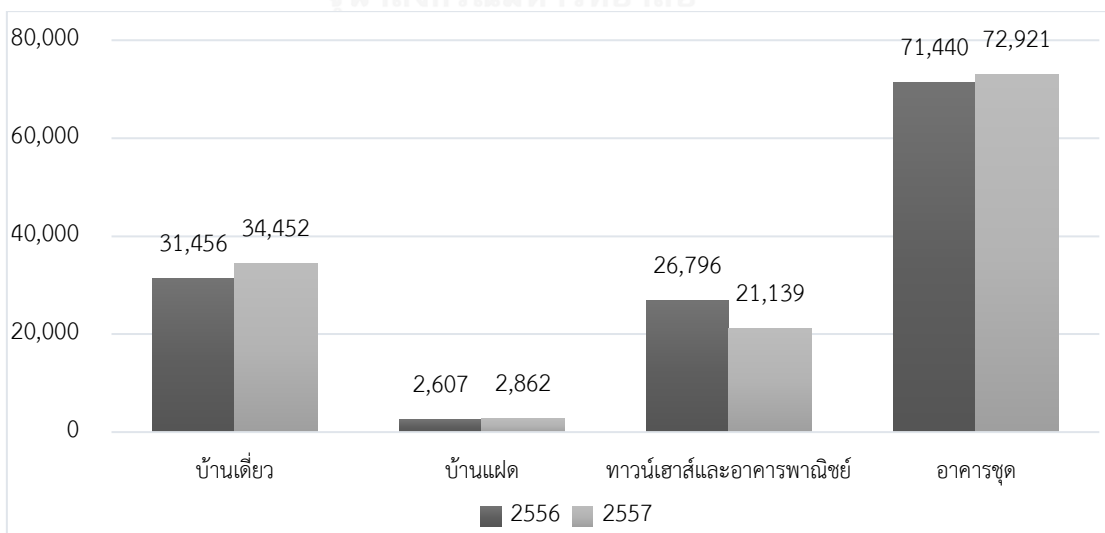
แผนภูมิที่ 4.18 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	140
แผนภูมิที่ 4.19 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมตั้ง ฉาก.....	143
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก .....	144
แผนภูมิที่ 4.21 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมทำ มุม.....	152
แผนภูมิที่ 4.22 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมทำ มุม.....	155
แผนภูมิที่ 4.23 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมทำ มุม.....	158
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม.....	159
แผนภูมิที่ 4.25 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของห้องพักต่อปี เมื่อเพิ่มอัตราการระบาย อากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ .....	163
แผนภูมิที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรายชั่วโมง ของวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ของปี .....	164
แผนภูมิที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรายชั่วโมง ของวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด ของปี .....	164
แผนภูมิที่ 4.28 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของอาคารแต่ละแบบ ทิศทางลม 2 ทิศทาง .....	165
แผนภูมิที่ 5.1 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของห้องพักต่อปี เมื่อเพิ่มอัตราการระบาย อากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ .....	175

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรุงเทพมหานคร เมืองที่มีความเป็นเอกนคร (Primate city) สูงสุดเมืองหนึ่งของโลกตามคำกล่าวของ Sternstein [1] เป็นมหานครที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่ 15 ของโลก ความหนาแน่นของประชากรในเขตเมืองหลวงสูงเป็นอันดับที่ 4 ของภูมิภาคอาเซียน 5,300 คนต่อตารางกิโลเมตร รองจากกรุงมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ ประเทศสิงคโปร์ และกรุงกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย [2] เนื่องจากลักษณะความเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ การเมือง วัฒนธรรมและการลงทุน จึงเกิดการอพยพของประชากรเข้าสู่เมืองหลวงเพื่อโอกาสการทำงานที่สูงกว่าส่วนอื่นของประเทศ การขยายตัวของเมืองนำไปสู่การวางแผนจัดการพื้นที่ใช้สอยและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่พักอาศัยจากบ้านเดี่ยวเป็นอาคารชุดพักอาศัยในพื้นที่ที่มีจำกัดใจกลางเมืองหลวง จากข้อมูลโครงการที่อยู่อาศัยภาคเอกชนเปิดตัวใหม่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลปี พ.ศ. 2557 โดยการเคหะแห่งชาติ [3] มีสัดส่วนอาคารชุดพักอาศัยคิดเป็นร้อยละ 73 รองลงมาเป็นทาวน์เฮาส์ และบ้านเดี่ยว จากจำนวนที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปี พ.ศ. 2557 [4] ประกอบด้วยอาคารชุด 72,921 หน่วย เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าคิดเป็นร้อยละ 2 บ้านเดี่ยว 34,452 หน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ส่วนทาวน์เฮาส์และอาคารพาณิชย์ 21,139 หน่วย มีการปรับตัวลดลงคิดเป็นร้อยละ 16 จากปี พ.ศ. 2556 ตามแผนภูมิที่ 1.1



แผนภูมิที่ 1.1 การเปรียบเทียบปริมาณที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนของปี พ.ศ. 2556 และปี พ.ศ. 2557

ปริมาณพื้นที่จำกัดใจกลางเมืองทำให้ยากต่อการวางผังอาคารให้อยู่ในตำแหน่งทิศทางแดดและลมที่เหมาะสมสำหรับทุกหน่วยพักอาศัย ดังนั้น การติดตั้งเครื่องปรับอากาศจึงกลายเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้กับผู้พักอาศัยในโครงการได้ สิ่งก็ตามมาก็คือ ภาระค่าไฟฟ้า ตามข้อมูลทางสถิติของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [5] พบว่า ร้อยละ 70.9 ของการใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนในเมืองมาจากเครื่องปรับอากาศ สอดคล้องกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศในปี พ.ศ. 2559 [6] เกิดขึ้นในช่วงกลางวัน ต่างจากปกติที่ส่วนมากจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 14.00 – 15.00 น. ของวันทำงาน แสดงให้เห็นถึงวิถีชีวิตกับลักษณะการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า และสิ่งอำนวยความสะดวกที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อพิจารณาจากลักษณะสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและอยู่ภายใต้อิทธิพลลมมรสุมตลอดทั้งปีของประเทศไทย จะพบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้เกิดความรู้สึกไม่สบายจากการไม่สามารถระบายเหงื่อหรือความเปียกชื้นออกจากผิวหนังได้โดยง่าย ดังนั้นหลักการออกแบบอาคารในเขตร้อนชื้นคือ การบังแดดเพื่อลดความร้อนและการเพิ่มความเร็วลมเพื่อลดความอึดอัดจากความเปียกชื้นที่ผิวหนัง [7] ในบทความปริทัศน์เรื่องการออกแบบโดยวิธีธรรมชาติเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิในเขตอากาศร้อนชื้น [8] ได้แนะนำการระบายอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานและการพึ่งพิงระบบเชิงกล ด้วยการใช้ประโยชน์จากการลอยตัวของอากาศร้อนตามธรรมชาติ (Buoyancy effect) และความเร็วลม (Wind effect)

จากการสำรวจอาคารชุดพักอาศัยขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลปี พ.ศ. 2554 – 2557 รวม 117 อาคาร โดยدنุสรณ์ บัวขจร [9] อภิญา บุญมา [10] และไยชมภู นาคประสิทธิ์ [11] สามารถจำแนกตามระบบทางเดินภายในอาคารได้ 2 ลักษณะคือ ผังอาคารที่มีทางเดินร่วม (Double loaded corridor) และผังอาคารที่มีทางเดินรอบแกนบริการ (Point blocked corridor) ซึ่งเป็นการวางผังในลักษณะที่ห้องพักในอาคารส่วนใหญ่จะมีด้านที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว (Single sided ventilation) เป็นข้อจำกัดต่อการใช้วิธีการระบายอากาศทางธรรมชาติให้ได้อย่างทั่วถึง จากการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารชุดพักอาศัยที่มีช่องเปิดด้านเดียว โดย Camille Allocca และคณะ [12] พบว่า ตำแหน่งช่องเปิดที่ผนัง 2 ส่วนแยกกันส่งผลให้อัตราการระบายอากาศภายในเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องเปิดบานใหญ่บานเดียวในขนาดพื้นที่ช่องเปิดที่เท่ากัน Mohamed M. F. และคณะ [13] ได้มีการนำรูปแบบช่องเปิด 2 ส่วนแยกกันบนผนังเดียวกันนั้น มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารสูงพักอาศัยที่มีระเบียบเป็นส่วนประกอบ รวมไปถึงการเพิ่มอัตราการระบายอากาศในอาคารชุดพักอาศัยใต้ข้อจำกัดของมลภาวะทางอากาศและเสียง โดย D.J. Cui และคณะ [14] ซึ่งเป็นรูปแบบช่องเปิดที่สอดคล้องกับแนวทางการออกแบบ Guideline on Design and Construction Requirements for Energy

Efficiency of Residential Building 2014 โดย Residential sector เขตปกครองพิเศษฮ่องกง [15] และแนวทางในการออกแบบอพาร์ทเมนต์ (Apartment Design Guide 2015 NSW Department of Planning and Environment) ประเทศออสเตรเลีย [16] ได้กล่าวถึงหลักการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยที่มีช่องเปิดเชื่อมกับภายนอกเพียงด้านเดียวไว้ว่า ควรออกแบบให้มีช่องเปิด 2 ช่องขึ้นไปแยกจากกัน ความลึกห้องพัก (room depth, W) ควรมีการออกแบบเป็น 2 เท่าของความสูง (floor to ceiling, H)  $W < 2H$  หรือสามารถเพิ่มความลึกของห้องพักเป็น 2 เท่าครึ่ง  $W < 2.5H$  ได้หากมีการออกแบบให้ช่องลมเข้า (inlet) และช่องลมออก (outlet) มีความสูงห่างกัน 1.50 เมตร

รูปแบบช่องเปิดในลักษณะ Monsoon window จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการระบายอากาศแบบ single sided ventilation การศึกษาการออกแบบช่องเปิดระบายอากาศสำหรับอาคารสูงที่คำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงานในเขตร้อนชื้น โดย Geoffrey Bawa [17] ได้มีการพัฒนาช่องเปิดที่สามารถระบายอากาศได้ในขณะที่ฝนตก สำหรับอาคารสำนักงาน Bioclimatic facade ประกอบด้วยรูปแบบดั้งเดิม 4 ลักษณะ คือ ช่องระบายอากาศส่วนบน หน้าต่างบานหลัก แผงกันแดดทางนอน (overhang) และช่องเปิดระบายอากาศทางนอน (monsoon window slot) ส่วน WOHA architects ได้มีการพัฒนาเปลือกอาคารสำหรับอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูง ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [18] ที่ออกแบบโดยใช้หลักวิธีการทางธรรมชาติ (passive design) โดยการพัฒนาเปลือกอาคาร Monsoon window ให้อาคารสามารถระบายอากาศได้ในขณะที่มีฝนตก

ส่วนลักษณะช่องเปิดนั้นได้มีการศึกษาวิธีการเปิดและปิดของเกล็ดระบายอากาศระหว่างห้องน้ำ (louver door) กับพื้นที่ห้องที่มีการปรับอากาศ โดย Daranee Lehtonen และคณะ [19] ภายใต้สภาพอากาศร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศที่มีความชื้นจากห้องน้ำ พบว่า รูปแบบช่องเปิดแบบเกล็ดปรับมุม (adjustable slats) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศชื้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบบานเปิดด้านข้าง บานเลื่อน และบานเลื่อนแบบซ่อน

ซึ่งรูปแบบช่องเปิดตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถตอบสนองวิธีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศสำหรับอาคารชุดพักอาศัย โดยสามารถเปิดระบายอากาศได้ตามเวลาที่เหมาะสมแม้ในขณะที่ไม่มีผู้ใช้งานอาคารก็ตาม แต่ก็ยังสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้อย่างดีเมื่อเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาแนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ สำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม (Double loaded corridor) ที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว (Single sided ventilation)

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิดประเภทเกล็ดระบายอากาศ

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในห้องพัก และค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

1.2.4 เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาภายใต้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศภายใต้ความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2558 จากกรมอุตุนิยมวิทยา คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.65 เมตรต่อวินาที ทิศทางลม 2 ทิศทาง คือ ทิศทางลมตั้งฉากและทำมุม  $45^{\circ}$  กับผนังอาคาร เสมือนไม่มีสิ่งกีดขวางทิศทางลมก่อนปะทะกับตัวอาคาร

1.3.3 คำนวณอัตราการระบายอากาศของช่องเปิดแต่ละรูปแบบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) ด้วยอิทธิพลของความเร็วลมเพียงอย่างเดียว

1.3.4 คำนวณอุณหภูมิอากาศภายในห้องพัก และค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1

1.3.5 ในการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ให้เสมือนปิดประตูทางเข้าห้องพัก เปิดประตูห้องน้ำภายในห้องพักกรณีระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ปิดประตูห้องน้ำภายในห้องพักกรณีเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ และไม่ได้รับอิทธิพลจากเฟอร์นิเจอร์ภายใน ทั้งในการคำนวณอัตราการระบายอากาศและการกีดขวางทิศทางลม

1.3.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องพัก ภายใต้สภาพแวดล้อม 2 แบบ คือ ในวันที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุด วันที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด

1.3.7 งานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะห้องพักกลางอาคาร เพื่อให้สามารถควบคุมตัวแปรและข้อจำกัดทางด้านเวลาได้

## 1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

### 1.4.1 การทบทวนวรรณกรรม และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1.4.1.1 ศึกษาลักษณะการไหลเวียนอากาศผ่านอาคาร

#### 1.4.1.2 ศึกษาการออกแบบช่องเปิดสำหรับอาคารพักอาศัยรวม

#### 1.4.1.3 ศึกษาวิธีการออกแบบอาคารที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกด้านเดียว (Single sided ventilation)

#### 1.4.1.4 การศึกษารูปแบบ การวางผัง และพฤติกรรมการใช้งานอาคารประเภทอาคารพักอาศัยรวมในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อกำหนดรูปแบบอาคารอ้างอิง และพฤติกรรมการใช้งานอาคารที่จะใช้ในการศึกษา

#### 1.4.1.5 การจำลองประสิทธิภาพช่องเปิดรูปแบบเกล็ดระบายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และการกำหนดค่าพารามิเตอร์

#### 1.4.1.6 การจำลองอาคารอ้างอิงในโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อประมวลผลข้อมูลรายชั่วโมง (Hourly report) ของอุณหภูมิภายในห้องพักและค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

### 1.4.2 การจำลองอาคารเบื้องต้นเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานงานวิจัย

สมมุติฐานงานวิจัย : อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง

โดยจำลองอาคารผ่านโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Temperature; °C) กำหนดให้มีการระบายอากาศก่อนการเปิดเครื่องปรับอากาศ แสดงผลเป็นค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องพักรายชั่วโมงตลอดปี 365 วัน 8,760 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในที่เกิดขึ้นของวันที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดของปี วันที่อุณหภูมิต่ำสุดของปี และลักษณะอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี

### 1.4.3 การกำหนดรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

จากการทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศสำหรับอาคารที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว นำมาประมวลผลเพื่อกำหนดรูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ในการจำลองในขั้นตอนต่อไป

#### 1.4.4 การกำหนดตัวแปร

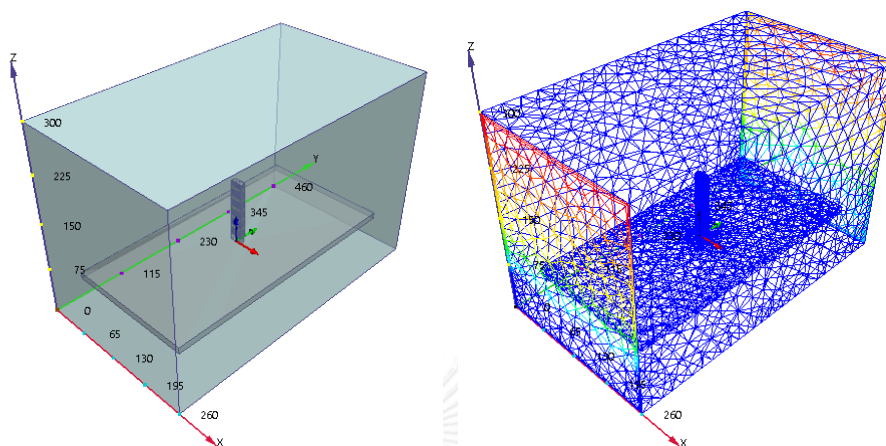
- |              |   |
|--------------|---|
| ตัวแปรต้น    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ 9 รูปแบบ</li> <li>- ระดับความสูงของห้องพัก 6 ระดับ (ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30)</li> <li>- การติดตั้งครีบนั่งแนวตั้ง</li> <li>- การเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศเชื่อมต่อกับโถงทางเดินกลางอาคาร</li> <li>- ทิศทางลมภายนอก 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตั้งฉาก และทำมุม <math>45^{\circ}</math> กับผนังอาคาร</li> </ul>   |
| ตัวแปรตาม    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราการระบายอากาศ</li> </ul>  |
| ตัวแปรควบคุม | <ul style="list-style-type: none"> <li>- รูปแบบอาคาร double loaded corridor ทางเดินกลางกว้าง 1.50 เมตร ห้องพักขนาด 6x8 เมตร 24 ห้องต่อชั้น จำนวน 30 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 3.20 เมตร</li> <li>- ค่าความเร็วลมตั้งต้น ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอากาศในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2558 จากกรมอุตุนิยมวิทยา คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.65 เมตรต่อวินาที โดยมีการเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง</li> <li>- การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมไว้ไม่ต่ำกว่าสัดส่วนที่แนะนำตาม Autodesk CFD Knowledge Network [20]</li> </ul> |

#### 1.4.5 การจำลองช่องเปิดประเภทเกล็ดระบายอากาศผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD)

จำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละรูปแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Sketch up 2016 (\*.skp) แปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ ACIS (\*.sat) Geometric modeling ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2015 เพื่อให้ได้แบบจำลองอาคารที่สามารถใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของของไหลในโปรแกรม Autodesk CFD Simulation 2015 ทำการประมวลผล แล้วจึงนำข้อมูลความเร็วลมที่ช่องลมเข้าของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละรูปแบบมาคำนวณตามสูตรทาง



คณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft excel 2016 ได้ออกมาเป็นข้อมูลอัตราการระบายอากาศของช่องเปิดแต่ละรูปแบบ ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 6 ระดับ ภายใต้ทิศทางลม 2 ทิศทาง



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างการจำลองสภาพแวดล้อมและรูปแบบ mesh sizing model จากโปรแกรม Autodesk CFD simulation 2015

#### 1.4.6 การจำลองค่าการใช้พลังงานอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

สร้างแบบจำลองอาคารอ้างอิง โดยกำหนดค่าอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศจากผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของขั้นตอนก่อนหน้า ประมวลผลออกมาเป็นค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และอุณหภูมิอากาศภายในห้องพัก รายชั่วโมง (Hourly report)

#### 1.4.7 การวิเคราะห์ผลข้อมูล ประเมิน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่องเปิด

##### 1.4.7.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่องเปิดเกิดระบายอากาศแต่ละแบบ

1.4.7.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องพัก เมื่อเกิดการระบายอากาศ (14 ระดับ) ก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ในวันที่อุณหภูมิสูงสุดและวันที่อุณหภูมิต่ำที่สุดของปี

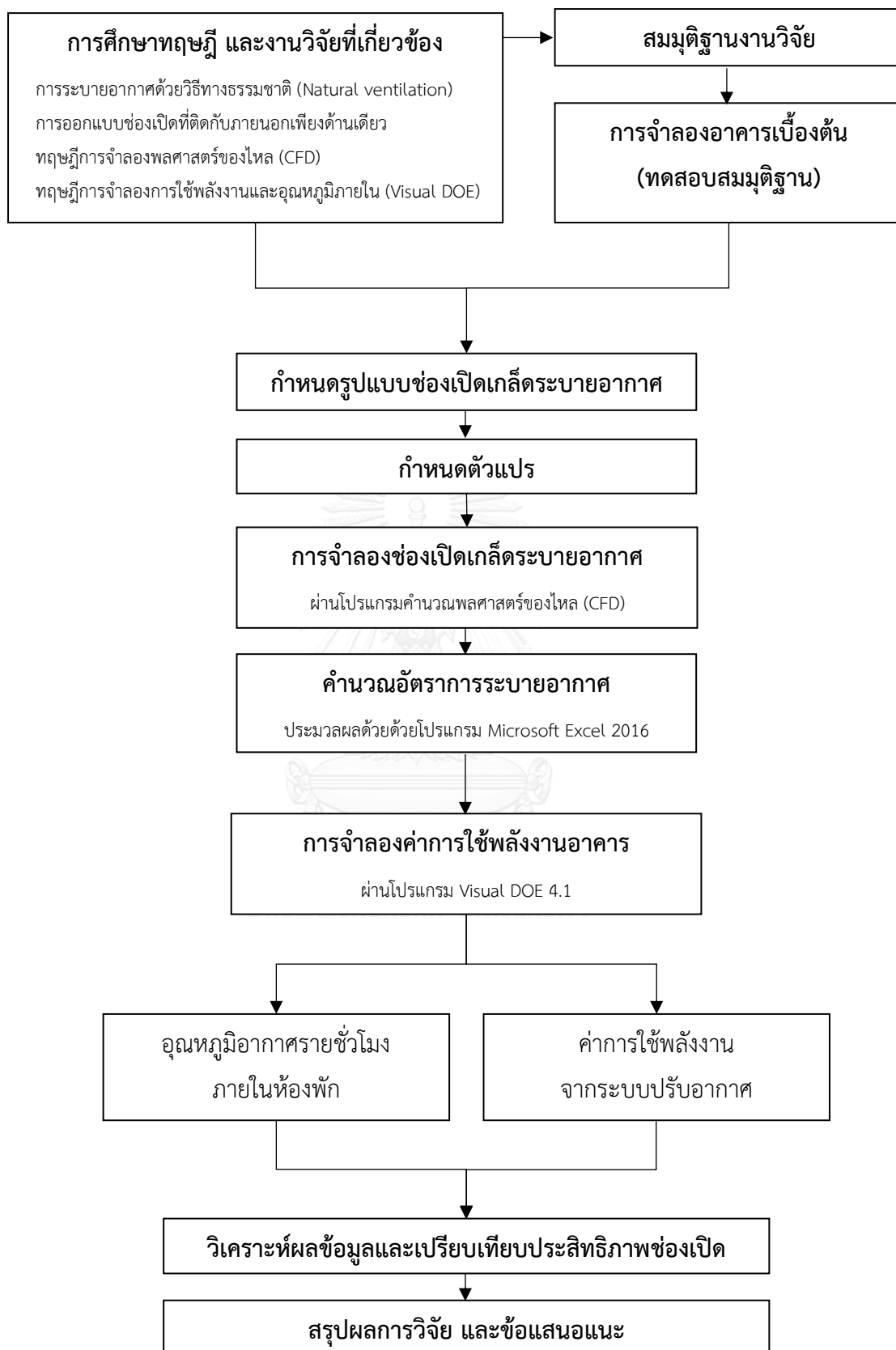
1.4.7.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เมื่อเกิดการระบายอากาศ (14 ระดับ) ก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ

1.4.8 สรุปผลการวิจัย เพื่อเสนอรูปแบบช่องเปิดเกิดระบายอากาศที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบแนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.5.2 ทราบอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นในช่องเกล็ดระบายอากาศแต่ละรูปแบบ
- 1.5.3 ทราบอุณหภูมิภายในห้องพักและค่าการใช้พลังงานของช่องเปิดแต่ละรูปแบบ
- 1.5.4 ทราบรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานและอุณหภูมิภายในห้องพักได้





แผนภูมิที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 2

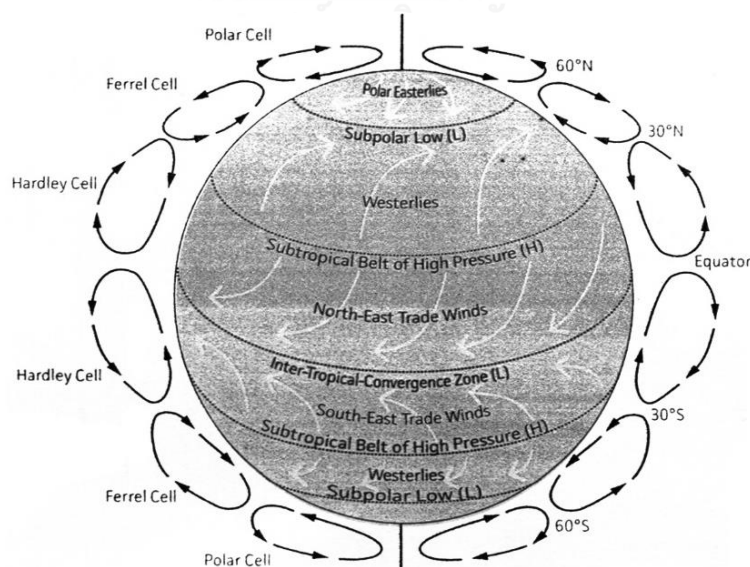
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศและความเป็นไปได้ของการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ เกณฑ์ มาตรฐานและแนวทางในการออกแบบ และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ

##### 2.1.1 กระแสลม (Air flow)

เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในแนวราบ โดยทั่วไปนั้นจะเกิดขึ้นจากความแตกต่างกันของความกดอากาศ (Pressure Differential) และความแตกต่างกันของอุณหภูมิ (Temperature Differential) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมจากที่ที่มีความกดอากาศสูงสู่ที่ที่มีความกดอากาศต่ำกว่า ซึ่งหากความแตกต่างของความกดอากาศทั้งสองที่มีมาก ลมก็จะยิ่งพัดแรง ส่วนการเคลื่อนที่ของกระแสลมเมื่อพื้นที่ที่หนึ่งมีอุณหภูมิสูงนั้น อากาศร้อนจะเกิดการขยายตัว ความหนาแน่นลดลง ความกดอากาศลดต่ำจึงลอยตัวสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณอากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าไหลเข้ามาแทนที่จึงเกิดลมขึ้น จากหลักการข้างต้นสามารถอธิบายลักษณะการหมุนเวียนของกระแสลมโลกได้เป็น 3 ลักษณะ ตามภาพที่ 2.1 คือ



ภาพที่ 2.1 การหมุนเวียนของกระแสลมโลก  
(ที่มา : Krautheim, M., City and wind)

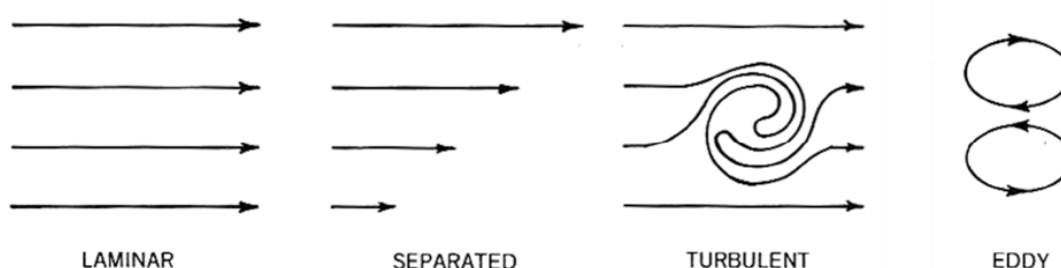
1) Hardley cell ขนาดวงรอบใหญ่ที่สุด เกิดจากกระแสลมบริเวณเส้นศูนย์สูตรที่รังสีอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับผิวโลกเกือบตลอดปี อากาศมีอุณหภูมิสูงลอยตัวสูงขึ้นเคลื่อนที่ไปยังขั้วโลกทั้งสองด้าน ปะทะกับอากาศเย็นบริเวณเส้นละติจูด  $30^\circ$  ทางตอนเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร อากาศที่เย็นตัวก็จะจมลงกลับสู่ผิวโลกไหลกลับไปยังบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรก่อนจะหมดกำลังลง

2) Ferrel cell กระแสลมอีกชุดที่เกิดจากอากาศเย็นที่จมตัวลงกลับสู่ผิวโลกบริเวณเส้นละติจูด  $30^\circ$  เหนือและใต้ แต่แทนที่จะไหลกลับไปขั้วโลกกลับเคลื่อนที่ต่อไปยังขั้วโลกเหนือและใต้ ปะทะกับอากาศที่เย็นกว่าบริเวณเส้นละติจูด  $60^\circ$  เหนือและใต้ อากาศร้อนจึงลอยตัวขึ้นไหลย้อนกลับไปทางเส้นศูนย์สูตร และจมตัวลงที่เส้นละติจูด  $30^\circ$  เหนือและใต้อีกครั้ง ส่งผลให้เกิดความกดอากาศสูงเพิ่มขึ้นที่บริเวณดังกล่าว

3) Polar cell กระแสลมร้อนที่บริเวณเส้นละติจูด  $60^\circ$  เหนือและใต้ที่ลอยตัวสูงขึ้นแล้วเคลื่อนตัวต่อไปยังขั้วโลกเหนือและใต้ เมื่อปะทะกับอากาศเย็นของขั้วโลกอากาศก็จะเย็นตัวและจมลง ไหลกลับไปยังบริเวณเส้นละติจูด  $60^\circ$  เหนือและใต้อีกครั้ง

### 2.1.2 การไหลของกระแสลม

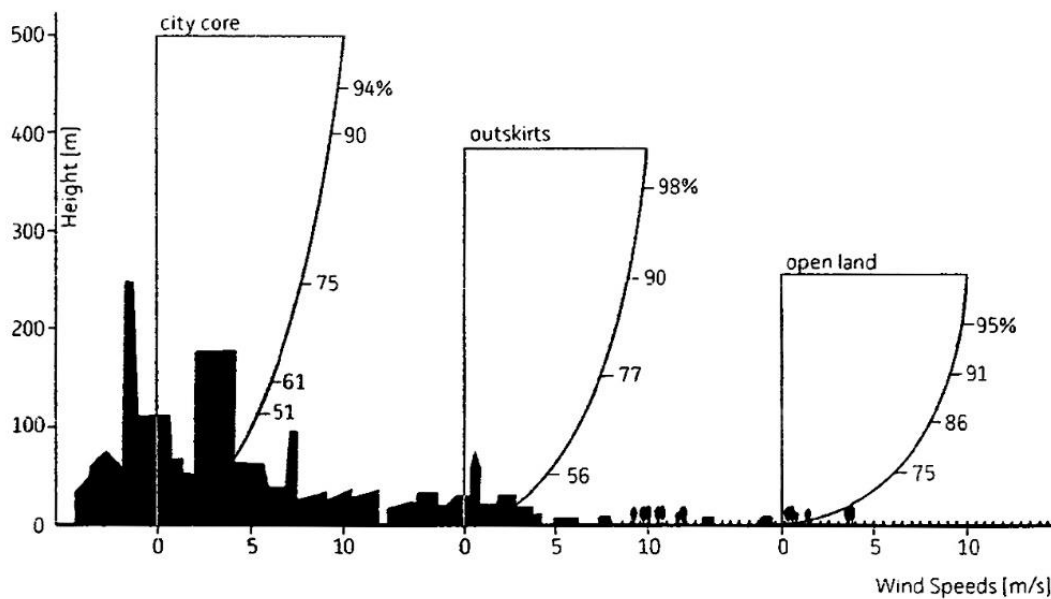
อากาศนั้นมีลักษณะเป็นมวลสารจึงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเสมอ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำจะเกิดการเบี่ยงเบนไปชั่วขณะ หลังจากนั้นจะพยายามกลับมาเคลื่อนที่ในทิศทางเดิม สามารถแบ่งรูปแบบการไหลของกระแสลมได้เป็น 4 รูปแบบ คือ แบบสม่ำเสมอ (Laminar) แบบไม่สม่ำเสมอ (Separated) แบบลมแปรปรวน (Turbulent) และแบบลมหมุน (Eddy) ซึ่งรูปแบบการไหลของกระแสลมแบบสม่ำเสมอนั้นเป็นลมที่พัดอย่างอิสระไม่มีสิ่งกีดขวางทิศทางลม จึงสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แต่เมื่อลมเกิดแรงเสียดทานกับผิวของวัตถุที่พัดผ่านทำให้มีลักษณะการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ และเมื่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีกำลังมากถึงจุดหนึ่งจะเกิดเป็นรูปแบบลมแปรปรวนไปจนถึงการเกิดเป็นลมหมุน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของวัตถุนั้น ๆ ความเร็วลมและทิศทางการไหลของลมด้วย



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการไหลของกระแสลม

(ที่มา : Lechner, N., Heating Cooling Lighting)

ดังนั้น เมื่อกระแสลมเข้าใกล้พื้นดินจะมีความเร็วลมลดลงทางแนวดิ่ง เนื่องจากแรงเสียดทาน (friction) ที่เกิดขึ้นกับผิวดิน ภายใต้หลักการเดียวกันเมื่อกระแสลมพัดผ่านภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกันจึงเกิดรูปแบบการไล่ระดับของความเร็วม (gradient wind) ของพื้นที่เขตเมืองหลวง เขตชานเมือง และเขตชนบท โดยที่ระดับความสูงเดียวกัน พื้นที่ชนบทจะมีความเร็วลมที่สูงกว่าพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่ชานเมือง เนื่องจากแรงเสียดทานของกระแสลมที่ปะทะกับสิ่งก่อสร้างสูงกว่าตามภาพที่ 2.3



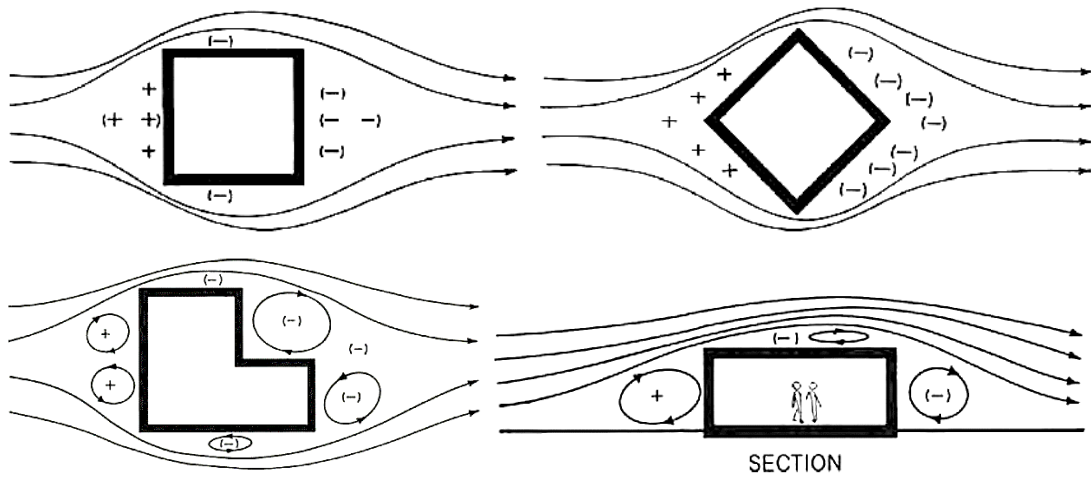
ภาพที่ 2.3 ความเร็วลมกับลักษณะภูมิประเทศ

(ที่มา : Krautheim, M., City and wind)

ความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติจะแปรผันตรงกับระดับความสูงคือ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วลมก็เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามสมการตามสมการ

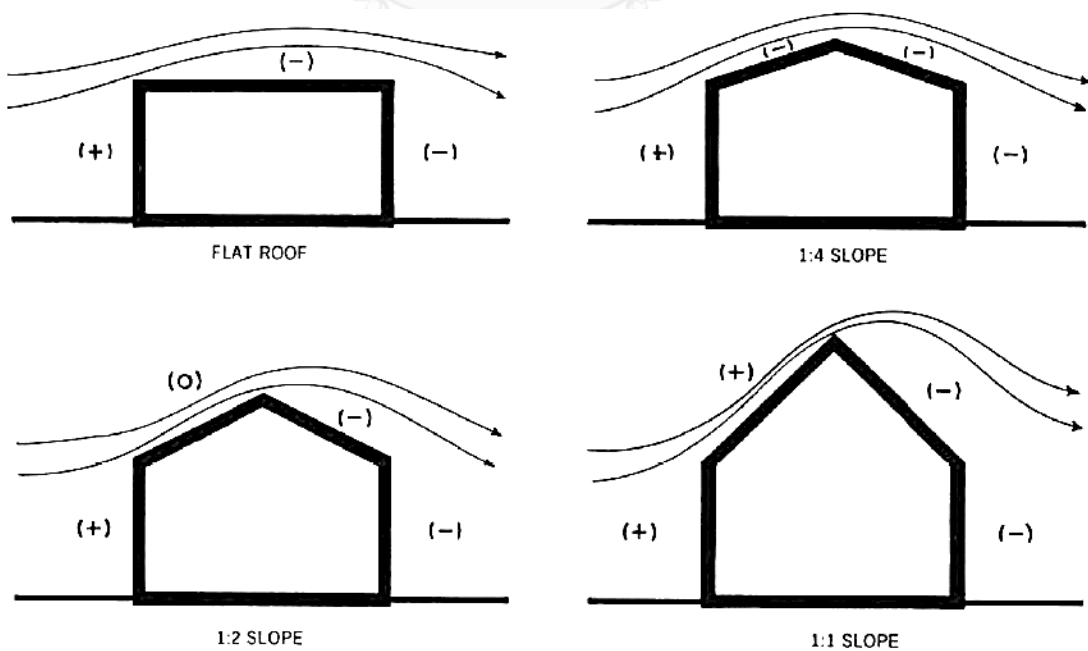
$$V_z/V_g = \left( Z/Z_g \right)^\alpha \quad (2.1)$$

- |       |          |   |
|-------|----------|---|
| เมื่อ | $V_z$    | คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการ (เมตรต่อวินาที)          |
|       | $V_g$    | คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิง (เมตรต่อวินาที)             |
|       | $Z$      | คือ ระดับความสูงที่ต้องการ (เมตร)                                   |
|       | $Z_g$    | คือ ระดับความสูงอ้างอิง (เมตร)                                      |
|       | $\alpha$ | คือ ดัชนีความเสียดทานผิว ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.4 (สำหรับเมืองใหญ่) |



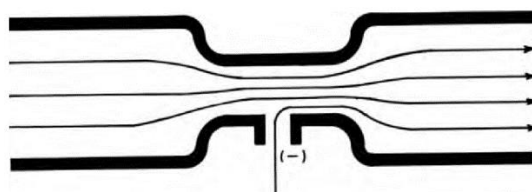
ภาพที่ 2.4 การกระจายตัวของความกดอากาศรอบอาคารกับการไหลของกระแสลม  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

เมื่อกระแสลมปะทะกับอาคารด้านปะทะลมจะเกิดความกดอากาศสูง (Positive pressure) ส่วนด้านหลังลมจะถูกดูดออกเกิดความกดอากาศต่ำ (Negative pressure) ลักษณะการกระจายตัวของความกดอากาศรอบอาคารนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงรูปแบบการไหลของกระแสลม พื้นที่ที่กดอากาศต่ำนั้นไม่ได้หมายถึงลมสงบ แต่จะเกิดการไหลของกระแสลมแบบลมแปรปรวนและลมหมุนตามภาพที่ 2.4 ลักษณะความกดอากาศที่จะเกิดบริเวณหลังคานั้นจะขึ้นอยู่กับการทำมุมหรือความลาดของหลังคาตามภาพที่ 2.5

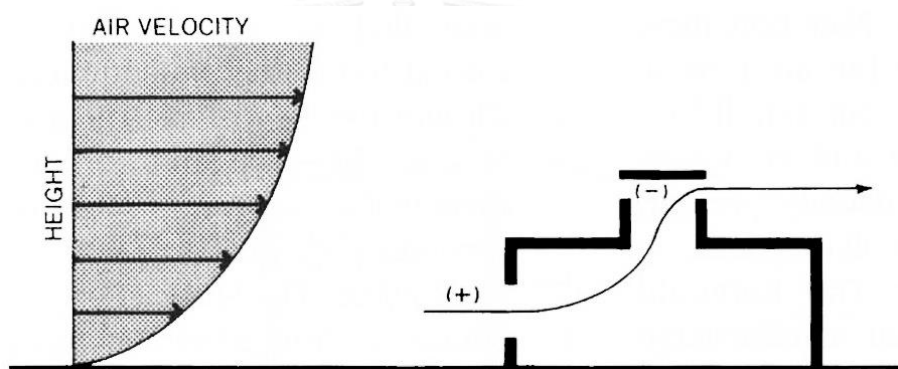


ภาพที่ 2.5 รูปแบบความกดอากาศเมื่อกระแสลมปะทะกับหลังคา  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

การไหลของกระแสลมผ่านอาคารปริมาณลมที่พัดเข้าสู่อาคารจะต้องเท่ากับปริมาณลมที่พัดออกจากอาคาร ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันอากาศลดลง (Bernoulli effect) ความกดอากาศต่ำอากาศจะเหนี่ยวนำให้กระแสลมเคลื่อนที่ไปจากพื้นที่ความกดอากาศสูงกว่า เมื่ออากาศถูกบีบให้เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่แคบความเร็วของการไหลจะเพิ่มขึ้น เรียกว่า Venturi effect



ภาพที่ 2.6 รูปแบบ Venturi tube ที่เหนี่ยวนำให้เกิด Bernoulli effect  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)



ภาพที่ 2.7 Bernoulli effect  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

### 2.1.3 การไหลของกระแสลมผ่านอาคาร

#### 2.1.3.1 การระบายอากาศ (Ventilation)

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ [23] ได้ให้คำจำกัดความการระบายอากาศไว้ว่า การระบายอากาศคือกระบวนการของการจ่ายและนำอากาศออกโดยวิธีทางธรรมชาติหรือโดยวิธีเชิงกลทั้งเข้าและออกจากพื้นที่ อากาศดังกล่าวอาจจะมีการปรับสภาวะก่อนหรือไม่ก็ได้ โดยมีหน้าที่หลัก 3 ข้อดังต่อไปนี้

1) สุขภาพของผู้ใช้งานอาคาร (Health ventilation) การระบายอากาศที่เพียงพอ ส่งผลให้คุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในสภาวะที่ไม่มีสิ่งเจือปนหรือมีอยู่ในปริมาณที่ไม่



ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้งานอาคาร โดยการกำหนดอัตราการระบายอากาศ (Ventilation rate procedure) ตามลักษณะการใช้งานพื้นที่และจำนวนผู้ใช้งาน เช่น ความต้องการอากาศภายนอก (fresh air) สำหรับพื้นที่ประเภทพักอาศัย เท่ากับ 0.35 ACH (Air Change per Hour) แต่ไม่น้อยกว่า 15 cfm (cubic feet per minute) ต่อคน ตามตารางที่ 2.1 อีกวิธีหนึ่งคือการควบคุมปริมาณมลพิษหรือสิ่งปนเปื้อนภายในอาคาร (Indoor air quality procedure) เช่น ดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ (Indoor Air Quality index) โดย Industrial Hygiene Consulting [24] กำหนดระดับ CO<sub>2</sub> ที่มีระดับความเข้มข้น 1,200 ppm (part per million) ขึ้นไปนั้นแสดงถึงคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่เหมาะสม

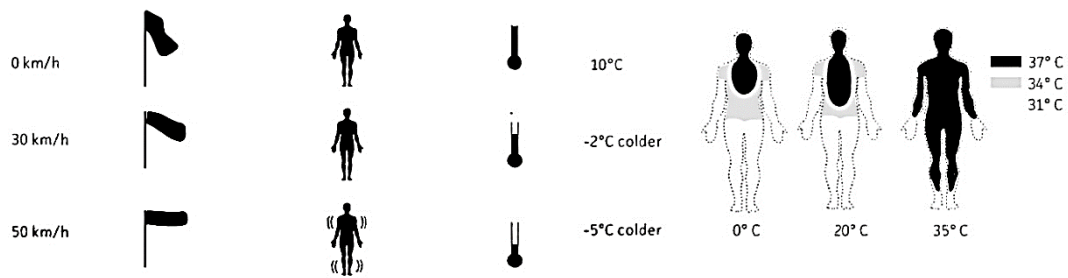
ตารางที่ 2.1 ความต้องการอากาศภายนอก สำหรับการระบายอากาศพื้นที่อยู่อาศัย

ประเภท	ความต้องการอากาศภายนอก
พื้นที่อยู่อาศัย	0.35 air change ต่อชั่วโมง แต่ไม่น้อยกว่า 15 cfm (7.5 V/s) ต่อคน
ห้องครัว	100 cfm (50 V/s) เมื่อใช้งานไม่ต่อเนื่อง 25 cfm (12 V/s) เมื่อมีการใช้งานต่อเนื่องหรือเปิดหน้าต่าง

(ที่มา : สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานการระบายอากาศ เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้)

2) สภาวะน่าสบาย (Thermal comfort ventilation) เกิดจากปัจจัย 6 อย่าง ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิจากรังสีความร้อน, ความชื้นสัมพัทธ์, อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย, เสื้อผ้าที่สวมใส่ และความเร็วลม ซึ่งการเคลื่อนที่ของกระแสลมนั้นสามารถสร้างให้เกิดสภาวะน่าสบายจากลมที่มาปะทะผิวหนังของผู้ใช้งานโดยตรง การรับรู้ของมนุษย์ต่อการเคลื่อนไหวของกระแสลมที่เข้ามาปะทะกับผิวหนัง แล้วสามารถทำให้รู้สึกถึงอุณหภูมิที่เย็นกว่าอุณหภูมิปกติ นั้น เกิดขึ้นจากอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย (ภาพที่ 2.8)

ดังนั้น ลมจึงสามารถพาความร้อนออกจากร่างกายผ่านทางผิวหนัง การหายใจ และการระเหยของเหงื่อ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิลงได้โดยที่มนุษย์จะรู้สึกเย็นลง 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 0.25 เมตรต่อวินาที [25] แต่ความเร็วลมที่มากเกินไปก็ส่งผลให้ผู้ใช้งานอาคารรู้สึกรำคาญ รบกวนการทำงานหรือสร้างความเสียหายให้กับสิ่งของได้เช่นกัน (ตารางที่ 2.2)



ภาพที่ 2.8 การรับรู้ต่ออุณหภูมิอากาศภายนอกที่ลดลงเนื่องจากผลของกระแสลม  
(ที่มา : Krautheim, M. City and wind)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับสภาวะน่าสบาย

ลำดับ	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความรู้สึกถึงอุณหภูมิที่ ลดลง	ผลที่อาจเกิดขึ้น
1	0 – 0.25	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่สามารถสังเกตเห็น
2	0.25 – 0.50	ต่ำลง 2 – 3 °F	สบาย
3	0.50 – 1.00	ต่ำลง 4 – 5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีลม เคลื่อนไหวของอากาศ
4	1.00 - 1.50	ต่ำลง 5 – 7 °F	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
5	1.50 ขึ้นไป	ต่ำลงมากกว่า 5 - 7 °F	ต้องการการแก้ไขที่ถูกต้อง

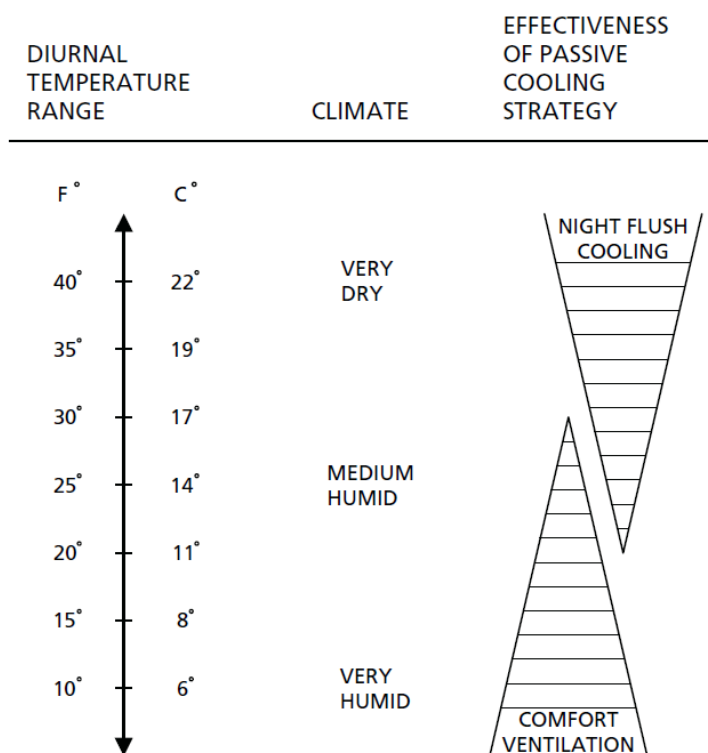
(ที่มา : สุนทร บุญญธิการ และ ธนิต จินดาวงศ์, รายงานผลการวิจัย การวิเคราะห์ภาวะน่าสบาย และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย)

3) การระบายความร้อนจากโครงสร้างอาคาร (Structure cooling ventilation) การนำอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจากภายนอกเข้ามาพาความร้อนที่สะสมอยู่ภายในโครงสร้างออกสู่ภายนอกโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง ปัจจัยสำคัญในการถ่ายเทความร้อน คือ อัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผิวของวัสดุกับฟิล์มอากาศ และเมื่ออากาศเคลื่อนที่ก็จะพาเอาความร้อนออกไปด้วย ค่าการสูญเสียความร้อนจากการระบายอากาศ สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Q_v = 1.08 \cdot V \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

เมื่อ  $Q_v$  คือ ความร้อนแฝงจากการระบายอากาศ (Btu/hr)  
 $V$  คือ อัตราการระบายอากาศ (cfm)  
 $\Delta T$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (°F)

อากาศที่เคลื่อนที่จะมีประสิทธิภาพในการรับหรือปล่อยความร้อนได้ดีกว่าอากาศนิ่ง การเปรียบเทียบการรับหรือปล่อยความร้อนของอากาศจะเป็นไปตามค่า Wind chill index เมื่อมีความเร็วลมที่ผิววัสดุ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศจะต่ำกว่าอากาศนิ่ง จึงสามารถนำความร้อนได้ดี



ภาพที่ 2.9 เทคนิคการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

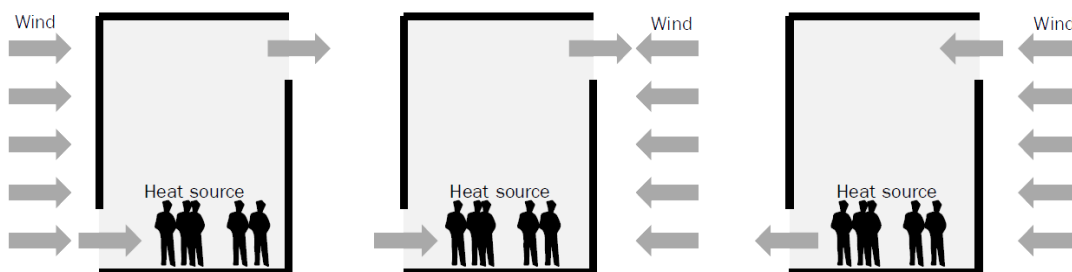
### 2.1.3.2 การระบายอากาศด้วยวิธีตามธรรมชาติ (Natural Ventilation)

การระบายอากาศตามธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ภายใน โดยผ่านทางช่องเปิดที่ตั้งใจจัดเตรียมไว้ เช่น หน้าต่าง ประตู หรือผ่านอุปกรณ์ระบายอากาศแบบที่ไม่ใช้พลังงาน หรือโดยการรั่วซึมผ่านรอยต่อของโครงสร้างต่าง ๆ รอบอาคาร การออกแบบอาคารเพื่อเอื้อต่อการระบายอากาศด้วยวิธีตามธรรมชาติ นอกจากเป็นการใช้แรงลมซึ่งไม่มีต้นทุน ในการสร้างสภาวะน่าสบายและสุขภาพที่ดีให้กับผู้ใช้งานอาคารแล้ว ยังช่วยลดการใช้พลังงานในการพึ่งพิงระบบเชิงกลได้อีกด้วย การไหลของกระแสลมผ่านอาคารนั้นเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบ คือ เกิดจากแรงลม และการลอยตัวของอากาศร้อน ดังต่อไปนี้

1) แรงลม (Wind effect) เมื่อกระแสลมปะทะกับตัวอาคาร ด้านปะทะลมจะเป็นด้านที่มีความกดอากาศสูง (Positive Pressure) และด้านหลังลมจะเป็นด้านที่มีความกดอากาศต่ำ (Negative Pressure)

2) การลอยตัวของอากาศร้อน (Buoyancy effect) เนื่องจากเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการขยายตัว ความหนาแน่นลดลง ความกดอากาศลดต่ำจึงลอยตัวสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณอากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าไหลเข้ามาแทนที่ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศจึงเป็นในลักษณะจากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูง เรียกว่า Stack effect อุณหภูมิภายในที่แตกต่างกันระหว่างช่องเปิดในแนวตั้งจะส่งผลต่ออัตราการไหลของกระแสลมได้มากกว่าอุณหภูมิภายนอก การเพิ่มอัตราการไหลสามารถทำได้โดยการออกแบบช่องเปิดให้มีขนาดใหญ่ เพิ่มระยะห่างระหว่างช่องเปิด และไม่มีสิ่งกีดขวางทิศทางลม

โดยทั้ง 2 รูปแบบนี้อาจเกิดขึ้นพร้อมกัน ทั้งแรงลมและการลอยตัวของอากาศร้อน (Combined wind and buoyancy) ตามภาพที่ 2.10 รูปแบบการระบายอากาศที่เกิดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางลมของกระแสลมขณะนั้นว่าจะส่งเสริมหรือหักล้างกับทิศทางลมไหลที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ



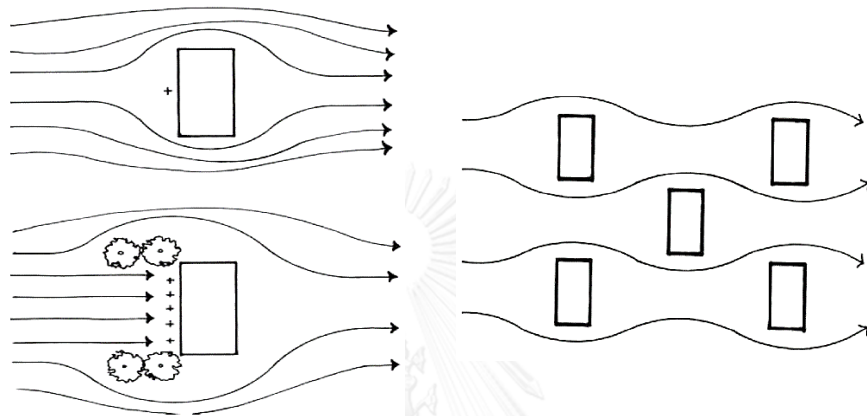
ภาพที่ 2.10 การไหลของกระแสลมเมื่อแรงลมและการลอยตัวของอากาศร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน (ที่มา : ต่อบงศ์ เจริญวิทย์การ, บทความปริทรรศน์ : การออกแบบโดยวิธีธรรมชาติเพื่อความสบายเชิงอุณหภาพในเขตอากาศร้อนชื้น)

#### 2.1.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลของกระแสลมผ่านอาคาร

การไหลของกระแสลมผ่านอาคารปริมาณลมที่พัดเข้าสู่อาคารจะต้องเท่ากับปริมาณลมที่พัดออกจากอาคาร รูปแบบการไหลของกระแสลมผ่านอาคารเกิดขึ้นจากปัจจัย 12 ชนิด คือ ตำแหน่งที่ตั้ง ทิศทางลม ตำแหน่งของหน้าต่าง ครีบนั่งทางตั้ง แผงกันแดดทางนอน ชนิดของหน้าต่าง ความสูงของหน้าต่าง ขนาดและตำแหน่งของช่องลม มุ่งลวด การระบายอากาศทางหลังคา ฝ้าลม และการวางผังภายในอาคาร ดังนี้

### 1) ตำแหน่งที่ตั้ง (Site conditions)

สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลของกระแสลม ไม่ว่าจะเป็นอาคารข้างเคียง ผนัง กำแพง และพืชพรรณโดยรอบ ได้มีการศึกษาวิธีการระบายอากาศสำหรับห้องพักด้านใต้ลมของอาคารสูงพักอาศัยแบบผังทางเดินร่วม ในเขตกรุงเทพมหานครเมื่อมีอาคารบังลม โดยเฉลิมวัฒน์ ต้นตสวัสดิ์ และดารณี จาริมิตร [26] พบว่า ควรออกแบบให้ช่องเปิดบริเวณทางเดินตรงกันและตำแหน่งอาคารควรวางอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างอาคารที่บังลม

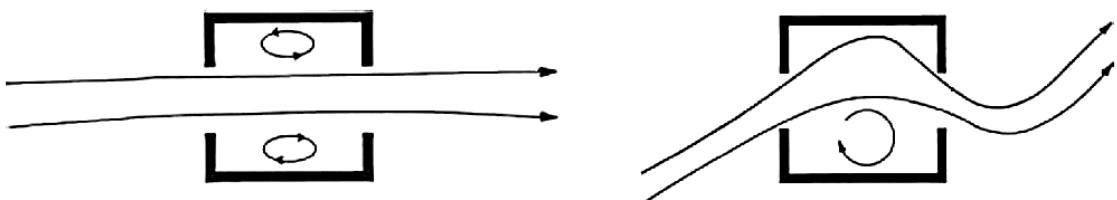


ภาพที่ 2.11 สภาพแวดล้อมโดยรอบที่ส่งผลต่อการไหลของกระแสลม

(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

### 2) ทิศทางลม (Wind direction)

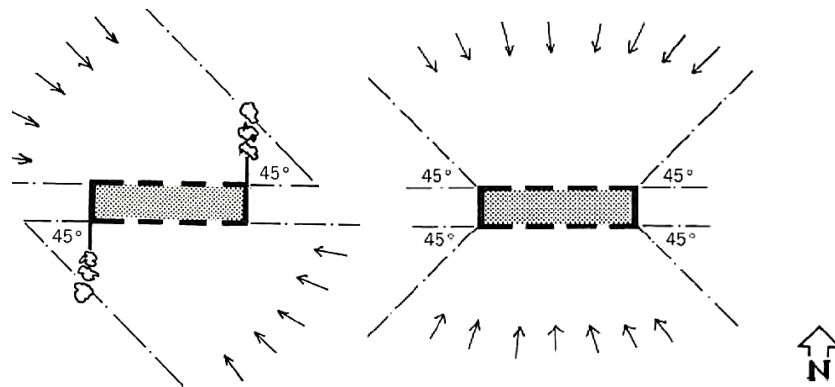
ลมที่ปะทะผนังในแนวตั้งฉากเป็นรูปแบบที่เกิดค่าความกดอากาศและความเร็วลมผ่านช่องหน้าต่างสูงสุด เมื่อลมทำมุมประมาณ  $45^\circ$  กับผิวอาคารความกดอากาศที่เกิดขึ้นจะลดลงประมาณ 0.5 เท่าของทิศทางลมแบบตั้งฉาก แต่การระบายอากาศภายในอาคารดีกว่าเนื่องจากทิศทางการไหลของกระแสลมภายในครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าตามภาพที่ 2.12 ดังนั้น การวางตำแหน่งอาคารกับทิศทางลมนั้น ถึงแม้จะมีทิศทางหลักที่ลมจะพัดมาเป็นส่วนใหญ่ แต่ควรคำนึงถึงการรับลมจากทิศทางอื่นได้ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 2.12 การไหลกระแสลมภายในเมื่อลมทำมุมกับผนังอาคารต่างกัน

(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

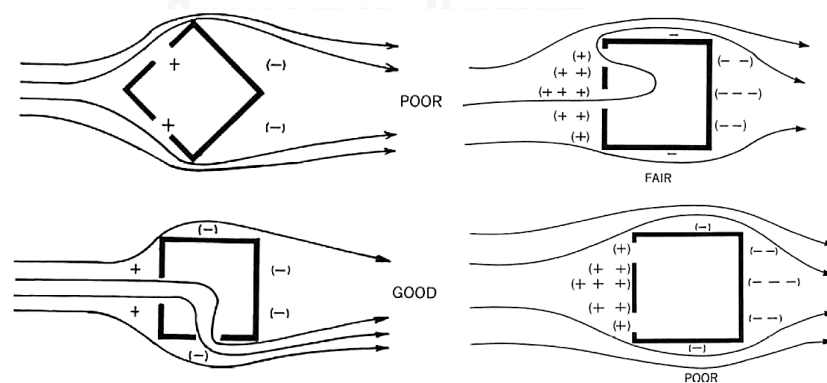
อย่างไรก็ตามตำแหน่งอาคารที่สอดคล้องกับทิศทางแดดก็ยังคงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เนื่องจากการไหลของกระแสลมนั้นเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้ง่ายกว่ามากจากภาพที่ 2.13 แสดงถึงการกำหนดตำแหน่งผนังและปลูกแนวต้นไม้เพื่อเปลี่ยนแปลงทิศทางลมให้เหมาะสมกับช่องเปิดของอาคาร



ภาพที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงทิศทางลมด้วยการไหลของลมด้วยองค์ประกอบโดยรอบ  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

### 3) ตำแหน่งของหน้าต่าง (Window locations)

การออกแบบตำแหน่งหน้าต่างในอาคารพักอาศัยรวมกัน รูปแบบมีประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงสุดคือ ตำแหน่งของหน้าต่างที่อยู่ตรงข้ามกันในทิศทางเดียวกับกระแสลม โดยลมจะเข้าทางด้านปะทะกับลม (Windward side) ที่มีความกดอากาศสูง และออกด้านใต้ลม (Leeward side) ที่ความกดอากาศต่ำ เรียกว่า การระบายอากาศแบบผ่านตลอด (Cross ventilation)



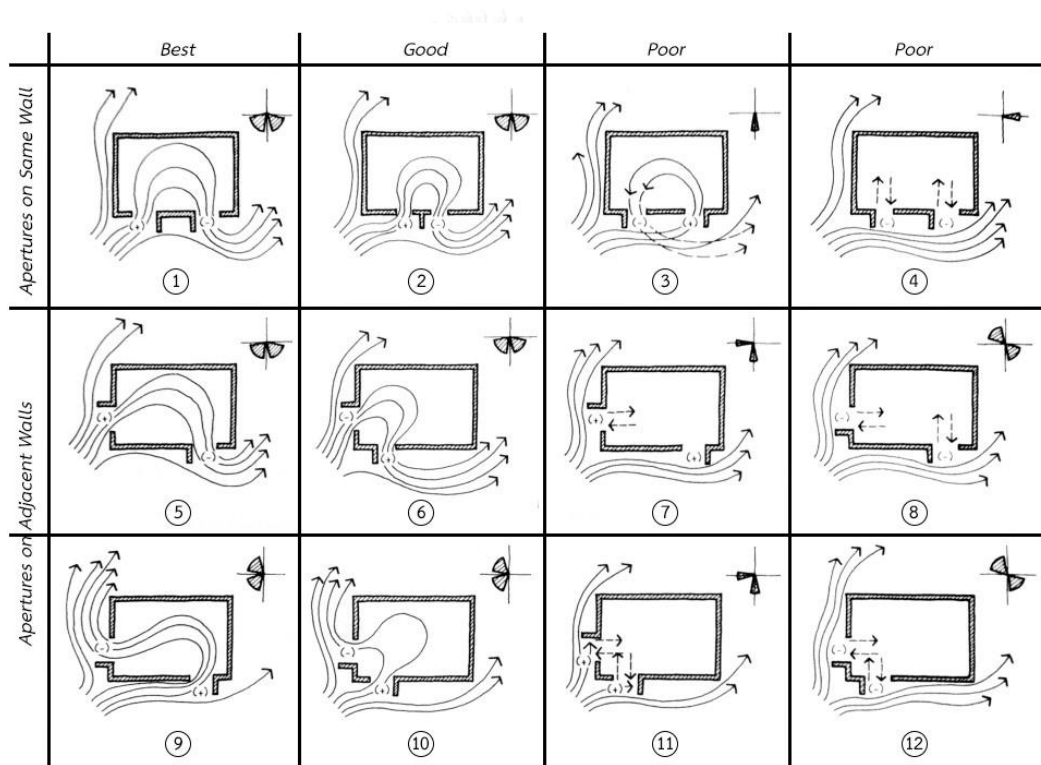
ภาพที่ 2.14 การไหลของลมเมื่อช่องเปิดทั้ง 2 ช่อง อยู่บนผนังติดกันและบนผนังเดียวกัน  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

แต่หากหน้าต่างอยู่บนผนังด้านติดกัน (adjacent walls) การระบายอากาศจะขึ้นอยู่กับทิศทางลมกับความกดอากาศโดยรอบ แต่เมื่อช่องเปิดอยู่บนผนังฝั่งเดียวกัน (Single sided

ventilation) การระบายอากาศที่เกิดจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของช่องเปิด หากช่องเปิดทั้งสองอยู่ในตำแหน่งที่มีความกดอากาศแตกต่างกันการระบายอากาศก็จะสามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากความกดอากาศส่วนกลางของผนังด้านปะทะกับลมจะสูงกว่าส่วนขอบของอาคาร

#### 4) ครีบนั่งทางตั้ง (Fin walls)

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศให้กับช่องเปิดที่อยู่บนผนังฝั่งเดียวกันหรือผนังติดกัน จากการช่วยกระจายความกดอากาศให้แตกต่างกันระหว่างหน้าต่างทั้ง 2 บาน โดยทิศทางลมแบบทำมุม  $45^\circ$  กับผนังอาคารจะทำให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่าทิศทางลมแบบตั้งฉาก ตำแหน่งการติดตั้งก็เป็นเรื่องสำคัญเช่นกัน หากไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างช่องเปิดก็ไม่สามารถทำให้ทิศทางลมเปลี่ยนแปลงไป

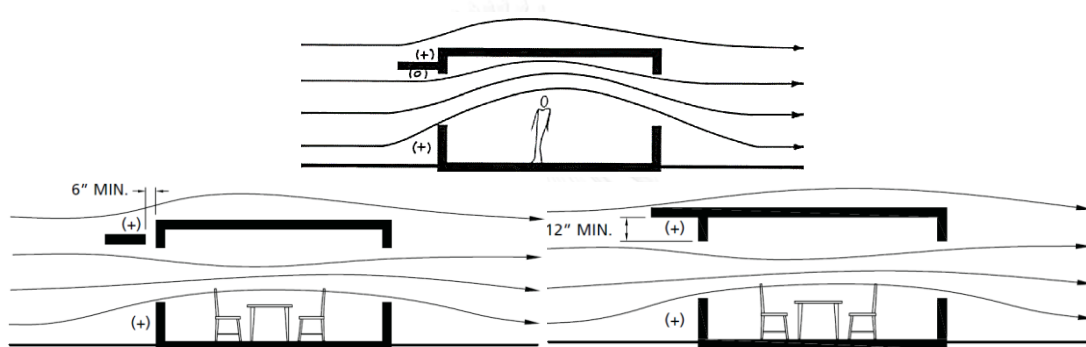


ภาพที่ 2.15 การไหลของลมเมื่อมีการติดตั้งครีบนั่งทางตั้งกับช่องเปิด 2 ช่องบนผนังเดียวกันและผนังติดกัน (ที่มา : G.Z. Brown and Mark Dekay, Sun, Wind, and Light)

จากภาพที่ 2.15 รูปแบบที่ 1-4 แสดงช่องเปิด 2 ช่องอยู่บนผนังเดียวกัน การติดตั้งครีบนั่งระหว่างช่องเปิดรูปแบบที่ 1 และ 2 ส่งผลให้เกิดการระบายอากาศที่ดี ส่วนการออกแบบครีบนั่งสำหรับช่องเปิดบนผนังติดกันควรติดตั้งครีบนั่งทางตั้งตามรูปแบบที่ 5, 6, 9 และ 10 เพื่อให้เกิดการไหลของลมผ่านอาคารได้ดีกว่ารูปแบบ 7, 8, 11 และ 12

### 5) แผงกันแดดทางนอน (Horizontal overhangs)

แผงกันแดดทางนอนที่ถูกติดตั้งไว้เหนือช่องเปิด เพื่อประโยชน์ในการป้องกันแสงแดดนั้น หากแผงกันแดดเป็นแบบทึบและระยะใกล้กับช่องเปิดมากเกินไปจะส่งผลให้ทิศทางการไหลของกระแสลมเมื่อเข้ามาภายในอาคารพัดขึ้นด้านบน เนื่องจากความกดอากาศต่ำที่ขอบหน้าต่างส่วนบน เพื่อให้กระแสลมสามารถพัดมายังระดับพื้นที่ใช้งานจึงควรออกแบบให้ด้านบนของขอบหน้าต่างมีความกดอากาศสูงเพื่อให้ทิศทางการลมภายในอยู่ในระดับ โดยการเว้นระยะแผงกันแดดกับผนังอาคารอย่างน้อย 6 นิ้ว (15 เซนติเมตร) หรือเพิ่มพื้นที่ผนังด้านบนขอบหน้าต่างอย่างน้อย 12 นิ้ว (30 เซนติเมตร) ตามภาพที่ 2.16 เพื่อให้กระแสลมสามารถพัดมายังระดับพื้นที่ใช้งาน แต่การที่กระแสลมพัดผ่านโครงสร้างนั้นจะมีส่วนช่วยให้เกิดการพาความร้อนลดความร้อนสะสมในโครงสร้างได้



ภาพที่ 2.16 การไหลของลมเมื่อมีการติดตั้งแผงกันแดดทางนอน

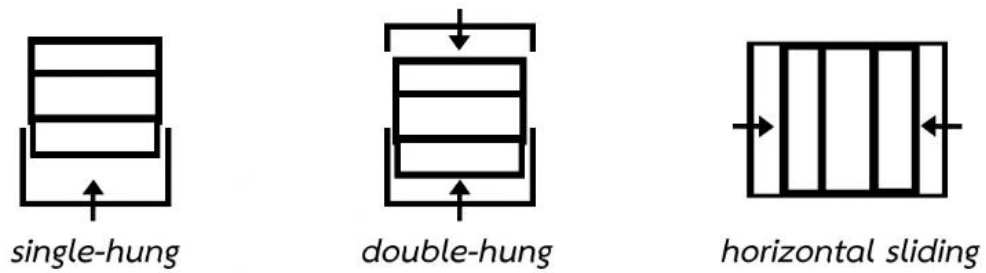
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

### 6) ชนิดของหน้าต่าง (Window types)

ชนิดของหน้าต่างมีส่วนอย่างมากกับอัตราการระบายอากาศและการควบคุมทิศทางการลม เช่น หน้าต่างบานเลื่อน (ภาพที่ 2.17) ไม่ส่งผลต่อทิศทางการลมแต่จะทำให้อากาศที่ไหลเข้ามาในอาคารลดลงครึ่งหนึ่ง หน้าต่างบานเปิด (ภาพที่ 2.18) ลมสามารถพัดเข้ามาได้เต็มที่ แต่ส่งผลต่อทิศทางการไหลของกระแสลมในลักษณะเดียวกับครีปผนังทางตั้ง (Fin walls) หน้าต่างบานกระทุ้งและบานเกล็ด (ภาพที่ 2.19) ช่วยดักลมที่พัดทางตั้ง ส่งผลต่อทิศทางการลมที่เข้ามาในอาคารหรือสามารถกำหนดทิศทางการลมได้ ช่วยกันฝนในขณะที่ยังสามารถให้กระแสลมผ่านเข้ามาในอาคาร เหมาะสำหรับลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แต่จะมีปัญหาด้านการรั่วซึมในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น

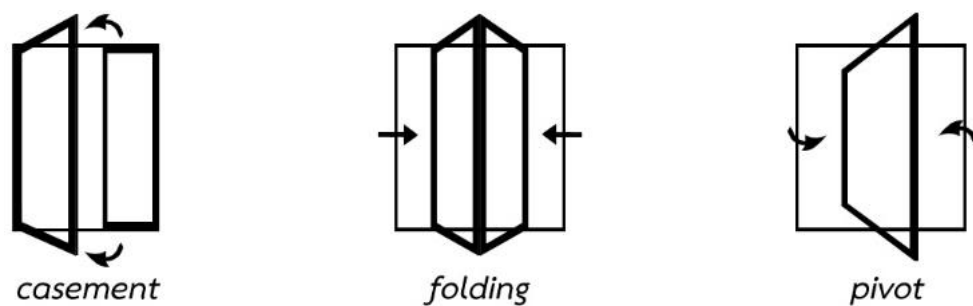
ปัจจุบันพฤติกรรมการใช้งานอาคารพักอาศัยได้เปลี่ยนแปลงไป ผู้พักอาศัยนิยมติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมอยู่ภายใต้สภาวะน่าสบาย ดังนั้น การเลือกใช้งานเครื่องปรับอากาศภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้น จึงควรให้ความสำคัญกับปริมาณการรั่วไหลของอากาศที่มีความชื้นจากภายนอก เพื่อการไม่สิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์





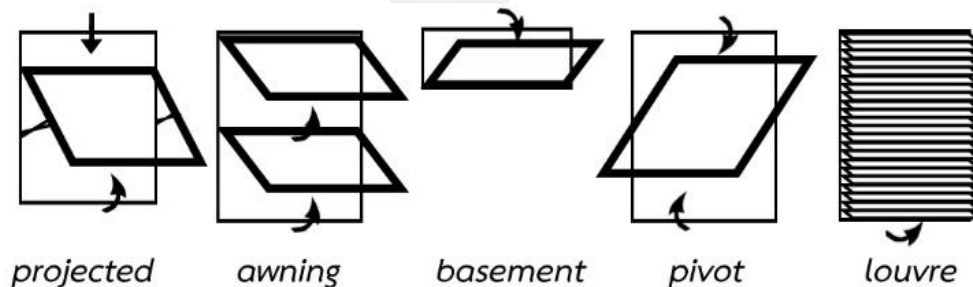
ภาพที่ 2.17 ชนิดของหน้าต่างแบบบานเลื่อน

(ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings)



ภาพที่ 2.18 ชนิดของหน้าต่างแบบบานเปิด

(ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings)

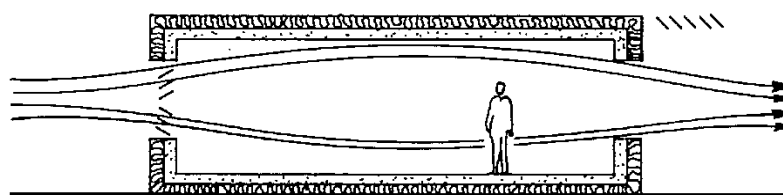


ภาพที่ 2.19 ชนิดของหน้าต่างแบบบานกระทุ้ง และบานเกล็ด

(ที่มา : Thor R Holleman, Air Flow through conventional window openings)

ซึ่งปัญหาการรั่วซึมของอากาศภายนอกนั้นเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีการทำงานเพิ่มขึ้น ดังนั้น ดารณี เลหโตเน็น, ชูจิต ตริรัตน์พันธ์ และจัญดา บุญเกียรติ ได้ทำการศึกษาและออกแบบประตูเกล็ดระบายอากาศสำหรับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยออกแบบส่วนระบายอากาศด้านล่างของบานประตูเป็น 4 ลักษณะ คือ เกล็ดระบายอากาศแบบไม่ปรับมุมกับบานเปิดข้าง เกล็ดระบายอากาศแบบไม่ปรับมุมกับบานเลื่อนด้านนอก เกล็ดระบายอากาศแบบปรับมุม และช่องเปิดแนวตั้งกับบานเลื่อนซ่อนด้านใน ทำการทดสอบการรั่วซึมของอากาศด้วย Blower door technique ภายใต้สภาพแวดล้อมแบบร้อนชื้นของประเทศ

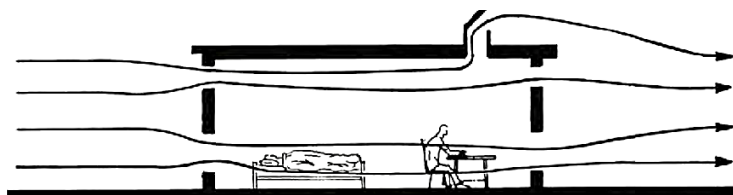
ไทย พบว่า บานเกล็ดปรับมุม (Angle adjustable slats) ใช้ร่วมกับ Slat controller และการติดตั้งกันซึมที่เกล็ดปรับมุมแต่ละแผ่น เป็นรูปแบบทางเลือกที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 3 รูปแบบ ซึ่งหน้าต่างรูปแบบบานเกล็ดสามารถช่วยปรับทิศทางการไหลของลมที่เข้ามาภายในอาคารให้มีทิศทางในลักษณะไหลขึ้นเพื่อผ่านฝ้าเพดานหรือไหลลงเพื่อผ่านโครงสร้างพื้นตามภาพที่ 2.20 เพื่อช่วยระบายความร้อนจากโครงสร้างได้ และในเวลาที่ต้องการให้ทิศทางการไหลของลมผ่านพื้นที่ใช้งานก็สามารถปรับมุมบานเกล็ดให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมได้



ภาพที่ 2.20 การประยุกต์ใช้บานเกล็ดเพื่อระบายความร้อนจากโครงสร้าง  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

#### 7) ความสูงของหน้าต่าง (Vertical placement of windows)

ควรคำนึงถึงลักษณะการใช้งานพื้นที่และกิจกรรมในการพิจารณาระดับติดตั้งหรือความสูงของหน้าต่าง เช่น การใช้งานพื้นที่ห้องนั่งเล่น ควรมีระดับความสูงของขอบหน้าต่างจากพื้นระหว่าง 30 – 60 เซนติเมตร เพื่อให้กระแสลมผ่านตัวผู้ใช้งานสำหรับการนั่งหรือนอน หากต้องการออกแบบให้เกิดการระบายอากาศร้อนจากฝ้าควรออกแบบช่องเปิดให้อยู่ในระดับสูงเพื่อให้กระแสลมพาความร้อนจากฝ้าเพดานออกไปนอกอาคารตามภาพ 2.21 แต่ก็ควรคำนึงถึงวิธีการใช้งานสำหรับหน้าต่างที่อยู่ในระดับสูงเกินกว่าจะเปิด-ปิดได้ด้วยตัวเองในการติดตั้งระบบอัตโนมัติเพื่อสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

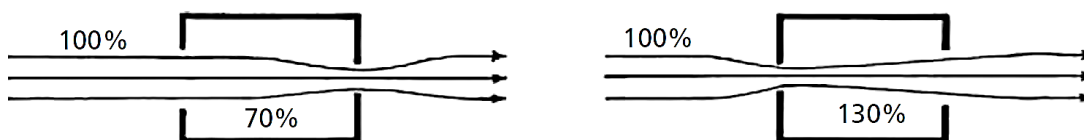


ภาพที่ 2.21 ระดับความสูงของหน้าต่างกับลักษณะการใช้งาน  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

#### 8) ขนาดและตำแหน่งของช่องลม (Inlet and outlet sizes and locations)

ขนาดของช่องลมเข้าและออก ส่งผลโดยตรงกับปริมาณและความเร็วในการไหลของลม โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีขนาดเท่ากันเพื่อปริมาณการไหลสูงสุด แต่หากช่องเปิด 2 ช่อง มี

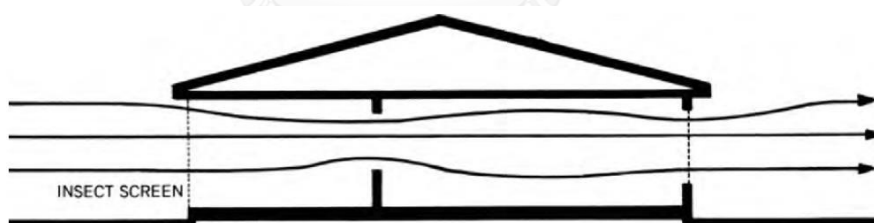
ขนาดไม่เท่ากันตามภาพที่ 2.22 ควรออกแบบให้ช่องเปิดที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นทางเข้าของลม เนื่องจากความเร็วลมภายในห้องจะเพิ่มขึ้น หากอยู่ในตำแหน่งใช้งานสภาวะน่าสบายสำหรับผู้ใช้งาน อาคารก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป ทิศทางการไหลและการกระจายตัวของกระแสลมก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน แต่ตำแหน่งช่องลมออกนั้นส่งผลต่อทิศทางการไหลและการกระจายตัวของลมน้อยกว่าช่องลมเข้า



ภาพที่ 2.22 ขนาดช่องเปิดที่ต่างกันกับผลต่อความเร็วลมภายใน  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

#### 9) มุ้งลวด (Insect screens)

การออกแบบช่องเปิดประกอบมุ้งลวดนั้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของช่องลมเข้าลดลงครึ่งหนึ่งในทิศทางการไหลของลมแบบตั้งฉากกับช่องเปิด และลดลงตามทิศทางการทำมุม จึงควรออกแบบช่องเปิดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรับลมเข้าให้มากที่สุดตามภาพที่ 2.23 มีการติดตั้งมุ้งลวดเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของอาคารในทิศลมเข้าแทนการเป็นอุปกรณ์ประกอบที่ช่องเปิดภายในช่วยเพิ่มปริมาณการไหลของลมสู่อาคาร



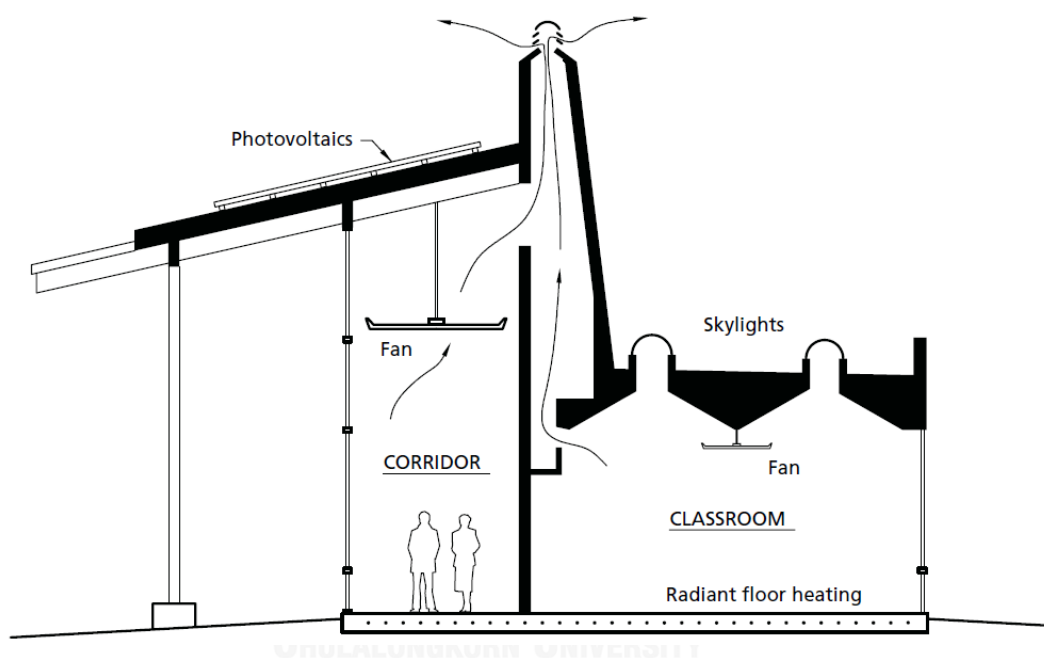
ภาพที่ 2.23 ขนาดช่องเปิดที่ต่างกันกับผลต่อความเร็วลมภายใน  
(ที่มา : Bowen, A., and others, Passive cooling)

#### 10) การระบายอากาศทางหลังคา (Roof vents)

การระบายอากาศจากใต้หลังคาเกิดขึ้นเพื่อระบายอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นมาอยู่บริเวณใต้ฝ้าเพดาน หากความเร็วลมภายนอกแรงพอและช่องระบายอากาศมีขนาดใหญ่พอก็จะสามารถระบายความร้อนออกไปได้ จากหลักการความแตกต่างกับของความกดอากาศของช่องลมเข้าและออก เมื่อช่องลมออกอยู่ในระดับที่สูงหรือมีการออกแบบเพื่อเพิ่มความเร็วลม (Venturi effect) ความเร็วลมที่สูงขึ้นจะเกิดความกดอากาศต่ำ ทำหน้าที่ดูดลมจากที่ความกดอากาศสูงกว่าให้ผ่านไปได้

### 11) พัดลม (Fans)

ลมจากธรรมชาตินั้นไม่สามารถควบคุมได้จะไม่ได้พัดในปริมาณที่เหมาะสมตามเวลาที่ต้องการตลอดเวลา การติดตั้งพัดลมจึงเป็นทางเลือกนอกเหนือไปจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ในการระบายความร้อน ความชื้น สร้างคุณภาพอากาศที่ดีภายในอาคาร ด้วยความเร็วลมที่มาปะทะผิวหนังโดยตรงช่วยสร้างสภาวะน่าสบายให้กับผู้ใช้งานเมื่ออุณหภูมิภายนอกไม่สูงจนเกินไป ระบายความร้อนออกจากโครงสร้าง และเพิ่มการหมุนเวียนอากาศภายในอาคาร จากภาพ 2.24 แสดงตัวอย่างการใช้เทคนิคการระบายอากาศทางธรรมชาติการลอยตัวของอากาศร้อนแบบ Stack ventilation และเพิ่มสภาวะน่าสบายให้กับผู้ใช้งานอาคารด้วยพัดลมเพดาน

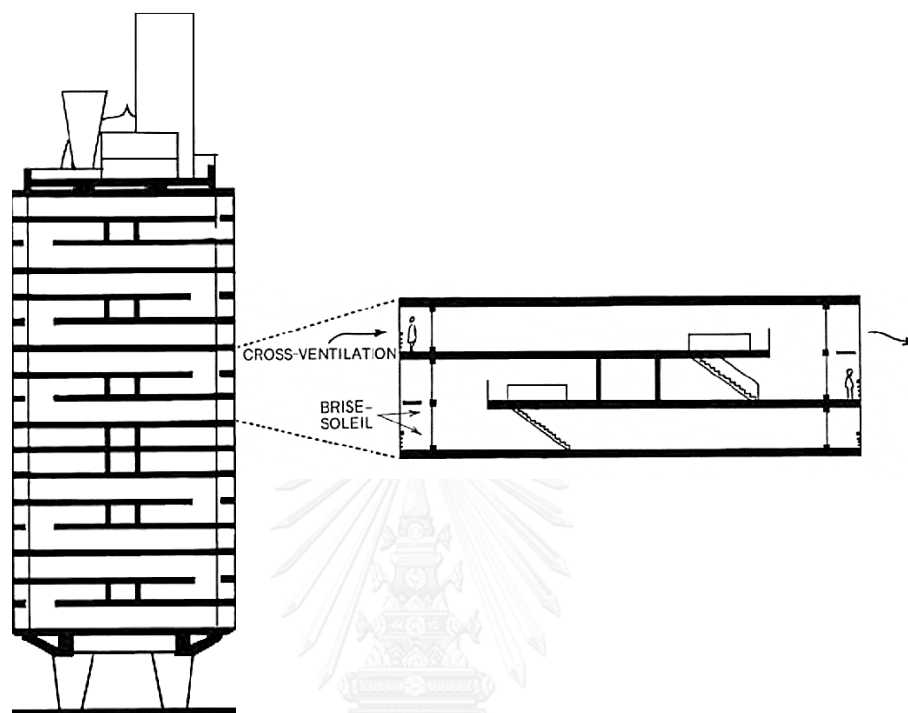


ภาพที่ 2.24 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการระบายอากาศทางธรรมชาติ Stack ventilation และ Ceiling fans (ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

### 12) การวางผังภายในอาคาร (Partitions and Interior planning)

การวางผังแบบ Open plan เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากยังมีผนังอาคารภายในมากก็ยิ่งเป็นการกีดขวางทิศทางลม ในอาคารพักอาศัยรวมหากเป็นห้องพักที่มีผนังติดกับภายนอก 2 ด้านหรือเป็นผู้เช่าเดียวกันก็สามารถระบายอากาศแบบ Cross ventilation ได้โดยการเปิดหน้าต่าง 2 ด้านหรือเปิดประตูกลางเพื่อเชื่อมทางเข้าออกของลม สำหรับอาคารชุดที่มีการวางผังแบบ Double loaded corridor การระบายอากาศแบบ Cross ventilation แบบจะไม่มีทางเกิดขึ้นเลย แต่ในยุคก่อนที่จะมีการใช้เครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลายได้มีการใช้ช่องระบายอากาศเหนือประตูเพื่อให้เกิดการระบายอากาศแต่ก็จะเกิดปัญหาด้านเสียงและกลิ่นที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ทางเลือก

การระบายอากาศสำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบ Double loaded corridor โดยการออกแบบอาคารแบบ Duplex พื้นที่ห้องพักเป็นแบบ 2 ชั้นผนังติดภายนอก 2 ด้านมีทางเดินกลางทุก 3 ชั้นโดย Le Corbusier

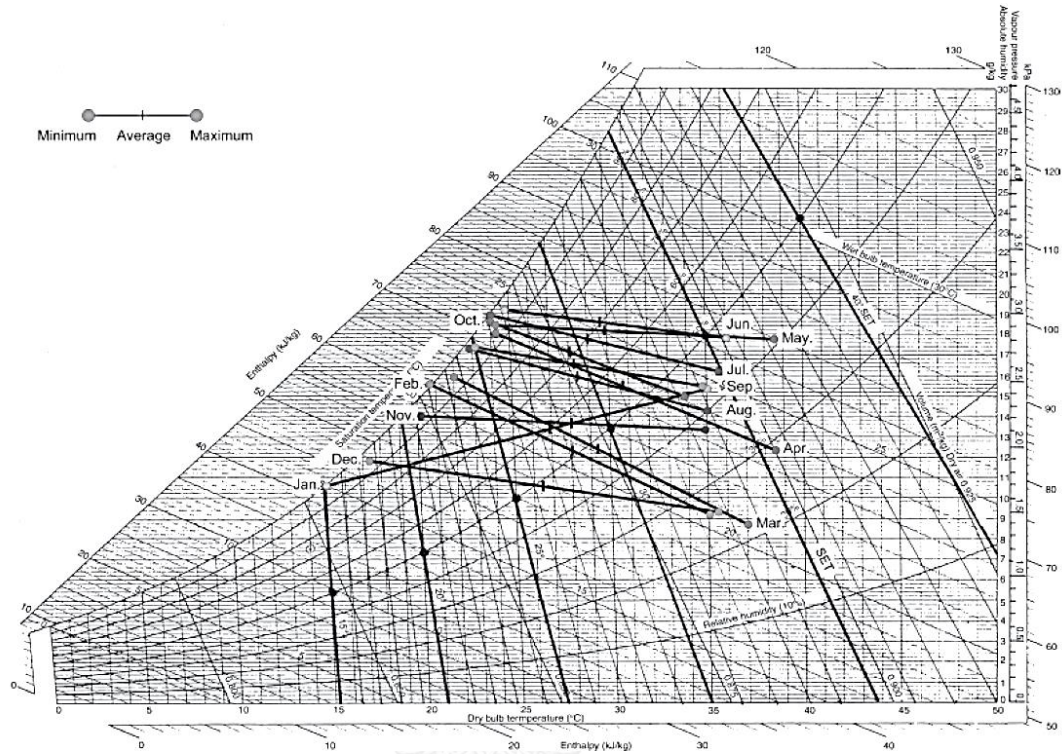


ภาพที่ 2.25 การออกแบบอาคาร Unite d Habitation ที่ Marseilles  
(ที่มา : Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting)

## 2.2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ

ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 5 ถึง 21 องศาเหนือ ลองจิจูด 106 องศาตะวันออก ลองจิจูด 97 องศาตะวันออก ลักษณะอากาศเป็นแบบร้อนชื้นตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดอยู่ระหว่าง 31-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันประมาณ 7-11 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ช่วงฤดูร้อนนี้จะครอบคลุมตั้งแต่เดือนมีนาคมไปจนถึงเดือนมิถุนายน เป็นช่วงเดือนที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นโลกปริมาณการแผ่รังสีอาทิตย์สูงถึง 2,000 Btu/ft<sup>2</sup> ต่อวันส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดของปีเกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ ส่วนด้านความชื้นของอากาศจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ร้อยละ 74 ค่าเฉลี่ยสูงสุดระหว่างร้อยละ 90-94 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ระหว่างร้อยละ 53-70 ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และต่อด้วยลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงกลางเดือนตุลาคมไปจนถึง

กลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้เกิดฝนตกชุกตลอดปี ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนจะสูงถึง 1,500-1,600 มิลลิเมตร หรือน้ำฝนจะตกลงมาเป็นปริมาตรที่มีความสูง 1.50 เมตร ทั่วประเทศโดยเฉพาะช่วงเดือนสิงหาคมและกันยายนที่ปริมาณน้ำฝนจะสูงถึง 400 มิลลิเมตรต่อเดือน



แผนภูมิที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจและความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนของกรุงเทพมหานคร

(ที่มา: Chalermwat Tantasavasdi and others, Predicting Airflow in Naturally-ventilated Generic House)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครทางด้านอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางลม ตามแผนภูมิที่ 2.1 Psychrometric chart แสดงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ประกอบกับสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าค่า Standard Effective Temperature (SET) จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยไปจนถึงค่าสูงสุดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนนั้น ส่วนมากจะสูงกว่าขอบเขตของสภาวะน่าสบาย ดังนั้น การออกแบบเพื่อการป้องกันความร้อน และลดความเปียกชื้นที่ผิวหนังจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ความเร็วลมที่มาปะทะผิวหนังนั้นช่วยให้เกิดการระบายความร้อนและความชื้นออกจากผิวหนังได้ มนุษย์จึงรู้สึกเย็นลง จากตารางที่ 2.3 แสดงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร ในแต่ละเดือน โดยที่ความเร็วลมเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 2.00-4.20 เมตรต่อวินาที ลมที่มาจากทิศเหนือจะมีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ ส่วนลมจากทิศใต้และทิศตะวันตกจะเป็นลมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จากการวิเคราะห์

สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้วิธีการการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายเกือบตลอดเวลา โดยทิศทางลมเด่นของกรุงเทพมหานครส่วนมากจะมาจากทางทิศใต้

ตารางที่ 2.3 ทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)	ทิศทางลมเด่น
มกราคม	2.00	N
กุมภาพันธ์	3.20	S
มีนาคม	3.00	S
เมษายน	3.70	S
พฤษภาคม	3.10	S
มิถุนายน	4.20	S
กรกฎาคม	3.10	W
สิงหาคม	3.10	W
กันยายน	2.50	W
ตุลาคม	2.00	N
พฤศจิกายน	2.20	N
ธันวาคม	2.40	N

(ที่มา: Chalermwat Tantasavasdi and others, Predicting Airflow in Naturally-ventilated Generic House)

## 2.3 เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางในการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

### 2.3.1 กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ได้กล่าวถึงระบบระบายอากาศในอาคารไว้ว่า การจัดการระบบระบายอากาศจะจัดให้มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ หรือวิธีกลก็ได้ซึ่งต้องทำงานตลอดเวลาระหว่างใช้สอยห้องนั้น เพื่อให้เกิดการระบายอากาศตามอัตราที่กำหนดไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับพื้นที่ระบายอากาศโดยวิธีกล

ลำดับ	สถานที่	อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง
1	ห้องน้ำ ห้องส้วมของที่พักอาศัยหรือสำนักงาน	2
2	ห้องน้ำ ห้องส้วมของอาคารสาธารณะ	4
3	ที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน	4
4	โรงงาน	4
5	โรงแรมสรรพ อาคารพาณิชย์ ห้างสรรพสินค้า	4
6	สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม	7
7	สำนักงาน	7
<b>8</b>	<b>ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด</b>	<b>7</b>
9	ห้องครัวของที่พักอาศัย	12
10	ห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาคารและเครื่องดื่ม	24
11	ลิฟต์โดยสารและลิฟต์ดับเพลิง	30

(ที่มา: กฎกระทรวงฉบับที่ 39 และ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544)

การระบายอากาศในอาคารที่มีการปรับภาวะอากาศด้วยระบบปรับอากาศต้องมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ปรับภาวะอากาศหรือดูดอากาศจากภายในพื้นที่ปรับภาวะอากาศออกไปไม่น้อยกว่าค่าอัตราที่กำหนดไว้ตามตาราง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับอาคารที่มีการปรับภาวะอากาศด้วยระบบปรับอากาศ

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	ลบ.ม. /ชม. /ตร.ม.
1	ห้างสรรพสินค้า	2
2	โรงงาน	2
3	สำนักงาน	2
4	สถานอาบอบนวด	2
5	ชั้นติดต่ออู่รถกับธนาคาร	2
<b>6</b>	<b>ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด</b>	<b>2</b>
7	ห้องปฏิบัติการ	2



ตารางที่ 2.5 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับอาคารที่มีการปรับภาวะอากาศด้วยระบบปรับอากาศ (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	ลบ.ม. /ชม. /ตร.ม.
8	ร้านตัดผม	3
9	สถานกีฬาในร่ม	4
10	โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู)	4
11	ห้องเรียน	4
12	สถานบริหารร่างกาย	5
13	ร้านเสริมสวย	5
14	ห้องประชุม	6
15	ห้องน้ำ ห้องส้วม	10
16	สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม (ห้องรับประทานอาหาร)	10
17	ไนต์คลับ หรือบาร์ หรือสถานลีลาศ	10
18	ห้องครัว	30
19	สถานพยาบาล	
	- ห้องคนไข้	2
	- ห้องผ่าตัด	8
	- ห้อง ไอ.ซี.ยู. ห้อง ซี.ซี.ยู. หรือห้องช่วยชีวิตฉุกเฉิน	5

(ที่มา: กฎกระทรวงฉบับที่ 39 และ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544)

### 2.3.2 มาตรฐาน ASHRAE standard 62-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality โดย ASHRAE

มีการกำหนดความต้องการการระบายอากาศจากภายนอก (fresh air) สำหรับพื้นที่พักอาศัยในอาคารไว้ตามประเภทของกิจกรรม พฤติกรรมการใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งมาตรฐานการระบายอากาศ เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ โดยสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้กำหนดอัตราความต้องการอากาศภายนอก สำหรับการระบายอากาศพื้นที่อยู่อาศัยตามตารางที่ 2.1 ไว้ตรงตามกับมาตรฐาน ASHRAE standard 62-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความต้องการการระบายอากาศจากภายนอกตามเกณฑ์ ASHRAE

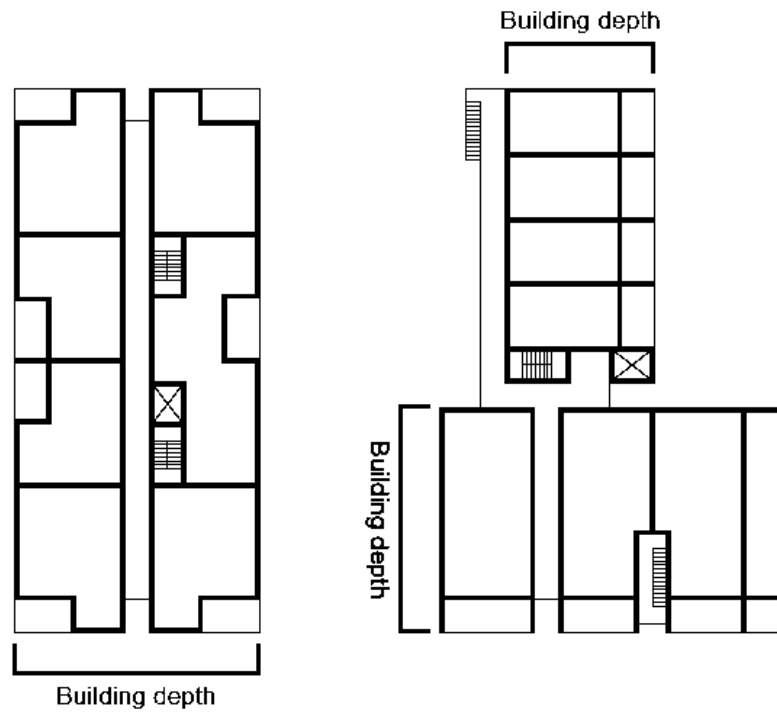
กิจกรรม	ความต้องการปริมาณอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก	หมายเหตุ
ส่วนพักอาศัย (living area)	0.35 ACH แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm (7.5 Vs) ต่อคน	- คำนวณโดยรวมปริมาณอากาศทุกส่วนที่ต่อเนื่องกัน - พิจารณาทั้งกรณีเปิดช่องเปิดและปิดช่องเปิด - จำนวนผู้ใช้ห้องนอนแรก 2 คน ห้องต่อมา 1 คน หากผู้ใช้งานเกินให้คิดตามจริง
ครัว	100 cfm (50 Vs) เมื่อใช้งานไม่สม่ำเสมอ 25 cfm (12 Vs) เมื่อใช้งานต่อเนื่องหรือเปิดหน้าต่าง	ติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
ห้องน้ำ	50 cfm (25 Vs) เมื่อใช้งานไม่สม่ำเสมอ 25 cfm (12 Vs) เมื่อใช้งานต่อเนื่องหรือเปิดหน้าต่าง	ติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
โรงรถ	100 cfm (50 Vs) ต่อคัน	ทั่วไปใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

(ที่มา: ASHRAE standard 62-2001)

### 2.3.3 Apartment Design Guide 2015 โดย NSW Department of Planning and Environment

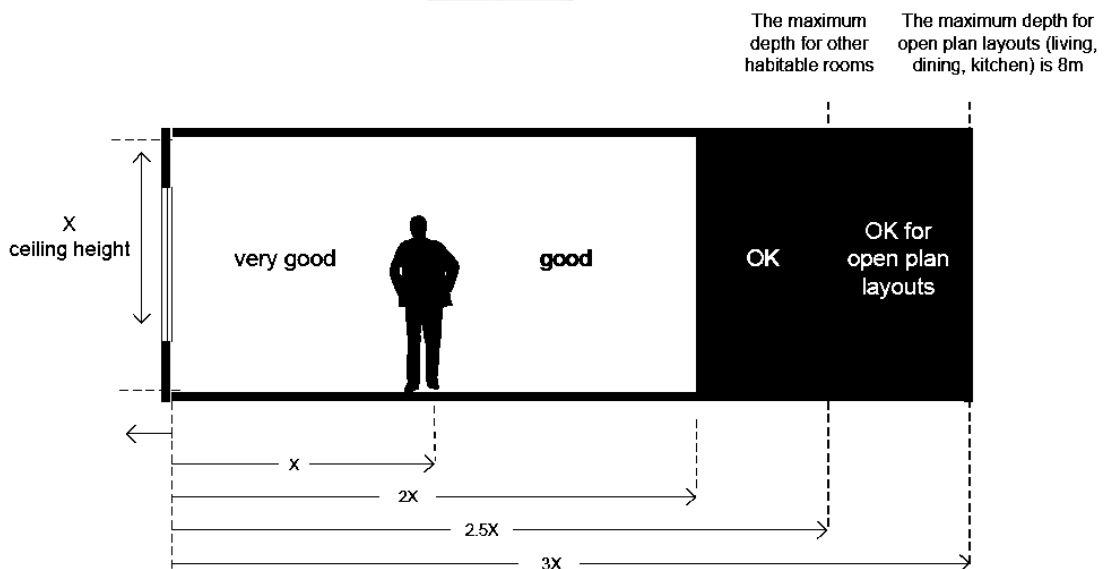
เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารพักอาศัยรวม ครอบคลุมทั้งการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของที่ตั้ง การวางผัง และการออกแบบอาคาร ได้แนะนำหลักการออกแบบเพื่อการระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติ สำหรับการระบายอากาศแบบด้านเดียวไว้ว่า

- สัดส่วนอาคาร ความกว้างของตัวอาคารไม่ควรเกิน 12-18 เมตร นับจากแนวผนังกระจกของขอบอาคาร ส่วนสัดส่วนของอาคารความยาวไม่ควรเกิน 2-3 เท่าของความกว้างอาคาร



ภาพที่ 2.26 ตัวอย่างการวัดความกว้างของอาคาร

(ที่มา: NSW Department of Planning and Environment, Apartment Design Guide 2015)



ภาพที่ 2.27 สัดส่วนความสูงต่อความลึกของห้องพักที่มีการระบายอากาศแบบด้านเดียว

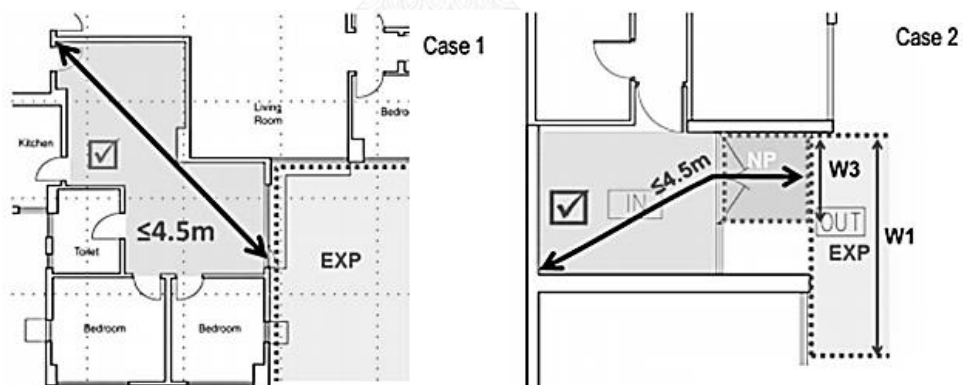
(ที่มา: NSW Department of Planning and Environment, Apartment Design Guide 2015)

- ความลึกของห้องพัก (room depth, W) ควรมีการออกแบบเป็น 2 เท่าของความสูง (floor to ceiling, H)  $W < 2H$  ภาพที่ 2.27 หรือสามารถเพิ่มความลึกของห้องพักเป็น 2 เท่าครึ่ง  $W < 2.5H$  ได้ตาม หากมีการออกแบบให้ช่องลมเข้า (inlet) และช่องลมออก (outlet) มีความสูงห่างกัน 1.50 เมตร เพื่อการใช้ประโยชน์จาก Stack ventilation
- รูปแบบช่องเปิด เพิ่มช่องเปิดบริเวณใกล้ฝ้าเพดาน และหลังคา เพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบ Stack effect

ควรกำหนดทิศทางอาคารให้ห้องพักสามารถรับลมได้ดีที่สุด ระยะความสูงจากพื้นถึงฝ้าไม่ต่ำกว่า 2.70 เมตร พื้นที่ช่องเปิดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ห้องพัก เป็นช่องเปิดที่ยึดหยุ่นสามารถเปิดรับลมจากภายนอกโดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น บานกระทุ้ง หรือบานเกล็ด

### 2.3.4 Guideline on Design and Construction Requirements for Energy Efficiency of Residential Building 2014 โดย Hong Kong Building Department

แนวทางการออกแบบและก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย เขตปกครองพิเศษฮ่องกง ได้แนะนำการออกแบบอาคารสำหรับการใช้วิธีระบายอากาศทางธรรมชาติของช่องเปิดด้านเดียวไว้ว่า ควรออกแบบให้มีช่องเปิดอย่างน้อย 2 ช่องแยกกัน



ภาพที่ 2.28 ตัวอย่างการวัดความลึกของห้องพัก

ช่องเปิดเชื่อมต่อกับภายนอก (ซ้าย) ช่องเปิดรับเข้าจากผนังอาคาร (ขวา)

(ที่มา: Hong Kong Building Department, Guideline on Design and Construction Requirements for Energy Efficiency of Residential Building 2014)

ส่วนความลึกของห้องพักไม่ควรเกิน 4.50 เมตร จากกึ่งกลางช่องเปิดที่เชื่อมต่อกับภายนอกไปจนถึงมุมห้องด้านในจากภาพที่ 2.28 (ซ้าย) แต่หากผนังนั้นรับเข้ามาจากตัวอาคารตามภาพที่ 2.28 (ขวา) ระยะ Notional plane (NP) ควรมีความกว้างไม่ต่ำกว่าความกว้างของช่องเปิด

และไม่ต่ำกว่า 1 เมตร ส่วนความลึกของห้องพักจะเริ่มวัดจากตำแหน่งที่ NP เชื่อมต่อกับ EXP เข้ามา ที่กึ่งกลางช่องเปิดไปจนถึงมุมด้านในของห้องพักซึ่งไม่ควรเกิน 4.50 เมตร

### 2.3.5 National Building code of India 2005 โดย Bureau of Indian standards

เพื่อให้เกิดเป็นงานสถาปัตยกรรมที่ยั่งยืนได้มีการออกแบบเพื่อรับลมธรรมชาติ ประกอบกับการออกแบบช่องเปิดแบบช่องลมเข้าด้านล่าง และช่องลมออกอยู่ด้านบนบนตามลักษณะ Stack ventilation มีการกำหนดความกว้างอาคารไว้ไม่เกิน 15 เมตรหากต้องการระบายอากาศตามวิธีธรรมชาติ สัดส่วนช่องเปิดคิดเป็นร้อยละ 20-30 ของพื้นที่ห้อง นอกจากนี้ได้มีการกำหนดอัตราการระบายอากาศจากภายนอก เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารตามตารางที่ 2.7 ห้องนอนควรมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากภายนอก 2-4 เท่า ของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.7 อัตราการระบายอากาศจากภายนอกตาม National Building code of India

ลำดับ	สถานที่	อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง
1	ห้องประชุม	4 - 8
2	ร้านเบเกอรี่	20 - 30
3	ธนาคาร/ สมาคม	4 - 8
4	ห้องน้ำ	6 - 10
<b>5</b>	<b>ห้องนอน</b>	<b>2 - 4</b>
6	ห้องบิลเลียด	6 - 8
7	ห้อง Boiler	15 - 30
8	ร้านกาแฟ	10 - 12
9	โรงภาพยนตร์และโรงมหรสพ	10 - 15
10	ไนต์คลับ	12,min
11	ห้องอัดอากาศ	10 - 12
12	ห้องประชุม	8 - 12
13	โถงทางเข้า	3 - 5
14	โรงรถ	6 - 8
15	ห้องนั่งเล่น	3 - 6
16	ห้องสมุด	3 - 5

(ที่มา: Bureau of Indian standards, National Building code of India 2005)

### 2.3.6 CIBSE Guide B2: Ventilation and air conditioning โดย Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)

หลักการพื้นฐานเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารเหมาะสม หลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน ได้มีการแนะนำอัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศภายนอกต่อชั่วโมงสำหรับอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูงไว้ว่าไม่ควรต่ำกว่า 0.5 – 1 ACH ตามตาราง ตารางที่ 2.8 อัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศภายนอกตาม CIBSE Guide B2

อาคาร	อัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศภายนอก
1. สตูดิโอกระจายเสียง	6 – 10 ACH
2. ศูนย์รับแจ้งเหตุ	4 – 6 ACH
<b>3. อาคารพักอาศัย และอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูง</b>	<b>0.5 – 1 ACH</b>
4. โรงแรม	10 – 15 ACH
5. ห้องปฏิบัติการ	6 – 15 ACH
6. ห้องมืด (ถ่ายภาพ)	6 – 8 ACH
7. อาคารสูง	4 – 6 ACH
8. ร้านค้า	5 – 8 l/s

(ที่มา: Ventilation and air conditioning, CIBSE)

### 2.3.7 คู่มือเกณฑ์การประเมินชุมชนน่าอยู่อย่างยั่งยืน : ECOVILLAGE โดยการเคหะแห่งชาติ

โครงการพัฒนาที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมอาคารพักอาศัยรวมความสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป แบ่งตามหลักที่ควรคำนึงถึง 3 ข้อคือ ทิศทางการวางตัวอาคาร การวางผัง และเปลือกอาคาร

- ทิศทางการวางตัวอาคาร (Building orientation) โดยพิจารณาร่วมกับการวางแนวอาคารเพื่อป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ กำหนดให้ด้านยาวของอาคารทำมุม 40-50 องศา หรือ 90 องศา กับทิศทางลมประจำ ซึ่งสำหรับประเทศไทยเป็นแนวเหนือ-ใต้

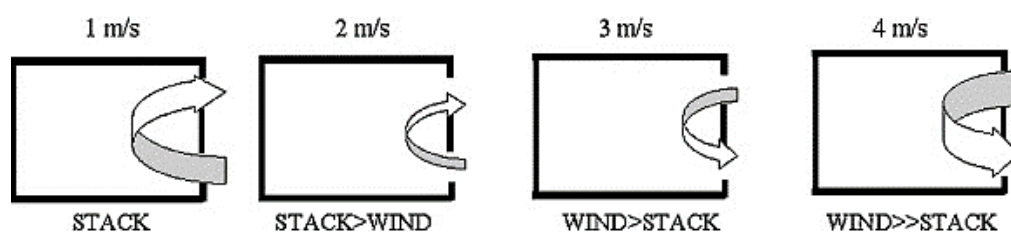
- รูปทรงอาคาร (Building shape and form) สัดส่วนอาคารทิศตะวันออกตะวันตกต่อทิศเหนือใต้เป็น 1:1.5 ถึง 1:2.3

- รูปแบบเปลือกอาคาร (External building envelope) กำหนดสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio; WWR) ไม่เกิน 30%

## 2.4 งานวิจัยและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม

Allocca, C. และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์การออกแบบช่องเปิดที่ติดภายนอกเพียงด้านเดียวกับการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อหาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นจากการลอยตัวของอากาศร้อน (Buoyancy-driven flow) และเมื่อทั้ง 2 สิ่งเกิดขึ้นพร้อมกัน (Combined wind and buoyancy driven flow) เปรียบเทียบระหว่างช่องเปิด 2 รูปแบบที่มีขนาดพื้นที่เท่ากันคือ ช่องเปิดบานใหญ่บานเดียวกับบานเล็ก 2 บาน



ภาพที่ 2.29 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อเกิดการลอยตัวของอากาศร้อนและมีลมมากระทำ (ที่มา: Allocca, C. และคณะ, Design analysis of single-sided natural ventilation)

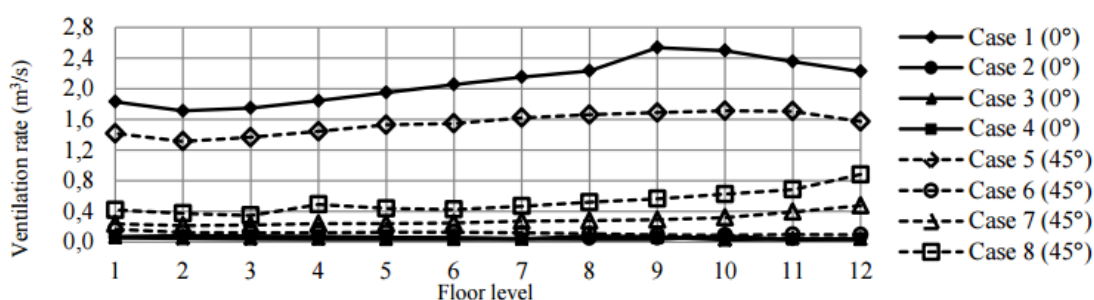
พบว่า อัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นจากช่องเปิดบานเล็ก 2 บานสูงกว่าช่องเปิดบานใหญ่บานเดียว แต่เมื่อแรงลมและการลอยตัวของอากาศร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอากาศจะขึ้นอยู่กับความเร็วลมตามภาพที่ 2.29 เมื่อความเร็วลมภายนอกเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที อากาศจะเคลื่อนที่ในรูปแบบ Stack effect แต่เมื่อความเร็วลมภายนอกสูงขึ้นจนถึง 4 เมตรต่อวินาที จะมีการเคลื่อนที่ตามทิศทางลมจากภายนอกแทน ในที่นี้ห้องพักที่ทำการศึกษายู่ที่ชั้นล่างทิศทางลมภายนอกที่เกิดขึ้นจึงเป็นทิศทางไหลลง

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดอาคารที่ทำการศึกษาทั้ง 8 กรณี

Test case	Ventilation strategy	No. of opening	Façade treatment	Wind angle
Case 1	Cross	2	Flat	0°
Case 2	Single-sided	1	Flat	0°
Case 3	Single-sided	1	Balcony (1.5m)	0°
Case 4	Single-sided	2	Balcony (1.5m)	0°
Case 5	Cross	2	Flat	45°
Case 6	Single-sided	1	Flat	45°
Case 7	Single-sided	1	Balcony (1.5m)	45°
Case 8	Single-sided	2	Balcony (1.5m)	45°

(ที่มา: Mohamed M. F. และคณะ, A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings)

การศึกษาการระบายอากาศแบบด้านเดียวกับการติดตั้งระเบียง ในอาคารสูงพักอาศัย โดย Mohamed M. F. และคณะ จำลองอาคารสูง 12 ชั้น ทิศทางลม 2 ทิศทางคือตั้งฉากและทำมุม 45° ลักษณะช่องเปิด 2 รูปแบบคือ ช่องเปิดบานใหญ่บานเดียวและบานเล็ก 2 บาน ทั้งในรูปแบบที่มี ระเบียงและไม่มีระเบียง ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการ ระบายอากาศที่เกิดขึ้น พบว่า การติดตั้งระเบียงในด้านปะทะกับทิศทางลมแบบตั้งฉากทำให้ ประสิทธิภาพในการระบายอากาศลดลง ส่วนในทิศทางลมเฉียงนั้นการติดตั้งระเบียงทำให้อัตราการ ระบายอากาศเพิ่มขึ้นจากทิศทางลมตั้งฉาก และในกรณีที่มีช่องเปิดเป็นแบบบานเล็ก 2 บาน ก็ยังช่วย ให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงขึ้นตาม จากข้อมูลตามตารางที่ 2.9 และแผนภูมิที่ 2.2 กรณีที่ 1 และ 5 เป็นวิธีการระบายอากาศแบบ Cross ventilation ดังนั้นจึงมีอัตราการระบายอากาศสูงสุดทุก ชั้น รองลงมาคือ กรณีที่ 8 ช่องเปิดบานเล็ก 2 บานกับการติดตั้งระเบียงที่ทิศทางลมเฉียง และกรณีที่ 7 ช่องเปิดบานใหญ่บานเดียวกับการติดตั้งระเบียงที่ทิศทางลมเฉียง



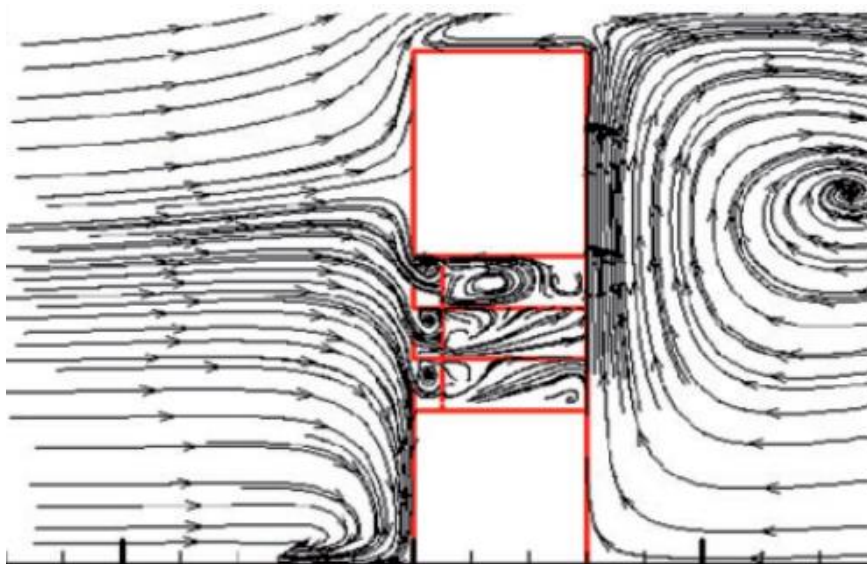
แผนภูมิที่ 2.2 อัตราการระบายอากาศ 8 กรณีตามระดับความสูง 12 ชั้น

(ที่มา: Mohamed M. F. และคณะ, A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings)

การศึกษาผลกระทบต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เมื่อมีการติดตั้งระเบียง ร่วมกับช่องเปิดบนและล่าง ในอาคารพักอาศัย โดย Cui, D.J. และคณะ ได้ทำการศึกษาคุณภาพ อากาศภายในอาคารและการกันเสียง เลือกใช้ช่องเปิดขนาดเล็กด้านบนและล่างของผนังที่ชั้น 4-6 ของอาคาร 10 ชั้น ประมวลผลด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เลือกศึกษาที่ชั้นกลาง อาคาร ที่มีความสูงอยู่ในระดับ 2 ใน 3 ของตัวอาคารตามภาพที่ 2.30 เป็นส่วนที่ยากต่อการระบาย อากาศ เนื่องจากส่วนกลางอาคารมีความกดอากาศสูงลมกระจายออก ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเมื่อ ปะทะกับผนังอาคารในแนวตั้งฉาก จะทำให้อากาศไหลลงต่ำที่ระดับความสูง 1/3 ถึง 2/3 ของตัว อาคาร ส่วนที่ระดับ 1/3 ของส่วนบนสุดนั้นจะมีทิศทางไหลขึ้น [27] ตามภาพ 2.31 พบว่า การติดตั้ง ระเบียงร่วมกับรูปแบบช่องเปิดบนล่าง (Case 2) ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นอย่างเห็นได้



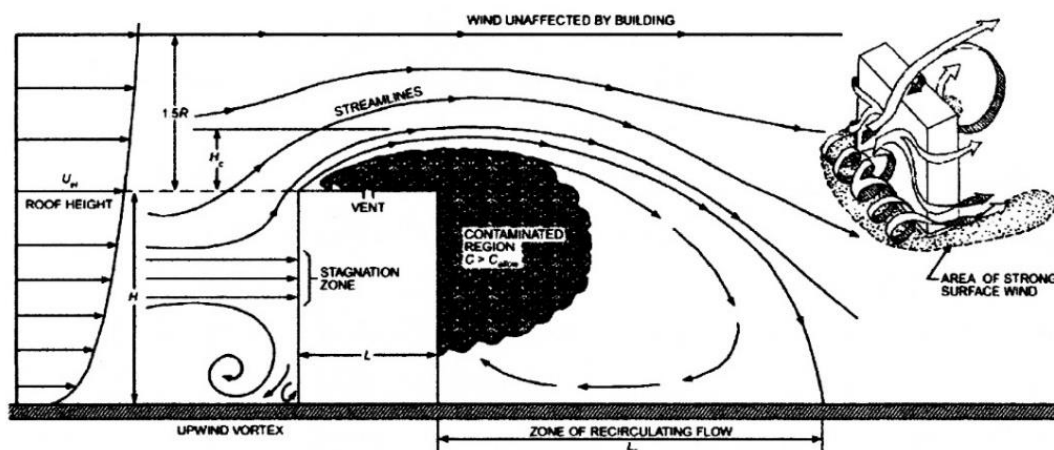
ชัดเมื่อเทียบกับ base case (Case 1) จากแผนภูมิที่ 2.3 ที่ชั้น 4 จะมีอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วค่อยลดลงตามระดับความสูง ส่วนอัตราการระบายอากาศของช่องเปิดบนล่างที่ไม่มีการติดตั้งระเบียง (Case 3) อัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 6 รองลงมาที่ชั้น 4 และต่ำสุดที่ชั้น 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.30 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่านอาคารที่ชั้น 4-6

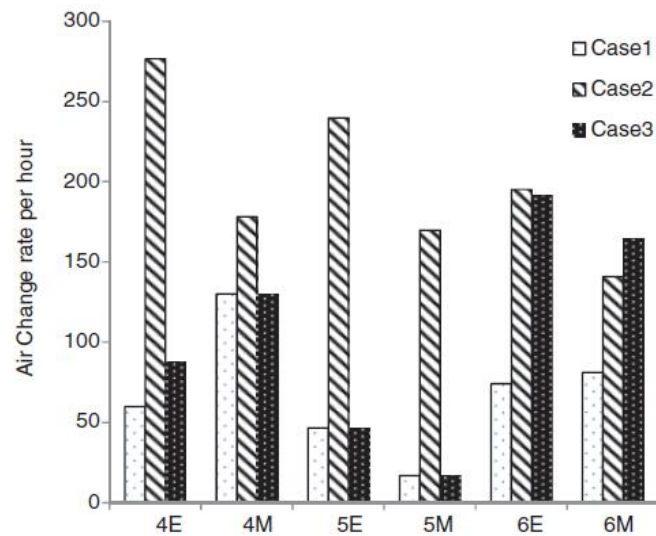
(ที่มา: Cui, D. J. และคณะ, Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilation building)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

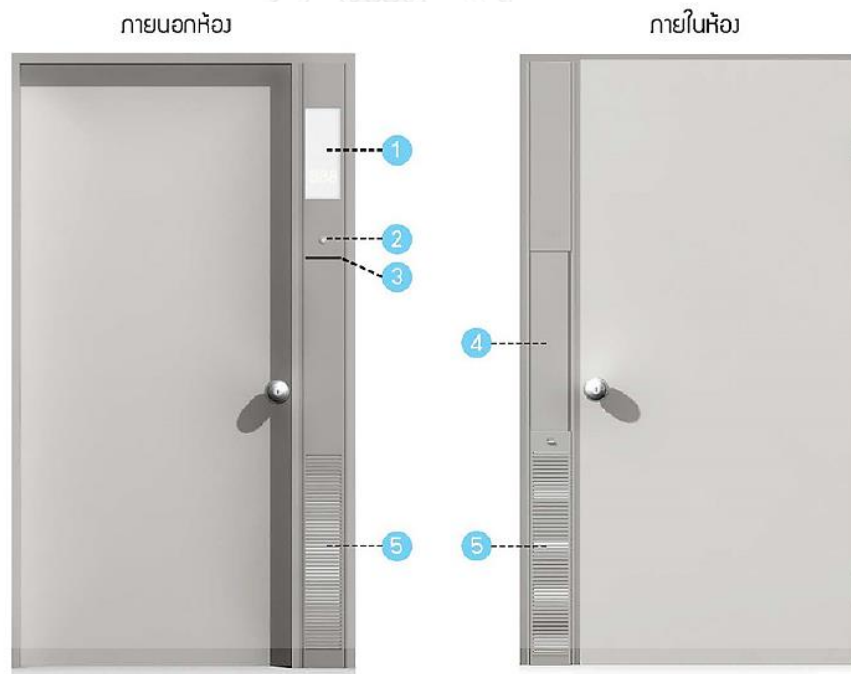


ภาพที่ 2.31 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระแสลมเมื่อปะทะกับอาคารในแนวตั้งฉาก

(ที่มา: ASHRAE, ASHRAE handbook-fundamentals 2001)



แผนภูมิที่ 2.3 อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 4-6 ของอาคาร 3 รูปแบบ  
(ที่มา: Cui, D.J. และคณะ, Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilation building)



ภาพที่ 2.32 รูปแบบ Air Post ที่ทำการติดตั้งที่ขอบประตูห้องชุดคอนโดมิเนียม  
(ที่มา: อรรถน ศรีษะบุตร, ประสิทธิภาพการระบายอากาศของบานเลื่อนขอบประตู  
ในอาคารชุดพักอาศัยแนวตั้ง)

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการระบายอากาศสำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วมในประเทศไทยนั้น ส่วนมากจะเป็นการศึกษาวិธีการวางผังอาคาร การบังลม ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิด ลักษณะขององค์ประกอบเสริมต่าง ๆ เช่น ครีบนั่งทางตั้ง และการติดตั้งปล่องระบายอากาศ เพื่อก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายกับผู้พักอาศัยจากความเร็วมวลที่มาจากผิวภายนอก ส่วนการออกแบบช่องเปิดเพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคารด้วยการไหลเวียนของอากาศนั้น อรรถนั เศรษฐบุต [28] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของบ้านเลื่อนขอบประตู (Air Post) กับอาคารชุดพักอาศัยแนวตั้งในเขตเมือง พบว่า การติดตั้ง Air Post ซึ่งมีลักษณะคล้ายกล่องเหล็กตู้ใส่จดหมายความยาวตามประตูเข้าห้องมีช่องระแนงระบายอากาศเป็นบ้านเลื่อนแบบเปิดปิดได้ตามภาพที่ 2.32 ตำแหน่งที่ 5 เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศระหว่างห้องพักกับโถงทางเดิน สามารถช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ 37% จาก 1.73 ACH เป็น 2.38 ACH ช่วยลดความร้อนสะสมในโครงสร้างจากแสงแดดภายนอกที่ทะลุผ่านกระจก และความชื้นสะสมจากห้องน้ำที่ถูกใช้งานในตอนเช้าก่อนห้องจะถูกปิดไว้ในช่วงเวลากลางวัน จนถึงเวลาหัวค่ำที่ผู้อาศัยกลับมาเปิดเครื่องปรับอากาศ

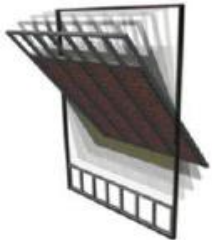
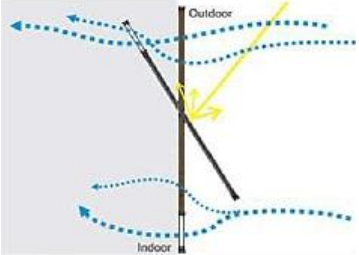

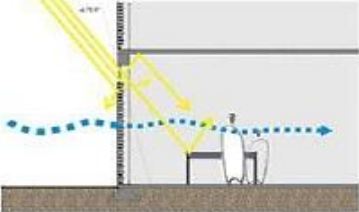

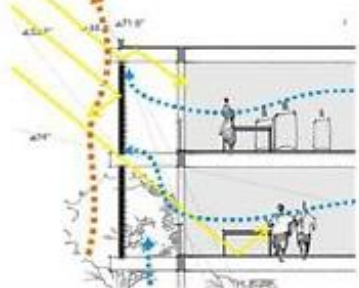

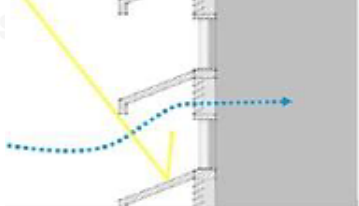

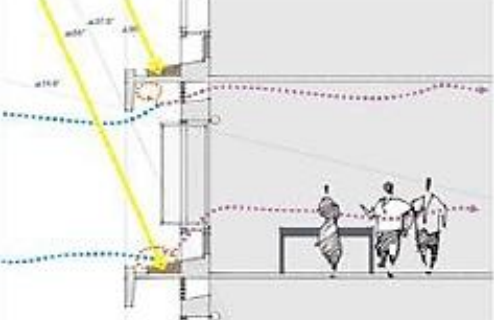
#### 2.4.2 การออกแบบอาคารสูงในเขตร้อนชื้น

อาคารสูงที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน (Tropical Skyscraper) ที่มีแนวคิดการออกแบบสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ และใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมให้มากที่สุด พัฒนามาจากรูปแบบอาคารสูงหลังยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมที่ออกแบบโดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อม สร้างปัญหาสุขภาพให้กับทั้งผู้อยู่อาศัย และบริโภคพล้งงานสูง ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เกาะเมืองร้อน อาคารสูงรูปแบบใหม่ได้ถูกพัฒนาโดยสถาปนิกจากประเทศอินเดียและศรีลังกา เช่น การออกแบบอาคารเพื่อสามารถปลูกต้นไม้บนระเบียงได้ในอาคาร Kanchanjunga Apartment โดย Charles Correa การออกแบบผังอาคารให้สามารถระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติได้ State Mortgage Bank โดย Geoffrey Bawa หลังจากนั้นสถาปนิกรุ่นต่อมาได้นำแนวความคิดนั้นมาต่อยอดจนกลายเป็นอาคารสูงเขตร้อนแบบในยุคปัจจุบัน (Bioclimatic Skyscraper) โดย Ken Yeang ได้ให้คำจำกัดความอาคารสูงเหล่านี้ไว้ว่า เป็นอาคารสูงที่ออกแบบมาเพื่อการประหยัดพลังงาน สัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ และสิ่งแวดล้อมรอบข้าง หลังจากนั้นก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น อาคาร Moulmein rise residential tower ประเทศสิงคโปร์ ออกแบบโดย WOHA Architects ที่มีการประยุกต์ใช้หน้าต่างแบบ Monsoon window เพื่อระบายอากาศได้แม้ขณะฝนตก

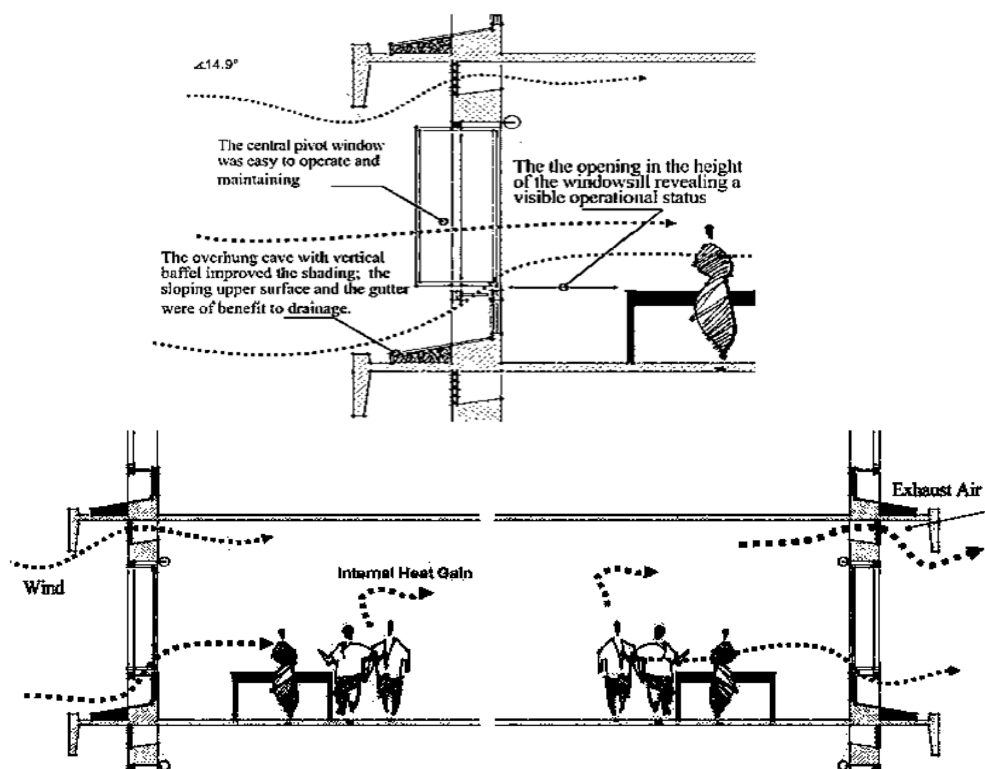
Geoffrey Bawa ได้ทำการพัฒนารูปแบบช่องเปิดภายใต้แนวคิด Breathing wall เพื่อการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติตั้งแต่อาคารพักอาศัย Carmen Gunasekera House ไปจนถึง อาคารสำนักงานที่เป็นอาคารสูงตามตารางที่ 2.10 ให้เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับอาคารแต่ละรูปแบบ หน้าทีของแนวคิด Breathing wall เป็นการกรองสภาพแวดล้อมเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่

เหมาะสมต่อการใช้งาน ประกอบด้วย หลีกเลี้ยงรังสีอาทิตย์โดยตรงแต่ออกแบบเพื่อสามารถใช้งานแสงสะท้อน (indirect light) และระบายอากาศได้ ป้องกันฝนและลมแรง แต่ต้องมีความเชื่อมต่อกันระหว่างพื้นที่ภายในและภายนอกอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2.10 การพัฒนางานออกแบบการระบายอากาศ Bawa' s bioclimatic façade

Carmen Gunasekera House, Colombo, 1958		
St Thomas' preparatory school, Colombo, 1957-1964		
Bishop's college, Colombo, 1960-1963		
Ekala Industrial Estate Jaela, 1959-1960		
State Mortgage Bank, Colombo, 1976-1978		

(ที่มา : Sun, M. และคณะ, The Applicability of the Bio-Climatic Façade in a Hot and Humid Climate)



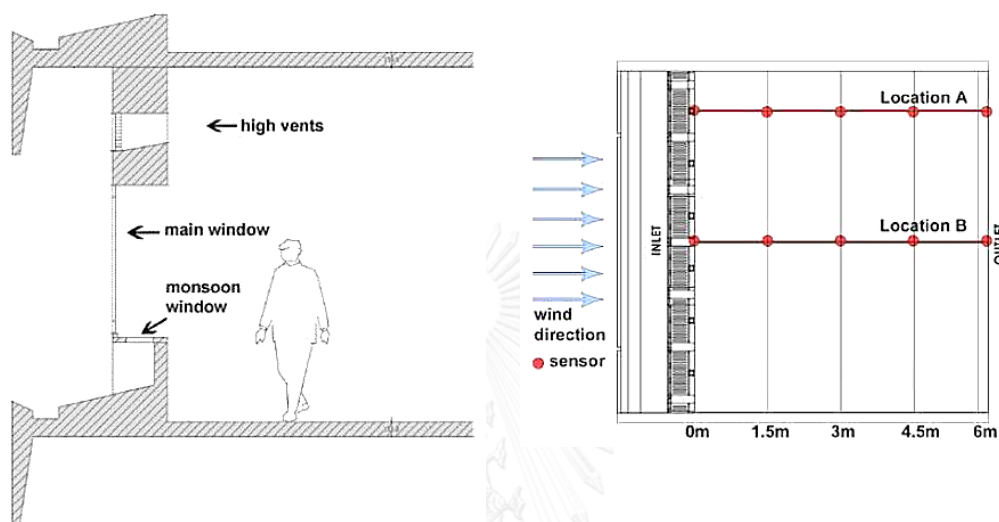
ภาพที่ 2.33 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่าน Monsoon window

(ที่มา: Mingwei, S. และคณะ, The Applicability of the Bio-Climatic Façade in a Hot and Humid Climate)

การออกแบบ Monsoon window โครงการ State Mortgage Bank ตามภาพที่ 2.33 เพื่อการใช้ประโยชน์จากการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ มีองค์ประกอบดั้งเดิม 4 ส่วนคือ ช่องระบายอากาศส่วนบน (high vents) หน้าต่างบานหลัก (windows) แผงกันแดดทางนอน (overhang) และช่องเปิดระบายอากาศทางนอน (monsoon window slot) โดยที่หน้าต่างบานหลักจะเป็นหน้าต่างแบบบานเปิดที่มีจุดหมุนอยู่ตรงกลาง (central pivot) ง่ายต่อการใช้งานและซ่อมแซม ไม่ส่งผลต่อทิศทางลม สามารถเปิดรับลมได้เต็มที่ แผงกันแดดทางนอนกว้าง 1.20 เมตร ช่วยกันแดดและฝนให้กับช่องเปิด ช่องระบายอากาศส่วนบนกับช่องระบายอากาศทางนอนช่วยให้เกิดการระบายอากาศในเวลากลางคืน (night-time ventilation) ได้โดยไม่เกิดปัญหาด้านความปลอดภัย สามารถระบายอากาศได้ในขณะฝนตกหรือหน้าต่างบานหลักปิด

การศึกษาวิธีการเลือกเปิดใช้งานช่องเปิด 3 ชนิด ของ Monsoon window เพื่อตรวจวัดความเร็วลมที่เข้ามาในอาคารตามภาพที่ 2.34 โดย Kiang, T. B. and others [30] ทดสอบด้วยแบบจำลองอาคารกับอุโมงค์แบ่งเป็น 7 กรณีตามตารางที่ 2.10 คือ เปิดหมดทุกบาน เปิดทีละ 1 บานคือ ช่องระบายอากาศส่วนบนบานเดียว หน้าต่างบานหลักบานเดียว ช่องระบายอากาศทางนอน

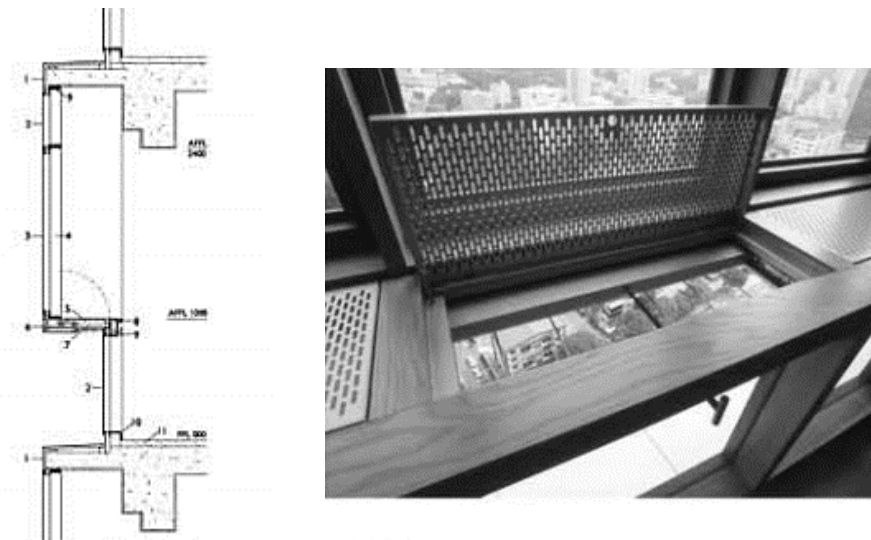
บานเดี่ยว และเลือกจับคู่บานเปิดทีละ 2 บาน คือช่องระบายอากาศด้านบนกับหน้าต่างบานหลัก ช่องระบายอากาศด้านบนกับช่องระบายอากาศทางนอน และหน้าต่างบานหลักกับช่องระบายอากาศทางนอน พบว่า หน้าต่างบานหลักช่วยให้ความเร็วลมภายในสูงที่สุด รองลงมาคือช่องระบายอากาศทางนอน ในกรณีที่ฝนตก Monsoon window slot สามารถช่วยให้ลมเข้ามาในอาคารได้ในระยะที่จำกัด 1.50 เมตร จากช่องเปิด



ภาพที่ 2.34 ตำแหน่งช่องเปิด 3 ส่วนของ Monsoon window (ซ้าย) ตำแหน่งตรวจวัด (ขวา)  
(ที่มา: Kiang, T. B. and others, Naturally ventilated tall office building in the tropics-  
Learning from Bawa)

การศึกษากระบวนการออกแบบ State Mortgage Bank ของ Geoffrey Bawa และทำการจำลองอาคารเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพอาคารกับสภาพแวดล้อมปัจจุบัน สัมภาษณ์ผู้ออกแบบร่วม และผู้ใช้งานอาคาร โดย Kiang, T.B., Robson, D. พบว่า ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นหลังจากอาคารมีอายุ 34 ปีคือ ปัญหาเรื่องแสงบาดตา ลมแรง กระจายปลิวทำให้ทำงานลำบาก นอกจากนี้ก็คือปัญหามลพิษจากการจราจรและเสียงรบกวน ซึ่งเป็นปัญหาที่ตามมาหลังจากการขยายตัวเขตเมือง และการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ

ซึ่ง WOHA Architects มีการนำรูปแบบ Monsoon window slots มาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศได้ในการออกแบบอาคาร Moulmein rise residential tower ด้วยการเลือกใช้บานเลื่อนซ่อนอยู่ด้านล่างตามภาพที่ 2.35



ภาพที่ 2.35 รูปแบบ Monsoon window อาคาร Moulmein rise residential tower  
(ที่มา: Zainab, F., A., NO1 Moulmein Rise Singapore)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้กับอาคารพักอาศัยรวมที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารก่อนการเปิดเครื่องปรับอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติ

จากการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการระบายอากาศและการไหลของกระแสลมผ่านอาคาร เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดตำแหน่งช่องเปิดสำหรับช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยเลือกใช้ช่องเปิดที่สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานและควบคุมทิศทางลมได้อย่างบานเกล็ดปรับมุม มาประยุกต์ใช้ร่วมกับหน้าต่าง Monsoon window ภายใต้แนวคิด Breathing wall ของ Geoffrey Bawa เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทั้งการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติและปรับปรุงสภาวะอากาศเชิงกล

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้กับอาคารพักอาศัยรวมที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารก่อนการเปิดเครื่องปรับอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยหลังจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ การพิสูจน์สมมุติฐานงานวิจัย การกำหนดรูปแบบรวมไปถึงจำลองช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ และการประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

##### 3.1.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์แนวทางความเป็นไปได้ของรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งาน รวมไปถึงการเลือกตัวแปรที่เหมาะสมกับการศึกษา แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศประกอบด้วย การเกิดกระแสลม พายุธรรมชาติและลักษณะการไหลของลม การไหลของกระแสลมผ่านอาคาร และปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสลมผ่านอาคาร ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศและความเป็นไปได้ของการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ ส่วนที่ 3 เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางในการออกแบบประกอบด้วย อัตราการระบายอากาศตามกฎหมายและมาตรฐาน รวมไปถึงแนวทางการออกแบบเพื่อการระบายอากาศทางธรรมชาติในอาคารพักอาศัยรวม ส่วนที่ 4 งานวิจัยและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม และการออกแบบอาคารสูงในเขตร้อนชื้น

##### 3.1.2 การพิสูจน์สมมุติฐาน

อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง การพิสูจน์สมมุติฐานในส่วนนี้จึงทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศรวม 14 ระดับ เพื่อศึกษาแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิภายในรายชั่วโมงที่เกิดขึ้น

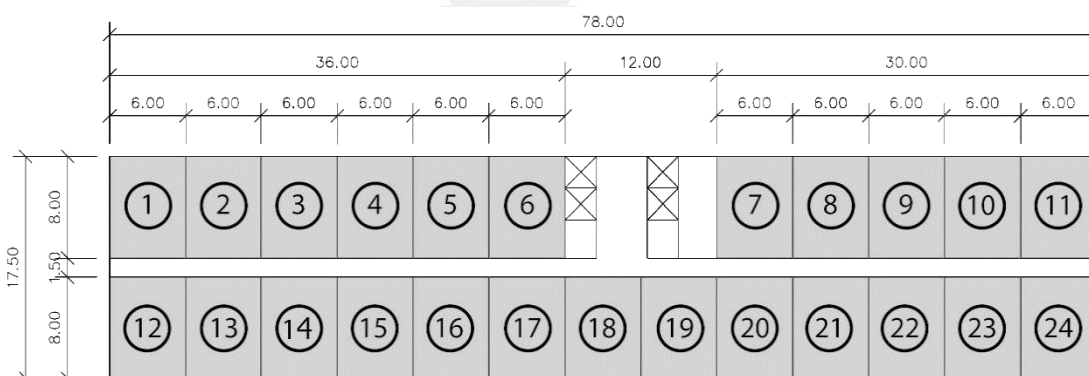
##### 3.1.2.1 การกำหนดรูปแบบอาคารอ้างอิง

จากการสำรวจอาคารพักอาศัยรวมขนาดใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลปี พ.ศ. 2554 – 2557 รวมเป็นจำนวน 117 อาคาร โดยตุนุสรณ์ บัวขจร [9] อภิถัญญา บุญ



มา [10] และใยชมพู นาคประสิทธิ์ [11] สามารถจำแนกผังอาคารตามระบบทางเดินภายในได้ 2 ลักษณะคือ ผังอาคารที่มีทางเดินร่วม (double loaded corridor) และผังอาคารที่มีทางเดินรอบแกนบริการ (point blocked corridor) โดยรูปแบบที่พบมากที่สุดคือ ผังอาคารที่มีทางเดินร่วม รูปร่างตัว “I” ห้องพักแบบ 1 ห้องนอน ทางเดินกลางกว้าง 1.50 เมตร นำมาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดขนาดอาคารอ้างอิง ส่วนขนาดห้องนอนเลือกใช้ตามการศึกษาของอภิญา บุญมา เนื่องจากสอดคล้องกับการสำรวจขนาดคอนโดในช่วงปีเดียวกันของบริษัท พัฒนาอสังหาริมทรัพย์รายใหญ่ 6 ราย ที่มีการพัฒนารูปแบบโครงการอย่างต่อเนื่องประกอบด้วย ลุมพินี, ศุภาลัย, แสนสิริ, เอพี, แกรนด์ยู และอนันดา โดยบริษัท คิดเรื่องอยู่ [32] พบว่า ขนาดของห้องพักแบบ 1 ห้องนอนอยู่ระหว่าง 22.5-47 ตารางเมตร สามารถกำหนดรายละเอียดอาคารอ้างอิงดังนี้

อาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม 1 อาคาร	696	หน่วย
จำนวนชั้นของส่วนห้องพัก (รวม 30 ชั้น)	29	ชั้น
จำนวนหน่วยพักอาศัยต่อชั้น	24	หน่วย
ความกว้างทางเดินร่วม	1.50	เมตร
ความสูงห้องพัก (พื้นชั้นล่างถึงพื้นชั้นบน)	2.70	เมตร
ห้องพัก 1 ห้องนอน (6x8 เมตร)	43.68	ตารางเมตร



ภาพที่ 3.1 ผังอาคารอ้างอิงใช้พิสูจน์สมมุติฐาน

### 3.1.2.2 จำลองอาคารเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

ในการจำลองอาคารอ้างอิงจะกำหนดทิศทางการวางแนวอาคารเป็น 2 รูปแบบ คือ วางตามแนวเหนือใต้ และตะวันออกตะวันตกตามภาพที่ 3.2 เพื่อหาค่าอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องพัก 4 ทิศทางคือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการวางอาคารอ้างอิง 2 ทิศทาง

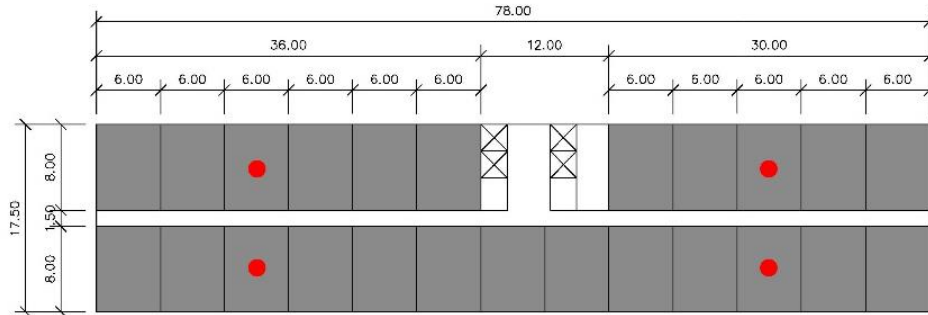
ข้อมูลจากการสำรวจพฤติกรรมผู้พักอาศัยในอาคารพักอาศัยรวมในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 10 โครงการ 13 อาคาร ด้วยแบบสอบถามจำนวน 381 ชุด โดยอภิญา บุญมา มีรายละเอียดคำถาม คือ ขนาดห้องพักอาศัยภายใน จำนวนผู้พักอาศัยต่อ 1 หน่วย ช่วงเวลาการใช้งานห้องพัก ช่วงเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ พบว่า มีการใช้งานอาคารและเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศวันจันทร์-วันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 18.01-6.00 น. ส่วนวันเสาร์-วันอาทิตย์มีการพักอาศัยเพิ่มขึ้นแต่การปรับอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สามารถสรุปเป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าในการจำลองอาคารเพื่อการพิสูจน์สมมุติฐาน

พื้นที่อาคารทั้งหมด	37,587 m <sup>2</sup>
พื้นที่ปรับอากาศ	25,056 m <sup>2</sup>
WWR	16.1
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	หนา 25 cm.
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก	หนา 25 cm.
ผนังสำเร็จรูป	หนา 10 cm.
กระจกใส (SHGC=0.73)	หนา 6 mm.
LPD	8.13 W/m <sup>2</sup>
EOD	8.96 W/m <sup>2</sup>
อัตราการระบายอากาศ 14 ระดับ (0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8, 9, 10,15, 20 ACH)	6.01–18.00 น.
ช่วงเวลาเปิดเครื่องปรับอากาศ	18.01-6.00 น.

ทำการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยกำหนดค่าตามตารางที่ 3.1 และตั้งค่าช่วงเวลาการระบายอากาศให้สอดคล้องกับช่วงเวลาเปิดใช้งาน

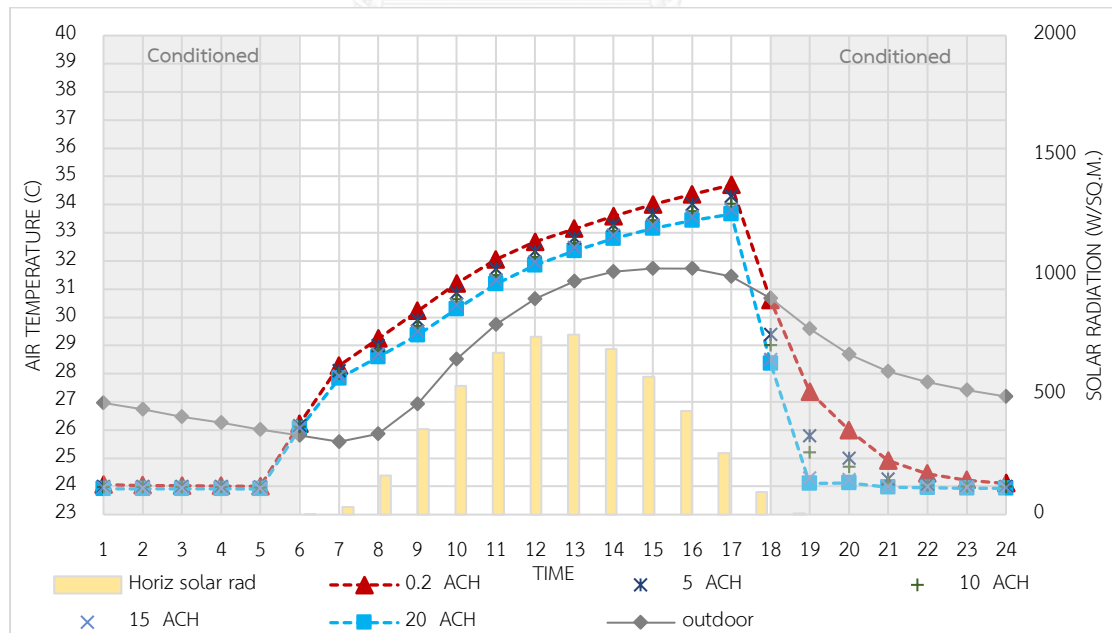
เครื่องปรับอากาศตามภาพที่ 3.6 ประมวลผลข้อมูลด้วยไฟล์สภาพอากาศ (bkk99) อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ 3, 9, 14 และ 22 ตำแหน่งตามภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องพัก

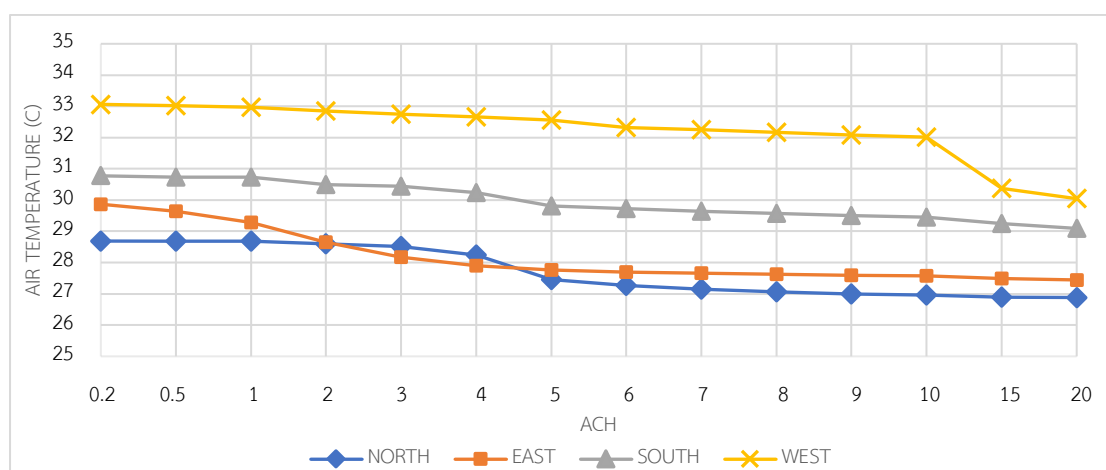
### 3.1.2.3 การวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการพิสูจน์สมมติฐาน

หลังจากการจำลองอาคารได้ข้อมูลตามที่ต้องการออกมาเป็น อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Temperature; °C) ของห้องพักทั้ง 4 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ตามการระบายอากาศทั้ง 14 ระดับ คือ 0.2 ACH (Base case), 0.5 ACH, 1 ACH, 2 ACH, 3 ACH, 4 ACH, 5 ACH, 6 ACH, 7 ACH, 8 ACH, 9 ACH, 10 ACH, 15 ACH และ 20 ACH เป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี 365 วัน 8,760 ชั่วโมง (Hourly report) แล้วจึงนำมาจัดเรียงและแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel 2010



แผนภูมิที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในอาคาร เฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 วัน ตลอดทั้งปี

จากแผนภูมิที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในอาคารเฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 วัน ตลอดทั้งปี พบว่า อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องพักลดลงสูงสุด 2.29 °C เมื่อเทียบกับ Base case (0.2 ACH) ในช่วงเวลา 18.00 น. เมื่อมีการเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 18.01 น. ห้องที่มีอัตราการระบายอากาศที่สูงจะทำให้อุณหภูมิภายในลดลงจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด 24 °C ภายใน 1 ชม. ต่างจาก Base case ที่ใช้เวลาประมาณ 6 ชม. ในการปรับอากาศให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนด

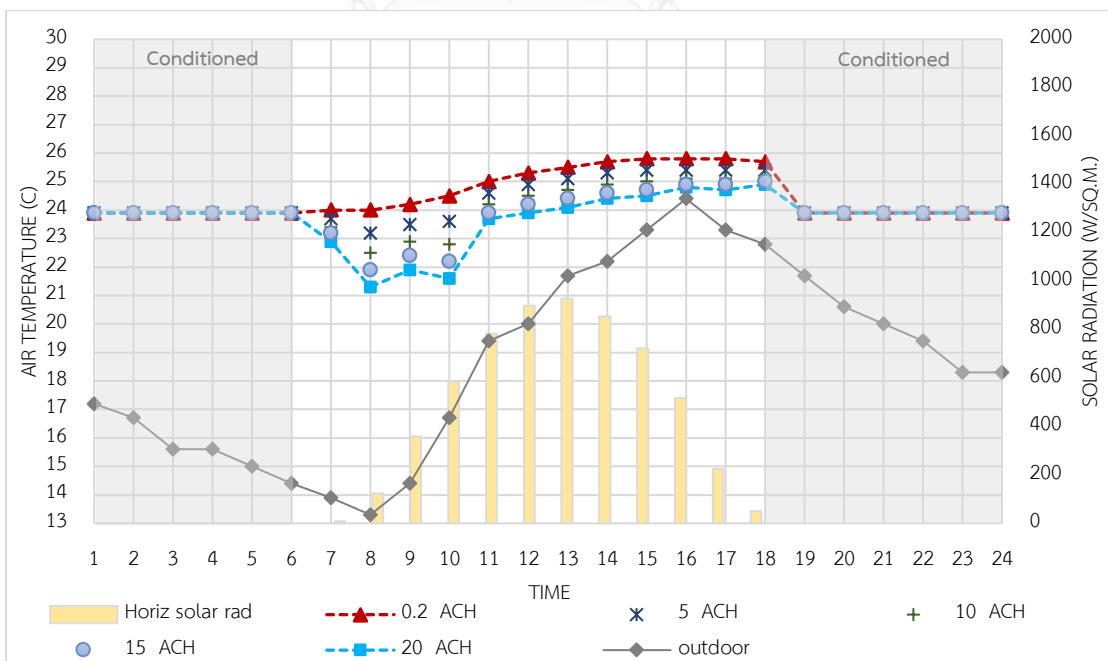
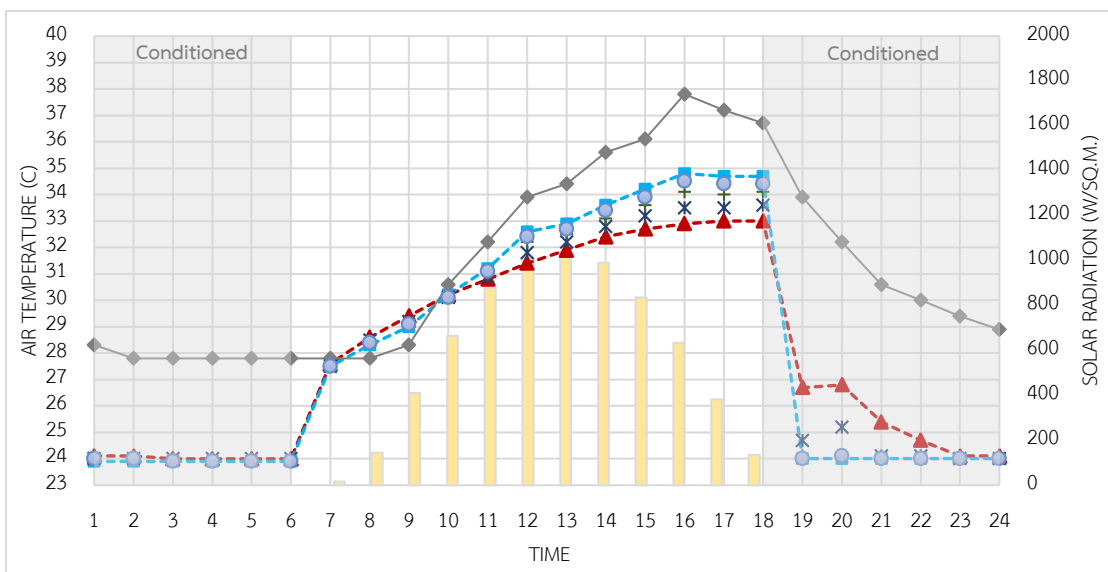


แผนภูมิที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในอาคารเฉลี่ยเวลา 18.00 น. ทั้ง 4 ทิศทาง

จากการศึกษาอุณหภูมิภายในห้องพักทั้ง 4 ทิศทาง (แผนภูมิที่ 3.2) พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการระบายอากาศต่อปีในแต่ละทิศทางที่เวลา 18.00 น. เมื่อเทียบกับ Base case (2ACH) ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้สูงสุด 3 °C ทางทิศตะวันตกที่อัตราการระบายอากาศ 20 ACH ส่วนทิศทางทิศเหนือเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ถึง 5 ACH อุณหภูมิจะลดลง 2 °C ซึ่งทางทิศตะวันออกเพิ่มอัตราการระบายอากาศ 3.5 ACH ก็ทำให้อุณหภูมิจะลดลง 2 °C ได้ และทางทิศใต้ต้องมีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศ 20 ACH อุณหภูมิจึงจะลดลง 2 °C ซึ่งเมื่อพิจารณา ร่วมกับ แผนภูมิที่ 3.1 จะพบว่าอัตราการระบายอากาศที่ 5 ACH ช่วยลดระยะเวลาในการปรับอากาศลงจาก Base case 3 ชม.

เมื่อพิจารณาเฉพาะวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของปี ตามข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (\*.bin) วันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดคือ วันที่ 7 มีนาคม และวันที่ 25 ธันวาคม ตามลำดับ จากแผนภูมิที่ 3.3 (บน) พบว่า อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นในวันที่มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดของปีส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องพักเวลา 18.00 น. สูงกว่า Base case (0.2 ACH) สูงที่สุด 1.70 °C แต่เมื่อมีการปรับอากาศอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่าก็ยังคง

ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับอากาศภายใน 1 ชม. ซึ่งสั้นกว่า Base case ที่ใช้เวลา 5 ชม. สอดคล้องกับแผนภูมิที่ 3.1 ส่วนแผนภูมิที่ 3.3 (ล่าง) นั้นแสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำที่สุดตลอดปี อุณหภูมิอากาศภายในห้องจะสูงกว่าภายนอก ช่วงที่มีการเพิ่มอัตราการระบายจะทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงเข้าใกล้อุณหภูมิที่กำหนดสำหรับเครื่องปรับอากาศและเมื่อถึงช่วงเวลาปรับอากาศ 18.01 น. อัตราการระบายอากาศทุกระดับใช้ระยะเวลาในการปรับอากาศถึงอุณหภูมิที่กำหนดภายในระยะเวลา 1 ชม.



แผนภูมิที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของการระบายอากาศกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร รายชั่วโมงในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด (บน) และอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด (ล่าง)

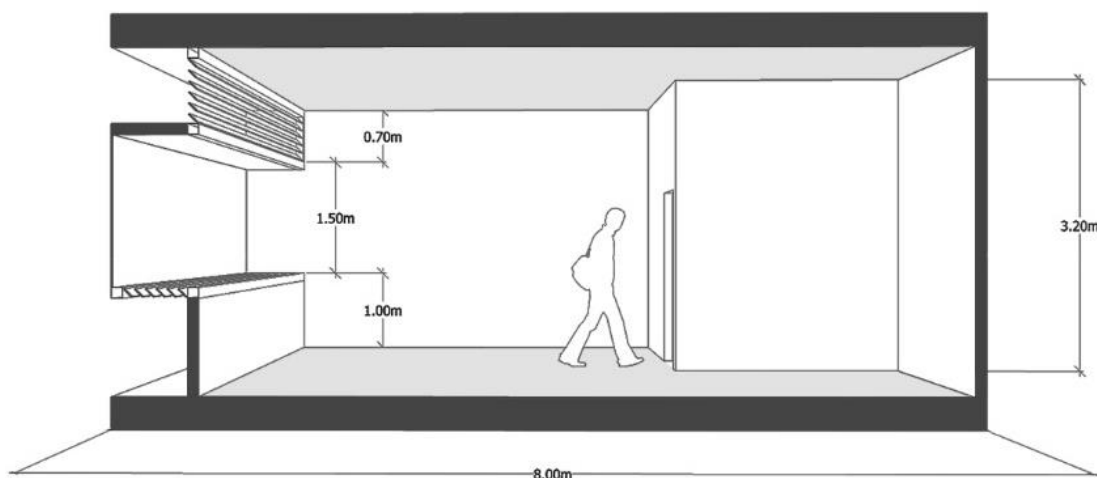
### 3.1.2.4 สรุปผลข้อมูลจากการพิสูจน์สมมติฐาน

จากสมมติฐานอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราการระบายอากาศสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารและช่วยลดระยะเวลาการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้สูงสุด 5 ชั่วโมง (จาก 6 ชั่วโมง เหลือ 1 ชั่วโมง) เมื่อมีการระบายอากาศ 20 ACH เป็นไปตามสมมติฐาน หากพิจารณาแยกตามทิศทาง ห้องพักทางทิศตะวันออก ทิศเหนือ และทิศใต้ หากมีการออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ถึง 5 ACH ทิศตะวันตกต้องใช้อัตราการระบายอากาศประมาณ 13 ACH จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในก่อนการปรับอากาศลง 2 °C ส่งผลให้ช่วยลดระยะเวลาปรับอากาศลง 3 ชม.

### 3.1.3 การกำหนดรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

จากการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ พฤติกรรมและลักษณะการไหลของลมผ่านอาคาร ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความกดอากาศและความต่างกันของอุณหภูมิที่ช่องลมเข้าและช่องลมออก ร่วมกับแนวทางการออกแบบ Breathing wall โดย Geoffrey Bawa กับหน้าต่างแบบ Monsoon window นำมาประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกด้านเดียว โดยช่องเปิด 2 ช่องที่มีระยะห่างกันนั้นเอื้อต่อการเกิดการลอยตัวของอากาศร้อนแบบ Stack effect รวมไปถึงการวางแนวช่องลมเข้าและออกที่ต่างกัน เพื่อให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศ เมื่อลมมาปะทะอาคารในแนวตั้งฉากทิศทางการไหลของอากาศจะเป็นไปในแนวตั้งคือ ไหลลงที่ระดับความสูง 1/3 ถึง 2/3 ของตัวอาคาร ส่วนที่ระดับ 1/3 ของส่วนบนสุดนั้นจะมีทิศทางไหลขึ้น [27]

ส่วนระยะห่างระหว่างช่องเปิดบนและล่างนั้น กำหนดไว้ที่ 1.50 เมตร ตาม Apartment Design Guide 2015 โดย NSW Department of Planning and Environment [16] และเมื่อคำนวณความลึกของห้องพักตามสัดส่วนความสูงที่แนะนำไว้คือ ความลึกของห้องพักเป็น 2 เท่าครึ่งของความสูง หากมีการออกแบบให้ช่องลมเข้า (inlet) และช่องลมออก (outlet) มีความสูงห่างกัน 1.50 เมตร (ภาพที่ 3.4) ระยะความสูงภายในห้องพักอาคารอ้างอิงนั้นเท่ากับ 3.20 เมตร เพราะฉะนั้นการกำหนดความลึกของห้องพักไว้ที่ 8 เมตร จึงอยู่ในขอบเขตที่สามารถระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติได้ ความกว้างของช่องเปิดเป็นแบบแคบความยาวเท่าผนัง จากการศึกษาข้างต้นตัวแปรช่องหน้าต่างในอาคารที่ระบายอากาศแบบด้านเดียวมักเป็นการเปิดช่องเปิดบนล่าง หรือซิดริมด้านข้างซ้ายและขวาของผนัง เพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านช่องเปิดได้ด้วยความแตกต่างของความกดอากาศโดยเฉพาะในทิศทางลมแบบเฉียง

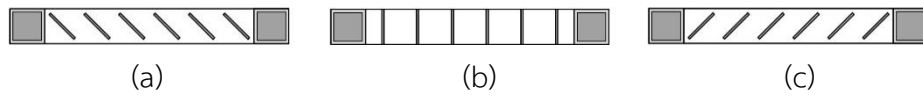


ภาพที่ 3.4 รูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

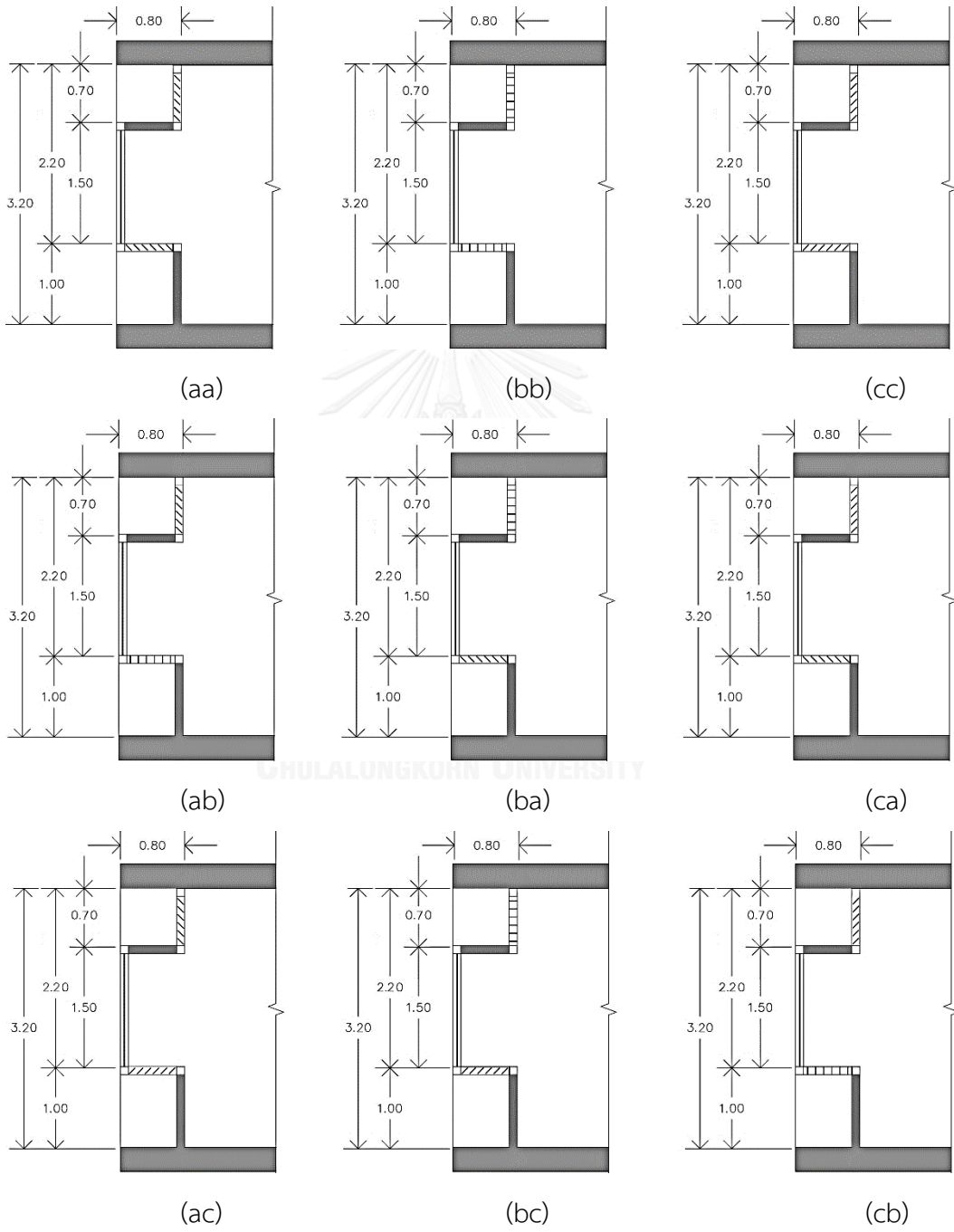
จากการศึกษารูปแบบช่องเปิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศ จากการศึกษาของ ดารณี เลหโตเน็น และคณะ [19] จึงกำหนดรูปแบบช่องเปิดในลักษณะบานเกล็ดปรับมุม เพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ความยืดหยุ่นในการใช้งาน และประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศ เนื่องจากการใช้งานห้องพักยังต้องมีการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกไม่เหมาะสมกับการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ หรือตามพฤติกรรมการใช้งานของผู้พักอาศัย [10] ที่จะมีการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 24.00 น. และจะปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเวลา 6.00 น.

### 3.1.4 ตัวแปรในการวิจัย

หลังจากกำหนดรูปแบบช่องเปิดเป็นบานเกล็ดปรับมุม จึงได้ทำการศึกษาการทำมุมของบานเกล็ดที่ส่งผลต่อการไหลของกระแสลมภายในอาคาร โดย Deepa Chandrashekar [33] ได้ทำการทดสอบด้วยอุโมงค์ลมเปรียบเทียบกับโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) กับองศาบานเกล็ดจาก  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$  พบว่า การทำมุมของบานเกล็ดที่เข้าใกล้  $90^{\circ}$  พื้นที่ free area มากลมที่เข้ามาจะมีความเร็วสูง เมื่อบานเกล็ดทำมุมตั้งฉากกับช่องเปิด ( $90^{\circ}$ ) คือการเปิดสูงสุด และบานเกล็ดทำมุมขนานกับช่องเปิด ( $0^{\circ}$ ) คือช่องเปิดที่ปิดสนิท ส่วนบานเกล็ดที่ทำมุม  $45^{\circ}$  กับช่องเปิดส่งผลให้มีการผสมผสานกันของอากาศรวดเร็วกว่า ในสภาพแวดล้อมที่ลมแรงเกินสภาวะน่าสบาย ลักษณะบานเกล็ดที่ทำมุม  $45^{\circ}$  สามารถช่วยลดความเร็วลมลงได้ งานวิจัยนี้จึงกำหนดรูปแบบการทำมุมของบานเกล็ดไว้ 3 รูปแบบคือ บานเกล็ดทำมุม  $-45^{\circ}$  (แบบ a) บานเกล็ดทำมุม  $90^{\circ}$  (แบบ b) และบานเกล็ดทำมุม  $45^{\circ}$  (แบบ c) ตามภาพที่ 3.5 เนื่องจากรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศในงานวิจัยนี้มี 2 ตำแหน่งคือ ด้านบนและด้านล่าง จึงมีการศึกษาเมื่อมีการใช้รูปแบบเกล็ดระบายอากาศร่วมกัน ดังนั้นตัวแปรการทำมุมของเกล็ดระบายอากาศจึงรวมเป็น 9 รูปแบบตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 การทำมุมเกลี๊ตระบายอากาศ 3 แบบ



ภาพที่ 3.6 รูปแบบเกลี๊ตระบายอากาศ 9 แบบ



ทิศทางลมก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความกดอากาศเมื่อลมปะทะกับอาคารในรูปแบบตั้งฉากหรือรูปแบบทำมุม จากการศึกษาข้างต้นตัวแปรด้านทิศทางลมนั้นส่งผลกับกระแสลมที่เข้ามาในอาคารค่อนข้างมากโดยเฉพาะสำหรับการระบายอากาศแบบด้านเดียว ดังนั้น จึงกำหนดตัวแปรทิศทางลมไว้ 2 แบบคือ ทิศทางลมแบบตั้งฉาก และทิศทางลมแบบทำมุม  $45^{\circ}$  กับผนังอาคาร

ตัวแปรด้านระดับความสูงของห้องพักก็มีความสำคัญเช่นกัน นอกจากทิศทางลมหลังจากปะทะกับอาคารจะแตกต่างกันระหว่างชั้นล่างและชั้นบนแล้ว ความเร็วลมในธรรมชาติที่จะมีการเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงก็เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศภายในอาคาร โดยค่าความเร็วลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของ 4 สถานีอากาศในกรุงเทพมหานคร คือ กรุงเทพมหานคร ท่าเรือคลองเตย บางนา และสนามบินดอนเมือง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2558 จากกรมอุตุนิยมวิทยา (ตารางที่ 3.2) คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.65 เมตรต่อวินาที สูงสุด 2.02 เมตรต่อวินาที และต่ำสุด 1.28 เมตรต่อวินาที วัดจากระยะความสูง 5 เมตรจากระดับพื้นดิน [34]

ตารางที่ 3.2 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของ 4 สถานีอากาศในกรุงเทพมหานคร

เดือน/จังหวัด	กทม.	คลองเตย	บางนา	ดอนเมือง	เฉลี่ย
มกราคม	0.715	1.980	0.880	1.995	1.39
กุมภาพันธ์	1.055	2.016	1.260	2.433	1.69
มีนาคม	1.286	2.176	1.615	3.020	2.02
เมษายน	1.245	1.965	1.389	2.788	1.85
พฤษภาคม	1.085	1.857	1.265	2.695	1.73
มิถุนายน	1.070	1.975	1.296	2.901	1.81
กรกฎาคม	1.039	1.862	1.229	3.056	1.80
สิงหาคม	1.008	1.857	1.183	2.912	1.74
กันยายน	0.910	1.708	0.983	2.598	1.55
ตุลาคม	0.633	1.734	0.741	2.006	1.28
พฤศจิกายน	0.705	2.032	0.946	2.143	1.46
ธันวาคม	0.700	2.068	0.967	2.183	1.48

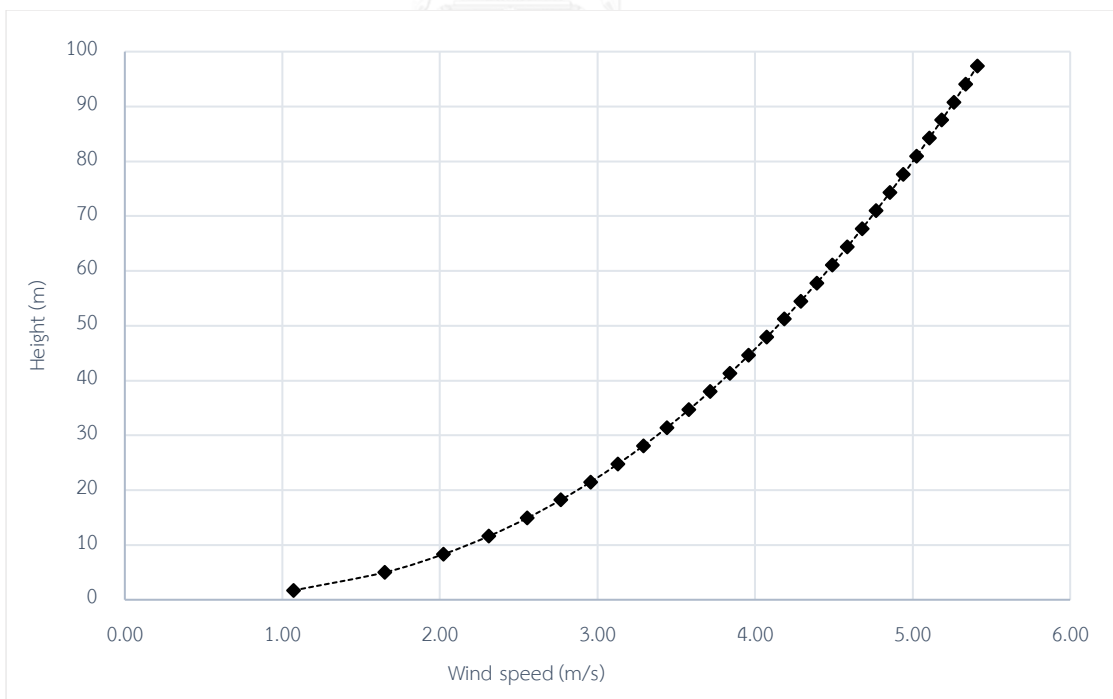
หลังจากนั้นนำมาคำนวณความเร็วลมตามที่ระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติจะแปรผันตรงกับระดับความสูงตามสมการ

$$V_z / V_g = \left( Z / Z_g \right)^\alpha \quad (2.1)$$

- เมื่อ  $V_z$  คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการ (เมตรต่อวินาที)  
 $V_g$  คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิง (เมตรต่อวินาที)  
 $Z$  คือ ระดับความสูงที่ต้องการ (เมตร)  
 $Z_g$  คือ ระดับความสูงอ้างอิง (เมตร)  
 $\alpha$  คือ ดัชนีความเสียดทานผิว ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.4 (สำหรับเมืองใหญ่)

ตัวอย่างการคำนวณความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ระดับความสูงอ้างอิง 5 เมตร ความเร็วลมเฉลี่ย 1.65 เมตรต่อวินาที ที่ชั้น 2 ของอาคาร ต้องการหาค่าความเร็วลมที่ชั้น 5 ระดับความสูง 15.50 เมตร

$$\begin{aligned} V_z / V_g &= (Z / Z_g)^\alpha \\ V_z / 1.65 &= (15.5 / 5)^{0.4} \\ V_z &= (3.1)^{0.4} \times 1.65 \\ &= 2.594 \quad \text{เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$



แผนภูมิที่ 3.4 ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงเมื่อแทนค่าตามสมการ

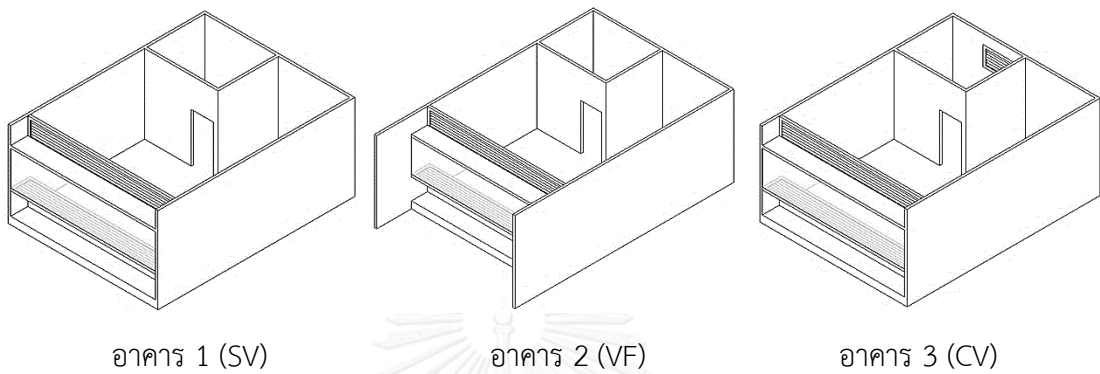
นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอัตราการระบายอากาศของช่องเปิดบานเกล็ด เมื่อเพิ่มองค์ประกอบจากการทบทวนวรรณกรรม คือ การติดตั้งครีบนั่งแนวตั้งและการเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศเชื่อมต่อกับทางเดินกลางของอาคาร ในงานวิจัยในขั้นตอนนี้ได้ทำการจำลองการระบายอากาศด้วยกระแสลมธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ไม่มีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องด้วยความเหมาะสมของระยะเวลา สามารถสรุปเป็นตัวแปรในงานวิจัยได้ ดังนี้

- |              |   |
|--------------|---|
| ตัวแปรต้น    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- เกล็ดระบายอากาศ 9 รูปแบบ</li> <li>- ทิศทางลมที่มาปะทะกับตัวอาคาร ทิศทางลมตั้งฉากและทิศทางลมทำมุม <math>45^{\circ}</math> กับผนังอาคาร</li> <li>- ระดับความสูงของห้องพัก 6 ระดับ (ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30)</li> <li>- การติดตั้งครีบนั่งแนวตั้งขนาด 1.50 เมตร</li> <li>- การเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศเชื่อมต่อกับทางเดินกลางของอาคาร</li> </ul>   |
| ตัวแปรตาม    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราการระบายอากาศ</li> </ul>  |
| ตัวแปรควบคุม | <ul style="list-style-type: none"> <li>- รูปแบบอาคาร double loaded corridor ทางเดินกลางกว้าง 1.50 เมตร ห้องพักขนาด 6x8 เมตร 24 ห้องต่อชั้น จำนวน 30 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 3.20 เมตร</li> <li>- ค่าความเร็วลมตั้งต้น ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอากาศในกรุงเทพมหานครตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2558 จากกรมอุตุนิยมวิทยา คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.65 เมตรต่อวินาที และเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง</li> <li>- การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมไว้ไม่ต่ำกว่าสัดส่วนที่แนะนำตาม Autodesk CFD Knowledge Network [20]</li> </ul> |

### 3.1.5 จำลองอาคารอ้างอิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD)

จำลองการไหลของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละรูปแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Sketch up 2016 (\*.skp) แปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ ACIS (\*.sat) Geometric modeling ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2015 เพื่อให้ได้แบบจำลองอาคารที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของของไหลในโปรแกรม Autodesk CFD Simulation 2015 อาคารที่ทำการจำลองนั้นมีขนาด 17.50 x 78.10 เมตร สูง 103.80 เมตร จำนวน 3 อาคาร ตามภาพที่ 3.7 และ 3.8 ประกอบด้วย อาคารที่มีการ

ระบายอากาศแบบด้านเดียว (Single sided ventilation, SV) อาคารที่มีการติดตั้งเพิ่มครีบนั่งทางตั้ง (Vertical fin, VF) ขนาด 1.50 เมตร และอาคารที่มีการเพิ่มช่องลมออกบริเวณโถงทางเดินส่วนกลาง (Cross ventilation, CV) ช่องเปิดส่วนผนังห้องน้ำขนาด  $0.60 \times 1.50$  เมตร โดยมีรูปแบบองศาบานเกล็ดแบบเดียวกับเกล็ดระบายอากาศด้านบน เชื่อมต่อสู่ภายนอกอาคารผ่านทางช่องเปิดขนาดเดียวกันที่ปลายโถงทางเดินทั้ง 2 ด้าน

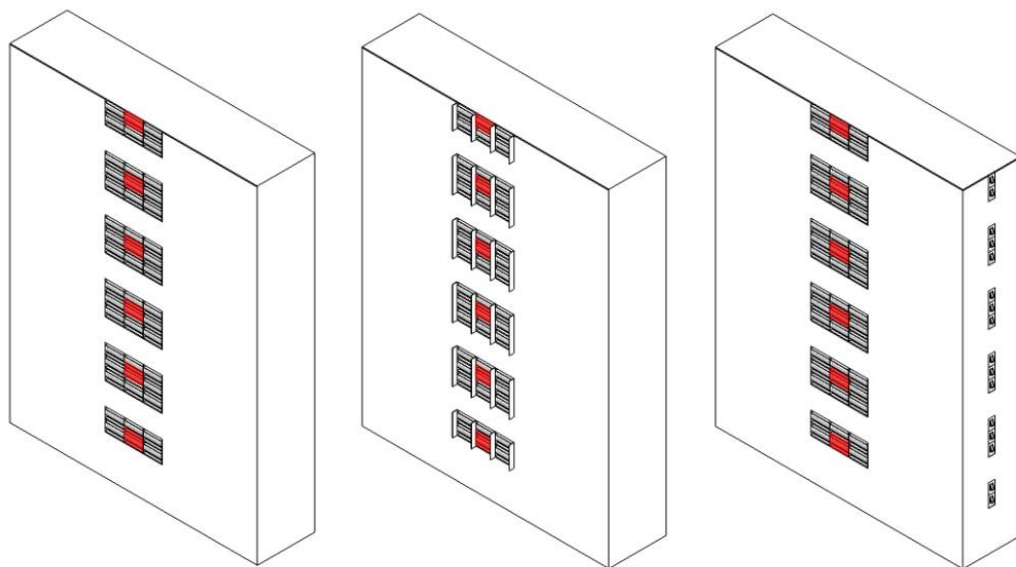


อาคาร 1 (SV)

อาคาร 2 (VF)

อาคาร 3 (CV)

ภาพที่ 3.7 รูปแบบห้องพักของอาคาร 3 รูปแบบ



อาคาร 1 (SV)

อาคาร 2 (VF)

อาคาร 3 (CV)

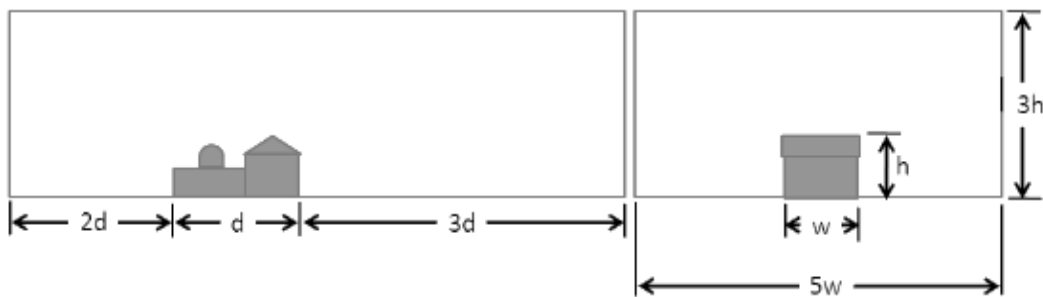
ภาพที่ 3.8 การจำลองอาคาร 3 รูปแบบที่ตำแหน่งความสูงห้องพักทุก ๆ 5 ชั้น

โดยทำการศึกษาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นทุก 5 ชั้น คือ ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 รวม 6 ตำแหน่ง ที่ห้องพักกลางอาคารเนื่องจากเป็นห้องที่ยากต่อการระบายอากาศมากที่สุด และเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและศักยภาพของคอมพิวเตอร์จึงทำการจำลองห้องพักโดยรอบห้องที่ต้องการศึกษาจากทุกทิศทางเท่านั้น จากการศึกษาเพิ่มเติมที่ชั้น 1-4

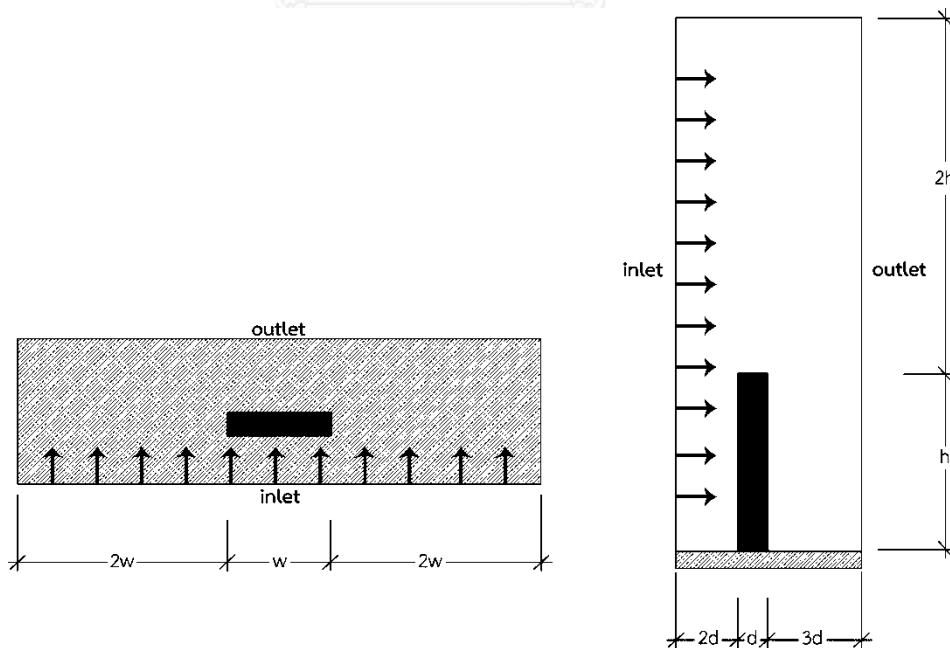
ของอาคารพักอาศัยรวมในเขตกรุงเทพมหานครส่วนมากจะเป็นพื้นที่จ่อตรล การจำลองอาคารส่วนพักอาศัยจึงเริ่มต้นที่ชั้น 5 เป็นต้นไป

### 3.1.5.1 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อม

การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมอาคารจะกำหนดตามที่มีการแนะนำไว้ใน Autodesk CFD Knowledge Network [20] ระยะเทียบเป็นสัดส่วนจากขนาดของแบบจำลอง นับจากทางแกน X ด้านละ 2 เท่า แกน Y ระยะจาก inlet 2 เท่าจากระยะ outlet 3 เท่า ความสูงทางแกน Z เป็นระยะ 3 เท่าของความสูงอาคาร ตามภาพที่ 3.8 ระยะขอบเขตสภาพแวดล้อมจึงคิดเป็น 6 เท่าจากจุด inlet ถึง outlet ความกว้าง 5 เท่า และความสูง 3 เท่าของความสูงอาคาร

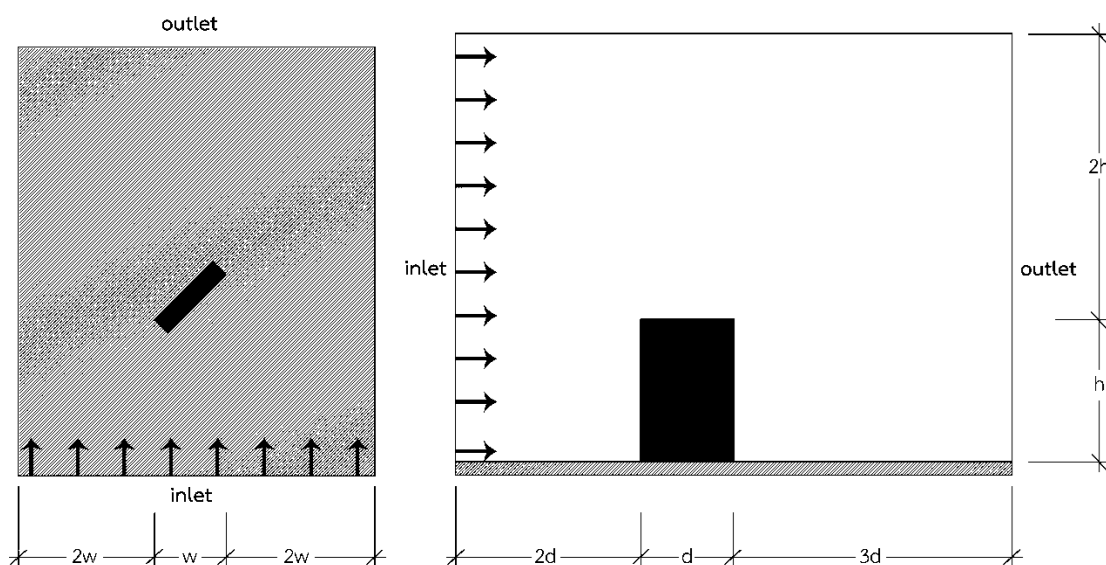


ภาพที่ 3.9 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเทียบจากแบบจำลอง  
(ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network)



ภาพที่ 3.10 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเมื่อทิศทางลมเป็นแบบตั้งฉาก  
(ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network)

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการกำหนดทิศทางลมภายนอก 2 ลักษณะ คือ ทิศทางลมตั้งฉากกับทิศทางลมทำมุม  $45^\circ$  ดังนั้น ที่ทิศทางลมตั้งฉากคำนวณตามวิธีการกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมข้างต้นจากขนาดอาคาร  $17.50 \times 78.10 \times 103.80$  เมตร ขอบเขตสภาพแวดล้อมสำหรับทิศทางลมตั้งฉากจึงเท่ากับ  $105 \times 390.50 \times 311.40$  เมตร (ภาพที่ 3.9) ส่วนทิศทางลมทำมุม จะทำการคิดขอบเขตอาคารตามระยะการวางอาคารแบบเฉียง และคำนวณระยะขอบเขตสภาพแวดล้อมตามวิธีการเดิม (ภาพที่ 3.10) มีขนาด  $340 \times 408 \times 311.40$  เมตร

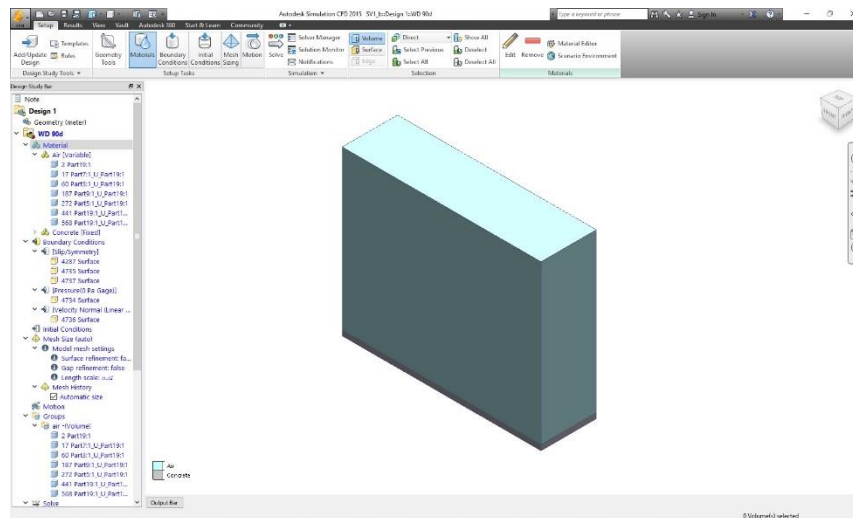


ภาพที่ 3.11 การกำหนดขอบเขตสภาพแวดล้อมเมื่อทิศทางลมเป็นแบบทำมุม  $45^\circ$

(ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network)

### 3.1.5.2 การตั้งค่าการคำนวณและสถานะเงื่อนไข

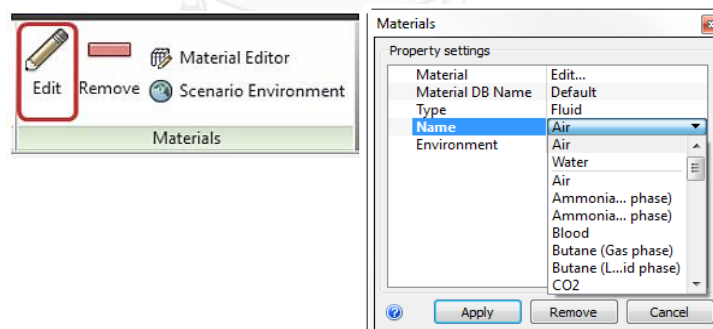
โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล Autodesk CFD Simulation เป็นโปรแกรมคำนวณเพื่อวิเคราะห์การไหลของของเหลวหรือก๊าซที่เกิดขึ้นกับพื้นผิวภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตที่ถูกกำหนด ในรูปแบบการจำลองสถานการณ์แบบ 3 มิติ ซึ่งในที่นี้จะทำการศึกษาเฉพาะอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นจากแรงลมภายนอกมาปะทะกับตัวอาคาร โดยไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ หลังจากแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ ACIS (\*.sat) Geometric modeling ด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2015 เพื่อให้ได้แบบจำลองอาคารที่สามารถใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของของไหลในโปรแกรม Autodesk CFD Simulation 2015 - Create new design study เปิดไฟล์ (\*.sat) ในโปรแกรม Autodesk CFD Simulation จะกลายเป็นไฟล์ (\*.cfdst) แล้วจึงกำหนดค่าแบบจำลองก่อนทำการ Run Simulation ที่แถบคำสั่ง Setup ตามหัวข้อคำสั่ง ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม CFD  
(ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

### 1) การกำหนด Materials

กำหนดรูปแบบวัสดุและลักษณะของของไหลให้กับแบบจำลอง ทำการกำหนดค่า Materials จาก Unassigned ซึ่งในที่นี้จะทำการสร้างขอบเขตสภาพแวดล้อมมาตั้งแต่จำลองอาคารจากโปรแกรม Sketch up กำหนดขอบเขตเป็นของไหลประเภท Fluid - Air ส่วนตัวอาคารกำหนดเป็นวัสดุที่บตัน Solid - Concrete

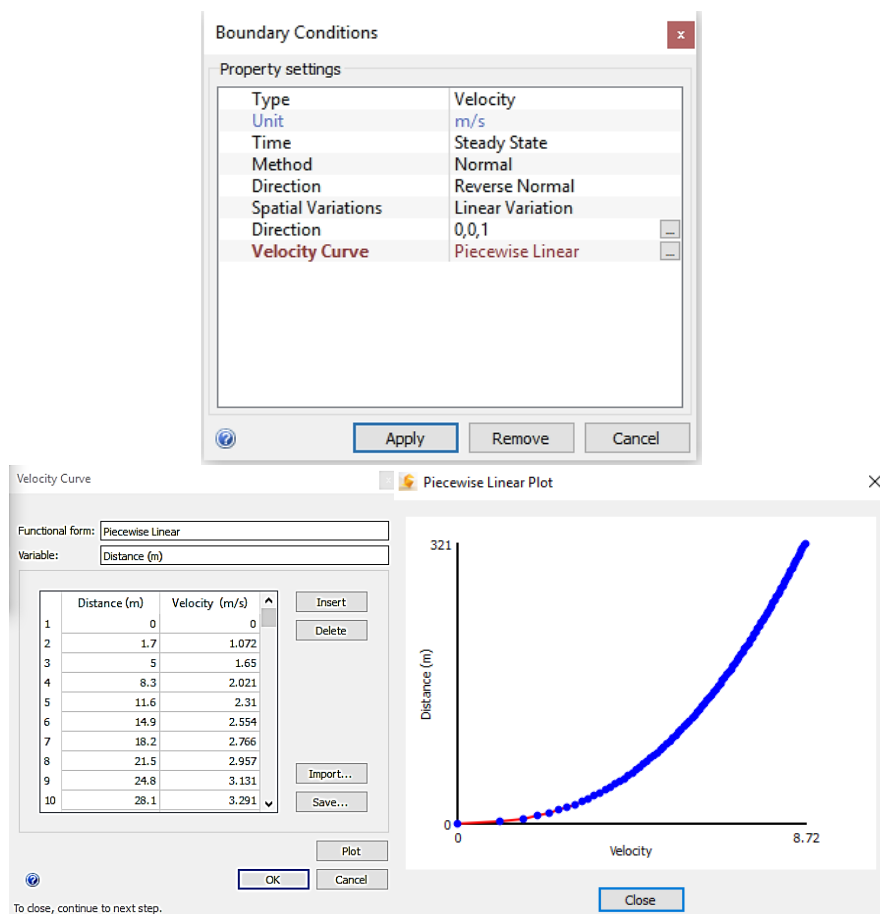


ภาพที่ 3.13 การกำหนดประเภทของวัสดุและของไหลในโปรแกรม CFD  
(ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network)

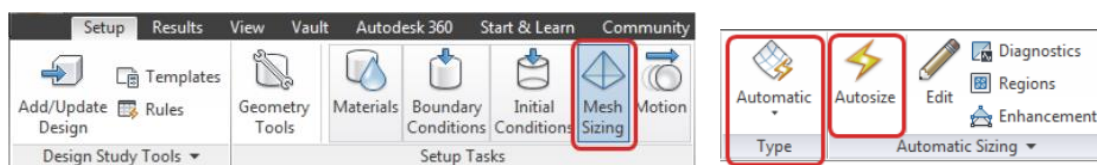
### 2) Boundary Condition

การกำหนดลักษณะขอบเขตสภาพแวดล้อม ด้าน inlet กำหนดให้เป็นด้านที่เกิด Type - Velocity ตั้ง Spatial variation เป็นแบบ Linear Variation แล้วใส่ค่าความเร็วลมที่คำนวณไว้ก่อนหน้าเทียบกับระดับความสูง (ภาพที่ 3.13) ส่วน outlet กำหนด Type -

Pressure เป็น 0 Pa ส่วนด้านที่ต้องการให้ของเหลวไหลขนานไปตามผนังแทนที่จะหยุดอยู่ที่ผนัง ตั้งค่าเป็น Slip/Symmetry ด้านข้างและด้านบนของขอบเขตสภาพแวดล้อม



ภาพที่ 3.14 การกำหนดลักษณะของขอบเขตสภาพแวดล้อมในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD)



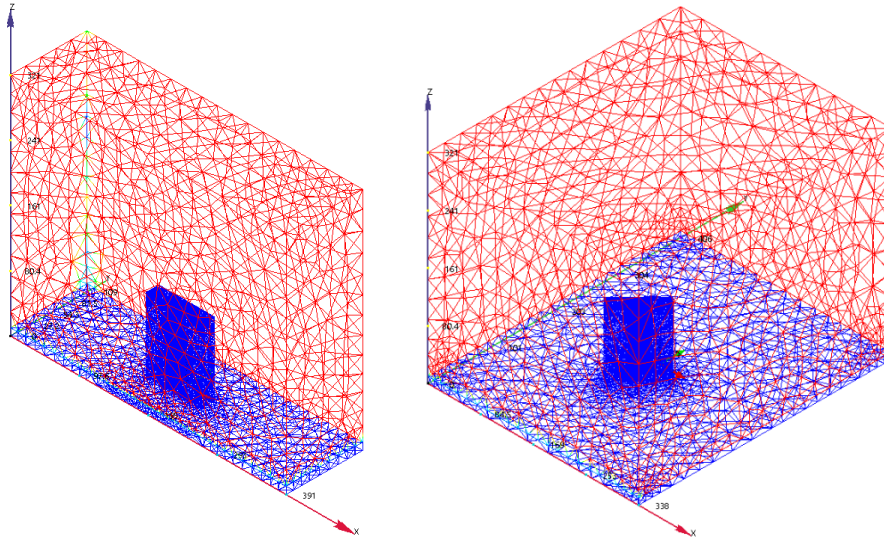
ภาพที่ 3.15 วิธีตั้งค่าการคำนวณ Mesh Sizing ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk CFD Knowledge Network)

### 3) Mesh Sizing

การวิเคราะห์และกำหนดขนาดเซลล์ตามการคำนวณค่าตามโปรแกรม Mesh Sizing - Autosize ออกมาในลักษณะเซลล์แบบพีระมิดสี่เหลี่ยมทรงสี่หน้า โดยจะมีความ



หนาแน่นของเซลล์มากบริเวณช่องเปิดใกล้ตัวอาคาร และขยายใหญ่ขึ้นเมื่อเข้าไปใกล้ริมขอบเขตสภาพแวดล้อม

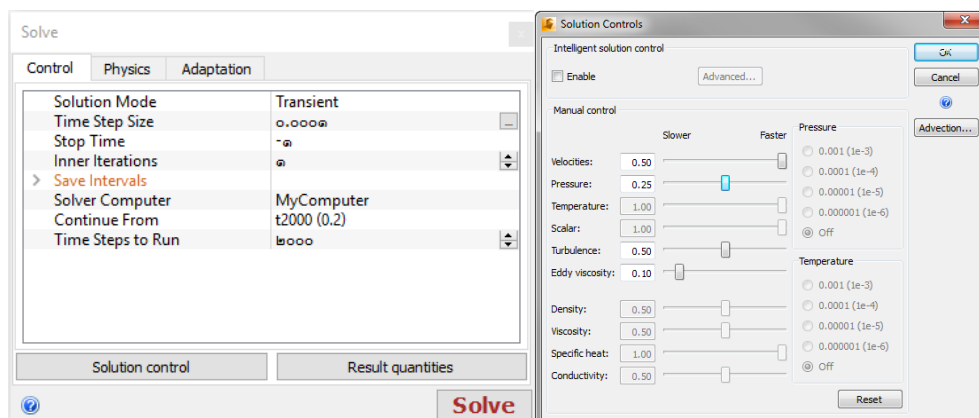


ภาพที่ 3.16 รูปแบบเซลล์ Mesh Sizing ของแบบจำลองในโปรแกรม CFD

(ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

#### 4) Solve

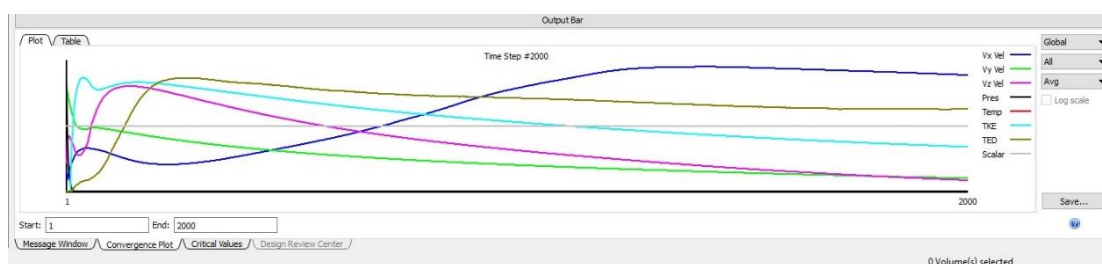
ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการประมวลผล โดยกำหนด Solution Mode – Transient ตั้งค่า Time step size ที่ 0.0001 และกำหนดค่า Time Step to Run ที่ 2000 iteration การเลือก Non-motion transient ไม่ส่งผลต่อผลต่อความถูกต้องของผลการศึกษา เป็นการกำหนด Time step size ส่งผลให้การประมวลผลใช้เวลามากขึ้น กำหนด Solution control ตั้งค่า pressure ไว้ที่ 0.25 ชนิดของโดเมนในการคำนวณการไหลเป็นแบบ k-epsilon



ภาพที่ 3.17 วิธีตั้งค่าการประมวลผล และ Solution control ในโปรแกรม CFD

(ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

การตั้งค่าการประมวลผลสำหรับโปรแกรม CFD จะไม่ได้คำนวณทั้งหมดภายในครั้งเดียวแต่เป็นลักษณะของการทำซ้ำ จำนวนรอบที่เหมาะสมในการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้จากลักษณะการลู่เข้า (Convergence) ของกราฟที่มีความชันต่ำสุด จากภาพ 3.17 เป็นรูปแบบที่กำหนด Time step to run ไว้ 2000 iteration ลักษณะการลู่เข้าของกราฟนับว่าเป็นรอบการคำนวณจนถึงจุดที่เสถียรภาพของของไหลอยู่ในระดับที่สมดุล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงกำหนดรอบการคำนวณของทุกกรณีไว้ที่ 2000 ครั้ง



ภาพที่ 3.18 วิธีตั้งค่าการประมวลผลและSolution control ในโปรแกรม CFD  
(ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

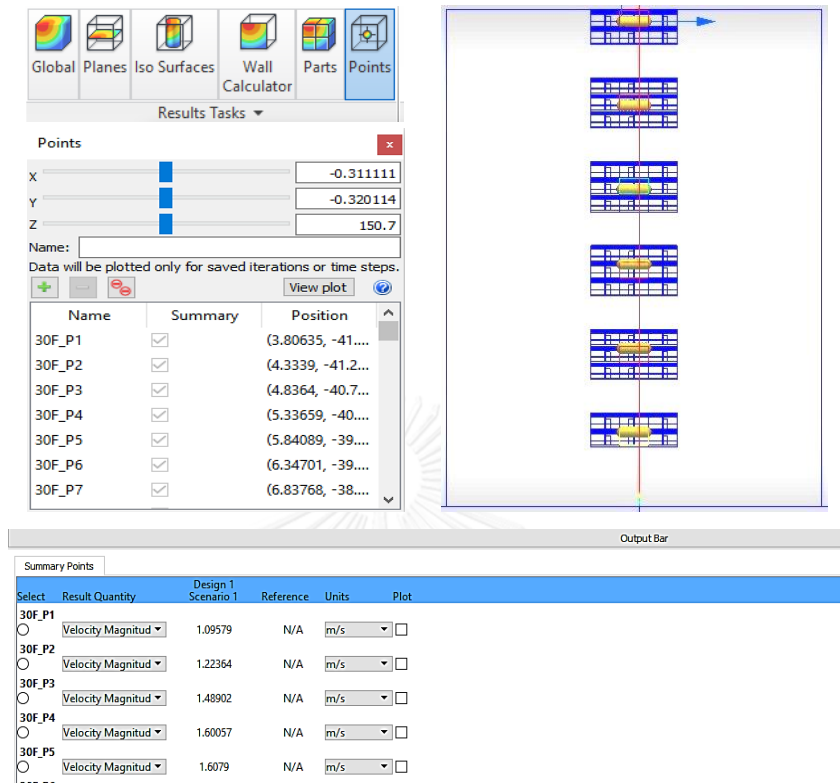
#### 5) Result

หลังจากการประมวลผลครบ 2000 iteration โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณออกมาเป็นทิศทางและความเร็วลมของแต่ละเซลล์ ภายใต้ขอบเขตสภาพแวดล้อมที่กำหนด การนำผลออกมาจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลตัวเลขและรูปภาพ

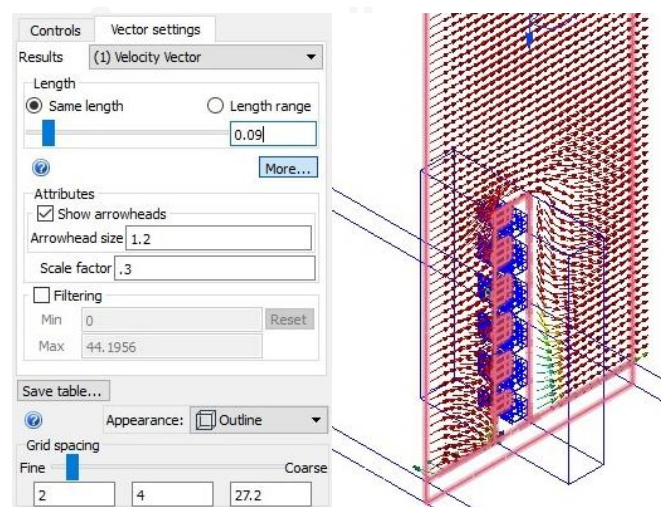
ข้อมูลตัวเลขค่าความเร็วลมตามตำแหน่งตรวจวัด สำหรับช่องเปิดรูปแบบเกล็ดระบายอากาศตามวิธีการตรวจวัดจากการศึกษาของ William Fisk และ Douglas Sullivan [35] เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ โดยการกำหนดค่าตำแหน่งตามแกน x, y, z ที่แถบคำสั่ง Results – Points หลังจากนั้นกดเพิ่มใน Summary โดยการกดเครื่องหมายถูกใต้แถบ Summary ผลจากตำแหน่งตรวจวัดจะขึ้นในแถบ Decision Center – Critical Values ในส่วน Summary Points จากนั้นทำการ Update critical value ผลการวัดค่าจะขึ้นที่แถบ Output bar ทำการเลือกค่า Velocity Magnitude ที่แถบ Result Quantity กำหนดหน่วยตรวจวัดเป็น m/s หลังจากนั้นกด Save ข้อมูลจะออกมาเป็นไฟล์ (\*.csv) ที่สามารถนำไปสามารถใช้คำนวณต่อในโปรแกรม Microsoft Excel ได้

ข้อมูลรูปภาพสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลม เพื่อใช้ประกอบในการกำหนดพื้นที่ช่องเปิดส่วนทิศทางลมไหลเข้าสู่ห้องพัก จากแถบคำสั่ง Result – Plane แล้วจึงกำหนดตำแหน่งแสดงผลในรูปแบบ Section plane ด้วยการ Edit – Control ตามแกน x, y, z เมื่ออยู่ในตำแหน่งแล้วจึงทำการเลือกรูปแบบการแสดงผลที่ Velocity setting – (1)

Velocity vector กำหนดขนาดลูกศรแสดงทิศทางลมกับความถี่ (Grid spacing) หลังจากนั้น เลือก Static image เพื่อ save ภาพหน้าจอแสดงผลขณะนั้น



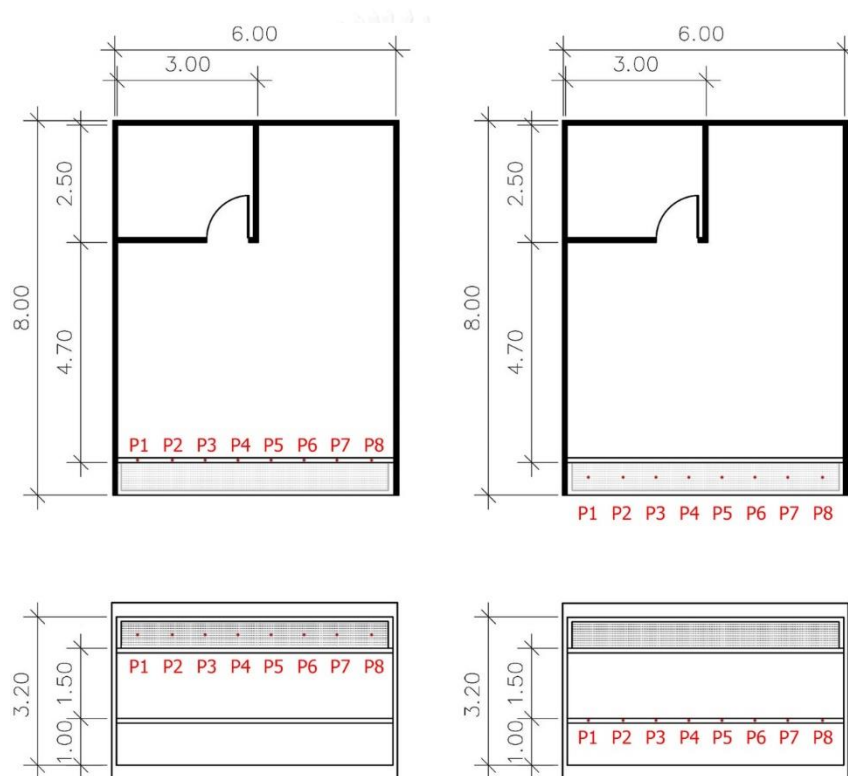
ภาพที่ 3.19 การวัดค่าความเร็วลมด้วยการระบุตำแหน่ง (Points) ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD)



ภาพที่ 3.20 การแสดงผลภาพ Velocity vector ในโปรแกรม CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

### 3.1.5.3 ตำแหน่งการตรวจวัดค่าความเร็วลม

การกำหนดตำแหน่งตรวจวัดผลจะกำหนดตามวิธีการของ William Fisk และ Douglas Sullivan [35] ที่ได้ทำการตรวจวัดความเร็วลมเพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิดประเภทบานเกล็ด ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมที่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างบานเกล็ด จากลักษณะเกล็ดระบายอากาศที่ค่อนข้างยาวจึงแบ่งระยะบานเกล็ดออกเป็น 8 ส่วนเท่ากัน (ประมาณ 0.713 เมตร) แล้วใช้ตำแหน่งกึ่งกลางเพื่อเป็นตำแหน่งตรวจวัดค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดทั้งด้านบน และด้านล่าง ตามภาพ 3.20 นอกจากค่าความเร็วลมต้องมีการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมด้วยรูปภาพที่ตำแหน่งเดียวกันนี้ด้วยเช่นกัน เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศในขั้นตอนต่อไป

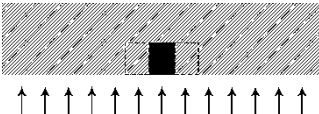
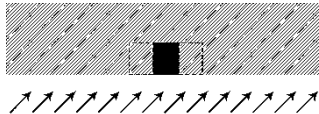
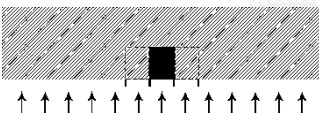
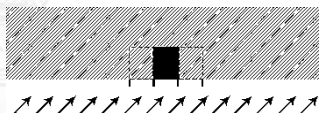
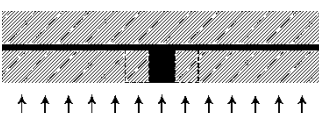
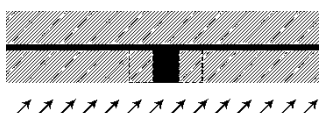


ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งตรวจวัดค่าความเร็วลม 8 จุด

### 3.1.6 ผลการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม CFD

ผลการจำลองจากอาคาร 3 รูปแบบ (SV, VF และ CV) ทิศทางทางลม 2 ทิศทาง ของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ 9 รูปแบบ รวม 54 กรณี (ตารางที่ 3.3) ทำการตรวจวัดผลที่ตำแหน่งห้องพัก 6 ระดับ คือ ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และ ชั้น 30 จากข้อมูลค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่าง ทำการวิเคราะห์ร่วมกับภาพพฤติกรรมการไหลของลมเข้าสู่ตัวอาคาร เพื่อสามารถคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศตามสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 รูปแบบอาคาร ทิศทางลม และลักษณะของช่องเปิดเกิดระบายอากาศทั้ง 54 กรณี

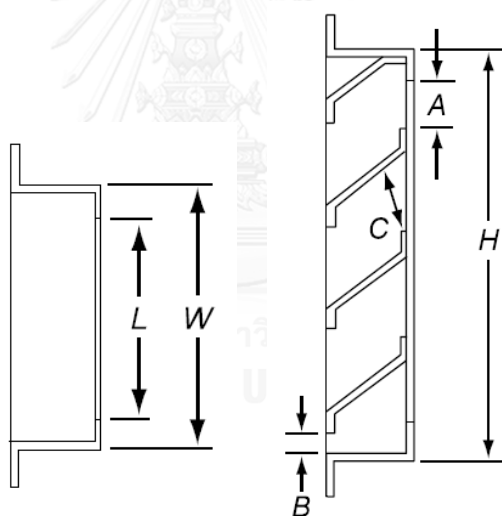
อาคาร	ทิศทางลม		รูปตัดเกิดระบาย
	ตั้งฉาก	ทำมุม	
อาคาร 1 (SV)			แบบ aa
			แบบ ab
อาคาร 2 (VF)			แบบ ac
			แบบ bb
อาคาร 3 (CV)			แบบ ba
			แบบ bc
			แบบ cc
			แบบ ca
			แบบ cb

จากตำแหน่งวัดค่าความเร็วลมตามขั้นตอนข้างต้น นำผลความเร็วลมของช่องเปิด 8 ตำแหน่ง ของห้องพัก 6 ห้อง ที่ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และ ชั้น 30 มาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหลของอากาศตามสมการ

$$Q = VA \quad (3.1)$$

เมื่อ	$Q$	คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร ต่อ วินาที)
	$V$	คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
	$A$	คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิด (ตารางเมตร)

ในที่นี้ช่องเปิดมีลักษณะเป็นเกล็ดระบายอากาศ การคิดพื้นที่หน้าตัดจึงคำนวณตามวิธีการของ Air Movement and Control Association International (AMCA) [36] ตามสมการที่ 3.2 รูปแบบ Horizontal blade louvers จาก Certified Rating Program Product Rating Manual for Air Control Devices เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณต่อในสมการ 3.1



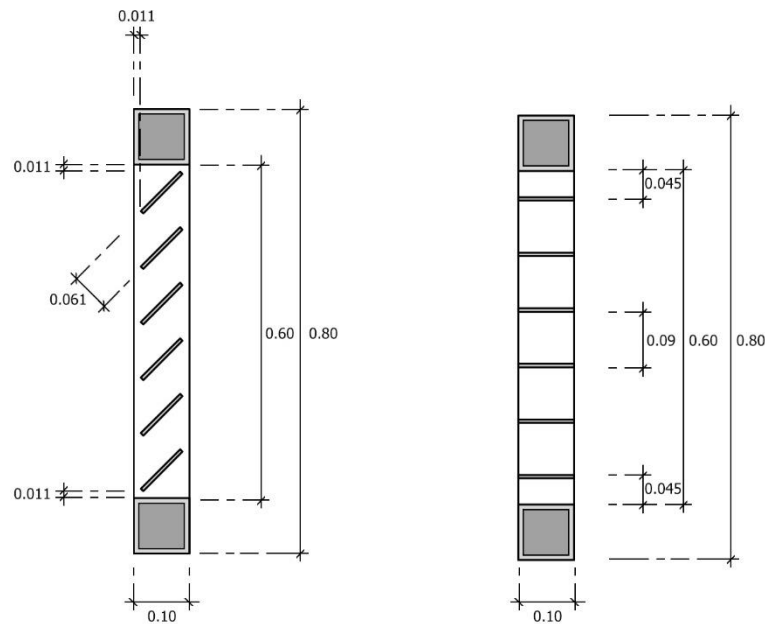
ภาพที่ 3.22 ตัวแปรการคำนวณ Free area สำหรับ Horizontal blade louvers  
(ที่มา: AMCA, AMCA Publication 511-10)

$$FreeArea = L \cdot [A + B + (N \cdot C)] \quad (3.2)$$

เมื่อ	$A$	คือ	ระยะระหว่างขอบวงกบจนถึงบานเกล็ดบานบนสุด**
	$B$	คือ	ระยะห่างระหว่างวงกบล่างกับบานเกล็ดบานล่างสุด*
	$C$	คือ	ระยะห่างระหว่างบานเกล็ด*
	$N$	คือ	จำนวนระยะ C ของบานเกล็ด

L	คือ	ระยะห่างระหว่างขอบวงกบด้านข้าง
W	คือ	ความกว้างของช่องเปิดรวม
H	คือ	ความสูงของช่องเปิดรวม

\*\*หากระยะ C ต่ำกว่าระยะ A ให้ใช้ค่า C แทน \*ระยะ A, B และ C เฉลี่ยรวมกันไม่เกิน 1 นิ้ว



ภาพที่ 3.23 ขนาดของช่องเปิดระบายอากาศแบบ a, c (ซ้าย) แบบ b (ขวา)

แบบ a, c

$$\begin{aligned} \text{Free area} &= L [A + B + (N \times C)] \\ &= 5.7 [0.011 + 0.011 + (5 \times 0.061)] \\ &= 1.864 \quad \text{ตารางเมตร} \end{aligned}$$

แบบ b

$$\begin{aligned} \text{Free area} &= L [A + B + (N \times C)] \\ &= 5.7 [0.045 + 0.045 + (5 \times 0.09)] \\ &= 3.078 \quad \text{ตารางเมตร} \end{aligned}$$

ขนาดวงกบและเกล็ดระบายอากาศกำหนดโดยศึกษาจากการพัฒนารูปแบบเกล็ดระบายอากาศของ Louvertex ผู้พัฒนาระบบระบายอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน ส่วนการกำหนดขนาดช่องลมเข้าและออกนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์จากทิศทางลมบริเวณช่องเปิดว่ามีทิศทางไหลเข้าหรือไหลออกที่ตำแหน่งใด พิจารณาตามลักษณะการไหล (Vector) เพื่อหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมและคำนวณขนาดความกว้างช่องลมได้ถูกต้อง

หลังจากนั้นนำอัตราการไหลของลมมาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศเมื่อเทียบกับจำนวนเท่าของปริมาตรห้องพักใน 1 ชั่วโมง (Air Change per Hour) ตามสมการ

$$ACH = (Q \cdot 3600) / V \quad (3.3)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร ต่อ วินาที)  
 $V$  คือ ปริมาตรของห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

### 3.1.7 การจำลองค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

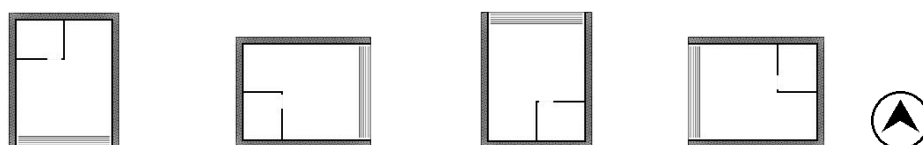
รายละเอียดห้องพักสำหรับอาคารอ้างอิงตามรูปแบบอาคารที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรม การไหลของลมผ่านเกล็ดระบายอากาศ กำหนดช่วงอัตราการระบายอากาศจากผลของจำลองเกล็ด ระบายอากาศทั้ง 9 รูปแบบ เพื่อใช้เป็นค่าอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งาน เครื่องปรับอากาศ ทิศทางการวางอาคาร 4 ทิศทาง (ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก) ช่วงเวลาการปรับอากาศจาก 18.01 น. ถึง 6.00 น. ปรับเป็น 20.00 น. ถึง 6.00 น. จากการสำรวจ โดยدنุสรณ์ บัวขจร แสดงว่าพฤติกรรมการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่คนเกินร้อยละ 50 เปิดใช้งาน เครื่องปรับอากาศ จะเป็นเวลา 20.00 น. เป็นต้นไป เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานในการทำความเย็น จาก Electrical End-use Totals (kWh) ผลรวมของค่า Cooling และ Fans นำมาเฉลี่ยเพื่อ เปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อปีเมื่อมีการระบายอากาศการเปิดเครื่องปรับอากาศ

#### 3.1.7.1 กำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น : อัตราการระบายอากาศ  
 ตัวแปรตาม : ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น  
 ตัวแปรควบคุม : ช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศ

#### 3.1.7.2 กำหนดรายละเอียดการจำลองห้องพัก

พื้นที่ห้องพัก : 6 x 8 เมตร  
 พื้นที่ผนังภายนอก : 21 ตารางเมตร  
 พื้นที่ปรับอากาศ : 40 ตารางเมตร  
 ระดับความสูงจากนถึงฝ้าเพดาน : 3.20 เมตร  
 ทิศทางการวางแนวอาคาร : 4 ทิศทาง



ภาพที่ 3.24 การวางทิศทางอาคารเพื่อคำนวณการใช้พลังงาน 4 ทิศทาง



### รายละเอียดวัสดุ

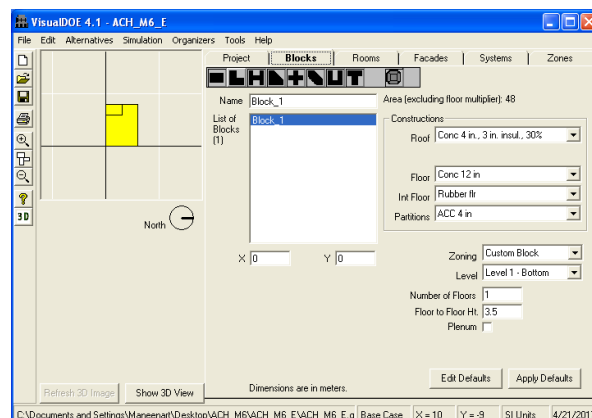
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	หนา 25 เซนติเมตร
ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ	หนา 10 เซนติเมตร
หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก	หนา 25 เซนติเมตร
หน้าต่างภายนอก กระจกใส (SHGC=0.73)	หนา 6 เซนติเมตร
ฉนวนสำหรับผนังและหลังคา U-factor มีค่า	0.07

### รายละเอียดพฤติกรรมการใช้งาน

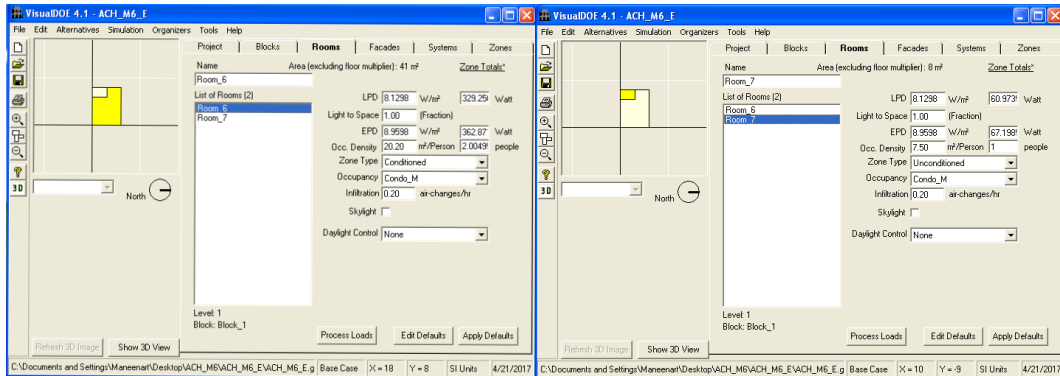
LPD	8.13 W/m <sup>2</sup>
EQD	8.96 W/m <sup>2</sup>
ความหนาแน่นของผู้พักอาศัย	20.2 m <sup>2</sup> /person
อัตราการรั่วซึมอากาศ	14 ระดับ (0.2 ACH, 5 ACH, 10 ACH, 20 ACH, 30 ACH, 40 ACH, 50 ACH, 60 ACH, 70 ACH, 80 ACH, 90 ACH, 100 ACH, 150 ACH และ 200 ACH)
ช่วงเวลาการระบายอากาศตามธรรมชาติ	6.01 น. – 20.00 น.
ช่วงเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศ	20.01 น. – 6.00 น.
อุณหภูมิปรับอากาศ	25 องศาเซลเซียส

### 3.1.7.3 ตั้งค่าการจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1

สร้างแบบจำลองห้องพักตามการจำลองรูปแบบเกิดระบายอากาศของพื้นที่ห้องพัก แบ่งเป็นพื้นที่ส่วนพักอาศัย และห้องน้ำ จำลองอาคารด้วยไฟล์สภาพอากาศ bkk99 (\*.bin) เพื่อหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรายชั่วโมง

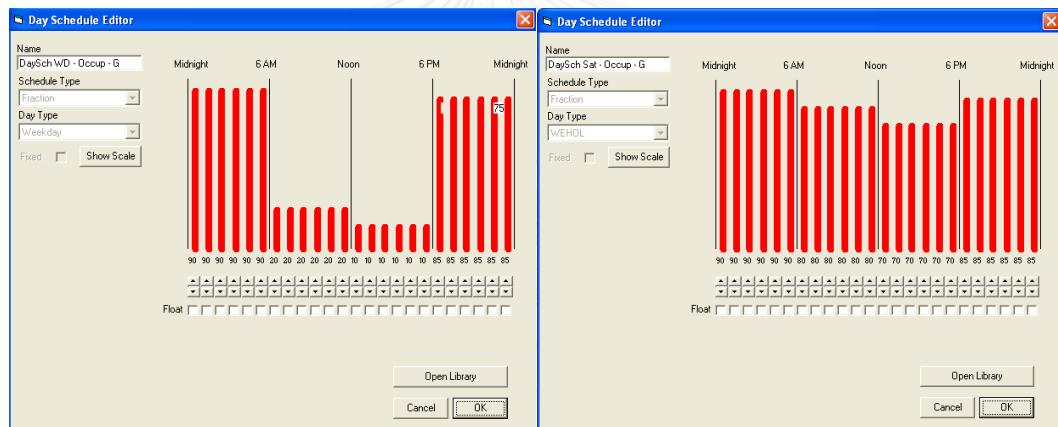


ภาพที่ 3.25 ลักษณะอาคารอ้างอิงจากโปรแกรม Visual DOE 4.1

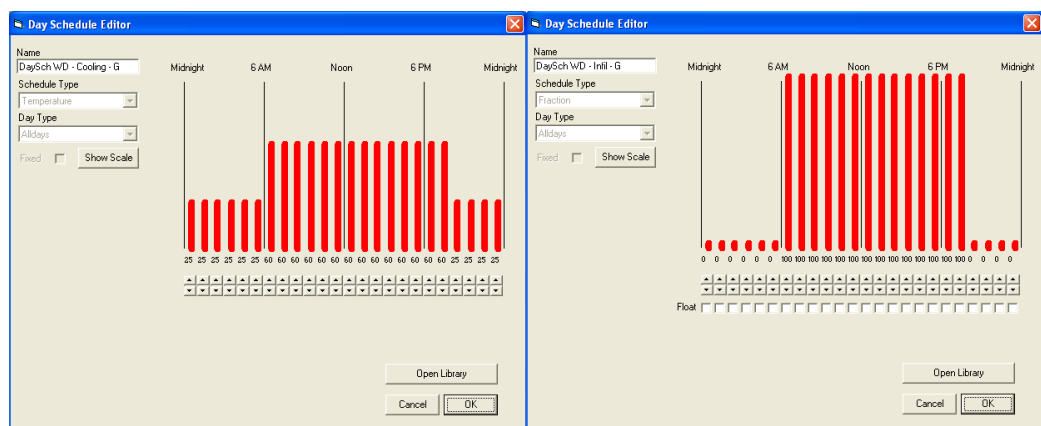


ภาพที่ 3.26 การกำหนดค่าการใช้งานพื้นที่ส่วนปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

จำลองห้องพัก 1 ห้อง ภายในห้องพักแบ่งเป็นพื้นที่พักอาศัย ขนาด 40.40 ตารางเมตร ที่มีการปรับอากาศตั้งแต่เวลา 20.01 น. ถึง 6.00 น. และห้องน้ำพื้นที่ไม่ปรับอากาศขนาด 7.50 ตารางเมตร



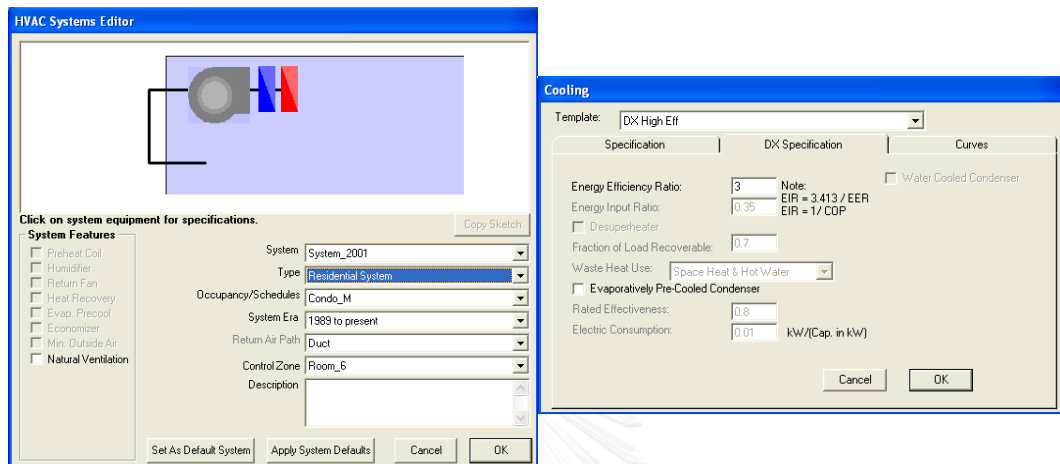
ภาพที่ 3.27 การกำหนดช่วงเวลาการใช้งานห้องพักสำหรับวันจันทร์ถึงศุกร์ และวันเสาร์ถึงอาทิตย์



ภาพที่ 3.28 การกำหนดช่วงเวลาการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ

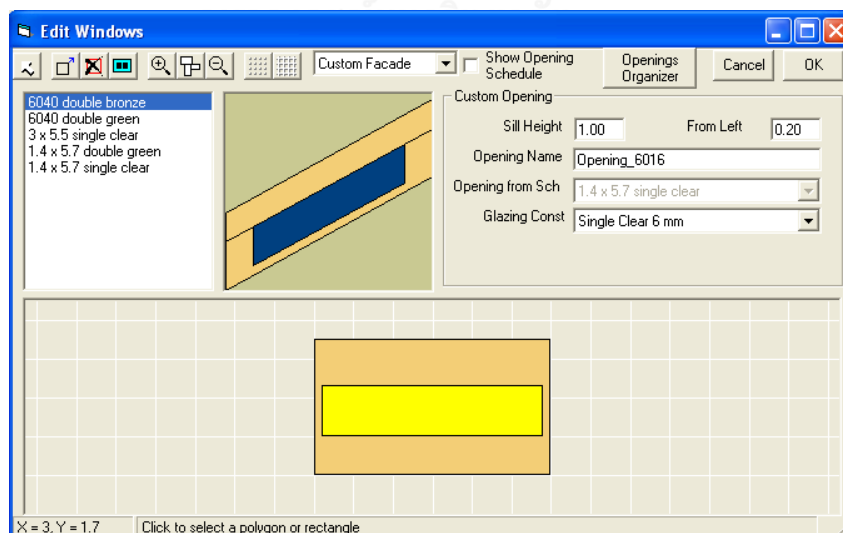
และการระบายอากาศตามธรรมชาติ

ซึ่งพฤติกรรมการใช้งานห้องพัก (Occupied) หรือช่วงเวลาพักอาศัยจะแบ่งเป็นวันจันทร์ถึงวันศุกร์ (Weekdays) และวันเสาร์อาทิตย์ (Weekends) ส่วนการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD), การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ (EQD), การใช้งานเครื่องปรับอากาศ (Cooling) และช่วงเวลาระบายอากาศตามธรรมชาติ (Infiltration) จะกำหนดให้เหมือนกันทุกวัน

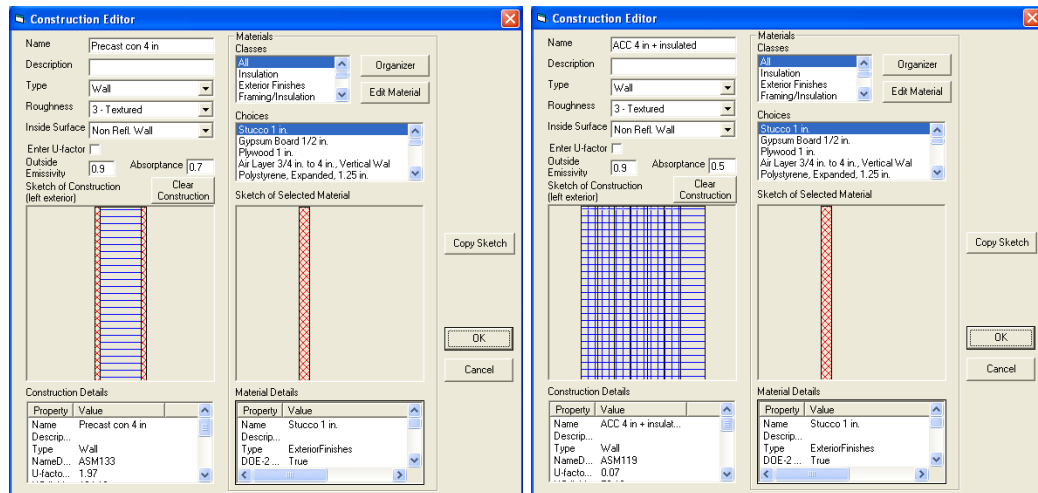


ภาพที่ 3.29 การกำหนดค่า HVAC system ของเครื่องปรับอากาศ

ส่วน Façade ห้องพักเป็นหน้าต่างกระจกใสหน้า 6 มิลลิเมตร ขนาด 5.70 x 1.40 เมตร คิดเป็นพื้นที่ 7.98 ตารางเมตร สูงจากระดับพื้น 1.00 เมตร กำหนดให้ผนังที่อยู่ภายในอาคารและหลังคามีชั้นของฉนวน (U-factor = 0.07) ถัดจากความหนาของชั้นวัสดุ



ภาพที่ 3.30 การกำหนดรูปแบบช่องเปิดส่วน Façade อาคาร



ภาพที่ 3.31 การกำหนดรูปแบบผนังที่อยู่ติดภายนอกอาคาร (ซ้าย)  
และผนังภายในอาคาร (ขวา)

### 3.1.8 ผลการจำลองค่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

การจำลองอาคารเพื่อหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของห้องพัก 4 ทิศทาง กำหนดให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติช่วงเวลา 6.01 น. – 20.00 น. ด้วยค่าอัตราการรั่วซึมอากาศ (14 ระดับ) ก่อนการเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 20.01 น. – 6.00 น. แล้วนำผลการใช้พลังงานของทั้ง 4 ทิศทาง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อทราบการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น เมื่อมีการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 14 ระดับ กับค่าอุณหภูมิภายในห้องพักในวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกร้อนที่สุดและเย็นที่สุดของปี แสดงผลในรูปแบบ

- แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นกับค่าการใช้พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลง
- แผนภูมิแสดงอุณหภูมิอากาศภายในห้องพักรายชั่วโมงที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่ออัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น

### 3.1.9 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิดแต่ละแบบ นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นกับค่าการใช้พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

- วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบ
- วิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเกล็ดระบายอากาศแต่ละรูปแบบ

### 3.1.10 สรุปแนวทางการใช้งานช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

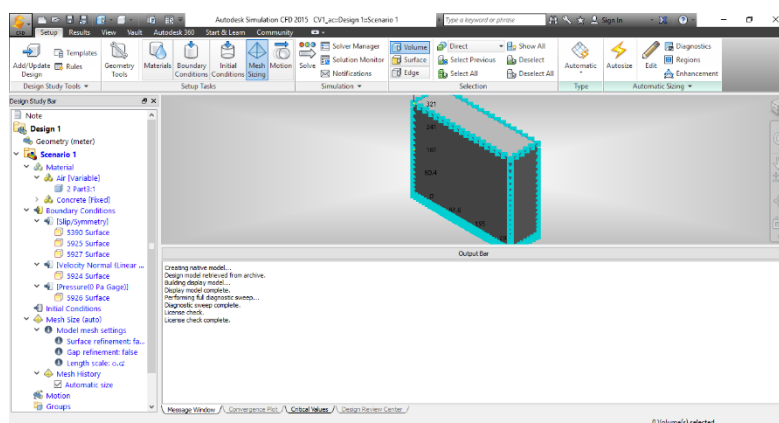
จากการประมวลผลและวิเคราะห์ผลการศึกษานำมาสรุปเป็นช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแต่ละรูปแบบ ลักษณะความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับค่าการใช้พลังงาน และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน นำเสนอแนวทางการเลือกใช้ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เครื่องมือในการใช้ศึกษางานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านอาคาร เพื่อหาค่าความเร็วลม และทิศทางกรไหล อีกโปรแกรมหนึ่งจะเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าการใช้พลังงานต่อปี เมื่อมีพฤติกรรมการใช้งานในรูปแบบเปิดการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติในช่วงเวลากลางวันและเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน

### 3.2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล CFD

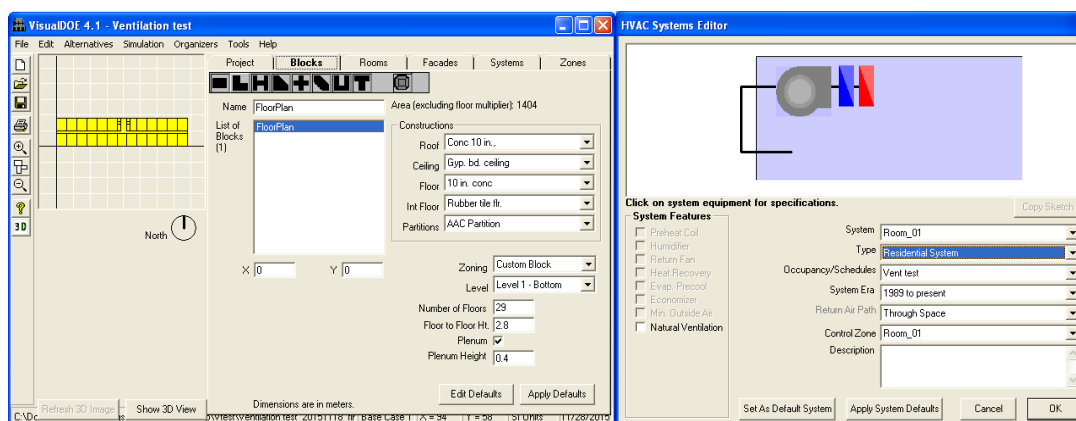
โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล Autodesk CFD Simulation เป็นโปรแกรมคำนวณเพื่อวิเคราะห์การไหลของของเหลวหรือก๊าซที่เกิดขึ้นกับพื้นผิว ภายใต้เงื่อนไขของสภาพแวดล้อม และขอบเขตที่ถูกกำหนด ในรูปแบบการจำลองสถานการณ์แบบ 3 มิติ โดยหลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลคือ การแบ่งพื้นที่ภายในสภาพแวดล้อมที่ต้องการศึกษาออกเป็นเซลล์ย่อย ๆ แล้วสร้างสมการในการคำนวณจากค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในระนาบแกน  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ แล้วจึงทำการแก้ระบบสมการจนได้ผลที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด



ภาพที่ 3.32 ตัวอย่างหน้าต่างการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (ที่มา: Autodesk Simulation CFD)

### 3.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณการใช้พลังงาน VISUAL DOE 4.1

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิและการคำนวณค่าการใช้พลังงาน โดยการคำนวณรายชั่วโมง ทำการคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จากปัจจัยภายนอกอาคาร ได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีอาทิตย์ และการรั่วซึมอากาศ มารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคาร คือ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า [37] จากปัจจัยต่าง ๆ ทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณอุณหภูมิอากาศภายในอาคารออกมาเป็นรายชั่วโมงใน 1 ปี โดยใช้ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร ที่จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [38]



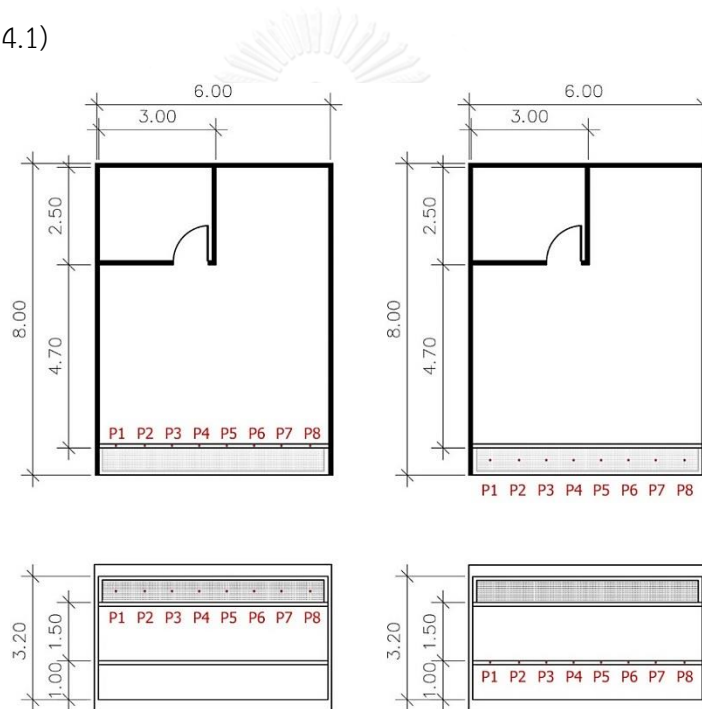
ภาพที่ 3.33 ตัวอย่างผังอาคารและระบบปรับอากาศของโปรแกรม Visual DOE 4.1

(ที่มา: โปรแกรม Visual DOE 4.1)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลข้อมูล

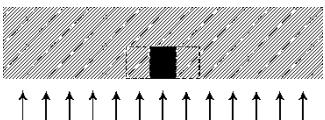
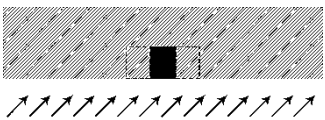
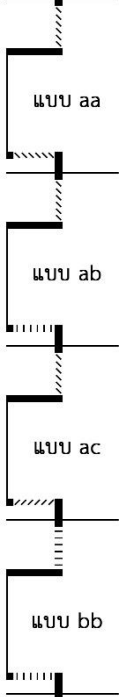
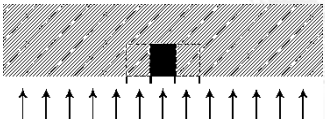
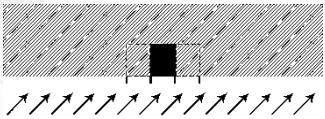

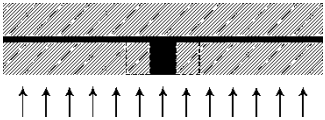
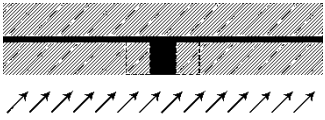
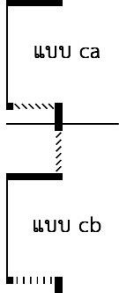
งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง เพื่อศึกษาอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ 9 แบบ (แบบ aa, แบบ bb, แบบ cc, แบบ ab, แบบ ac, แบบ ba, แบบ bc, แบบ ca, และ แบบ cb) ทิศทางลมที่มาปะทะอาคาร 2 ทิศทาง (ตั้งฉาก และทำมุม 45°) กับอาคาร 3 รูปแบบ (อาคาร SV, อาคาร VF และ อาคาร CV) ที่ระดับความสูงห้องพัก 6 ระดับ (ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และ ชั้น 30) โดยการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) วัดค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดด้านบน 8 ตำแหน่ง และช่องเปิดด้านล่าง 8 ตำแหน่ง (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งตรวจวัดค่าความเร็วลม 8 ตำแหน่งด้านบนและด้านล่าง

เพื่อคำนวณอัตราการระบายอากาศจำเป็นต้องทราบค่าความเร็วลมโดยการวัดค่าจากแบบจำลอง และพื้นที่ช่องเปิด (Free area) จากการวิเคราะห์การไหลของกระแสลมผ่านช่องเปิดตามหลักการเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่านอาคาร ลมที่พัดเข้าจะมีปริมาณเท่ากับลมที่พัดออกเสมอ ดังนั้น ในที่นี้จึงทำการคำนวณอัตราการระบายอากาศที่ตำแหน่งช่องลมเข้า (inlet) ของทุกกรณี แล้วเปรียบเทียบค่าอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศทั้ง 9 รูปแบบ แบ่งเป็น 3 ชุด ที่รูปแบบเกล็ดระบายอากาศด้านบนเหมือนกัน คือ ชุดที่ 1 (aa ,ab, ac), ชุดที่ 2 (bb, ba, bc) และ ชุดที่ 3 (cc, ca, cb) รวม 54 กรณี ตามตารางที่ 4.1

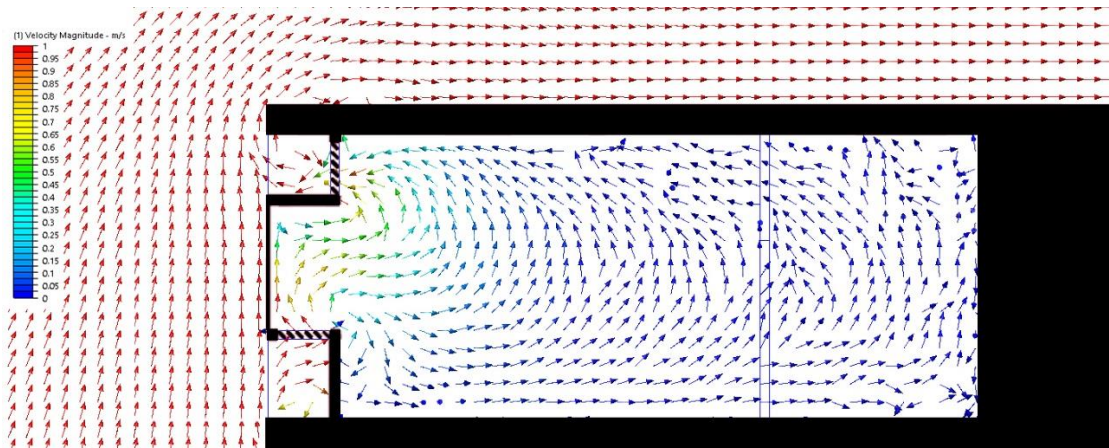
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษารวม 54 กรณี

อาคาร	ทิศทางลม		รูปตัดเกิดึ่ระบาย
	ตั้งฉาก	ทำมุม	
อาคาร 1 (SV)			
อาคาร 2 (VF)			
อาคาร 3 (CV)			

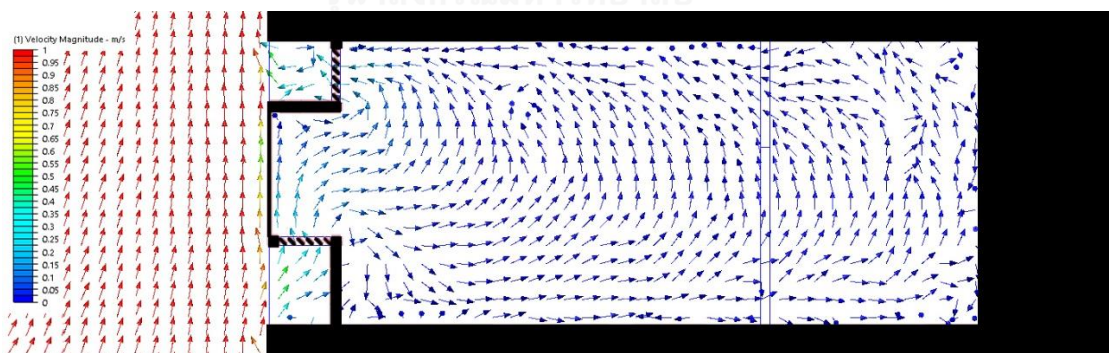


#### 4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก

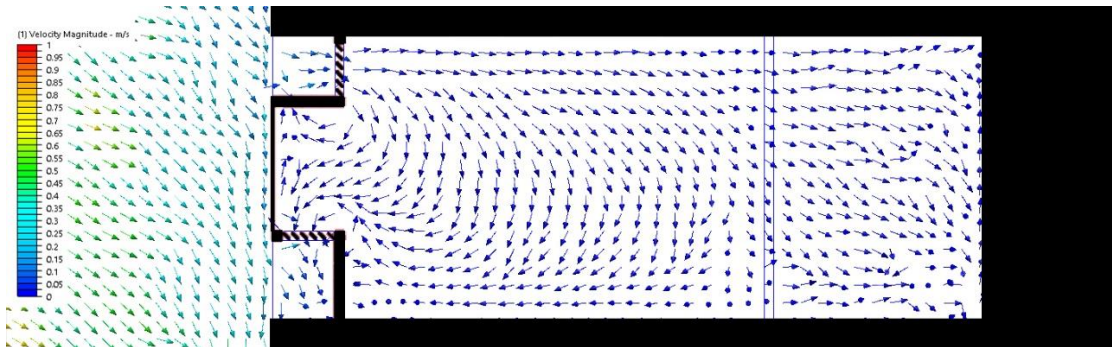
เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากพฤติกรรมของกระแสลมจะพัดลงตั้งแต่ชั้น 20 ลงมา และพัดขึ้นตั้งแต่ชั้น 25 ขึ้นไป ตามภาพที่ 4.2 ถึง 4.7 ตัวอย่างพฤติกรรมของลมตั้งฉากของเกสต์ ระบายอากาศแบบ SV\_aa ทำการวัดค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดด้านบนหรือด้านล่างที่ตำแหน่งทิศทางลมพัดเข้า (inlet) 8 ตำแหน่ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและอัตราการระบายอากาศในชั้นต่อไป ดังนั้น ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และชั้น 30 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่าง เนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบช่องเปิดเกสต์ระบายอากาศไม่ได้ส่งผลต่อทิศทางลมเข้าและออกจากอาคาร ช่องเปิดทุกกรณีสำหรับ อาคาร 1 (SV) จะมีตำแหน่งในการวัดค่าความเร็วลมที่เหมือนกัน



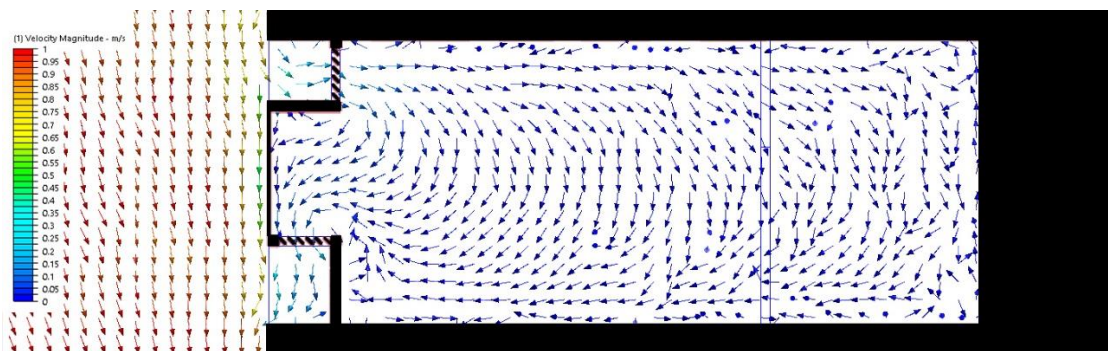
ภาพที่ 4.2 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกสต์ระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 30



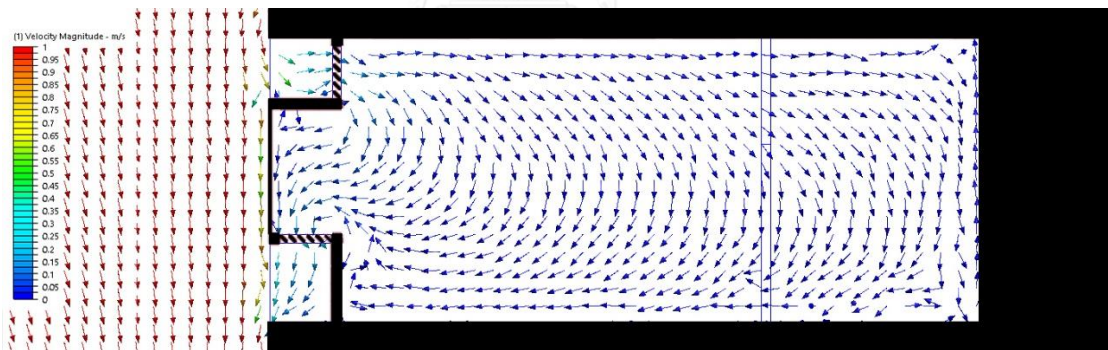
ภาพที่ 4.3 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกสต์ระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 25



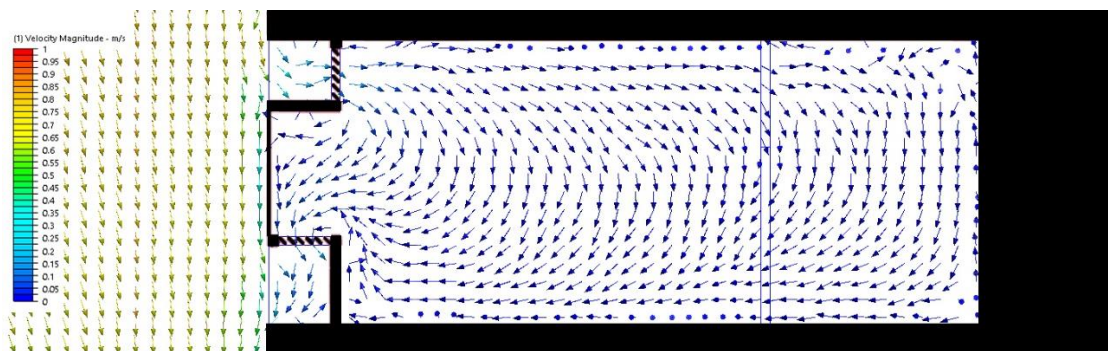
ภาพที่ 4.4 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 20



ภาพที่ 4.5 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 15



ภาพที่ 4.6 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 10



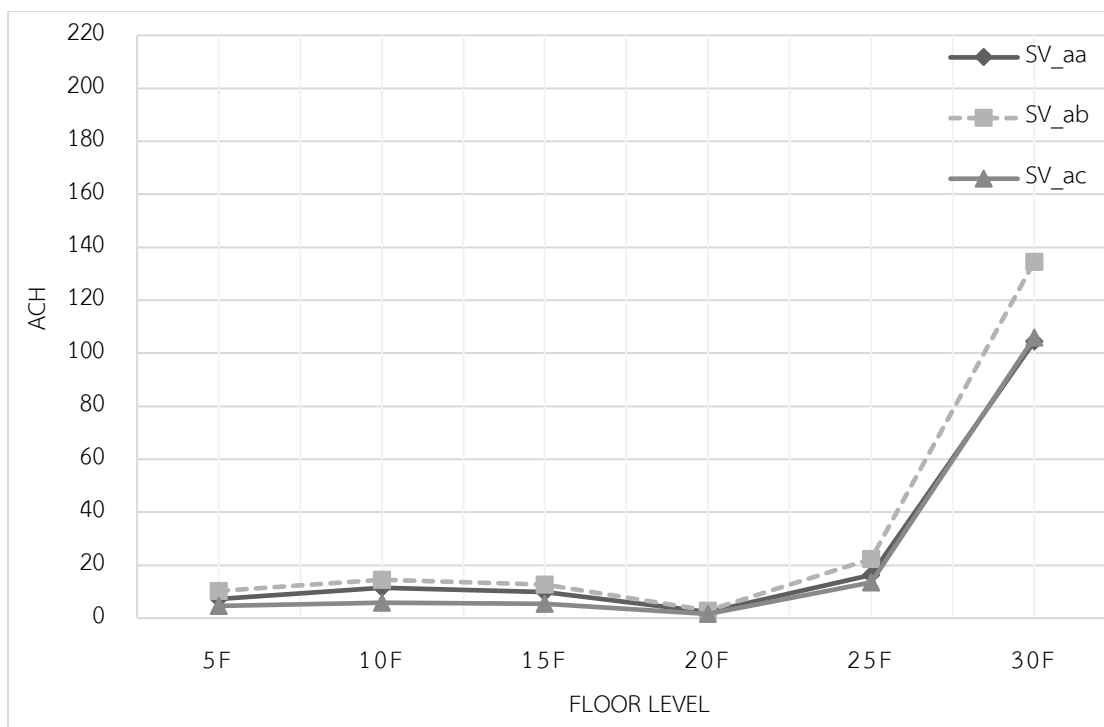
ภาพที่ 4.7 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_aa ชั้นที่ 5

#### 4.1.1 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และ ชั้น 30 จะตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่าง แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV\_aa, SV\_ab และ SV\_ac ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
SV_aa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.11	0.13	0.19	0.21	0.18	0.15	0.13	0.13	0.15	1.86	7.34
10F	0.17	0.28	0.28	0.35	0.28	0.22	0.17	0.17	0.24	1.86	11.46
15F	0.14	0.25	0.22	0.28	0.15	0.24	0.17	0.19	0.21	1.86	9.85
20F	0.02	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.03	0.02	0.05	1.86	2.34
25F	0.28	0.32	0.41	0.31	0.39	0.35	0.37	0.28	0.34	1.86	16.27
30F	3.38	1.55	2.35	1.19	1.31	1.50	3.04	3.09	2.18	1.86	104.46
SV_ab	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.18	0.22	0.23	0.21	0.27	0.24	0.19	0.17	0.21	1.86	10.25
10F	0.26	0.31	0.39	0.40	0.24	0.34	0.27	0.23	0.30	1.86	14.59
15F	0.21	0.27	0.31	0.31	0.32	0.24	0.25	0.22	0.27	1.86	12.73
20F	0.02	0.06	0.07	0.10	0.07	0.07	0.06	0.03	0.06	1.86	2.91
25F	0.26	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.30	0.28	3.08	22.32
30F	2.13	1.64	1.39	1.52	1.35	1.39	1.84	2.31	1.70	3.08	134.54
SV_ac	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.08	0.12	0.10	0.09	0.08	0.11	0.10	0.07	0.10	1.86	4.57
10F	0.08	0.13	0.18	0.13	0.15	0.13	0.12	0.07	0.12	1.86	5.91
15F	0.09	0.12	0.17	0.13	0.12	0.11	0.12	0.06	0.12	1.86	5.52
20F	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03	1.86	1.61
25F	0.28	0.29	0.30	0.30	0.27	0.23	0.26	0.32	0.28	1.86	13.49
30F	2.15	1.96	2.16	1.89	2.10	2.30	2.38	2.70	2.21	1.86	105.90



แผนภูมิที่ 4.1 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดนำมาแทนค่าในสมการ 3.3 เพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศใน 1 ชั่วโมงเทียบกับปริมาตรห้องพัก ตามตารางที่ 4.2 และ แผนภูมิที่ 4.1 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ระหว่าง 1.61 - 2.91 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 134.54 - 105.90 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ SV\_ab เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับ SV\_aa และ SV\_ac ตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ a ทางด้านบนหรือชั้น 25 และชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ b ที่ด้านล่าง

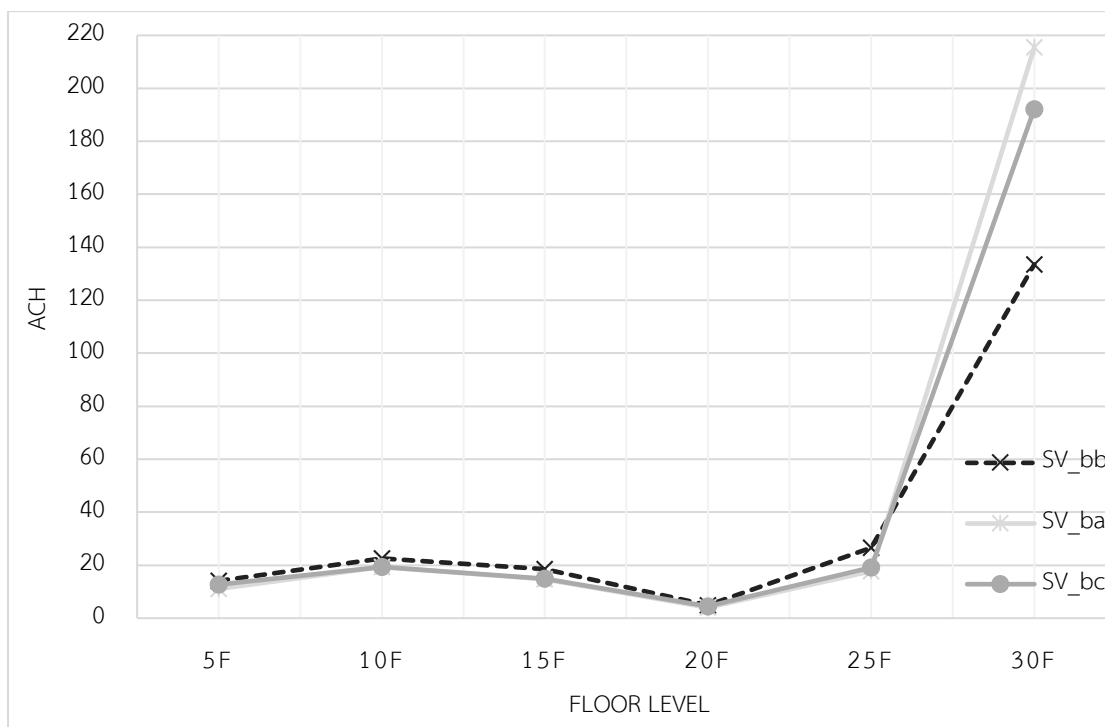
เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 5 เท่าที่ชั้น 10 และไปลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 3 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วมวลที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 7 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 44 - 46 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.1.2 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และ ชั้น 30 จะตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่าง แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV\_bb, SV\_ba และ SV\_bc ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
SV_bb	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.15	0.17	0.20	0.19	0.19	0.20	0.16	0.17	0.18	3.08	14.08
10F	0.23	0.28	0.30	0.30	0.28	0.34	0.29	0.26	0.29	3.08	22.65
15F	0.17	0.24	0.24	0.28	0.27	0.24	0.22	0.22	0.23	3.08	18.51
20F	0.04	0.05	0.08	0.09	0.07	0.07	0.06	0.04	0.06	3.08	4.90
25F	0.31	0.36	0.33	0.35	0.32	0.33	0.34	0.37	0.34	3.08	26.63
30F	1.96	1.35	1.56	1.36	1.25	1.44	2.24	2.32	1.68	3.08	133.49
SV_ba	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.10	0.11	0.18	0.20	0.15	0.14	0.11	0.12	0.14	3.08	11.12
10F	0.19	0.24	0.26	0.30	0.21	0.31	0.24	0.19	0.24	3.08	19.24
15F	0.12	0.13	0.23	0.27	0.17	0.19	0.21	0.15	0.18	3.08	14.62
20F	0.02	0.04	0.07	0.08	0.07	0.07	0.03	0.02	0.05	3.08	4.01
25F	0.28	0.42	0.31	0.37	0.45	0.46	0.35	0.31	0.37	1.86	17.68
30F	3.42	3.33	5.43	3.20	4.73	5.28	3.51	7.00	4.49	1.86	215.40
SV_bc	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.09	0.12	0.17	0.20	0.16	0.16	0.20	0.17	0.16	3.08	12.60
10F	0.18	0.25	0.29	0.30	0.25	0.24	0.26	0.19	0.24	3.08	19.37
15F	0.14	0.18	0.25	0.25	0.20	0.24	0.17	0.09	0.19	3.08	14.96
20F	0.03	0.03	0.07	0.10	0.07	0.07	0.07	0.02	0.06	3.08	4.50
25F	0.35	0.45	0.44	0.29	0.35	0.41	0.54	0.37	0.40	1.86	19.18
30F	4.23	4.77	4.16	3.68	3.30	4.08	3.62	4.17	4.00	1.86	192.18



แผนภูมิที่ 4.2 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดนำมาแทนค่าในสมการ 3.3 เพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศใน 1 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับปริมาตรห้องพัก ตามตารางที่ 4.3 และ แผนภูมิที่ 4.2 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ระหว่าง 4.01 – 4.90 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 133.49 – 215.40 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ SV\_bb เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 5 ถึงชั้น 25 เมื่อเทียบกับ SV\_ba และ SV\_bc ส่วนที่ชั้น 30 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ba ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด ชั้น 5 ถึงชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ b ด้านบนหรือชั้น 25 ที่ด้านล่าง และชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ a ด้านล่าง

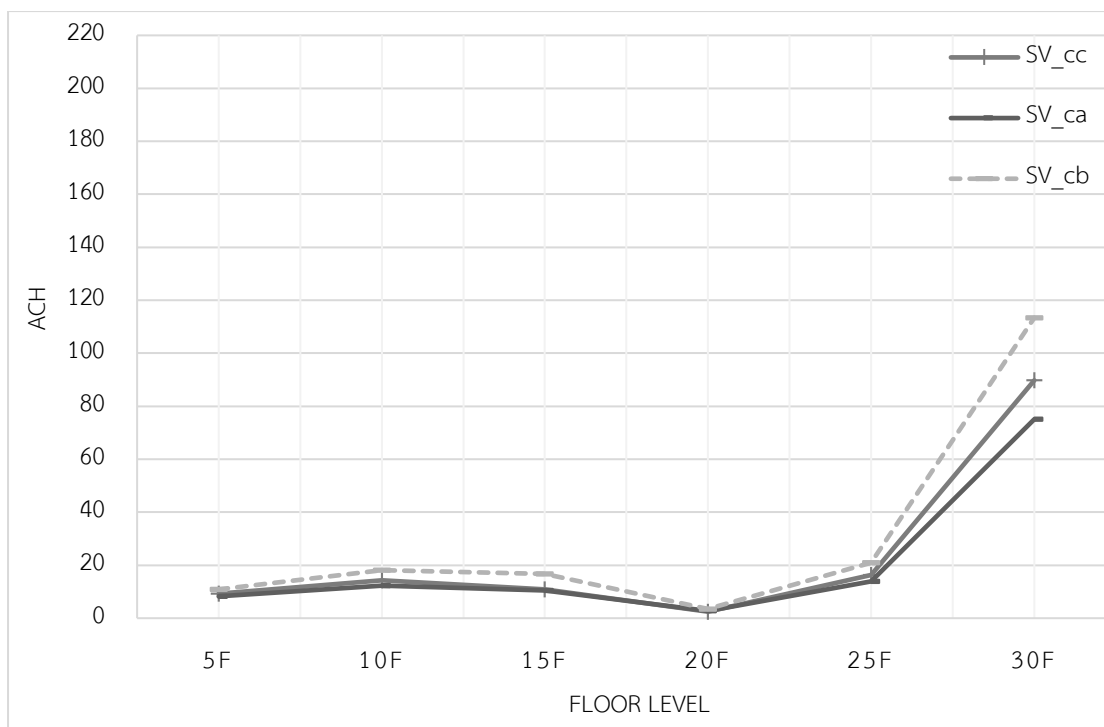
เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สอดคล้องกับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac เป็นส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้นประมาณ 3 - 4 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 4 - 5 เท่าที่ชั้น 10 และไปลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 3 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 4 - 5 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 27 - 54 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.1.3 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และ ชั้น 30 แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV\_cc, SV\_ca และ SV\_cb ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
SV_cc	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.14	0.24	0.30	0.23	0.17	0.15	0.20	0.12	0.19	1.86	9.31
10F	0.25	0.36	0.38	0.36	0.18	0.30	0.31	0.25	0.30	1.86	14.29
15F	0.20	0.32	0.25	0.24	0.21	0.18	0.25	0.18	0.23	1.86	10.95
20F	0.03	0.05	0.07	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	1.86	2.47
25F	0.24	0.31	0.35	0.36	0.49	0.34	0.39	0.26	0.34	1.86	16.38
30F	2.23	1.64	1.70	1.51	1.66	1.58	2.22	2.43	1.87	1.86	89.78
SV_ca	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.13	0.23	0.15	0.25	0.14	0.16	0.18	0.12	0.17	1.86	8.17
10F	0.22	0.29	0.30	0.33	0.26	0.23	0.21	0.21	0.26	1.86	12.25
15F	0.16	0.19	0.24	0.31	0.20	0.19	0.28	0.17	0.22	1.86	10.43
20F	0.02	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	1.86	2.73
25F	0.22	0.27	0.28	0.27	0.30	0.33	0.39	0.25	0.29	1.86	13.94
30F	1.71	1.39	1.77	1.19	1.00	1.01	2.65	1.78	1.56	1.86	75.09
SV_cb	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.16	0.28	0.29	0.32	0.17	0.19	0.22	0.17	0.23	1.86	10.81
10F	0.27	0.49	0.42	0.44	0.44	0.36	0.31	0.29	0.38	1.86	18.15
15F	0.22	0.41	0.40	0.41	0.40	0.32	0.37	0.24	0.35	1.86	16.67
20F	0.04	0.07	0.09	0.11	0.08	0.06	0.09	0.04	0.07	1.86	3.49
25F	0.23	0.26	0.26	0.28	0.26	0.26	0.27	0.29	0.27	3.08	21.02
30F	1.57	1.35	1.05	1.41	0.91	1.43	1.78	1.94	1.43	3.08	113.40



แผนภูมิที่ 4.3 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

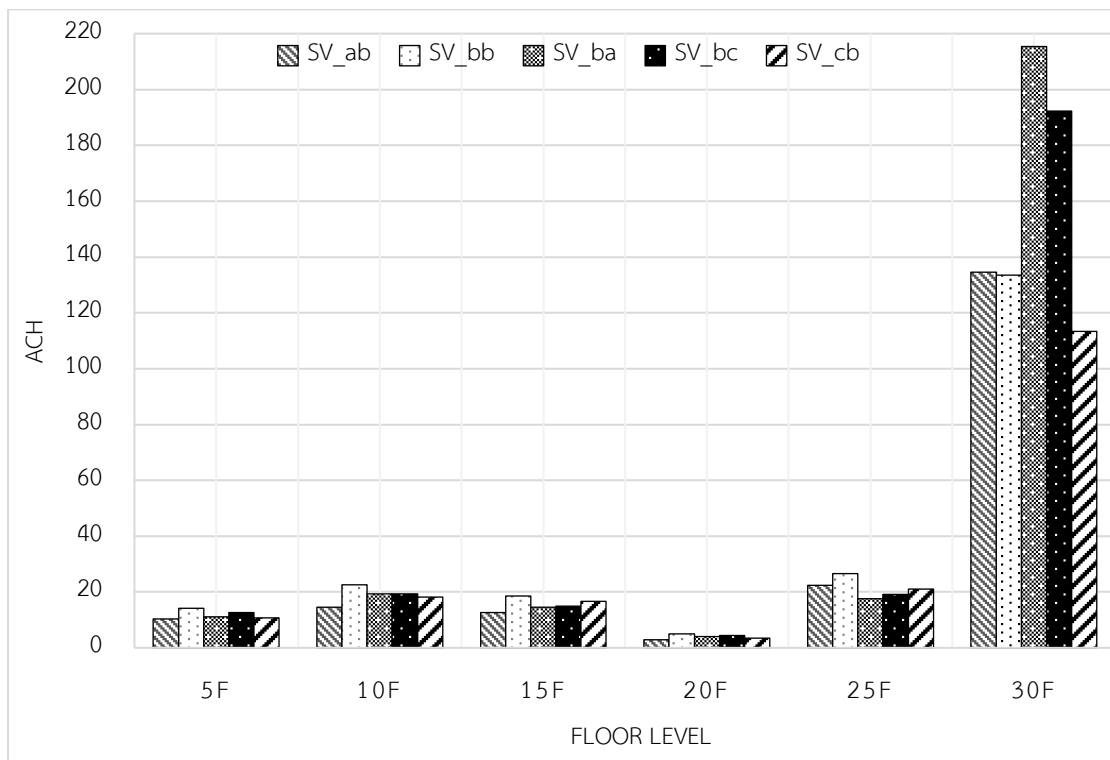
ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดนำมาแทนค่าในสมการ 3.3 เพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศใน 1 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับปริมาตรห้องพัก ตามตารางที่ 4.4 และ แผนภูมิที่ 4.3 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ระหว่าง 2.47 – 3.49 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 89.78 – 113.40 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ SV\_cb เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับ SV\_cc และ SV\_ca ไม่ว่าจะเป็นชั้น 5 ถึงชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ c ด้านบนหรือชั้น 25 ถึงชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ b ที่ด้านล่าง

เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สอดคล้องกับเกล็ดระบายอากาศชุดที่ 1 (aa, ab และ ac) และชุดที่ 2 (bb, ba และ bc) เป็นส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 – 5 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 5 - 6 เท่าที่ชั้น 10 และไปลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 3 - 4 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 5 - 7 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 28 - 36 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด



#### 4.1.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก

ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 (เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac) ชุดที่ 2 (เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc) และชุดที่ 3 (เกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb) แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละชุดคือ เกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ab, SV\_bb (ชั้น 5 ถึงชั้น 25) กับ SV\_ba (ชั้น 30) และ SV\_cb นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก (แผนภูมิที่ 4.4) พบว่า รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก คือ SV\_bb จากชั้น 5 ถึงชั้น 25 และ SV\_ba ที่ชั้น 30 รูปแบบที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศที่ต่ำรองลงมาคือ SV\_bc (ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 20 และชั้น 30) SV\_cb ที่ชั้น 15 และ SV\_ab ที่ชั้น 25



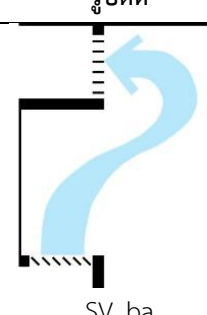
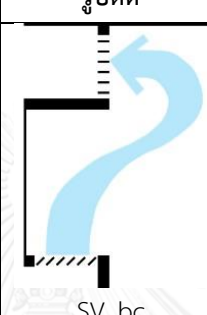
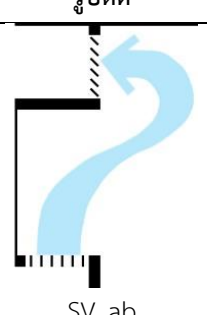

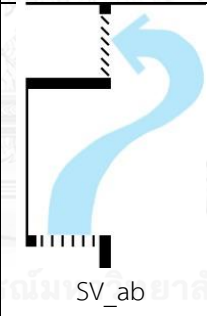
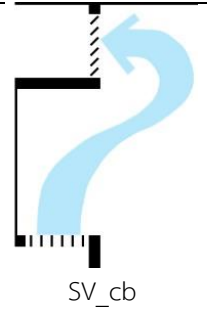
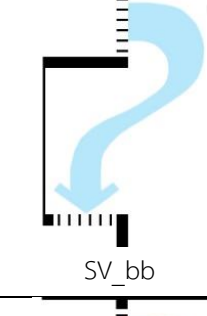
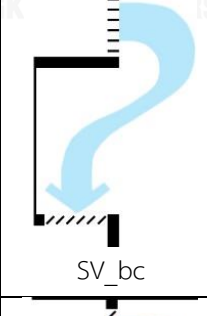
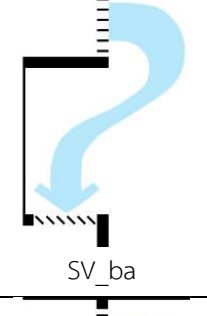
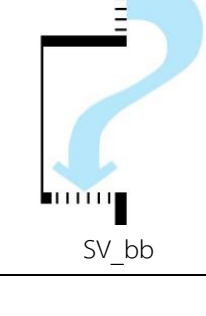
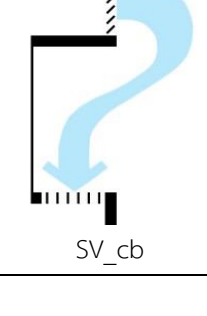
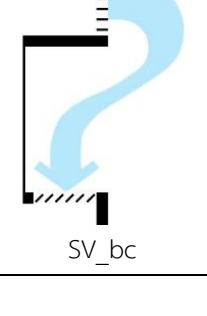
แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร SV ทิศทางลมตั้งฉาก

##### 4.1.4.1 อัตราการระบายอากาศ

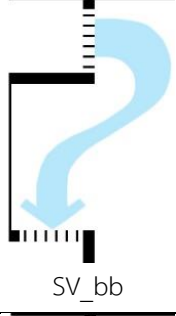
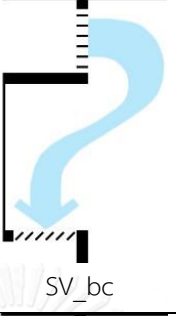

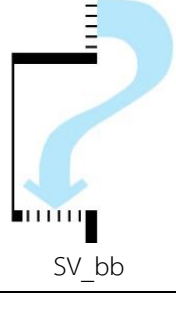
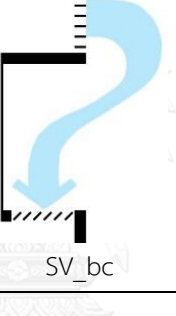
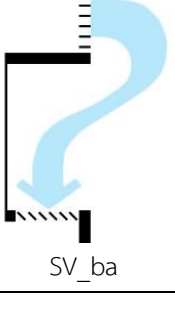
อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ในทุกกรณี ก่อนจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 – 5 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 5 - 6 เท่าที่ชั้น 10 แล้วจึงลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 3 - 4 เท่าสำหรับทิศทางการไหลลง ส่วนทิศทางการไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 4 - 8

เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 27 - 54 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด โดยเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_bb จะส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดทุกชั้น ยกเว้นที่ชั้น 30 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ba

ตารางที่ 4.5 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 SV_ba	215.40	 SV_bc	192.18	 SV_ab	134.54
ชั้น 25	 SV_bb	26.63	 SV_ab	22.32	 SV_cb	21.02
ชั้น 20	 SV_bb	4.90	 SV_bc	4.50	 SV_ba	4.01
ชั้น 15	 SV_bb	18.51	 SV_cb	16.67	 SV_bc	14.96

ตารางที่ 4.5 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมตั้งฉาก (ต่อ)

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 10		22.65		19.37		19.24
ชั้น 5		14.08		12.60		11.12

#### 4.1.4.2 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ

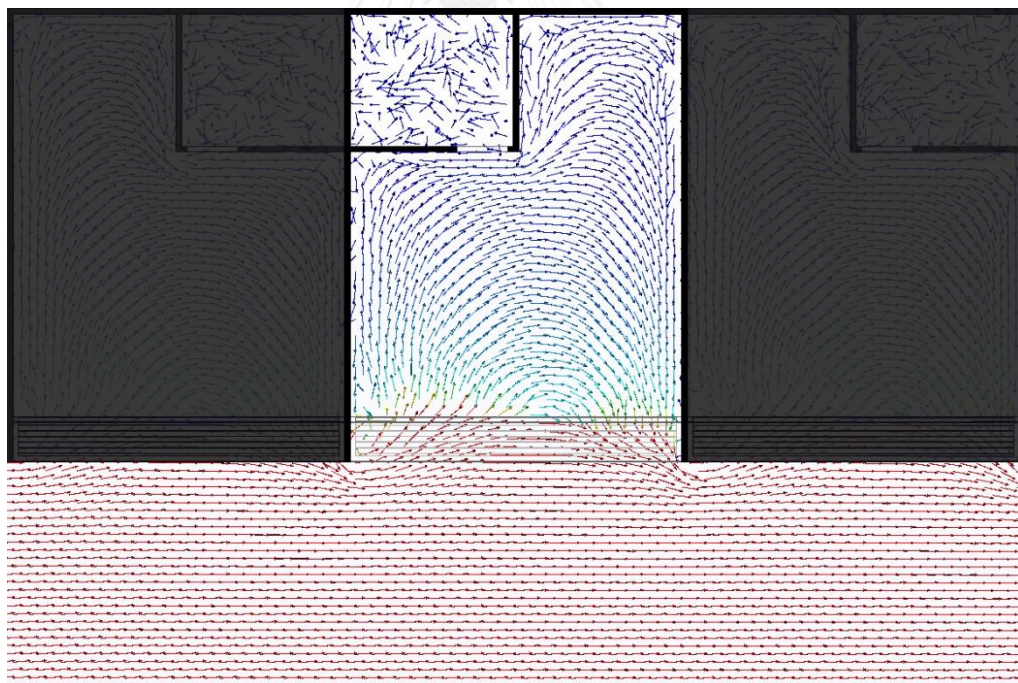
จากตารางที่ 4.5 แสดงรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับจากเกล็ดระบายอากาศ 5 รูปแบบ คือ SV\_bb, SV\_ba, SV\_bc, SV\_ab และ SV\_cb ซึ่งทุกแบบจะประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b (90°) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือด้านล่างเสมอ เนื่องจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อพิจารณาตามลำดับ อัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 5 ถึงชั้น 25 จะเกิดจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ SV\_bb ที่ช่องเปิดบนและล่างมีขนาดเท่ากัน ส่วนชั้น 30 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ba ที่ช่องลมเข้าด้านล่างบานเกล็ดทำมุม -45° และมีขนาดเล็กกว่าช่องลมออกด้านบน

รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 ของเกือบทุกชั้นคือเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_bc (ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 20 และชั้น 30) ช่องลมด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่าง โดยชั้น 15 และชั้น 25 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_cb และ SV\_ab ช่องเปิดด้านล่างมีขนาดใหญ่กว่าด้านบน ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ที่ชั้น 25 และชั้น 30 คือ SV\_cb และ SV\_ab ลมพัดเข้าจากช่องเปิดขนาดใหญ่กว่าทาง

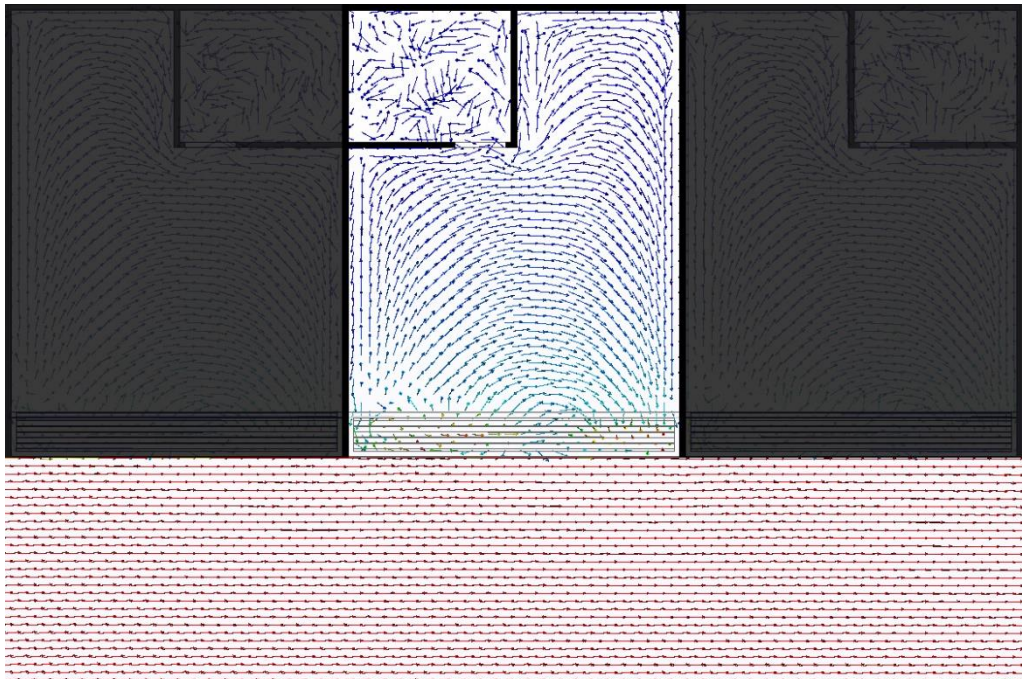
ด้านล่าง ส่วนชั้น 5, ชั้น 10 และชั้น 20 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ba และแบบ SV\_bc ที่ชั้น 15 ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบ ลมจะเข้าจากช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่าทางด้านบน แตกต่างกันที่การทำมุมของบานเกล็ดช่องเปิดทางด้านล่างของแบบ a ( $-45^\circ$ ) และแบบ c ( $45^\circ$ )

#### 4.2 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม

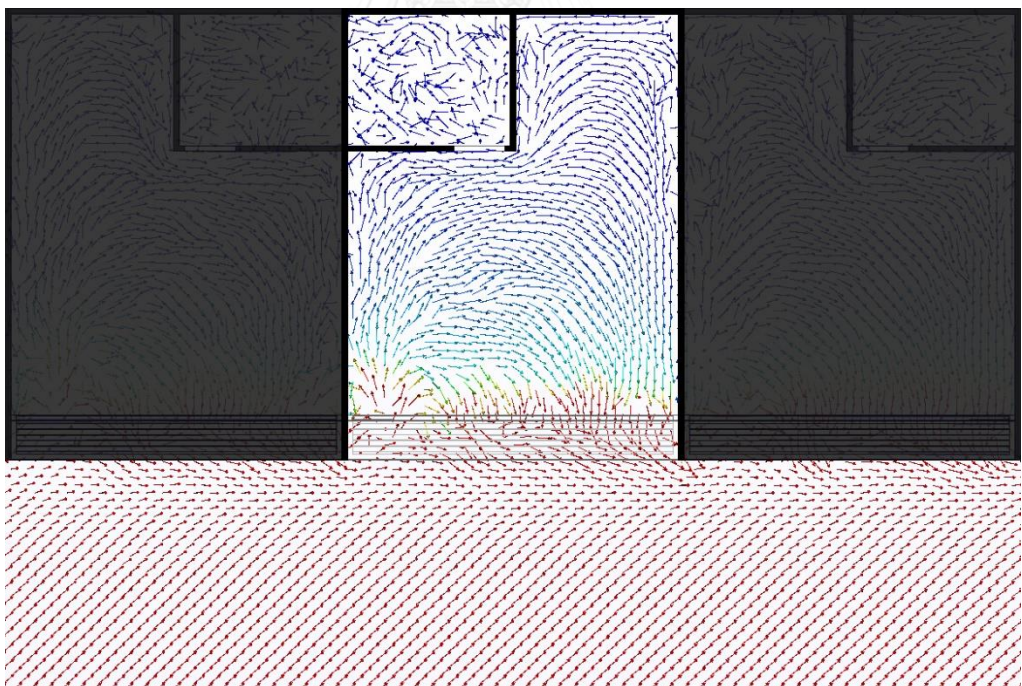
เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางทำมุม 45 องศา พฤติกรรมของกระแสลมจะพัดเข้าและออกจากช่องเปิดเดียวกันเกิดขึ้นทั้งที่ช่องเปิดทางด้านบนและช่องเปิดทางด้านล่าง ตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 25 ตามภาพที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมของลมที่กึ่งกลางช่องเปิดด้านบนและภาพที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมของลมเหนือช่องเปิดด้านล่าง ส่วนที่ชั้น 30 ลมส่วนใหญ่จะพัดเข้าที่ช่องเปิดด้านล่างและพัดออกที่ช่องเปิดด้านบน ตามภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ดังนั้น การวิเคราะห์พฤติกรรมของกระแสลมในทิศทางทำมุมต่ออาคาร SV สำหรับเกล็ดระบายอากาศทั้ง 9 รูปแบบ ต้องพิจารณาจากรูปตัดขวางของห้องพักรวม 8 ตำแหน่ง ตามตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมจาก P1 ถึง P8 (ภาพที่ 4.12) เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมเฉพาะตำแหน่งทิศทางการพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และเพื่อทราบพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า แล้วจึงนำมาคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศในชั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.8 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_ab  
ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านบน



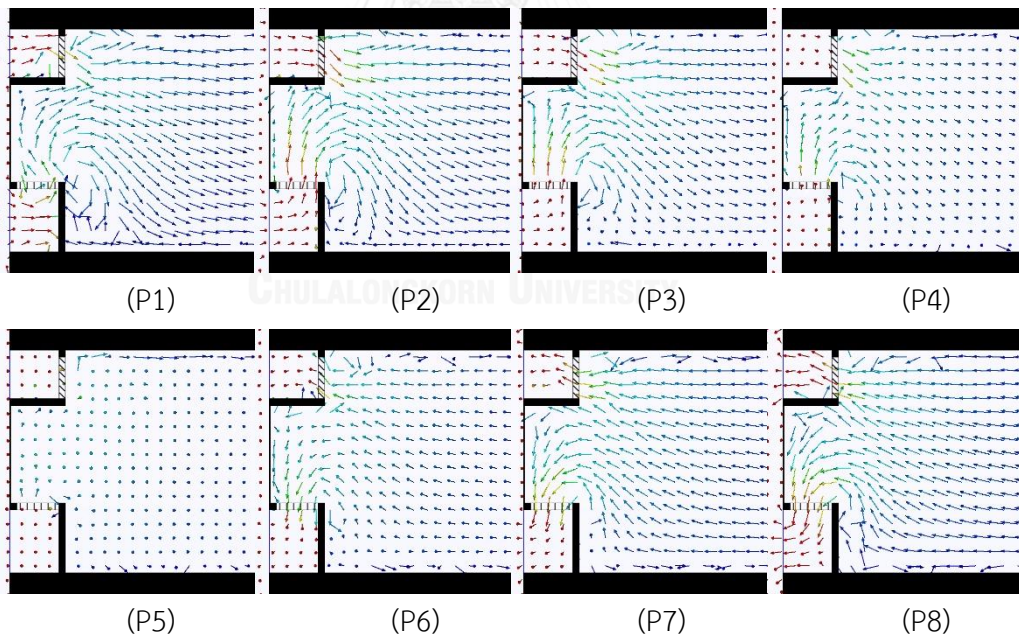
ภาพที่ 4.9 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_ab  
ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านล่าง



ภาพที่ 4.10 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_ab  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน



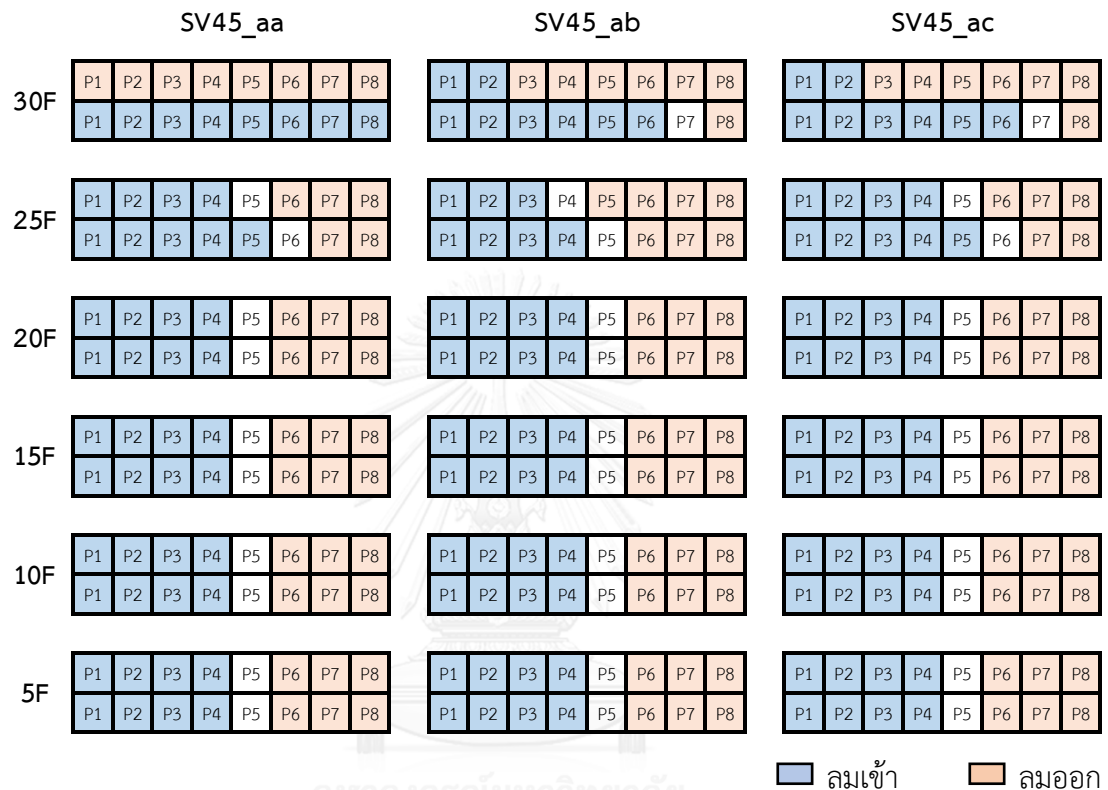
ภาพที่ 4.11 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_ab  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง



ภาพที่ 4.12 รูปตัดเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_ab ชั้นที่ 5 ทั้ง 8 ตำแหน่ง  
เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุม

#### 4.2.1 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิด (P1-P8) ด้านบนและ (P1-P8) ด้านล่างตามภาพที่ 4.13 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิด



ภาพที่ 4.13 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางทำมุม  
เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) ส่วนเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) เช่น เกณฑ์ระบายอากาศ SV45\_ab ชั้นที่ 20 ลมเข้าที่ตำแหน่ง P1 ถึง P4 คิดเป็น 4 หน่วย ดังนั้น พื้นที่ช่องเปิดที่ใช้คำนวณสำหรับช่องเปิดด้านบนรูปแบบ a เท่ากับ 0.93 ตารางเมตร และช่องเปิดด้านล่างรูปแบบ b เท่ากับ 1.54 ตารางเมตร โดยค่าความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตำแหน่งลมพัดเข้า (สีฟ้า) ตามภาพที่ 4.13 แต่ละชั้น แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.6

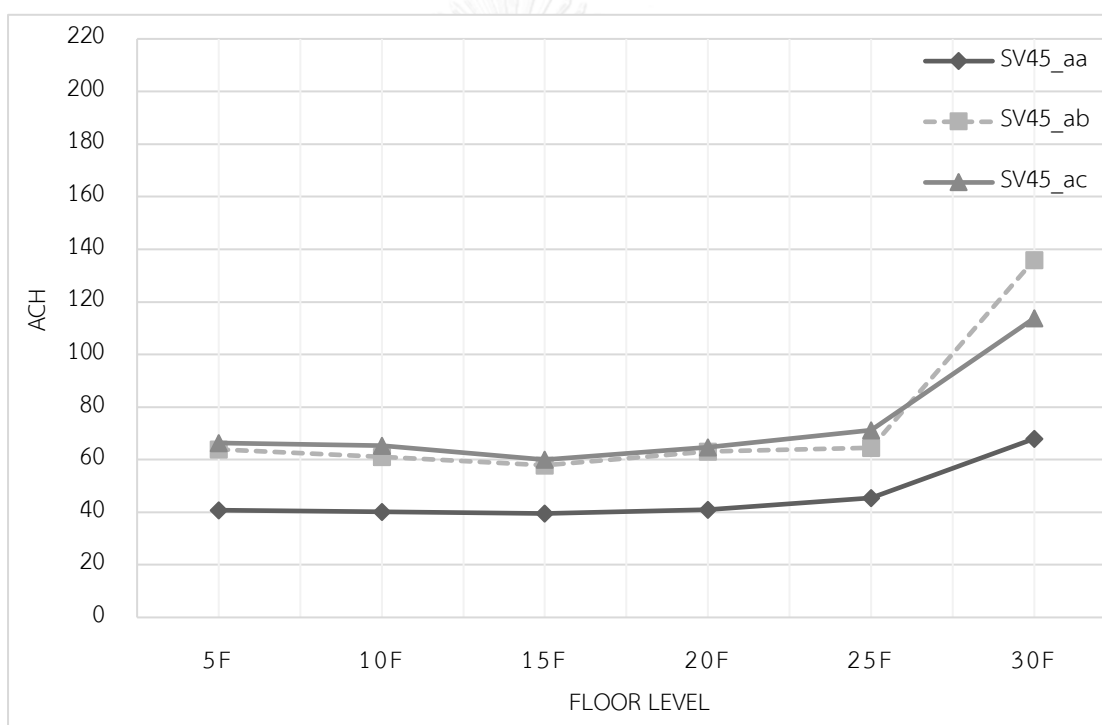
ตารางที่ 4.6 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_aa, SV45\_ab และ SV45\_ac

SV45_aa		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.45	0.78	1.09	1.13	0.89	0.57	0.45	0.71	0.86	1.86	0.93	0.81	1.58	40.78
	DN	0.31	0.79	1.13	1.11	0.78	0.52	0.47	0.75	0.83	1.86	0.93	0.78		
10F	UP	0.36	0.81	1.13	1.13	0.94	0.53	0.53	0.67	0.86	1.86	0.93	0.80	1.56	40.09
	DN	0.32	0.77	1.10	1.06	0.80	0.52	0.48	0.38	0.81	1.86	0.93	0.76		
15F	UP	0.45	0.68	1.08	1.14	0.95	0.55	0.49	0.64	0.84	1.86	0.93	0.78	1.53	39.52
	DN	0.37	0.75	1.05	1.06	0.87	0.59	0.50	0.60	0.81	1.86	0.93	0.75		
20F	UP	0.42	0.76	1.06	1.07	0.95	0.54	0.51	0.77	0.83	1.86	0.93	0.77	1.59	41.06
	DN	0.41	0.80	1.20	1.12	0.79	0.61	0.50	0.45	0.88	1.86	0.93	0.82		
25F	UP	0.47	0.63	0.94	1.00	0.70	0.52	0.52	0.62	0.76	1.86	0.93	0.71	1.77	45.48
	DN	0.29	0.77	1.19	1.22	1.06	0.74	0.53	0.27	0.91	1.86	1.16	1.06		
30F	UP	2.32	0.65	0.75	0.72	0.77	0.55	0.52	0.71	-	1.86	-	-	2.64	67.97
	DN	1.10	1.22	1.49	1.60	1.61	1.93	1.42	0.97	1.42	1.86	1.86	2.64		
SV45_ab		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.47	1.13	1.43	1.31	1.01	0.99	1.07	1.09	1.09	1.86	0.93	1.01	2.48	63.85
	DN	0.35	1.15	1.32	0.99	0.55	0.95	0.65	1.02	0.95	3.08	1.54	1.47		
10F	UP	0.45	1.14	1.28	1.30	0.83	0.80	1.03	1.08	1.04	1.86	0.93	0.97	2.37	60.98
	DN	0.38	1.02	1.26	0.97	0.54	0.59	0.91	0.97	0.91	3.08	1.54	1.40		
15F	UP	0.40	0.99	1.41	1.16	0.79	0.74	1.04	1.19	0.99	1.86	0.93	0.92	2.25	57.86
	DN	0.27	0.97	1.24	0.96	0.58	0.59	0.81	1.01	0.86	3.08	1.54	1.32		
20F	UP	0.46	1.12	1.26	1.28	0.83	0.94	1.06	1.07	1.03	1.86	0.93	0.96	2.45	63.03
	DN	0.32	1.07	1.36	1.12	0.65	0.55	0.79	0.96	0.97	3.08	1.54	1.49		
25F	UP	0.55	0.77	1.17	1.19	0.68	0.63	1.14	1.27	0.83	1.86	0.70	0.58	2.50	64.50
	DN	0.74	1.45	1.50	1.31	0.70	0.59	0.88	0.99	1.25	3.08	1.54	1.92		
30F	UP	1.70	1.07	0.81	1.66	0.58	2.08	2.43	3.28	1.38	1.86	0.47	0.64	5.28	136.02
	DN	0.94	2.86	2.96	2.36	1.76	1.18	0.65	0.51	2.01	3.08	2.31	4.64		
SV45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.31	1.63	1.85	1.57	0.83	1.36	2.03	2.71	1.34	1.86	0.93	1.25	2.57	66.28
	DN	0.50	1.89	1.83	1.46	0.62	0.48	0.90	0.90	1.42	1.86	0.93	1.32		
10F	UP	0.44	1.57	1.74	1.51	0.76	1.00	2.40	2.59	1.31	1.86	0.93	1.22	2.54	65.41
	DN	0.54	1.88	1.80	1.43	0.64	0.46	0.98	1.04	1.41	1.86	0.93	1.32		



ตารางที่ 4.6 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_aa, SV45\_ab และ SV45\_ac (ต่อ)

SV45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.38	1.14	1.58	1.26	0.59	0.95	4.64	3.30	1.09	1.86	0.93	1.02	2.33	59.98
	DN	0.60	1.82	1.75	1.46	0.68	0.50	0.93	1.02	1.41	1.86	0.93	1.31		
20F	UP	0.50	1.56	1.44	1.36	0.64	1.34	2.53	2.68	1.22	1.86	0.93	1.13	2.52	64.81
	DN	0.61	1.77	1.94	1.61	0.70	0.44	0.75	0.90	1.48	1.86	0.93	1.38		
25F	UP	0.50	1.07	1.37	1.43	0.63	1.38	3.21	2.47	1.09	1.86	0.93	1.02	2.77	71.26
	DN	0.74	1.88	2.14	1.82	0.93	0.53	0.75	0.93	1.50	1.86	1.16	1.75		
30F	UP	2.51	1.10	1.26	0.64	1.74	3.40	2.53	3.50	1.81	1.86	0.47	0.84	4.42	113.80
	DN	1.51	3.58	3.30	3.16	2.14	1.66	1.10	0.30	2.56	1.86	1.40	3.58		



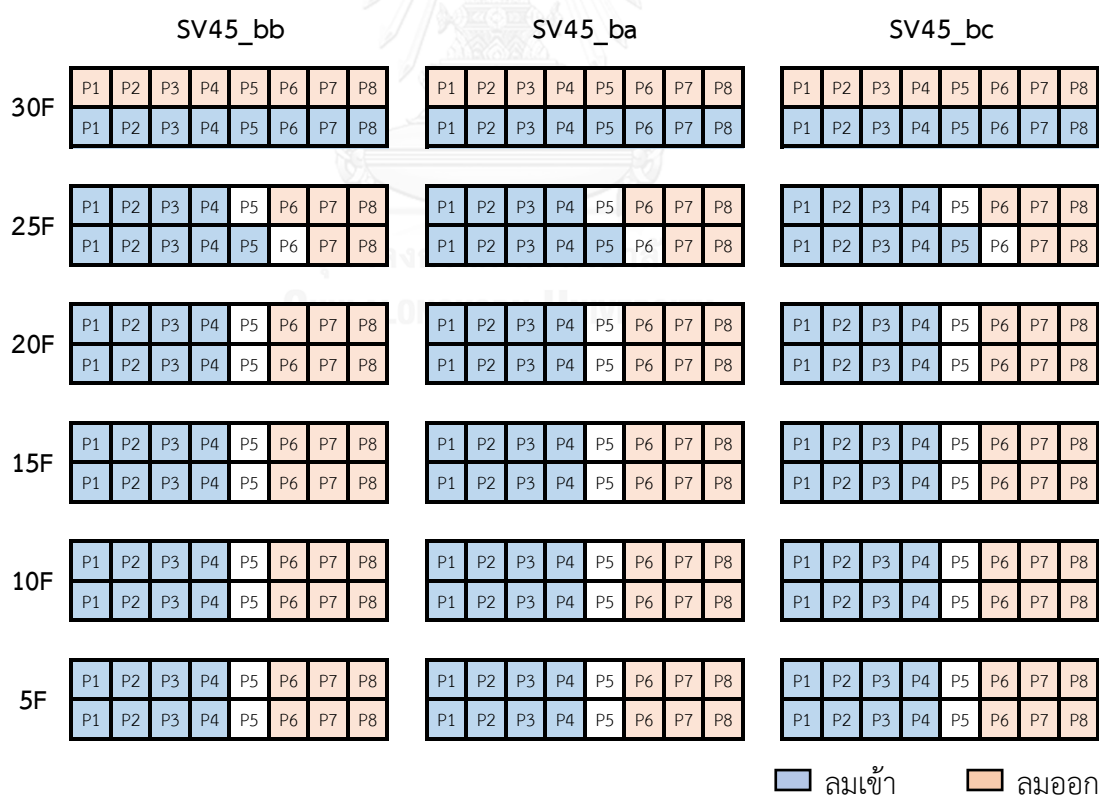
แผนภูมิที่ 4.5 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.6 และแผนภูมิที่ 4.5 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 ระหว่าง 39.52 – 59.98 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 67.97 – 113.80 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 5 ถึงชั้น 25 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ SV45\_ac และที่ชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ SV45\_ab

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.01 - 1.09 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.03 - 1.11 เท่าที่ชั้น 5 เมื่อความสูงลดลง ส่วนเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.04 - 1.09 เท่า, 1.11 - 1.19 เท่า และ 1.72 - 2.35 เท่าที่ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ตามลำดับ

#### 4.2.2 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมท่ามม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.14 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้า (สีฟ้า) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้าคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) ส่วนเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 4.7)



ภาพที่ 4.14 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางท่ามม

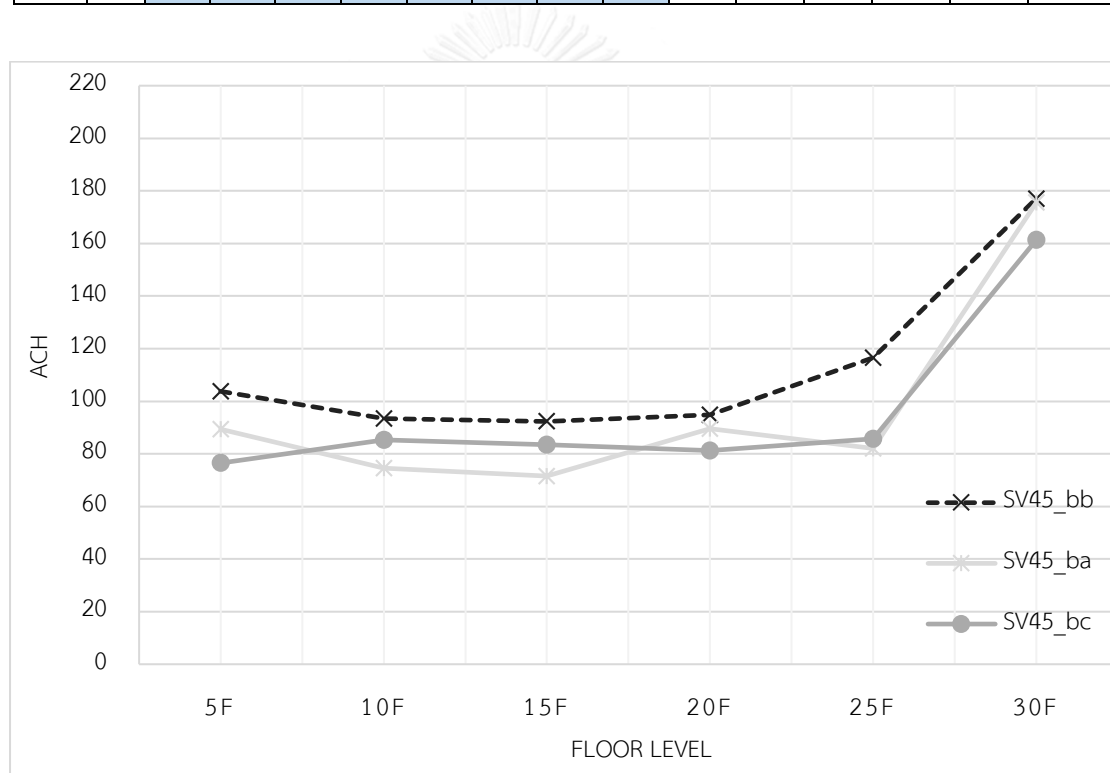
เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc

ตารางที่ 4.7 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_bb, SV45\_ba และ SV45\_bc

SV45_bb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.65	1.73	1.76	1.37	0.78	0.87	1.16	1.51	1.38	3.08	1.54	2.12	4.03	103.76
	DN	0.52	1.65	1.60	1.20	0.59	0.68	1.23	1.49	1.24	3.08	1.54	1.91		
10F	UP	0.70	1.32	1.45	1.28	0.58	0.83	1.25	1.69	1.19	3.08	1.54	1.83	3.63	93.37
	DN	0.49	1.48	1.56	1.15	0.60	0.64	1.24	1.35	1.17	3.08	1.54	1.80		
15F	UP	0.51	1.54	1.54	1.17	0.64	0.71	1.01	1.20	1.19	3.08	1.54	1.83	3.58	92.32
	DN	0.40	1.37	1.64	1.15	0.61	0.61	1.08	1.53	1.14	3.08	1.54	1.75		
20F	UP	0.59	1.51	1.32	1.13	0.69	0.83	1.25	1.78	1.14	3.08	1.54	1.75	3.68	94.82
	DN	0.51	1.53	1.66	1.30	0.61	0.39	1.10	1.29	1.25	3.08	1.54	1.93		
25F	UP	0.87	1.36	1.46	1.08	0.71	0.89	1.47	1.85	1.19	3.08	1.54	1.83	4.53	116.54
	DN	0.78	2.07	1.92	1.29	0.94	0.54	0.75	1.22	1.40	3.08	1.92	2.69		
30F	UP	4.90	2.53	3.19	2.80	1.49	1.81	1.99	2.44	-	3.08	-	-	6.88	177.08
	DN	2.15	3.98	3.62	2.88	2.28	1.69	0.83	0.45	2.23	3.08	3.08	6.88		
SV45_ba		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.54	1.61	1.50	1.33	0.78	0.87	1.17	1.54	1.24	3.08	1.54	1.91	3.47	89.45
	DN	1.25	2.13	2.12	1.20	0.48	0.46	0.76	0.66	1.67	1.86	0.93	1.56		
10F	UP	0.79	1.28	1.50	1.29	0.60	0.81	1.23	1.68	1.22	3.08	1.54	1.87	2.90	74.56
	DN	0.57	1.34	1.34	1.13	0.51	0.43	0.74	0.78	1.10	1.86	0.93	1.02		
15F	UP	0.60	1.39	1.39	1.18	0.75	0.78	0.88	1.56	1.14	3.08	1.54	1.76	2.78	71.56
	DN	0.57	1.34	1.34	1.13	0.51	0.43	0.74	0.78	1.10	1.86	0.93	1.02		
20F	UP	1.02	1.46	1.42	1.18	0.60	0.97	1.26	1.77	1.27	3.08	1.54	1.95	3.47	89.47
	DN	1.38	2.32	1.50	1.32	0.78	0.37	0.69	0.59	1.63	1.86	0.93	1.52		
25F	UP	0.67	1.76	1.19	1.17	0.64	0.83	1.49	1.81	1.20	3.08	1.54	1.84	3.19	82.11
	DN	0.57	1.28	1.54	1.38	1.01	0.46	0.47	0.47	1.15	1.86	1.16	1.35		
30F	UP	3.44	4.25	3.47	2.73	2.24	1.70	1.97	1.93	-	3.08	-	-	6.81	175.49
	DN	3.47	6.14	4.88	3.49	4.27	3.09	2.28	1.62	3.66	1.86	1.86	6.81		
SV45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.57	1.63	1.22	1.17	0.59	0.82	1.14	1.41	1.15	3.08	1.54	1.76	2.97	76.50
	DN	0.48	1.54	1.79	1.37	0.64	0.42	0.90	1.10	1.29	1.86	0.93	1.21		
10F	UP	0.58	1.74	1.61	1.34	0.85	0.77	1.22	1.67	1.32	3.08	1.54	2.03	3.31	85.33
	DN	0.56	1.92	1.68	1.36	0.59	0.41	0.86	1.21	1.38	1.86	0.93	1.29		

ตารางที่ 4.7 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_bb, SV45\_ba และ SV45\_bc (ต่อ)

SV45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.62	1.67	1.48	1.23	0.57	0.76	1.23	1.45	1.25	3.08	1.54	1.93	3.25	83.58
	DN	0.62	1.86	1.80	1.38	0.65	0.40	0.77	1.12	1.42	1.86	0.93	1.32		
20F	UP	0.63	1.54	1.44	1.13	0.69	0.87	1.29	1.75	1.18	3.08	1.54	1.82	3.15	81.15
	DN	0.51	1.85	1.83	1.53	0.71	0.34	0.79	1.06	1.43	1.86	0.93	1.33		
25F	UP	0.47	1.38	1.10	1.09	0.64	0.81	1.46	1.79	1.01	3.08	1.54	1.56	3.32	85.63
	DN	0.83	1.88	2.12	1.80	0.95	0.56	0.45	0.94	1.52	1.86	1.16	1.77		
30F	UP	3.86	4.89	2.41	1.85	3.16	1.95	2.25	1.24	-	3.08	-	-	6.26	161.32
	DN	2.71	4.73	4.56	4.50	3.39	3.12	2.24	1.65	3.36	1.86	1.86	6.26		



แผนภูมิที่ 4.6 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

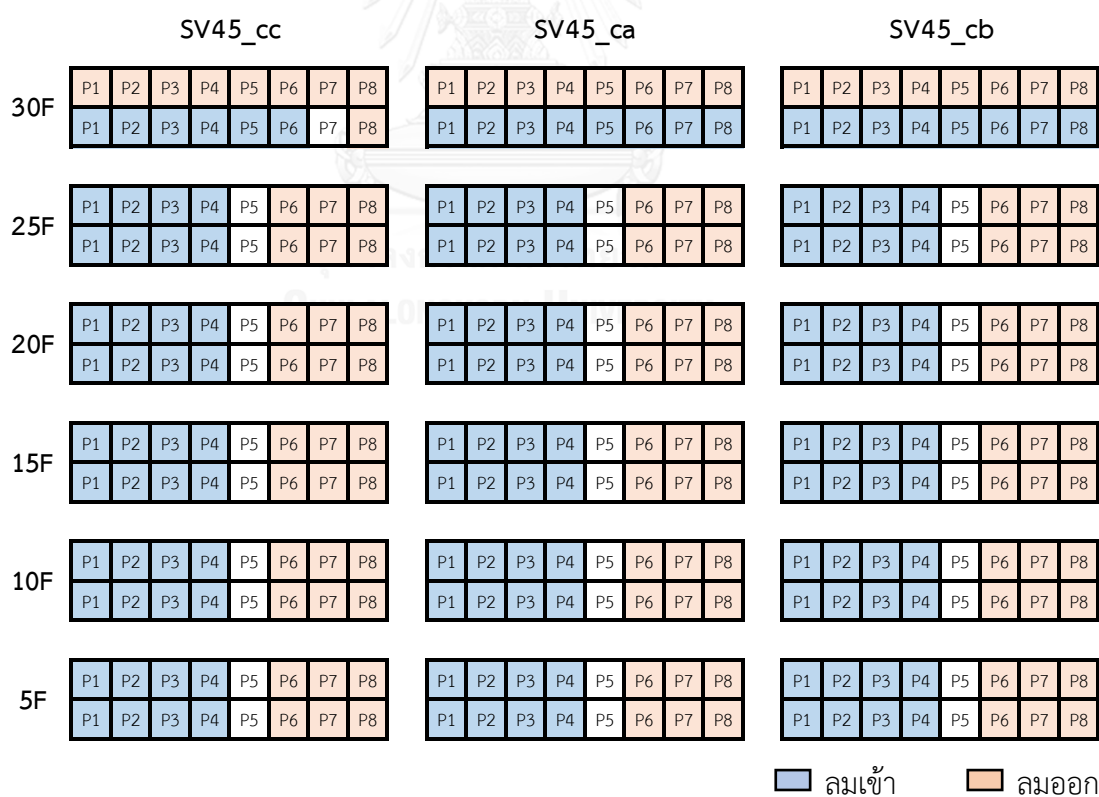
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.7 และแผนภูมิที่ 4.6 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของเกล็ดรูปแบบ SV45\_bb และ SV45\_ba เกิดขึ้นที่ชั้น 15 ระหว่าง 71.56 – 92.32 ACH ส่วนเกล็ดรูปแบบ SV45\_bc อัตราการระบายอากาศต่ำสุด 76.50

ACH ที่ชั้น 5 สำหรับอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 67.97 – 113.80 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด คือเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_bb

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูงจากค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 ของรูปแบบเกล็ด SV45\_bb และ SV45\_ba อัตราการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้น 1.01 - 1.04 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.12 – 1.25 เท่าที่ชั้น 5 เมื่อความสูงลดลง ส่วนเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.03 – 1.25 เท่า, 1.15 – 1.26 เท่า และ 1.92 – 2.45 เท่าที่ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ตามลำดับ ส่วนเกล็ดระบายอากาศ SV45\_bc อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 เพิ่มขึ้น 1.12 เท่าที่ชั้น 10 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 15 และชั้น 20 แต่ก็ยังสูงกว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดอยู่ 1.09 และ 1.06 เท่าแล้วจึงเพิ่มขึ้น 1.12 เท่าที่ชั้น 25 และ 2.11 เท่าที่ชั้น 30

#### 4.2.3 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.15 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.15 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 1 (SV) ในทิศทางทำมุม

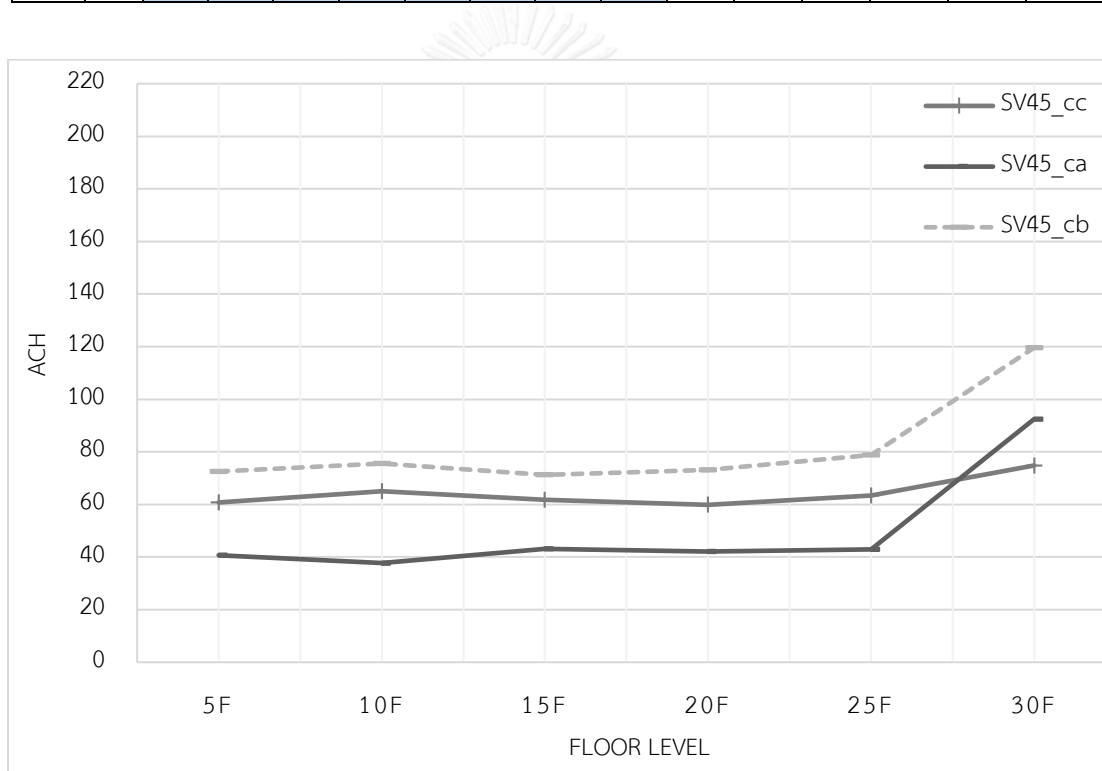
เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb

ตารางที่ 4.8 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_cc, SV45\_ca และ SV45\_cb

SV45_cc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.53	2.37	1.20	0.74	0.39	0.72	0.96	2.22	1.21	1.86	0.93	1.13	2.36	60.73
	DN	0.42	1.73	1.74	1.39	0.68	0.54	1.03	0.97	1.32	1.86	0.93	1.23		
10F	UP	0.64	2.34	1.45	1.06	0.54	0.49	1.07	1.74	1.37	1.86	0.93	1.28	2.53	65.09
	DN	0.36	1.82	1.72	1.46	0.65	0.51	0.96	1.11	1.34	1.86	0.93	1.25		
15F	UP	0.76	2.03	1.31	1.12	0.59	0.52	1.30	1.77	1.31	1.86	0.93	1.22	2.40	61.81
	DN	0.47	1.55	1.67	1.38	0.73	0.47	1.00	0.92	1.27	1.86	0.93	1.18		
20F	UP	0.63	2.03	1.05	0.84	0.36	0.68	1.36	1.83	1.14	1.86	0.93	1.06	2.32	59.85
	DN	0.45	1.65	1.84	1.48	0.68	0.48	0.90	1.02	1.36	1.86	0.93	1.26		
25F	UP	0.51	1.80	1.14	0.77	0.61	1.15	1.32	2.58	1.05	1.86	0.93	0.98	2.47	63.48
	DN	0.72	1.84	2.07	1.73	0.86	0.45	0.79	1.01	1.59	1.86	0.93	1.48		
30F	UP	1.56	0.84	0.75	0.71	1.02	1.46	2.73	3.24	-	1.86	-	-	2.91	74.83
	DN	1.21	2.99	2.65	2.75	1.64	1.23	1.07	0.62	2.08	1.86	1.40	2.91		
SV45_ca		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.46	0.78	0.95	0.96	0.77	0.61	0.57	0.53	0.79	1.86	0.93	0.73	1.58	40.69
	DN	0.30	0.92	1.29	1.13	0.91	0.62	0.55	0.51	0.91	1.86	0.93	0.85		
10F	UP	0.39	0.70	0.93	0.97	0.78	0.56	0.59	0.53	0.75	1.86	0.93	0.70	1.46	37.72
	DN	0.43	0.79	1.05	1.02	0.79	0.58	0.43	0.66	0.82	1.86	0.93	0.77		
15F	UP	0.32	0.75	0.97	0.94	0.79	0.61	0.63	0.51	0.75	1.86	0.93	0.69	1.67	43.08
	DN	1.11	0.85	1.17	1.07	0.77	0.60	0.53	0.61	1.05	1.86	0.93	0.98		
20F	UP	0.32	0.68	0.87	0.85	0.69	0.58	0.54	0.53	0.68	1.86	0.93	0.63	1.63	42.10
	DN	0.98	0.95	1.21	1.15	0.93	0.66	0.52	0.60	1.07	1.86	0.93	1.00		
25F	UP	0.26	0.50	0.75	0.79	0.57	0.46	0.53	0.56	0.58	1.86	0.93	0.54	1.67	42.93
	DN	1.24	1.04	1.31	1.27	0.87	0.65	0.47	0.51	1.21	1.86	0.93	1.13		
30F	UP	1.83	1.65	1.96	1.47	1.23	1.07	1.02	1.01	-	1.86	-	-	3.59	92.49
	DN	5.08	2.69	1.33	1.55	1.54	1.48	0.95	0.80	1.93	1.86	1.86	3.59		
SV45_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.42	1.50	1.00	0.84	0.61	0.69	0.87	1.70	0.94	1.86	0.93	0.88	2.82	72.53
	DN	0.48	1.76	1.59	1.21	0.56	0.64	1.30	1.44	1.26	3.08	1.54	1.94		
10F	UP	0.34	1.88	1.19	0.89	0.58	0.55	0.94	1.75	1.07	1.86	0.93	1.00	2.94	75.66
	DN	0.63	1.59	1.63	1.19	0.63	0.67	1.07	1.54	1.26	3.08	1.54	1.94		

ตารางที่ 4.8 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ SV45\_cc, SV45\_ca และ SV45\_cb (ต่อ)

SV45_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.50	1.69	1.16	1.07	0.54	0.65	1.01	1.55	1.10	1.86	0.93	1.03	2.77	71.24
	DN	0.45	1.37	1.50	1.20	0.57	0.58	1.00	1.46	1.13	3.08	1.54	1.74		
20F	UP	0.31	1.86	1.23	1.06	0.48	0.64	1.05	2.06	1.12	1.86	0.93	1.04	2.84	73.05
	DN	0.41	1.39	1.64	1.23	0.56	0.55	1.05	1.29	1.17	3.08	1.54	1.80		
25F	UP	0.35	1.54	0.92	0.62	0.57	0.97	1.22	2.21	0.86	1.86	0.93	0.80	3.06	78.87
	DN	0.75	1.92	1.82	1.39	0.73	0.50	1.03	1.27	1.47	3.08	1.54	2.26		
30F	UP	1.60	0.89	0.79	0.54	1.02	1.66	1.79	4.23	-	1.86	-	-	4.65	119.65
	DN	1.07	2.60	2.73	2.01	1.56	0.87	0.58	0.64	1.51	3.08	3.08	4.65		



แผนภูมิที่ 4.7 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

จากตารางที่ 4.8 พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) โดยค่าความเร็วลมที่

ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยที่ตำแหน่งลมพัดเข้า (สีฟ้า) ตามภาพที่ 4.15 แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร

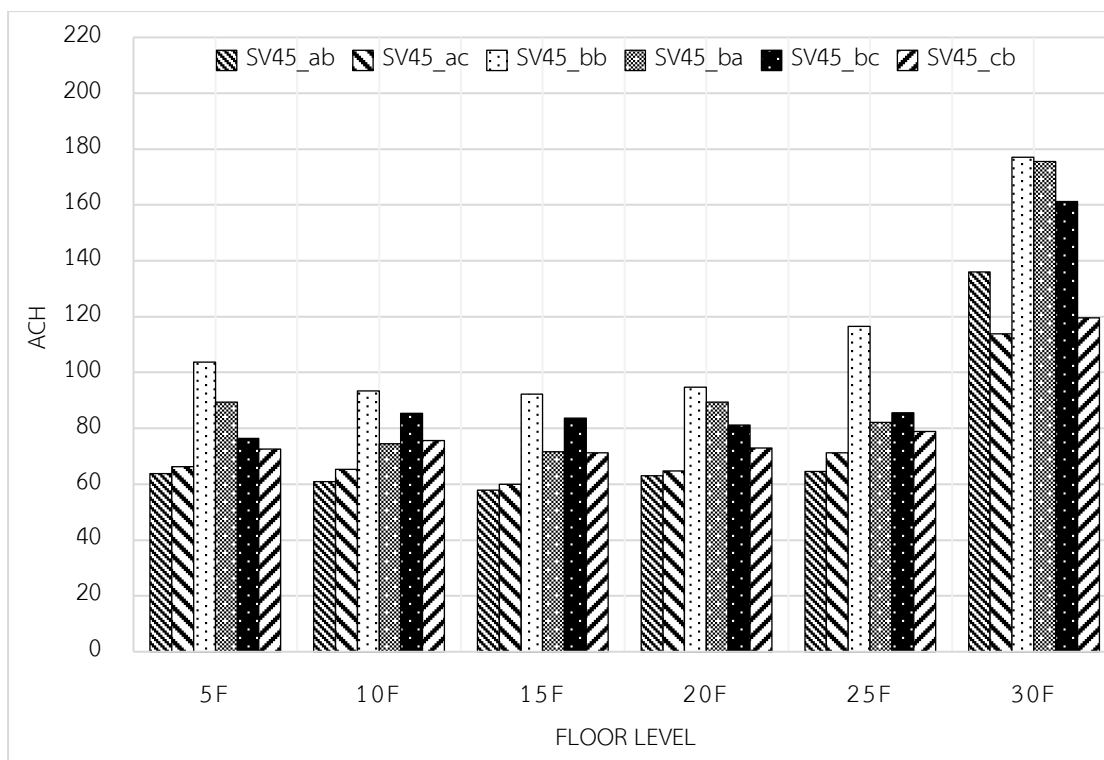
การคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร SV ทิศทางลมท่ามุ่ม ตามตารางที่ 4.8 และแผนภูมิที่ 4.7 พบว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 10, ชั้น 15 และชั้น 20 ระหว่าง 37.72 – 71.24 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 74.83 – 119.65 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดคือ SV45\_cb

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูงจากค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 ของรูปแบบเกล็ด SV45\_cb อัตราการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้น 1.06 เท่าที่ชั้น 10 และลดลงชั้น 5 แต่ก็ยังสูงกว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดอยู่ 1.02 เท่า เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.03 เท่า, 1.11 เท่า และ 1.68 เท่าที่ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ส่วนเกล็ดระบายอากาศ SV45\_cc อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 แล้วจึงเพิ่มขึ้น 1.03 และ 1.09 เท่าที่ชั้น 15 และชั้น 10 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 5 แต่ก็ยังสูงกว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดอยู่ 1.01 เท่า เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.06 เท่า และ 1.25 เท่าที่ชั้น 25 และชั้น 30 อีกรูปแบบหนึ่งคือ SV45\_ca อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 10 แล้วจึงเพิ่มขึ้น 1.08 เท่าที่ชั้น 5 เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศก็สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการระบายอากาศต่ำสุดคิดเป็น 1.14 เท่า, 1.12 เท่า, 1.14 เท่าและ 2.45 เท่าที่ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30

#### 4.2.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมท่ามุ่ม

ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 (เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac) ชุดที่ 2 (เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc) และชุดที่ 3 (เกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb) แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละชุดคือ SV45\_ac (ชั้น 5 ถึงชั้น 25) กับ SV45\_ab (ชั้น 30), SV45\_bb และ SV45\_cb นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก (แผนภูมิที่ 4.8) พบว่า รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมท่ามุ่ม คือ SV45\_bb ตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 30 รูปแบบที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศที่ตรงลงมาคือ SV45\_ba (ชั้น 5, ชั้น 20 และชั้น 30) และ SV45\_bc (ชั้น 10, ชั้น 15 และชั้น 25) ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงเป็นลำดับที่ 3 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ SV45\_bc (ชั้น 5, ชั้น 20 และชั้น 30) SV45\_cb ที่ชั้น 10 และ SV45\_ba (ชั้น 15 กับชั้น 25)





แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร SV ทิศทางลมทำมุม

#### 4.2.4.1 อัตราการระบายอากาศ

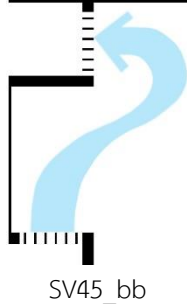

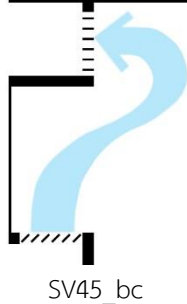
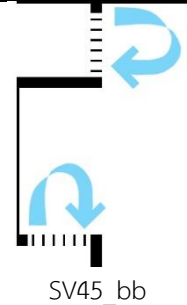
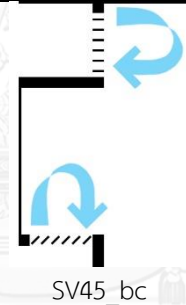
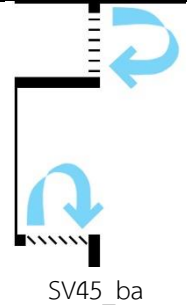
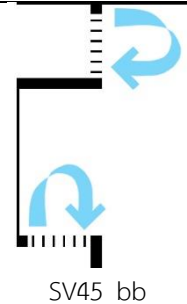
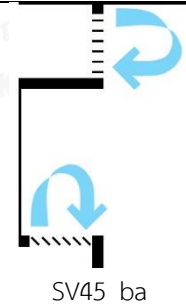
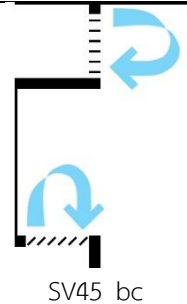
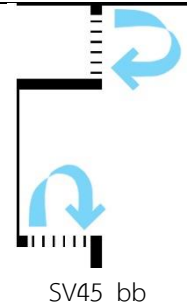
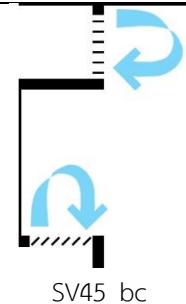
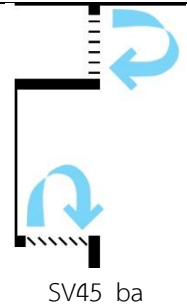
จากแผนภูมิที่ 4.8 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ชั้น 15 ระหว่าง 57.86 – 71.56 ACH และ 76.50 ACH ที่ชั้น 5 ซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่ความกดอากาศสูง 1 ถึง 2 ใน 3 ส่วนของความสูงอาคารและชั้นล่างสุดที่มีความเร็วลมภายนอกต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นจากชั้น 5 จนถึงชั้น 25 อัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกันระหว่าง 1.02 – 1.26 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด ส่วนชั้น 30 อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในสัดส่วนสูงที่สุด 1.68 – 2.45 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.2.4.2 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ

รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ (ตารางที่ 4.9) จากเกล็ดระบายอากาศ 6 รูปแบบ คือ SV45\_bb, SV45\_ba, SV45\_bc, SV45\_ab, SV45\_ac และ SV45\_cb ซึ่งทุกแบบจะประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b (90°) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือด้านล่างเสมอ เนื่องจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า อัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อทิศทางลม

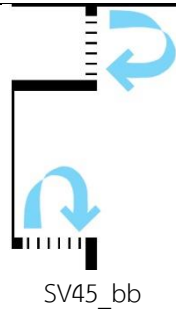
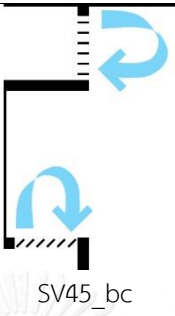
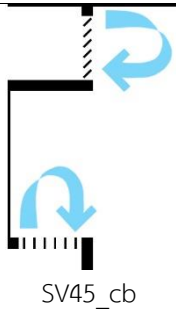
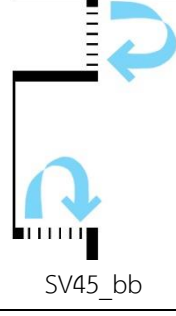
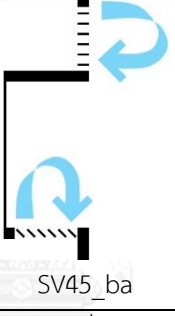
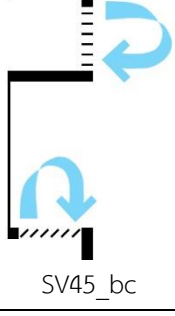
ภายนอกทำมุม  $45^\circ$  กับผนังอาคารจึงเกิดจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ SV45\_bb ที่ช่องเปิดบน และล่างมีขนาดเท่ากัน

ตารางที่ 4.9 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 SV45_bb	177.08	 SV45_ba	175.49	 SV45_bc	161.32
ชั้น 25	 SV45_bb	116.54	 SV45_bc	85.63	 SV45_ba	82.11
ชั้น 20	 SV45_bb	94.82	 SV45_ba	89.47	 SV45_bc	81.15
ชั้น 15	 SV45_bb	92.32	 SV45_bc	83.58	 SV45_ba	71.56

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

ตารางที่ 4.9 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 1 (SV) ทิศทางลมทำมุม (ต่อ)

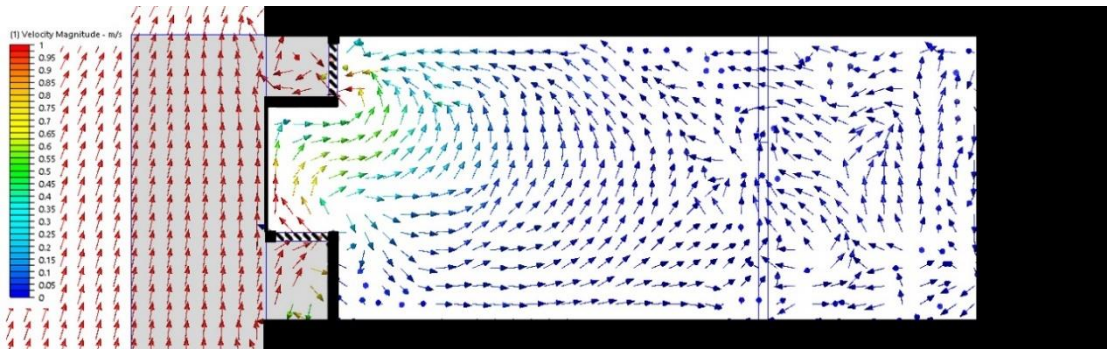
ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 10		93.37		85.33		75.66
ชั้น 5		103.76		89.45		76.50

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

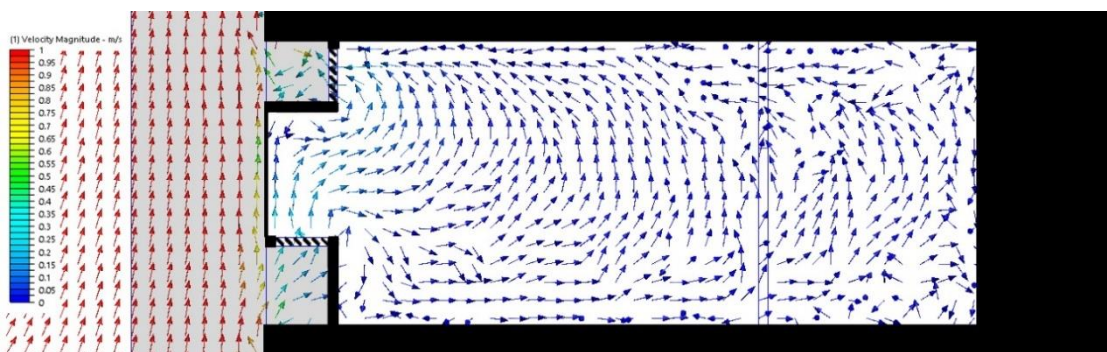
รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_ba ที่ชั้น 5, ชั้น 15 และชั้น 25 กับเกล็ดระบายอากาศแบบ SV\_bc ที่ชั้น 10, ชั้น 20 และชั้น 30 เป็นรูปแบบที่ช่องลมด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่างแตกต่างกันที่การปรับมุมของบานเกล็ดแบบ a ( $-45^\circ$ ) กับแบบ c ( $45^\circ$ ) ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ที่ชั้น 5, ชั้น 20 และชั้น 30 คือ SV\_bc และ SV\_ba ที่ชั้น 15 กับชั้น 25 เป็นรูปแบบที่ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าทางด้านล่างแตกต่างกันที่การปรับมุมบานเกล็ด ส่วนที่ชั้น 10 เป็นรูปแบบ SV\_cb ช่องเปิดด้านล่างจะมีขนาดใหญ่กว่าทางด้านบน

#### 4.3 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก

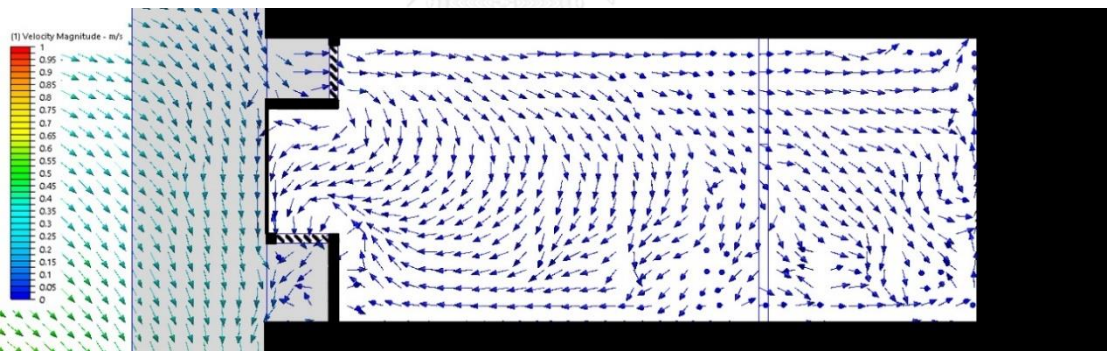
เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากพฤติกรรมของกระแสลมจะพัดลงตั้งแต่ชั้น 20 ลงมา และพัดขึ้นตั้งแต่ชั้น 25 ขึ้นไป ตามภาพที่ 4.16 ถึง 4.21 ตัวอย่างพฤติกรรมของลมตั้งฉากของเกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_aa วัดค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดด้านบนหรือด้านล่างที่ตำแหน่งทิศทางลมพัดเข้า (inlet) 8 ตำแหน่งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและอัตราการระบายอากาศในชั้นต่อไป



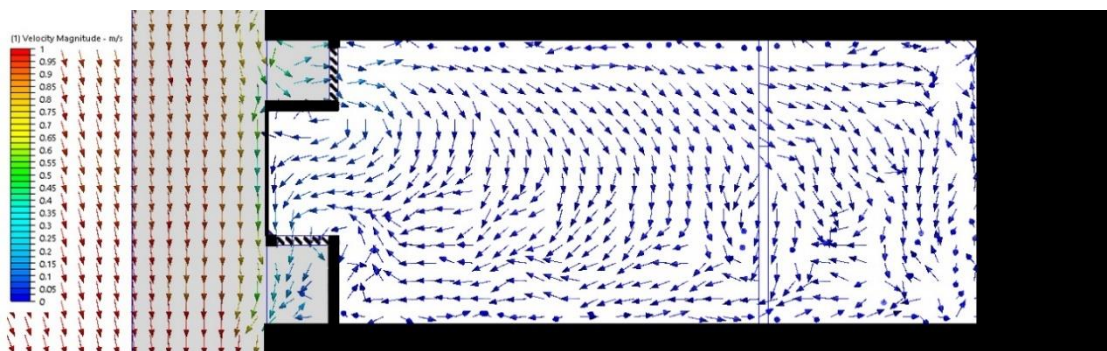
ภาพที่ 4.16 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 30



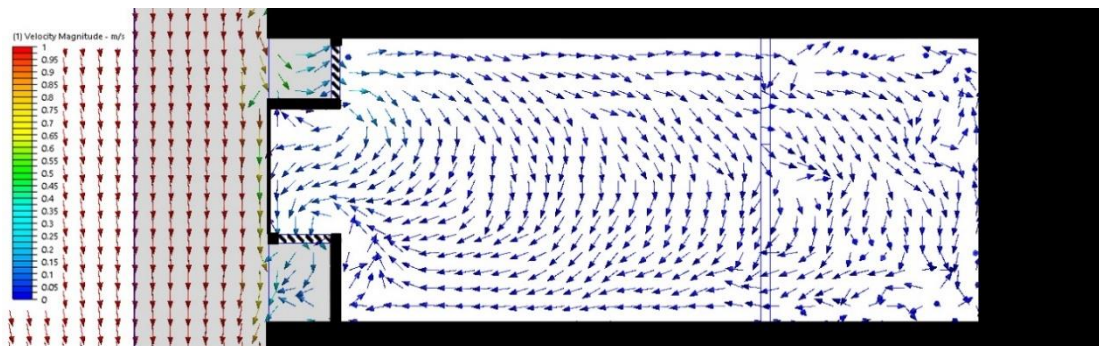
ภาพที่ 4.17 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 25



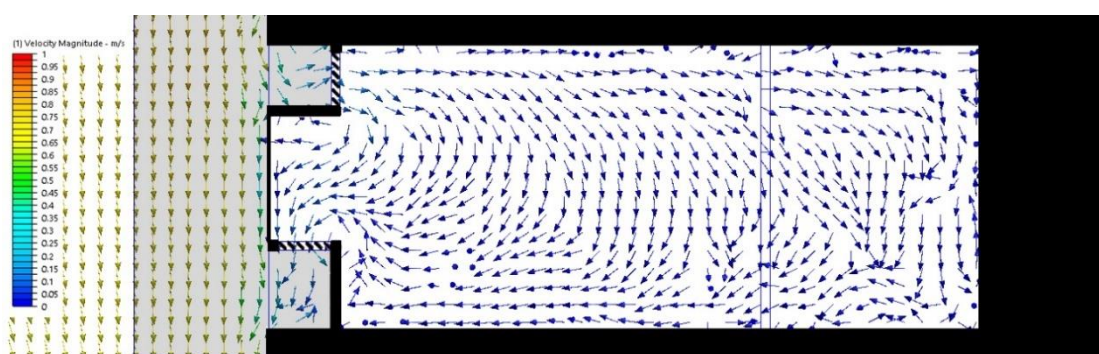
ภาพที่ 4.18 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 20



ภาพที่ 4.19 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 15



ภาพที่ 4.20 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 10



ภาพที่ 4.21 รูปตัดเมื่อลมปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก เกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_a ชั้นที่ 5

ดังนั้น ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และชั้น 30 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่างสำหรับทุกกรณี

#### 4.3.1 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

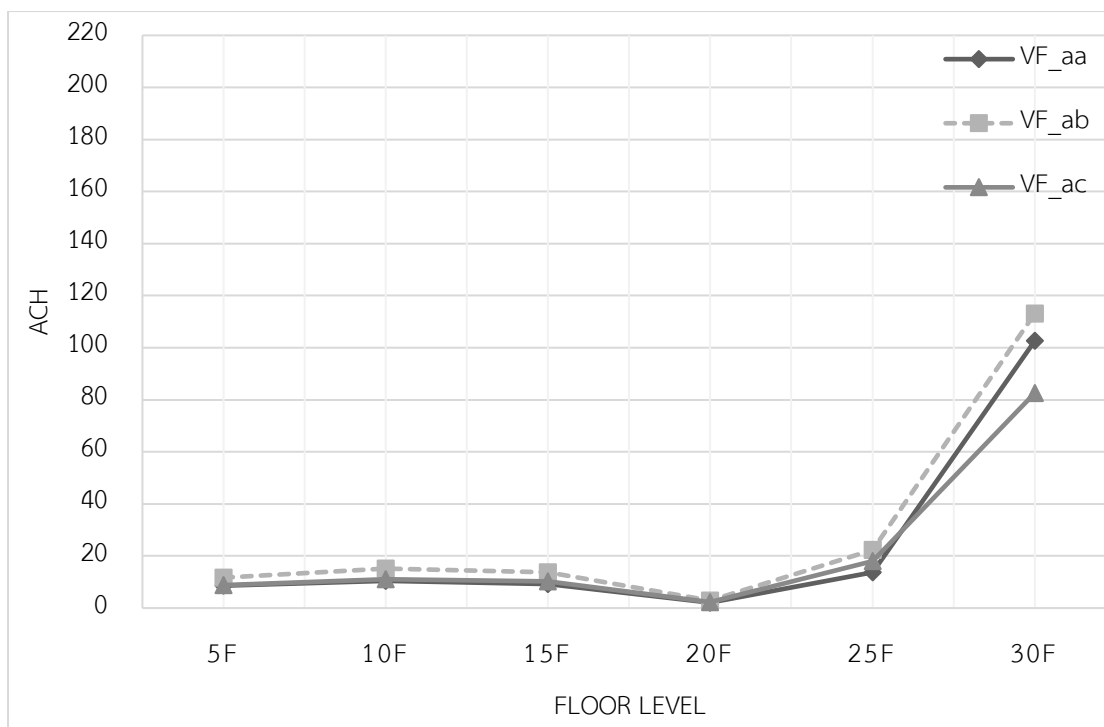
พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และชั้น 30 แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร

ตามที่แสดงในตารางที่ 4.10 และแผนภูมิที่ 4.9 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของทุกกรณีเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ระหว่าง 2.10 - 2.29 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 82.57 - 113.12 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ VF\_ab เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับ VF\_aa และ VF\_ac ไม่ว่าจะเป็นชั้น 5 ถึงชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ a ทางด้านบนหรือชั้น 25 และชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ b ทางด้านล่าง เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 เป็นส่วนที่

ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้น 4 - 5 เท่าที่ชั้น 15 และชั้น 10 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 4 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 7 - 8 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 36 - 49 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

ตารางที่ 4.10 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF\_aa, VF\_ab และ VF\_ac ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
VF_aa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.17	0.20	0.21	0.22	0.10	0.23	0.16	0.16	0.18	1.86	8.70
10F	0.21	0.23	0.27	0.23	0.17	0.25	0.18	0.21	0.22	1.86	10.52
15F	0.14	0.22	0.24	0.26	0.15	0.20	0.17	0.18	0.19	1.86	9.29
20F	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.86	2.10
25F	0.31	0.29	0.26	0.25	0.27	0.21	0.40	0.30	0.29	1.86	13.82
30F	3.13	4.21	1.05	0.59	1.30	1.62	1.11	4.09	2.14	1.86	102.59
VF_ab	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.24	0.25	0.27	0.31	0.16	0.25	0.24	0.23	0.24	1.86	11.71
10F	0.29	0.35	0.36	0.40	0.32	0.32	0.24	0.25	0.32	1.86	15.18
15F	0.23	0.31	0.31	0.37	0.20	0.33	0.28	0.26	0.29	1.86	13.76
20F	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	1.86	2.88
25F	0.27	0.33	0.26	0.27	0.25	0.32	0.27	0.28	0.28	3.08	22.28
30F	1.91	1.43	1.19	1.34	0.98	1.23	1.65	1.68	1.43	3.08	113.12
VF_ac	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.18	0.19	0.22	0.24	0.11	0.18	0.16	0.19	0.18	1.86	8.80
10F	0.20	0.18	0.28	0.32	0.13	0.33	0.16	0.24	0.23	1.86	11.00
15F	0.18	0.20	0.28	0.28	0.10	0.28	0.19	0.20	0.21	1.86	10.24
20F	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	1.86	2.29
25F	0.36	0.46	0.36	0.34	0.39	0.38	0.44	0.28	0.38	1.86	18.13
30F	2.09	1.78	1.68	1.54	1.44	1.56	1.79	1.88	1.72	1.86	82.57



แผนภูมิที่ 4.9 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

#### 4.3.2 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และ ชั้น 30 แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร

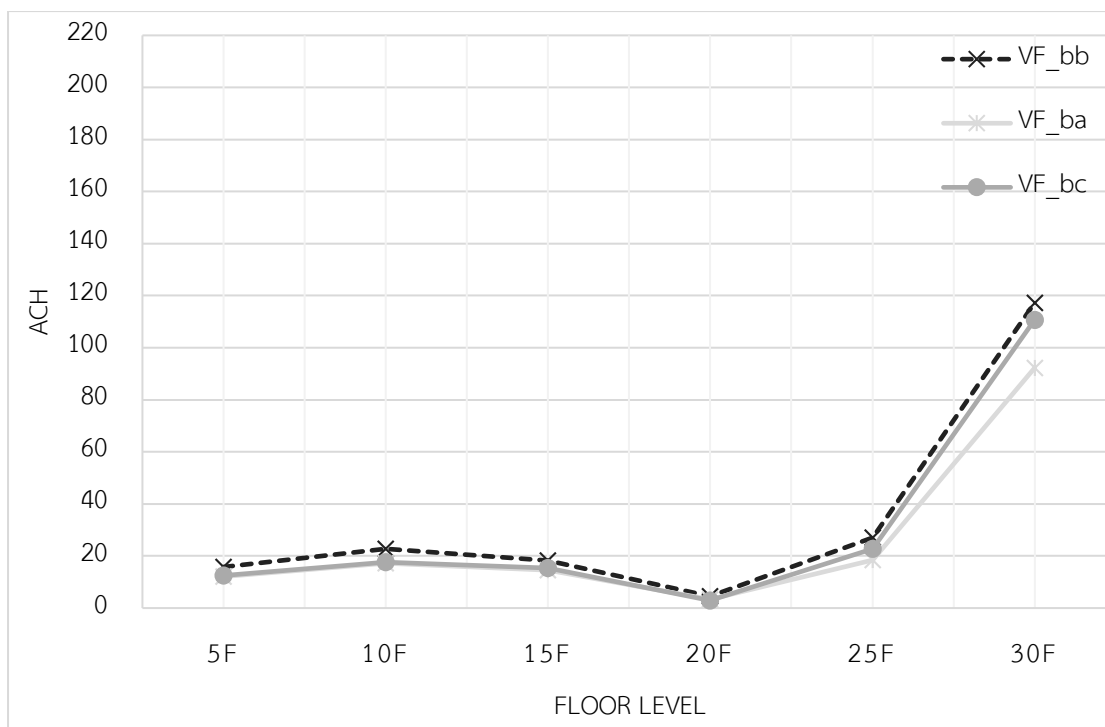
ตามที่แสดงในตารางที่ 4.11 และแผนภูมิที่ 4.10 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของทุกกรณีเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ระหว่าง 2.92 – 4.52 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 92.29 – 117.30 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ VF\_bb เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับ VF\_ba และ VF\_bc ที่ช่องเปิดด้านล่างและด้านบนมีขนาดเท่ากัน ไม่ว่าจะเป็ชั้น 5 ถึง ชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศด้านบนหรือชั้น 25 และชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศทางด้านล่าง เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 เป็นส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้น 4 - 5 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 5 - 6 เท่าที่ชั้น 10 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 4 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับ

ความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 5 - 8 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 26 - 38 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

ตารางที่ 4.11 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF\_bb, VF\_ba และ VF\_bc ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
VF_bb	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.20	0.23	0.19	0.18	0.20	0.18	0.21	0.21	0.20	3.08	15.83
10F	0.29	0.29	0.27	0.32	0.25	0.31	0.27	0.29	0.29	3.08	22.69
15F	0.25	0.27	0.23	0.21	0.23	0.24	0.23	0.21	0.23	3.08	18.30
20F	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	3.08	4.52
25F	0.34	0.36	0.31	0.31	0.33	0.36	0.35	0.36	0.34	3.08	27.03
30F	1.81	1.28	1.32	1.37	1.20	1.43	1.73	1.68	1.48	3.08	117.30
VF_ba	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.15	0.18	0.15	0.13	0.15	0.16	0.17	0.13	0.15	3.08	12.13
10F	0.21	0.25	0.21	0.24	0.18	0.24	0.17	0.23	0.22	3.08	17.14
15F	0.16	0.18	0.17	0.16	0.19	0.22	0.21	0.17	0.18	3.08	14.59
20F	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	3.08	3.35
25F	0.37	0.36	0.37	0.35	0.40	0.34	0.45	0.42	0.38	1.86	18.35
30F	3.68	1.46	1.61	0.49	1.08	0.96	3.67	2.43	1.92	1.86	92.29
VF_bc	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.14	0.20	0.16	0.17	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16	3.08	12.47
10F	0.20	0.24	0.24	0.24	0.22	0.22	0.20	0.24	0.22	3.08	17.72
15F	0.18	0.18	0.20	0.19	0.17	0.22	0.24	0.17	0.19	3.08	15.36
20F	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	3.08	2.92
25F	0.48	0.49	0.44	0.50	0.60	0.41	0.45	0.43	0.47	1.86	22.76
30F	2.65	2.73	2.22	1.85	1.79	2.36	2.32	2.54	2.31	1.86	110.76





แผนภูมิที่ 4.10 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

#### 4.3.3 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

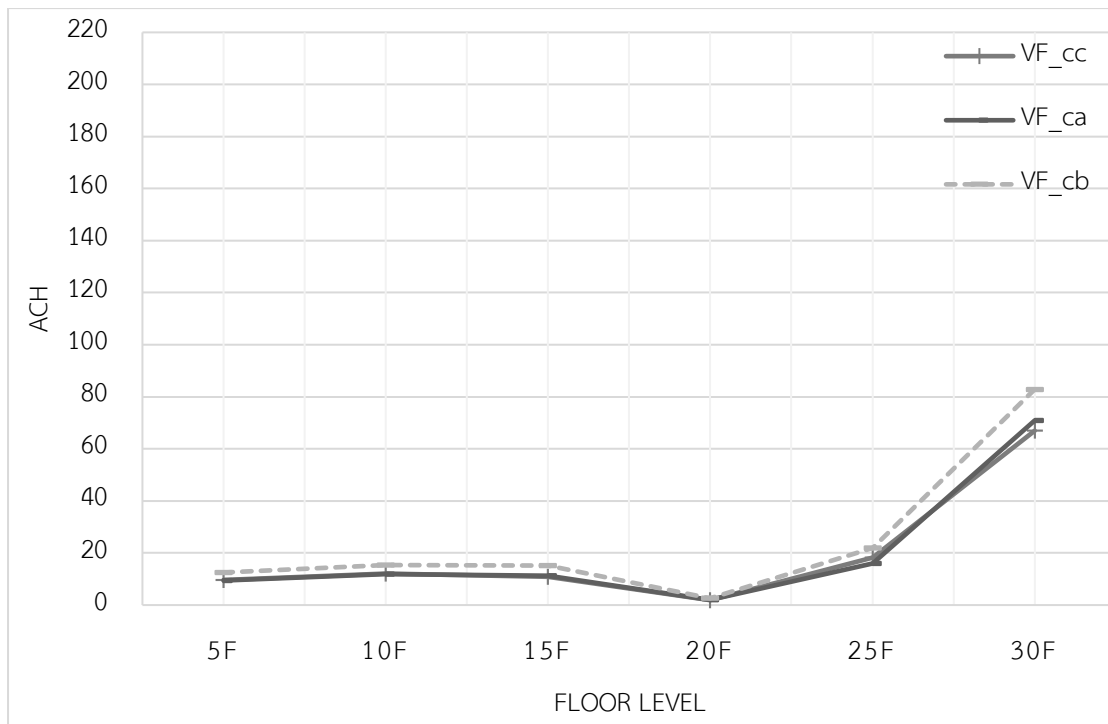
พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านบน และค่าความเร็วลมของชั้น 25 และ ชั้น 30 แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร

ตามที่แสดงในตารางที่ 4.12 และแผนภูมิที่ 4.11 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของทุกกรณีเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ระหว่าง 1.90 - 2.60 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 66.98 - 82.88 ACH โดยรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ VF\_cb เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับ VF\_cc และ VF\_ca ไม่ว่าจะเป็นชั้น 5 ถึงชั้น 20 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ c ทางด้านบนหรือชั้น 25 และชั้น 30 ที่ลมเข้าทางเกล็ดระบายอากาศแบบ b ทางด้านล่าง เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นตามระดับความสูง อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 เป็นส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้น 6 - 7 เท่าที่ชั้น 15 และชั้น 10 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20 อยู่ถึง 5 เท่า ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น

25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 8 - 10 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 32 - 36 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

ตารางที่ 4.12 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF\_cc, VF\_ca และ VF\_cb ทิศทางลมตั้งฉาก

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)										Free Area	ACH
VF_cc	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.21	0.22	0.25	0.19	0.16	0.20	0.17	0.23	0.20	1.86	9.73
10F	0.24	0.38	0.26	0.28	0.22	0.20	0.19	0.24	0.25	1.86	12.03
15F	0.20	0.29	0.22	0.28	0.14	0.20	0.26	0.22	0.23	1.86	10.91
20F	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	1.86	1.90
25F	0.33	0.50	0.42	0.35	0.46	0.36	0.34	0.30	0.38	1.86	18.34
30F	1.71	1.34	1.18	1.05	1.40	1.32	1.41	1.76	1.40	1.86	66.98
VF_ca	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.18	0.30	0.19	0.19	0.17	0.18	0.16	0.20	0.20	1.86	9.43
10F	0.27	0.21	0.22	0.39	0.19	0.25	0.16	0.29	0.25	1.86	11.92
15F	0.26	0.22	0.32	0.32	0.14	0.23	0.18	0.23	0.24	1.86	11.34
20F	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	1.86	1.99
25F	0.31	0.27	0.23	0.26	0.31	0.21	0.75	0.33	0.33	1.86	15.99
30F	2.92	0.99	1.06	0.63	1.90	0.66	1.80	1.86	1.48	1.86	70.92
VF_cb	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.		
5F	0.24	0.36	0.23	0.29	0.19	0.23	0.31	0.24	0.26	1.86	12.49
10F	0.31	0.52	0.35	0.35	0.27	0.25	0.24	0.27	0.32	1.86	15.44
15F	0.36	0.25	0.30	0.41	0.21	0.36	0.23	0.39	0.31	1.86	15.10
20F	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	1.86	2.60
25F	0.25	0.32	0.26	0.27	0.25	0.29	0.28	0.29	0.28	3.08	21.90
30F	1.58	1.01	0.88	0.92	0.82	0.86	1.07	1.24	1.05	3.08	82.88



แผนภูมิที่ 4.11 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

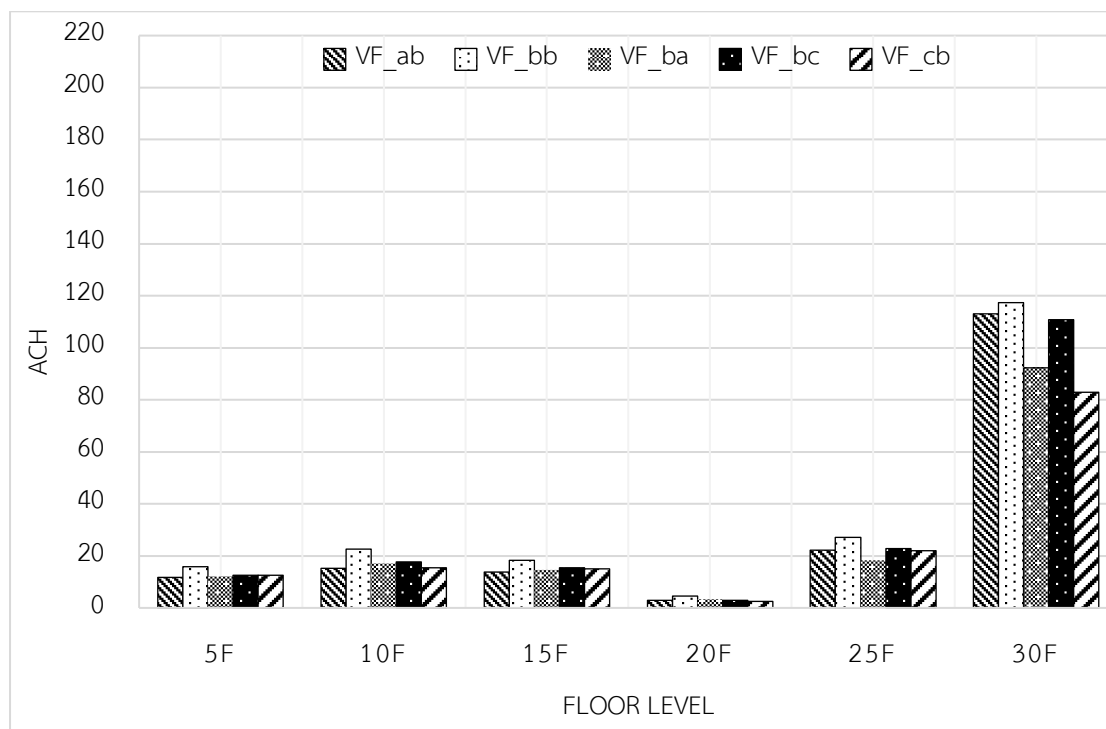
#### 4.3.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก

ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc และเกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละชุดคือ VF\_ab VF\_bb และ VF\_cb นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก (แผนภูมิที่ 4.12) พบว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก คือรูปแบบ VF\_bb จากชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่ตีรองลงมาคือแบบ VF\_bc ที่ชั้น 5 และชั้น 30 รูปแบบ VF\_ba ที่ชั้น 10 และชั้น 20 รูปแบบ VF\_cb ที่ชั้น 15 และ VF\_ab ที่ชั้น 25 ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงเป็นลำดับที่ 3 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ VF\_bc ที่ชั้น 5 และชั้น 30 รูปแบบ VF\_ba ที่ชั้น 10 และชั้น 20 รูปแบบ VF\_cb ที่ชั้น 15 และรูปแบบ VF\_ab ที่ชั้น 25

##### 4.3.4.1 อัตราการระบายอากาศ

อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 เป็นส่วนที่ลมปะทะกับผิวอาคารเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงยากต่อการระบายอากาศ ก่อนจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 – 6 เท่าที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 5 - 6 เท่าที่ชั้น 10 และไปลดลงที่ชั้น 5 แต่อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 5 ก็ยังสูงกว่าชั้น 20

อยู่ถึง 4 - 5 เท่าที่ทิศทางการไหลลง ส่วนทิศทางไหลขึ้นเมื่อรวมกับความเร็วลมที่สูงกว่าชั้นล่าง อัตราการระบายอากาศที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ถึง 5 - 8 เท่าตัว จนมีค่าสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 26 - 39 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด โดยเกลีตระบายอากาศแบบ VF\_bb จะก่อให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดทุกชั้น



แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกลีตระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร VF ทิศทางลมตั้งฉาก

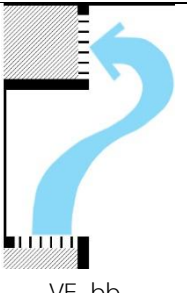
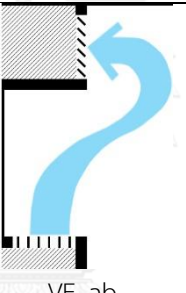
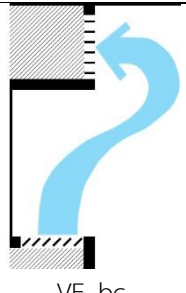
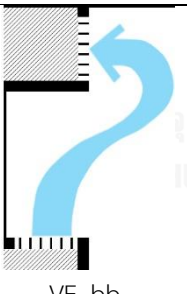
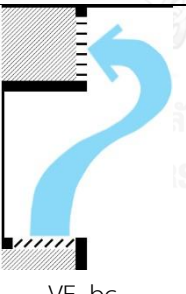
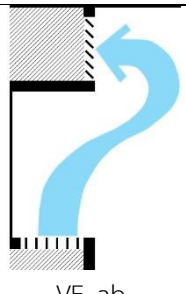
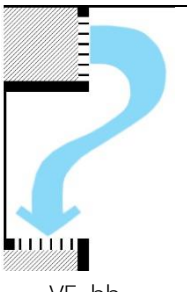
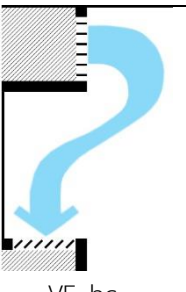
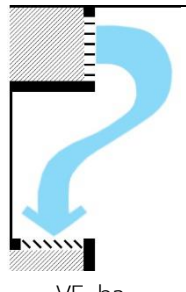
#### 4.3.4.2 รูปแบบเกลีตระบายอากาศ

จากตารางที่ 4.13 แสดงรูปแบบเกลีตที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับจากเกลีตระบายอากาศ 5 รูปแบบ คือ VF\_bb, VF\_ba, VF\_bc, VF\_ab และ VF\_cb ซึ่งทุกแบบจะประกอบด้วยเกลีตระบายอากาศรูปแบบ b (90°) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือด้านล่างเสมอ เนื่องจากเกลีตระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อพิจารณาตามลำดับ อัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 5 ถึงชั้น 30 จะเกิดจากเกลีตระบายอากาศรูปแบบ VF\_bb ที่ช่องเปิดบนและล่างมีขนาดเท่ากัน

รูปแบบเกลีตที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 เกือบทุกชั้นเป็นเกลีตระบายอากาศแบบ VF\_bc (ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20 และชั้น 25) ช่องลมด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่าง โดยที่ชั้น 5 และชั้น 30 จะเป็นเกลีตระบายอากาศแบบ VF\_cb และ VF\_ab

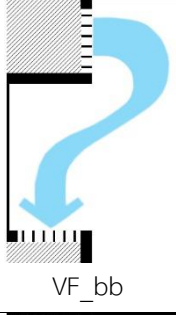

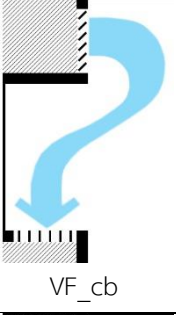
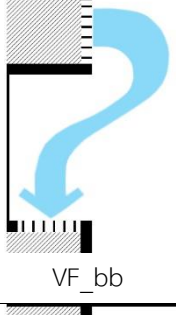

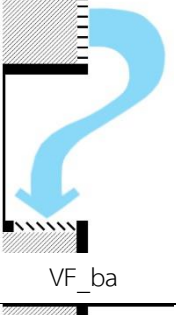
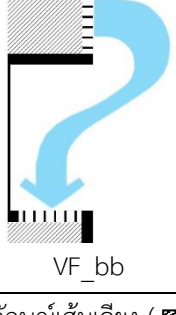
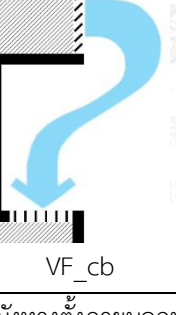
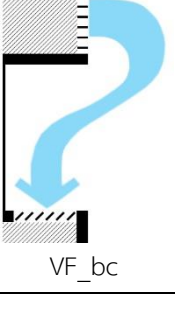
ตามลำดับ ลมจะเข้าทางช่องเปิดมีขนาดใหญ่กว่าจากทั้งด้านบนของเกล็ดแบบ VF\_cb และด้านล่างของเกล็ดแบบ VF\_ab ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ที่ชั้น 5 และชั้น 30 คือ VF\_bc ที่ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าทางด้านล่าง รูปแบบ VF\_ab ที่ชั้น 25 ลมเข้าทางช่องเปิดขนาดใหญ่กว่าทางด้านล่าง รูปแบบ VF\_ba ที่ชั้น 20 ลมเข้าทางช่องเปิดขนาดใหญ่กว่าทางด้านบน รูปแบบ VF\_bc ที่ชั้น 15 และชั้น 10 ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบ ลมจะเข้าจากช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่าทางด้านบน

ตารางที่ 4.13 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 VF_bb	117.30	 VF_ab	113.12	 VF_bc	110.76
ชั้น 25	 VF_bb	27.03	 VF_bc	22.32	 VF_ab	22.28
ชั้น 20	 VF_bb	4.52	 VF_bc	3.35	 VF_ba	2.92

หมายเหตุ: สัญลักษณ์เส้นเฉียง (▨) แสดงครีบน้ำองที่ติดตั้งภายนอกบางส่วน

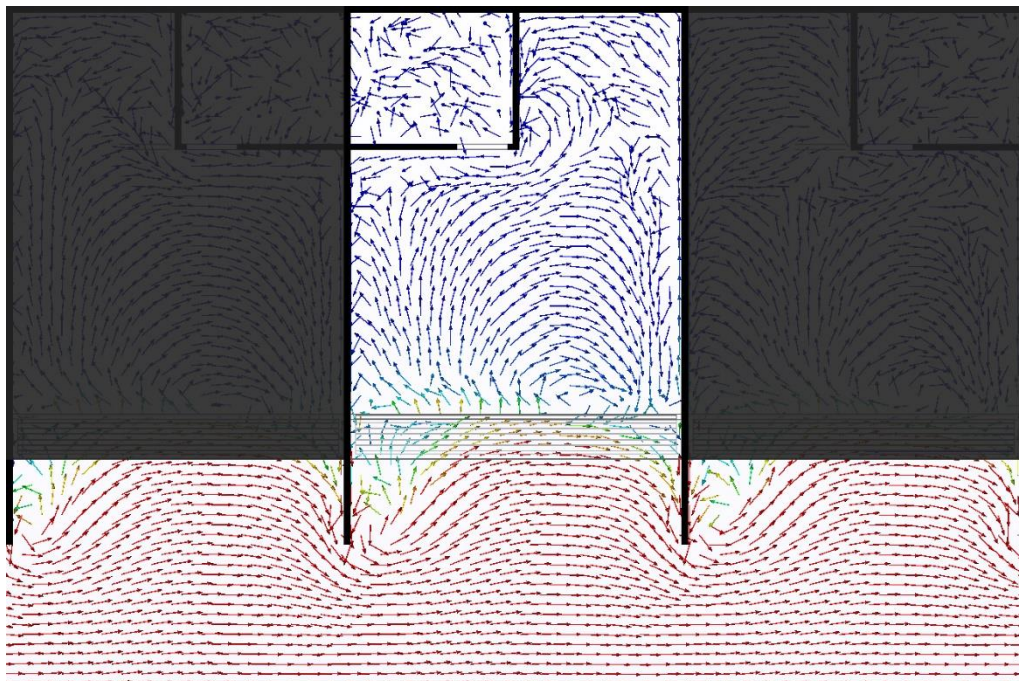
ตารางที่ 4.13 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมตั้งฉาก (ต่อ)

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 15	 VF_bb	18.30	 VF_bc	15.36	 VF_cb	15.10
ชั้น 10	 VF_bb	22.69	 VF_bc	17.72	 VF_ba	17.72
ชั้น 5	 VF_bb	15.83	 VF_cb	12.49	 VF_bc	12.47

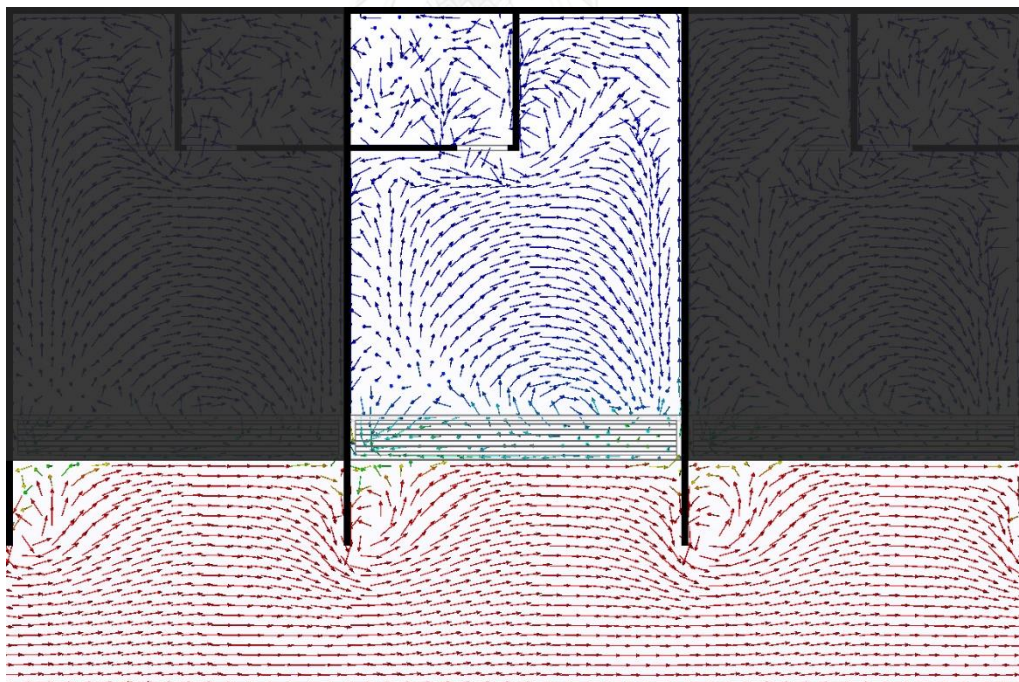
หมายเหตุ: สัญลักษณ์เส้นเฉียง (▨) แสดงครีบน้ำองทางตั้งภายนอกบางส่วน

#### 4.4 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม

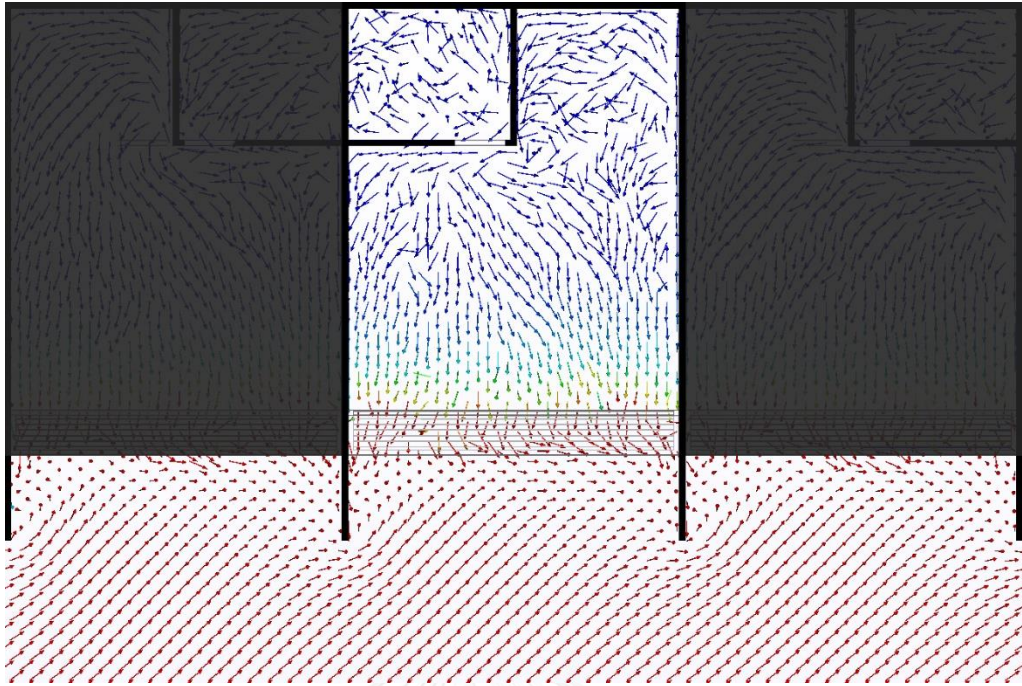
เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางทำมุม 45 องศา พฤติกรรมของกระแสลมจะพัดเข้าและออกจากช่องเปิดเดียวกันทั้งช่องเปิดทางด้านบนและช่องเปิดทางด้านล่างตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 20 ตามภาพที่ 4.22 แสดงพฤติกรรมของลมที่กึ่งกลางช่องเปิดด้านบนและภาพที่ 4.23 แสดงพฤติกรรมของลมเหนือช่องเปิดด้านล่าง ส่วนที่ชั้น 25 และชั้น 30 ลมส่วนใหญ่จะพัดเข้าที่ช่องเปิดด้านล่างและพัดออกที่ช่องเปิดด้านบน ตามภาพที่ 4.24 และภาพที่ 4.25 ดังนั้น การวิเคราะห์พฤติกรรมของกระแสลมในทิศทางทำมุมต่ออาคาร VF ของเกล็ดระบายอากาศทั้ง 9 รูปแบบ ต้องพิจารณาจากรูปตัดขวางของตำแหน่งตรวจวัดรวม 8 ตำแหน่ง (ภาพที่ 4.26)



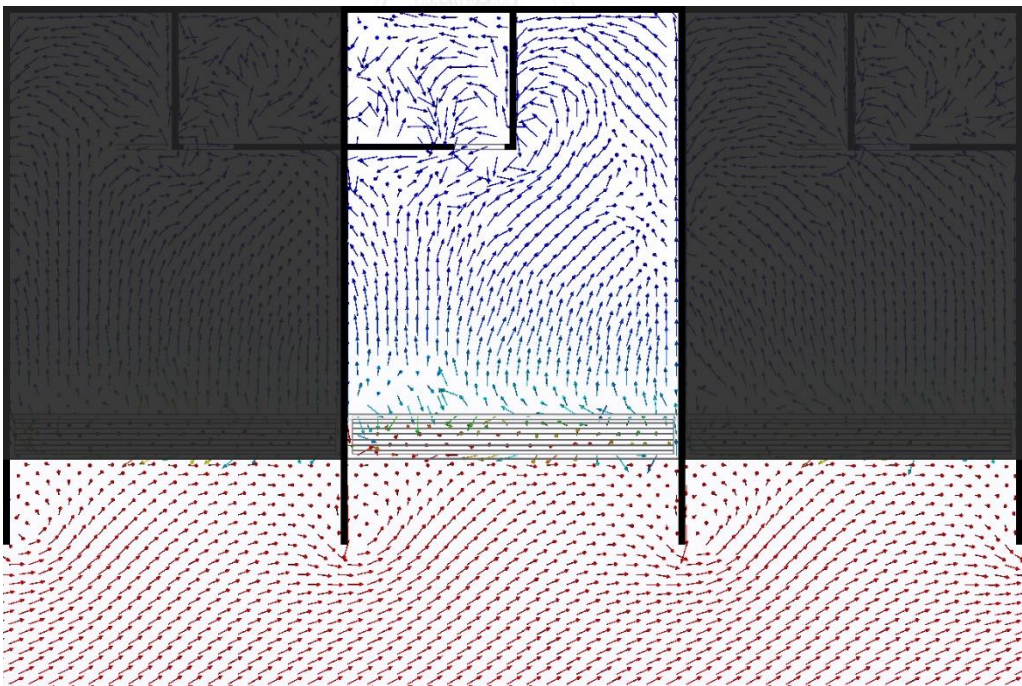
ภาพที่ 4.22 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_cb  
ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านบน



ภาพที่ 4.23 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_cb  
ชั้นที่ 5 ช่องเปิดด้านล่าง

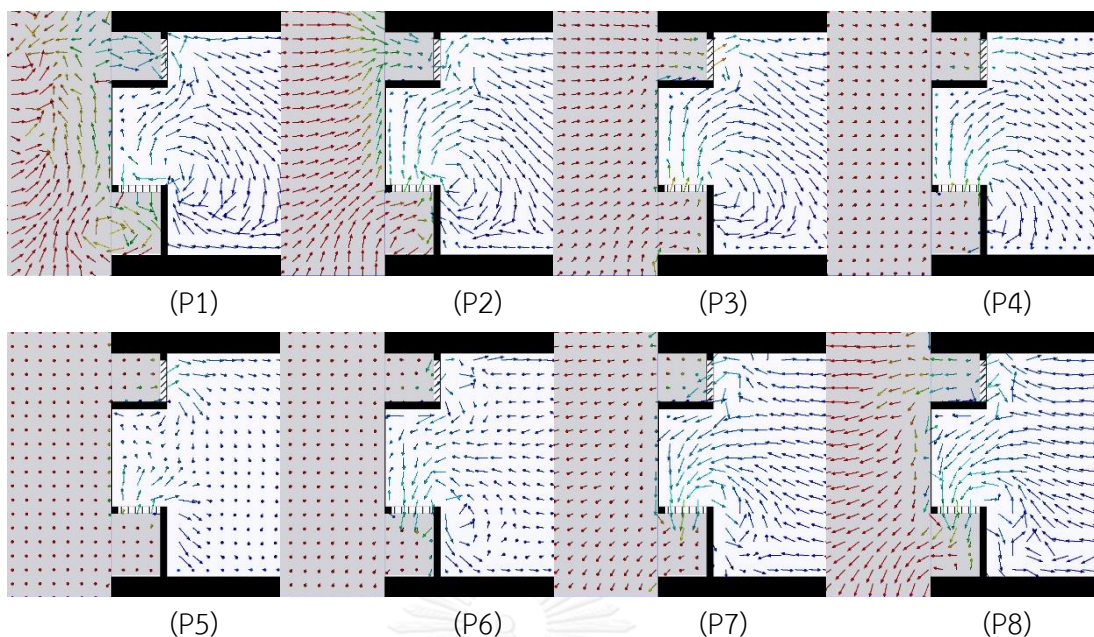


ภาพที่ 4.24 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_cb  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน



ภาพที่ 4.25 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_cb  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง



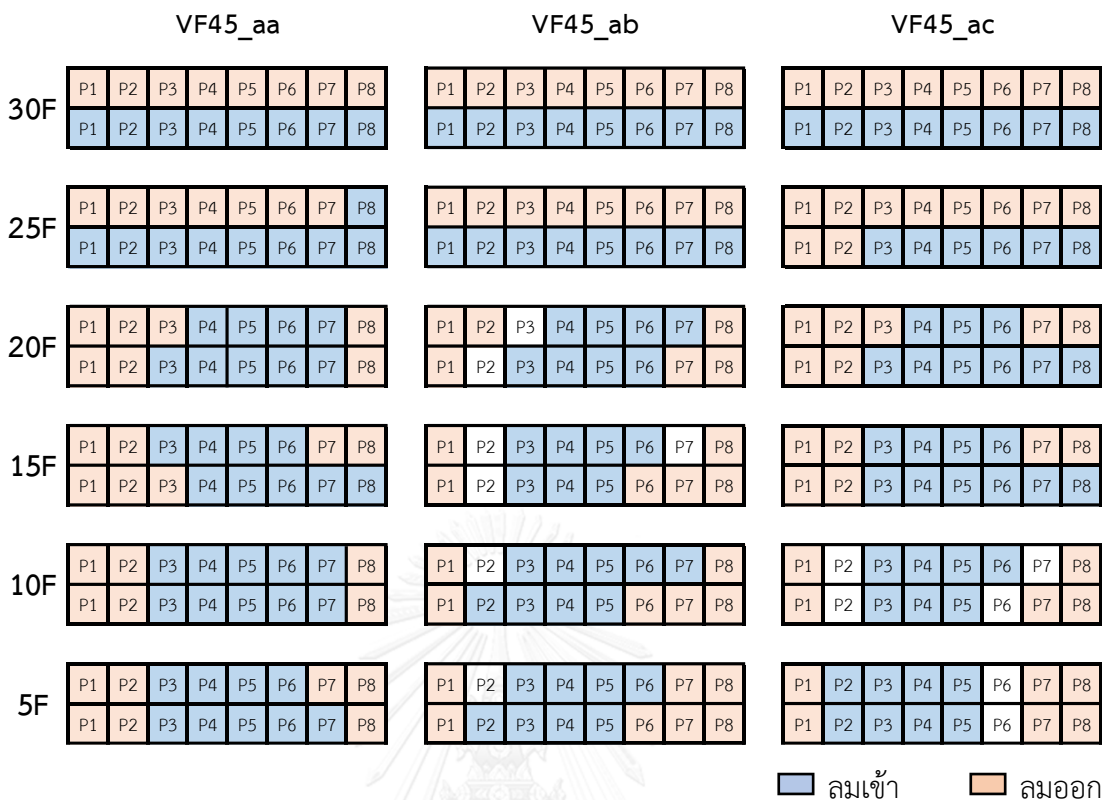


ภาพที่ 4.26 รูปตัดเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_cb ชั้นที่ 5 ทั้ง 8 ตำแหน่ง  
เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวตั้งฉาก

#### 4.4.1 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามรูปตัดขวางแสดงทิศทางการไหลของลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) ส่วนเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) เช่น เกล็ดระบายอากาศ VF45\_ab ชั้นที่ 20 ลมเข้าที่ตำแหน่ง P4 ถึง P7 คิดเป็น 4 หน่วย ดังนั้น พื้นที่ช่องเปิดที่ใช้คำนวณสำหรับช่องเปิดด้านบนรูปแบบ a เท่ากับ 0.93 ตารางเมตร และช่องเปิดด้านล่างรูปแบบ b เท่ากับ 1.54 ตารางเมตร (จากตำแหน่ง P3 ถึง P6) โดยค่าความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตำแหน่งลมพัดเข้า (สีฟ้า) ตามภาพที่ 4.27 แต่ละชั้น แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร



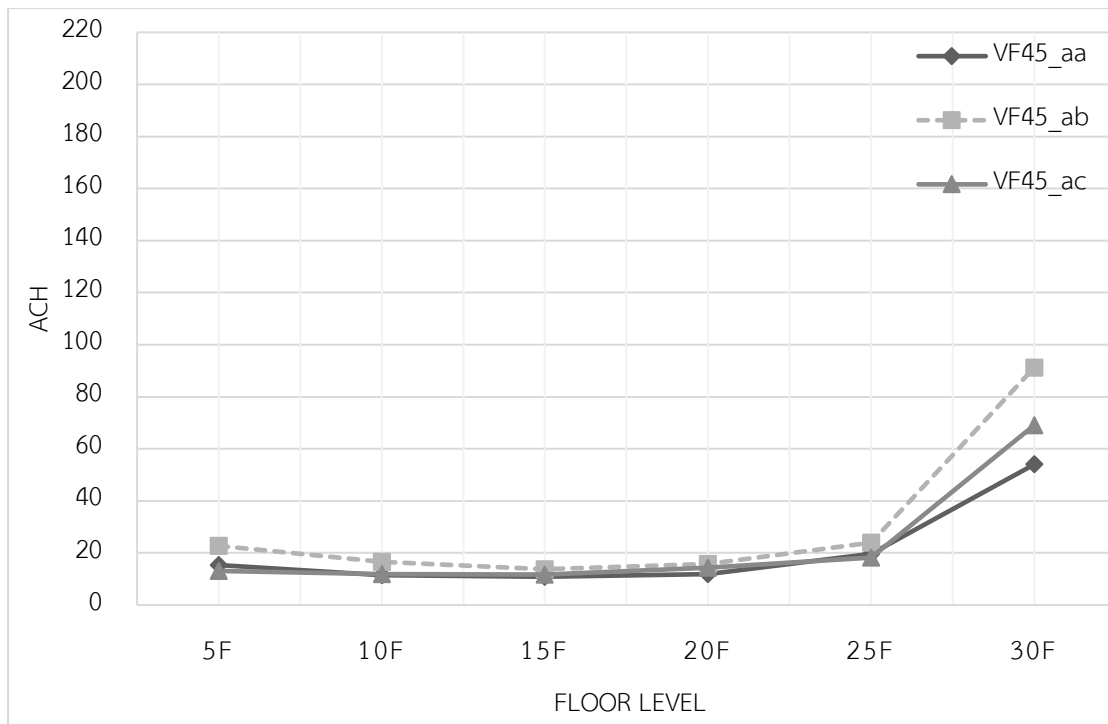
ภาพที่ 4.27 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม  
 เกือบระบายนอนแบบ aa, ab และ ac

ตารางที่ 4.14 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_aa, VF45\_ab และ VF45\_ac

VF45_aa		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.54	0.14	0.23	0.34	0.29	0.18	0.12	0.13	0.25	1.86	0.93	0.23	0.60	15.45
	DN	0.60	0.25	0.51	0.46	0.36	0.23	0.20	0.27	0.40	1.86	0.93	0.37		
10F	UP	0.63	0.19	0.18	0.27	0.27	0.14	0.16	0.14	0.21	1.86	0.93	0.20	0.45	11.49
	DN	0.52	0.19	0.21	0.24	0.22	0.18	0.10	0.31	0.21	1.86	1.16	0.25		
15F	UP	0.57	0.15	0.17	0.24	0.23	0.20	0.13	0.23	0.22	1.86	0.70	0.16	0.42	10.89
	DN	0.44	0.61	0.25	0.27	0.27	0.17	0.13	0.31	0.23	1.86	1.16	0.27		
20F	UP	0.72	0.35	0.19	0.18	0.19	0.20	0.15	0.14	0.19	1.86	0.70	0.13	0.46	11.92
	DN	0.42	0.20	0.32	0.32	0.31	0.25	0.20	0.25	0.28	1.86	1.16	0.33		
25F	UP	0.74	0.45	0.35	0.25	0.21	0.17	0.16	0.22	0.22	1.86	0.23	0.05	0.76	19.68
	DN	0.43	0.24	0.29	0.36	0.45	0.35	0.32	0.62	0.38	1.86	1.86	0.71		
30F	UP	2.12	0.98	0.69	1.00	0.46	0.44	0.40	0.37	-	1.86	-	-	2.10	54.03
	DN	1.02	2.12	0.92	0.52	0.76	0.87	1.37	1.42	1.13	1.86	1.86	2.10		

ตารางที่ 4.14 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_aa, VF45\_ab และ VF45\_ac (ต่อ)

VF45_ab		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.55	0.14	0.21	0.29	0.26	0.20	0.13	0.15	0.24	1.86	0.93	0.22	0.88	22.70
	DN	0.18	0.34	0.54	0.51	0.32	0.28	0.33	0.38	0.43	3.08	1.54	0.66		
10F	UP	0.54	0.14	0.18	0.28	0.25	0.20	0.12	0.18	0.21	1.86	1.16	0.24	0.64	16.52
	DN	0.41	0.22	0.29	0.29	0.24	0.20	0.23	0.35	0.26	3.08	1.54	0.40		
15F	UP	0.62	0.24	0.19	0.29	0.22	0.20	0.13	0.15	0.22	1.86	0.93	0.21	0.53	13.77
	DN	0.18	0.21	0.29	0.29	0.26	0.17	0.12	0.23	0.28	3.08	1.15	0.33		
20F	UP	0.82	0.27	0.16	0.25	0.17	0.15	0.11	0.15	0.17	1.86	0.93	0.16	0.61	15.71
	DN	0.16	0.25	0.34	0.40	0.27	0.16	0.15	0.21	0.29	3.08	1.54	0.45		
25F	UP	1.09	0.63	0.28	0.24	0.18	0.21	0.31	0.12	-	1.86	-	-	0.93	24.02
	DN	0.20	0.33	0.50	0.55	0.35	0.23	0.14	0.12	0.30	3.08	3.08	0.93		
30F	UP	2.61	1.08	0.97	0.62	0.29	0.76	0.66	0.60	-	1.86	-	-	3.54	91.22
	DN	1.10	1.31	1.38	1.25	1.00	1.05	0.87	1.24	1.15	3.08	3.08	3.54		
VF45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.59	0.18	0.22	0.31	0.28	0.14	0.14	0.14	0.25	1.86	0.93	0.23	0.51	13.08
	DN	0.59	0.26	0.31	0.45	0.17	0.19	0.17	0.18	0.30	1.86	0.93	0.28		
10F	UP	0.61	0.13	0.19	0.30	0.26	0.18	0.13	0.18	0.23	1.86	0.93	0.22	0.46	11.89
	DN	0.61	0.29	0.21	0.18	0.25	0.19	0.23	0.38	0.21	1.86	1.16	0.25		
15F	UP	0.65	0.18	0.20	0.30	0.22	0.13	0.11	0.13	0.24	1.86	0.70	0.17	0.45	11.71
	DN	0.76	0.36	0.22	0.31	0.23	0.24	0.23	0.24	0.25	1.86	1.16	0.29		
20F	UP	0.80	0.27	0.16	0.19	0.20	0.14	0.13	0.10	0.17	1.86	0.70	0.12	0.56	14.41
	DN	0.63	0.27	0.27	0.37	0.30	0.31	0.34	0.29	0.31	1.86	1.40	0.44		
25F	UP	1.00	0.53	0.26	0.24	0.15	0.15	0.11	0.14	-	1.86	-	-	0.71	18.20
	DN	0.57	0.20	0.47	0.49	0.51	0.46	0.52	0.57	0.51	1.86	1.40	0.71		
30F	UP	2.53	1.28	0.85	0.38	0.42	0.88	0.62	0.38	-	1.86	-	-	2.68	69.10
	DN	0.81	1.08	1.38	1.27	1.06	1.72	2.20	2.00	1.44	1.86	1.86	2.68		



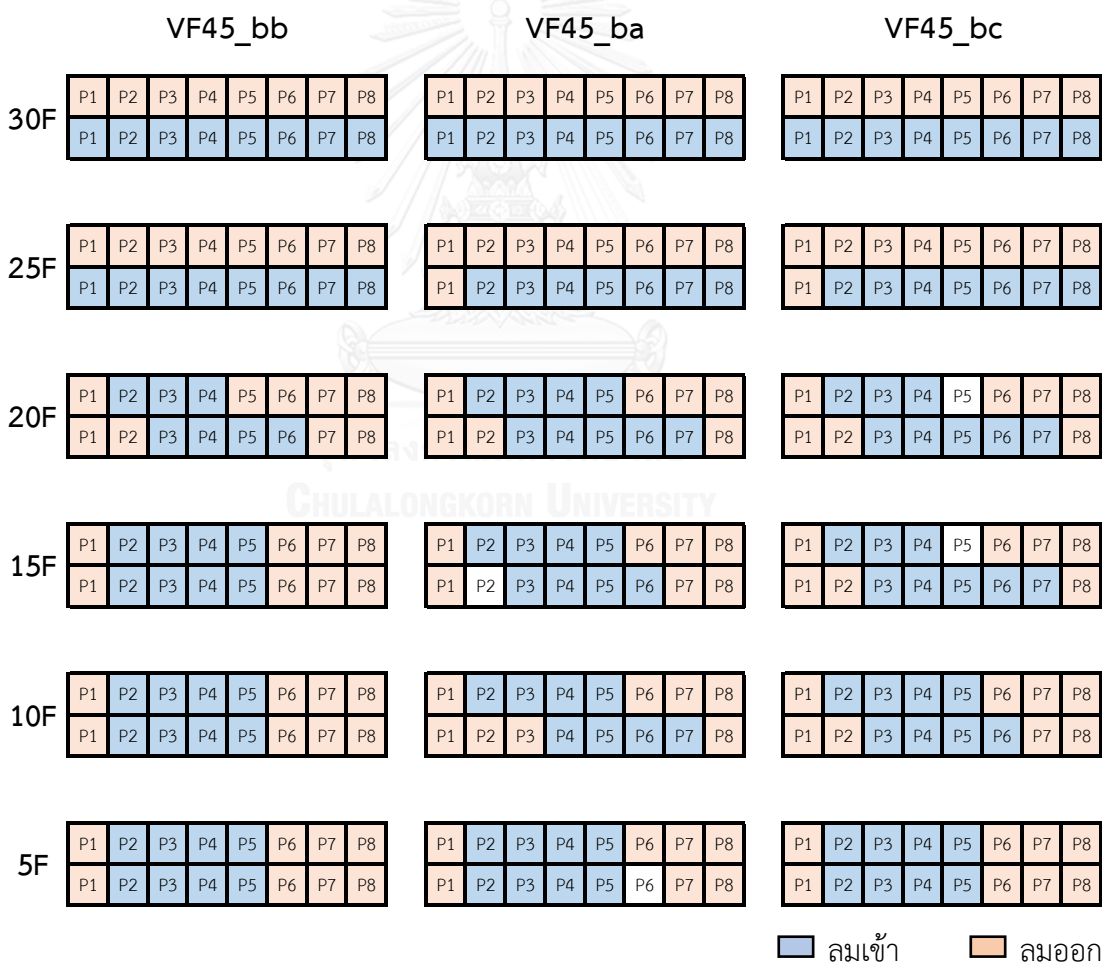
แผนภูมิที่ 4.13 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ a, ab และ ac อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม  $45^{\circ}$  ตามตารางที่ 4.14 และแผนภูมิที่ 4.13 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 สำหรับทุกกรณีระหว่าง 10.89 - 13.77 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 54.03 - 91.22 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_ab

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 15 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.01 - 1.20 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มสูงขึ้นที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.12 - 1.42 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดเมื่อความสูงลดลง ส่วนเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงกว่าระหว่าง 1.09 - 1.23 เท่า, 1.55 - 1.81 เท่า และ 4.96 - 6.63 เท่าที่ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ตามลำดับ

4.4.2 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมกรไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามรูปตัดขวางแสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) ส่วนเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) โดยค่าความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตำแหน่งลมพัดเข้า (สีฟ้า) ตามภาพที่ 4.28 แต่ละชั้น แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.28 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม

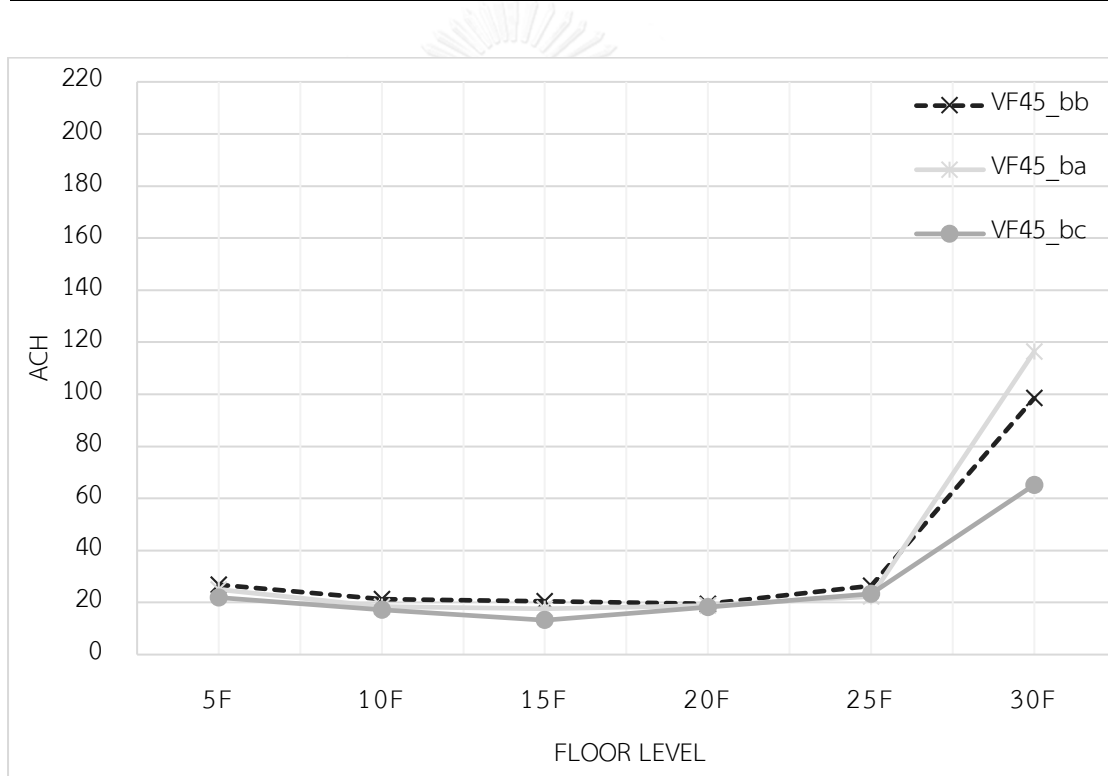
เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc

ตารางที่ 4.15 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_bb, VF45\_ba และ VF45\_bc

VF45_bb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.24	0.30	0.37	0.35	0.21	0.26	0.38	0.29	0.31	3.08	1.54	0.48	1.04	26.89
	DN	0.22	0.24	0.47	0.48	0.29	0.30	0.33	0.38	0.37	3.08	1.54	0.57		
10F	UP	0.18	0.26	0.29	0.31	0.28	0.27	0.30	0.30	0.28	3.08	1.54	0.44	0.83	21.32
	DN	0.63	0.26	0.25	0.29	0.22	0.14	0.23	0.32	0.25	3.08	1.54	0.39		
15F	UP	0.18	0.23	0.31	0.28	0.15	0.11	0.25	0.42	0.24	3.08	1.54	0.37	0.79	20.46
	DN	0.18	0.21	0.29	0.33	0.26	0.16	0.17	0.21	0.27	3.08	1.54	0.42		
20F	UP	0.21	0.25	0.28	0.31	0.24	0.26	0.34	0.32	0.28	3.08	1.15	0.32	0.76	19.52
	DN	0.33	0.17	0.33	0.35	0.27	0.18	0.12	0.19	0.28	3.08	1.54	0.44		
25F	UP	0.46	0.26	0.33	0.28	0.30	0.36	0.37	0.46	-	3.08	-	-	1.02	26.34
	DN	0.18	0.35	0.51	0.50	0.41	0.31	0.26	0.13	0.33	3.08	3.08	1.02		
30F	UP	1.72	1.45	1.07	1.03	0.83	1.39	1.25	1.19	-	3.08	-	-	3.82	98.49
	DN	1.14	1.22	1.26	1.31	1.31	1.13	1.15	1.43	1.24	3.08	3.08	3.82		
VF45_ba		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.31	0.44	0.43	0.41	0.28	0.27	0.31	0.40	0.39	3.08	1.54	0.60	0.97	24.92
	DN	0.80	0.47	0.57	0.38	0.16	0.15	0.27	0.20	0.39	1.86	0.93	0.37		
10F	UP	0.26	0.39	0.35	0.36	0.27	0.26	0.30	0.37	0.34	3.08	1.54	0.52	0.71	18.32
	DN	0.74	0.40	0.26	0.19	0.21	0.22	0.18	0.30	0.20	1.86	0.93	0.19		
15F	UP	0.25	0.27	0.33	0.35	0.27	0.22	0.27	0.31	0.31	3.08	1.54	0.47	0.68	17.60
	DN	0.59	0.40	0.34	0.21	0.19	0.17	0.27	0.38	0.23	1.86	0.93	0.21		
20F	UP	0.32	0.26	0.34	0.27	0.24	0.28	0.39	0.35	0.28	3.08	1.54	0.43	0.73	18.85
	DN	0.61	0.36	0.33	0.22	0.29	0.27	0.20	0.38	0.26	1.86	1.16	0.30		
25F	UP	0.42	0.33	0.19	0.30	0.25	0.36	0.49	0.46	-	3.08	-	-	0.87	22.37
	DN	0.52	0.71	0.71	0.37	0.49	0.44	0.49	0.52	0.53	1.86	1.63	0.87		
30F	UP	1.37	1.35	2.17	1.73	1.87	1.78	1.55	2.00	-	3.08	-	-	4.52	116.39
	DN	2.00	2.48	3.29	1.30	2.49	2.83	2.80	2.21	2.42	1.86	1.86	4.52		
VF45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.33	0.27	0.40	0.41	0.28	0.25	0.34	0.38	0.34	3.08	1.54	0.52	0.85	21.99
	DN	0.64	0.24	0.41	0.51	0.25	0.17	0.15	0.17	0.35	1.86	0.93	0.33		
10F	UP	0.15	0.26	0.34	0.33	0.29	0.23	0.45	0.34	0.31	3.08	1.54	0.47	0.67	17.19
	DN	0.71	0.27	0.22	0.19	0.23	0.20	0.24	0.33	0.21	1.86	0.93	0.20		

ตารางที่ 4.15 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_bb, VF45\_ba และ VF45\_bc (ต่อ)

VF45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.19	0.23	0.34	0.34	0.26	0.23	0.36	0.35	0.30	3.08	1.15	0.35	0.51	13.21
	DN	0.71	0.28	0.23	0.25	0.21	0.23	0.24	0.32	0.23	1.86	0.70	0.16		
20F	UP	0.19	0.36	0.28	0.28	0.25	0.28	0.36	0.32	0.31	3.08	1.15	0.35	0.71	18.18
	DN	0.68	0.37	0.27	0.30	0.29	0.37	0.29	0.36	0.30	1.86	1.16	0.35		
25F	UP	0.36	0.25	0.28	0.34	0.28	0.39	0.43	0.44	-	3.08	-	-	0.91	23.40
	DN	0.54	0.24	0.44	0.56	0.58	0.68	0.61	0.79	0.56	1.86	1.63	0.91		
30F	UP	1.28	1.28	1.14	0.73	0.51	1.09	0.90	1.15	-	3.08	-	-	2.53	65.21
	DN	0.88	1.02	1.34	1.36	1.37	1.49	1.96	1.46	1.36	1.86	1.86	2.53		



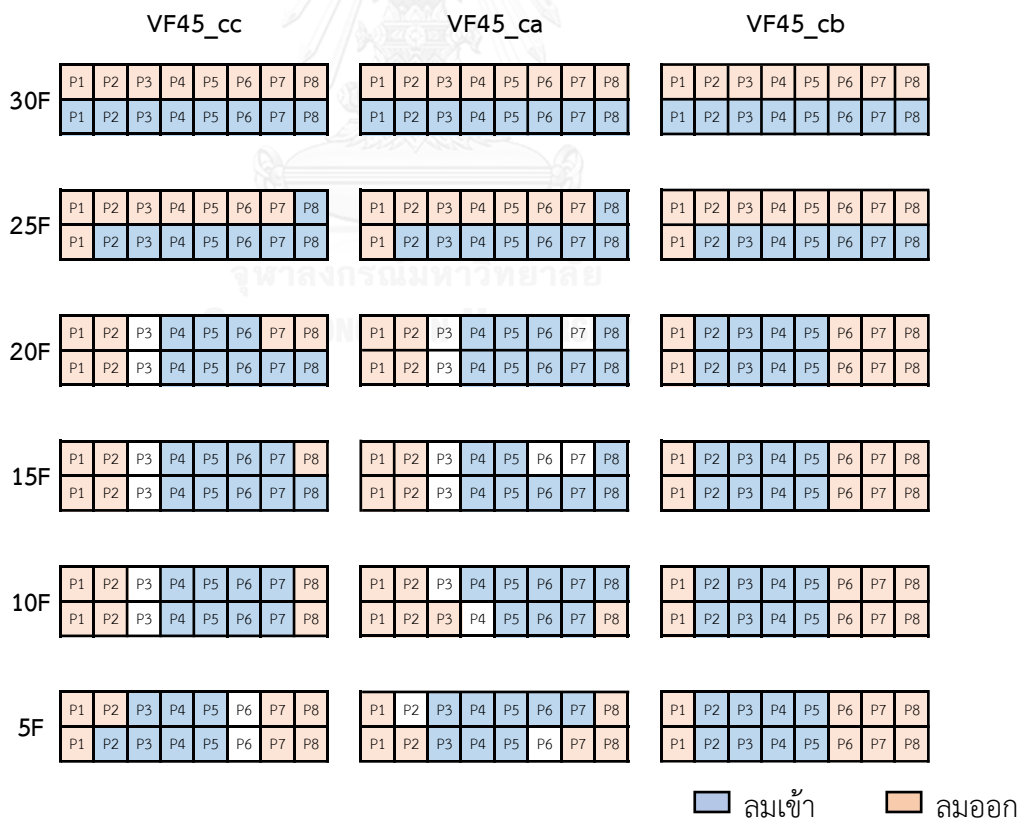
แผนภูมิที่ 4.14 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.15 และแผนภูมิที่ 4.14 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 15 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_ba กับ VF45\_bc และที่ชั้น 20 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_bb ระหว่าง 13.21 – 19.52 ACH ส่วนอัตราการระบายอากาศสูงสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 30 ระหว่าง 65.21 – 116.39 ACH

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูงสำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_ba และ VF45\_bc อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 15 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.04 - 1.30 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มสูงขึ้นที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.47 - 1.67 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดเมื่อความสูงลดลง ส่วนเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงกว่า ระหว่าง 1.07 - 1.38 เท่า, 1.27 - 1.77 เท่าและ 4.94 - 6.61 เท่าที่ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ตามลำดับ สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_bb อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ก่อนจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงขึ้นเมื่อระดับความสูงลดลงที่ชั้น 15 คิดเป็น 1.05 เท่า, 1.09 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.38 เท่าที่ชั้น 5 ส่วนเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นจากชั้น 20 ในอัตราส่วน 1.35 เท่าที่ชั้น 25 และ 5.05 เท่าที่ชั้น 30

#### 4.4.3 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.29 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.29 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 2 (VF) ในทิศทางทำมุม เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb

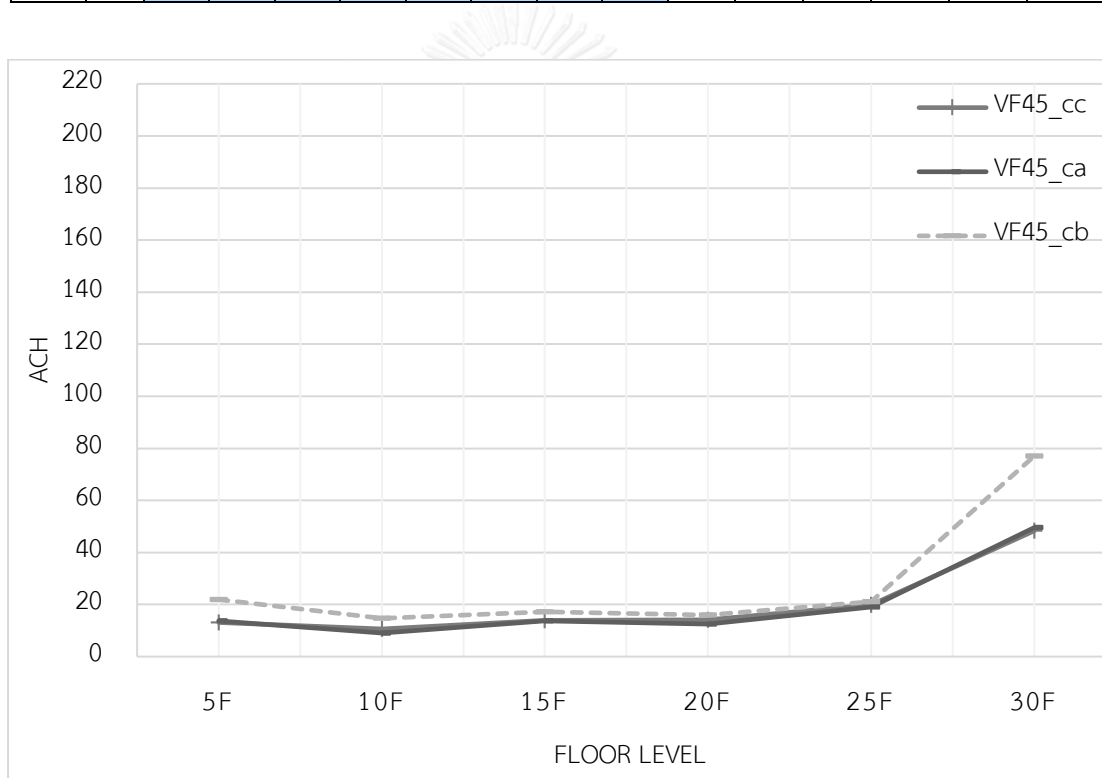


ตารางที่ 4.16 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_cc, VF45\_ca และ VF45\_cb

VF45_cc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.37	0.18	0.34	0.29	0.22	0.14	0.16	0.15	0.28	1.86	0.70	0.20	0.51	13.19
	DN	0.73	0.25	0.38	0.44	0.27	0.19	0.21	0.19	0.34	1.86	0.93	0.31		
10F	UP	0.63	0.29	0.18	0.25	0.24	0.18	0.16	0.25	0.21	1.86	0.93	0.19	0.41	10.60
	DN	0.68	0.27	0.22	0.26	0.25	0.25	0.18	0.28	0.23	1.86	0.93	0.22		
15F	UP	0.57	0.26	0.20	0.25	0.23	0.18	0.11	0.22	0.19	1.86	0.93	0.18	0.54	13.92
	DN	0.67	0.32	0.24	0.35	0.29	0.24	0.25	0.40	0.31	1.86	1.16	0.36		
20F	UP	0.62	0.37	0.20	0.18	0.21	0.13	0.11	0.12	0.17	1.86	0.70	0.12	0.55	14.17
	DN	0.64	0.29	0.31	0.35	0.25	0.41	0.29	0.54	0.37	1.86	1.16	0.43		
25F	UP	0.95	0.76	0.46	0.30	0.20	0.13	0.15	0.23	0.23	1.86	0.23	0.05	0.77	19.85
	DN	0.61	0.29	0.33	0.33	0.46	0.52	0.48	0.68	0.44	1.86	1.63	0.72		
30F	UP	2.30	2.26	1.83	1.70	0.99	0.92	1.03	0.54	-	1.86	-	-	1.88	48.31
	DN	0.38	0.75	0.82	1.03	1.10	1.15	1.30	1.53	1.01	1.86	1.86	1.88		
VF45_ca		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.43	0.22	0.18	0.32	0.21	0.12	0.14	0.19	0.19	1.86	1.16	0.23	0.54	13.78
	DN	0.57	0.32	0.51	0.45	0.37	0.21	0.25	0.20	0.44	1.86	0.70	0.31		
10F	UP	0.46	0.27	0.26	0.27	0.23	0.14	0.16	0.24	0.21	1.86	1.16	0.24	0.35	9.04
	DN	0.48	0.34	0.19	0.21	0.18	0.16	0.14	0.31	0.16	1.86	0.70	0.11		
15F	UP	0.56	0.27	0.25	0.26	0.26	0.17	0.12	0.33	0.28	1.86	0.70	0.20	0.53	13.62
	DN	0.73	0.40	0.26	0.25	0.26	0.21	0.21	0.50	0.29	1.86	1.16	0.33		
20F	UP	0.71	0.26	0.21	0.18	0.19	0.15	0.08	0.27	0.20	1.86	0.93	0.19	0.48	12.45
	DN	0.48	0.19	0.24	0.26	0.22	0.23	0.24	0.33	0.26	1.86	1.16	0.30		
25F	UP	1.04	0.76	0.51	0.28	0.20	0.18	0.09	0.14	0.31	1.86	0.23	0.07	0.74	18.99
	DN	0.60	0.36	0.40	0.38	0.41	0.38	0.38	0.55	0.41	1.86	1.63	0.67		
30F	UP	2.26	2.27	1.85	1.65	0.96	0.88	0.92	0.47	-	1.86	-	-	1.92	49.55
	DN	1.25	0.76	0.49	0.64	0.93	1.31	1.30	1.59	1.03	1.86	1.86	1.92		
VF45_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.35	0.21	0.37	0.34	0.32	0.20	0.20	0.15	0.31	1.86	0.93	0.29	0.85	21.85
	DN	0.29	0.30	0.39	0.45	0.31	0.34	0.55	0.46	0.36	3.08	1.54	0.56		
10F	UP	0.50	0.17	0.32	0.29	0.21	0.15	0.16	0.15	0.25	1.86	0.93	0.23	0.57	14.68
	DN	0.17	0.17	0.18	0.31	0.24	0.18	0.27	0.29	0.22	3.08	1.54	0.34		

ตารางที่ 4.16 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ VF45\_cc, VF45\_ca และ VF45\_cb (ต่อ)

VF45_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.40	0.21	0.43	0.39	0.23	0.18	0.19	0.17	0.32	1.86	0.93	0.29	0.67	17.28
	DN	0.24	0.19	0.23	0.31	0.24	0.19	0.25	0.37	0.24	3.08	1.54	0.38		
20F	UP	0.46	0.25	0.29	0.21	0.27	0.19	0.17	0.21	0.25	1.86	0.93	0.24	0.62	15.97
	DN	0.30	0.19	0.23	0.35	0.23	0.15	0.23	0.22	0.25	3.08	1.54	0.38		
25F	UP	0.89	0.57	0.33	0.41	0.34	0.59	0.49	0.56	-	1.86	-	-	0.82	21.05
	DN	0.29	0.28	0.34	0.52	0.46	0.23	0.17	0.11	0.30	3.08	2.69	0.82		
30F	UP	2.22	2.41	1.28	1.69	1.41	0.82	1.45	1.20	-	1.86	-	-	2.99	77.01
	DN	0.96	1.24	1.18	1.50	0.84	0.83	0.72	0.52	0.97	3.08	3.08	2.99		



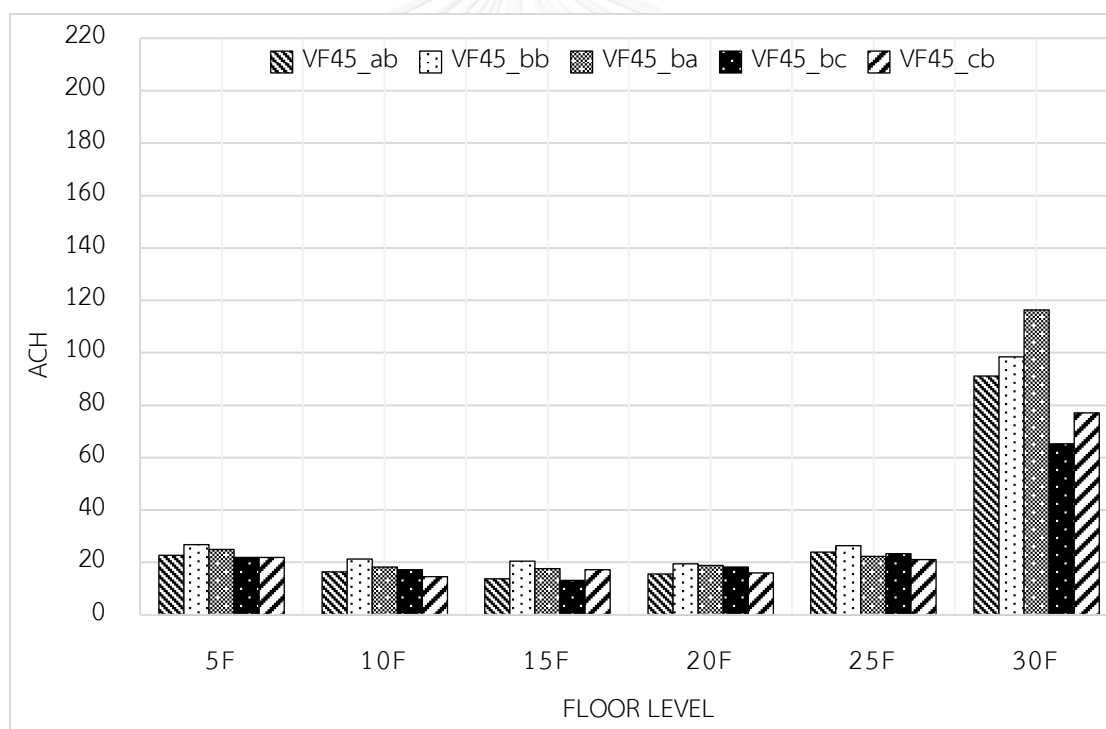
แผนภูมิที่ 4.15 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.16 และแผนภูมิที่ 4.15 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 10 สำหรับทุกกรณีระหว่าง 9.04 – 14.68 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 48.31 – 77.01 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_cb

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 10 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.24 - 1.52 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 เมื่อระดับความสูงลดลง ส่วนระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นความเร็วลมสูงขึ้น อัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงกว่าระหว่าง 1.18 - 1.51 เท่าที่ชั้น 15 ก่อนจะลดลงที่ชั้น 20 แต่ก็ยังสูงกว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดคิดเป็น 1.09 - 1.38 เท่าและเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.43 - 2.10 เท่าที่ชั้น 25 และเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 4.56 - 5.48 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.4.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม

ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc และเกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละชุดคือ VF45\_ab, VF45\_bb, VF45\_ba และ VF45\_cb

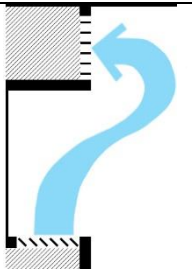
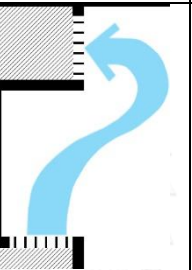
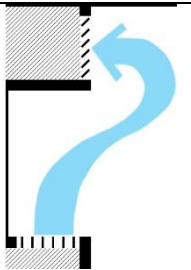
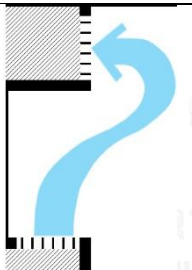
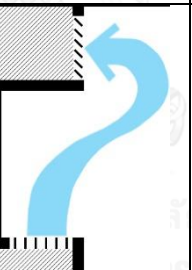
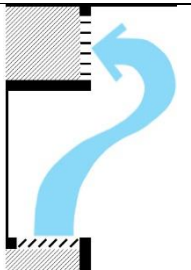
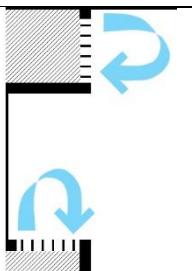
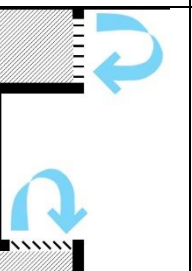
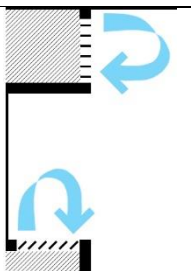


แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร VF ทิศทางลมทำมุม

นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก (แผนภูมิที่ 4.16) พบว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุมคือรูปแบบ VF45\_bb จากชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 25 และแบบ VF45\_ba ที่ชั้น 30 รูปแบบเกล็ดระบาย

อากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่ตีรองลงมาคือแบบ VF45\_ba ที่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 รูปแบบ VF45\_ab ที่ชั้น 25 และรูปแบบ VF45\_b ที่ชั้น 30 ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงเป็นลำดับที่ 3 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_bc ที่ชั้น 10, ชั้น 20 และชั้น 25 รูปแบบ VF45\_ab ที่ชั้น 5 และรูปแบบ VF45\_cb ที่ชั้น 15 และชั้น 30

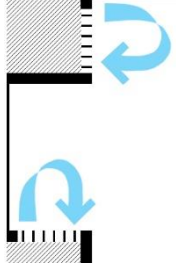
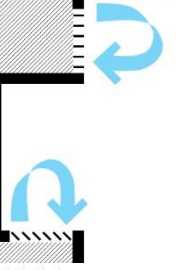
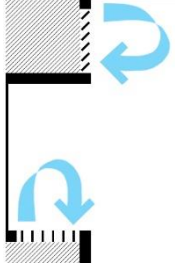
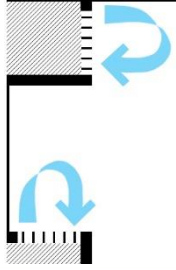
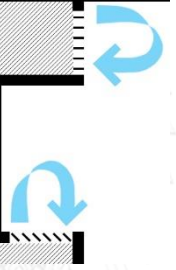
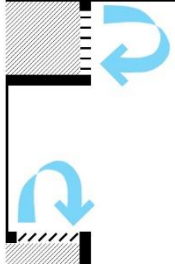
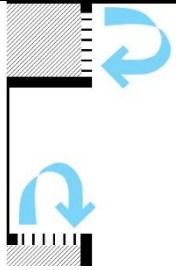
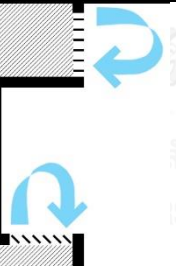
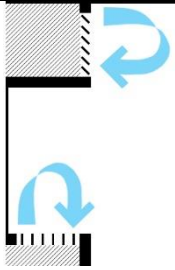
ตารางที่ 4.17 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมทำมุม

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 VF45_ba	116.39	 VF45_bb	98.49	 VF45_cb	77.01
ชั้น 25	 VF45_bb	26.34	 VF45_ab	24.02	 VF45_bc	23.40
ชั้น 20	 VF45_bb	19.52	 VF45_ba	18.85	 VF45_bc	18.18

หมายเหตุ: สัญลักษณ์เส้นเฉียง (▨) แสดงครีบน้ำองทางตั้งภายนอกบางส่วน

สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

ตาราง 4.17 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 2 (VF) ทิศทางลมท่ามม (ต่อ)

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 15	 VF45_bb	20.46	 VF45_ba	17.60	 VF45_cb	17.28
ชั้น 10	 VF45_bb	21.32	 VF45_ba	18.32	 VF45_bc	17.19
ชั้น 5	 VF45_bb	26.89	 VF45_ba	24.92	 VF45_ab	22.70

หมายเหตุ: สัญลักษณ์เส้นเฉียง (▨) แสดงครีบนั่งทางตั้งภายนอกบางส่วน

สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

#### 4.4.4.1 อัตราการระบายอากาศ

จากแผนภูมิที่ 4.16 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ชั้น 15 ระหว่าง 13.21 – 17.60 ACH ในพื้นที่ความกดอากาศสูง 1 ถึง 2 ใน 3 ส่วนของความสูงอาคารและอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 65.21 – 116.39 ACH แต่เมื่อพิจารณาจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นสัดส่วนของอัตราการระบายอากาศที่ชั้นอ้างอิงเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศต่ำสุดของแต่ละรูปแบบที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.38 – 1.65 เท่า, ชั้น 10 คิดเป็น 1.04 – 1.30 เท่า,

ชั้น 15 คิดเป็น 1.05 – 1.18 เท่า, ชั้น 20 คิดเป็น 1.07 – 1.38 เท่า, ชั้น 25 คิดเป็น 1.27 – 1.77 เท่า และชั้น 30 คิดเป็น 4.94 – 6.62 เท่า

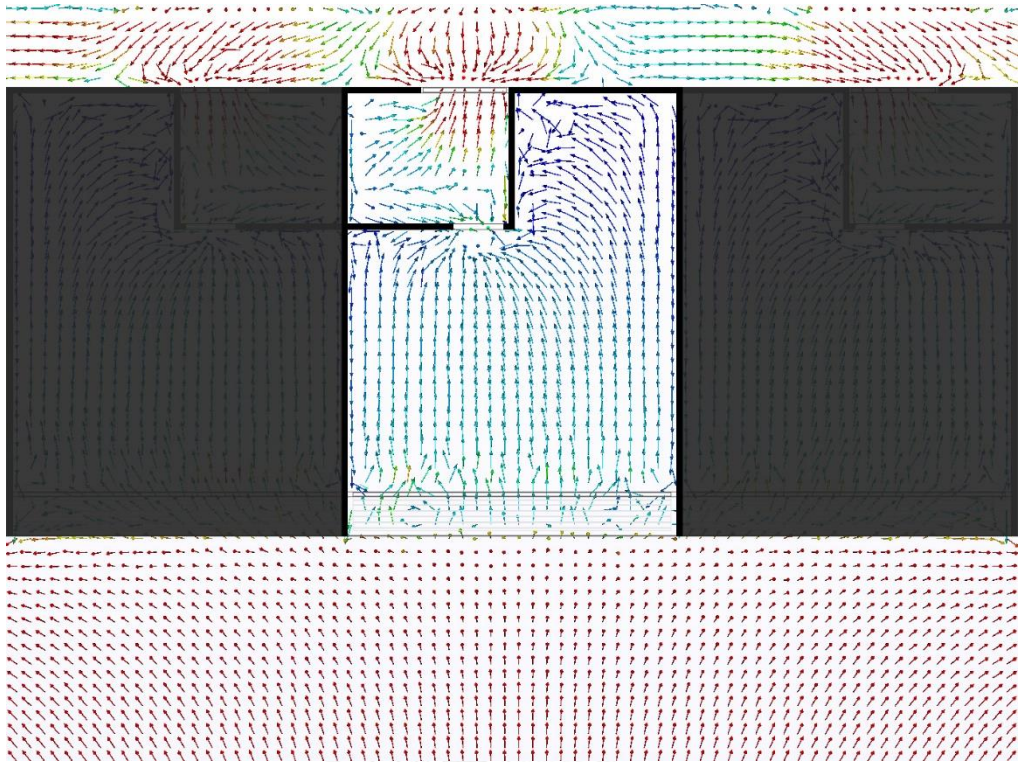
#### 4.4.4.2 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ

รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ (ตารางที่ 4.17) แสดงเกล็ดระบายอากาศ 6 รูปแบบ คือ VF45\_bb, VF45\_ba, VF45\_bc, VF45\_ab และ , VF45\_cb ซึ่งทุกแบบจะประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ( $90^{\circ}$ ) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือ ด้านล่างเสมอ เนื่องจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า อัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อทิศทางลมภายนอกทำมุม  $45^{\circ}$  กับผนังอาคารตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 25 เกิดจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ VF45\_bb ที่ช่องเปิดบนและล่างมีขนาดเท่ากัน ส่วนชั้น 30 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_ba ที่ช่องลมเข้าด้านล่างบานเกล็ดทำมุม  $-45^{\circ}$  และมีขนาดเล็กกว่าช่องลมออกด้านบน

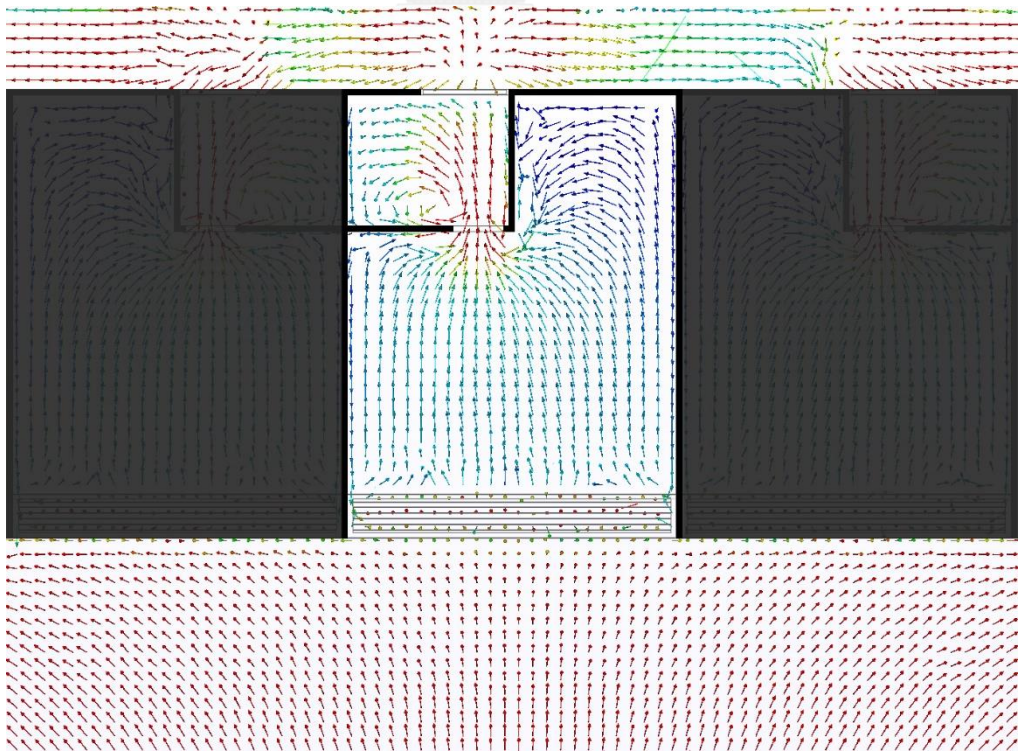
รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 ของเกือบทุกชั้นคือเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_ba (ชั้น 5 ถึงชั้น 20) ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่างที่บานเกล็ดทำมุม  $-45^{\circ}$  โดยชั้น 25 จะเป็นเกล็ดรูปแบบ VF45\_ab ช่องลมเข้าทางด้านล่างมีขนาดใหญ่กว่าช่องลมออกทางด้านบนเมื่อบานเกล็ดทำมุม  $-45^{\circ}$  ชั้น 30 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_bb ช่องลมออกทางด้านบนและช่องลมเข้าทางด้านล่างมีขนาดเท่ากันบานเกล็ดทำมุม  $90^{\circ}$  ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ที่ชั้น 5 และชั้น 15 คือ VF45\_ab และ VF45\_cb ที่ช่องเปิดด้านล่างมีขนาดใหญ่กว่าทางด้านบนต่างกันที่การทำมุมของบานเกล็ดที่ช่องเปิดด้านบน ส่วนชั้น 10 และชั้น 20 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_bc ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดด้านล่างที่บานเกล็ดทำมุม  $45^{\circ}$  และชั้น 25 กับชั้น 30 ที่ลมเข้าทางช่องเปิดด้านล่างของเกล็ดระบายอากาศแบบ VF45\_bc กับ VF45\_cb ตามลำดับ

#### 4.5 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก

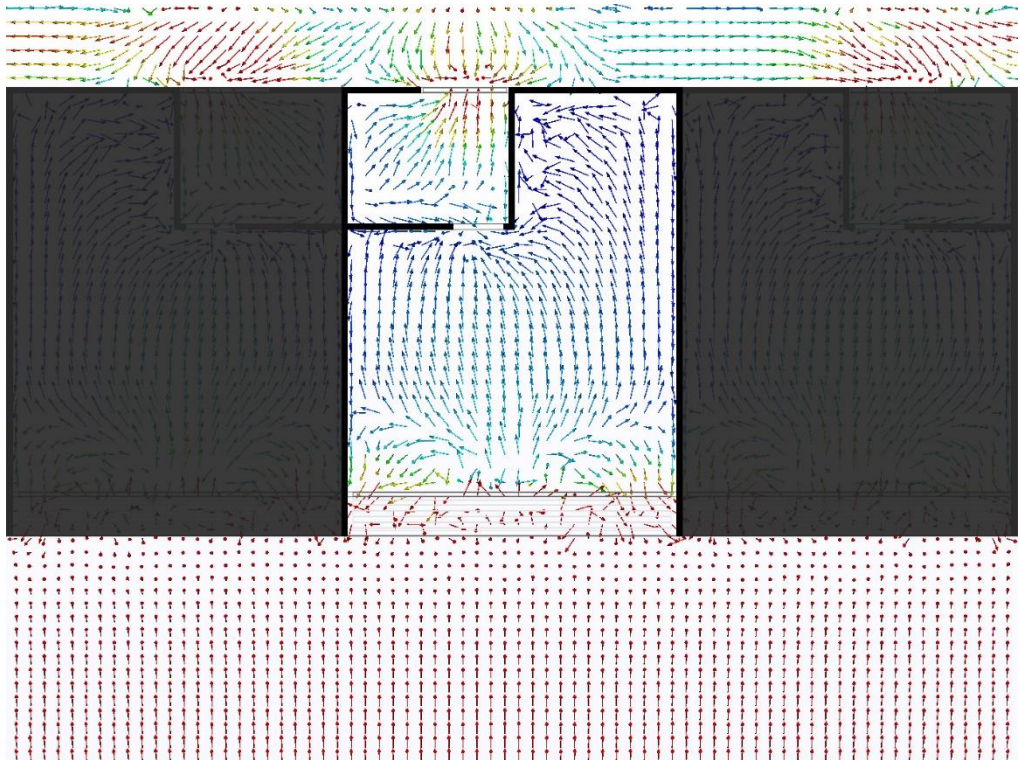
เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากพฤติกรรมของกระแสลมจะพัดลงตั้งแต่ชั้น 20 ลงมา และพัดขึ้นตั้งแต่ชั้น 25 ขึ้นไป โดยจะเข้าสู่อาคารผ่านทางเกล็ดระบายอากาศทั้งด้านบนและล่างก่อนจะออกสู่ทางเดินกลางตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 25 ส่วนที่ชั้น 30 ลมจะเข้าสู่อาคารทางช่องเปิดด้านล่างไปออกทางเกล็ดระบายอากาศด้านบนส่วนหนึ่งและอีกส่วนจะพัดออกสู่โถงทางเดินกลางผ่านทางช่องเปิดภายในตามภาพที่ 4.30 ถึง 4.33 ตัวอย่างพฤติกรรมลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากของเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_cb วัดค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบนทิศทางลมเข้า (Inlet) 8 ตำแหน่งทุกกรณี เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและอัตราการระบายอากาศในชั้นตอนต่อไป



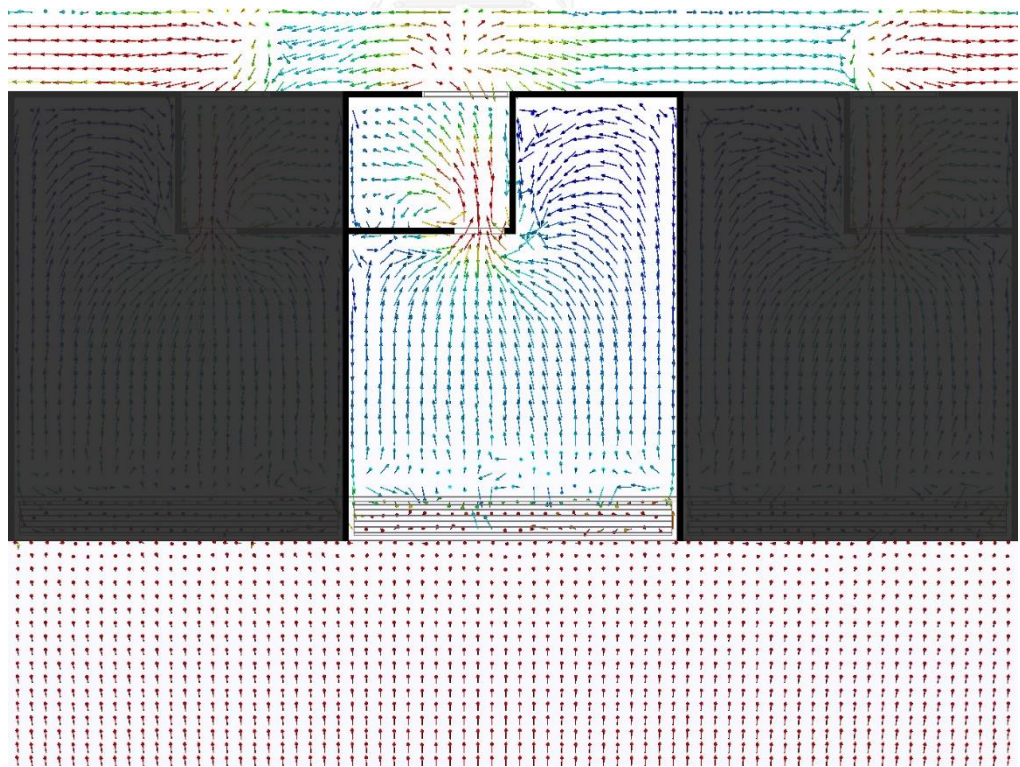
ภาพที่ 4.30 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_cb  
ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านบน



ภาพที่ 4.31 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_cb  
ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านล่าง



ภาพที่ 4.32 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_cb  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน



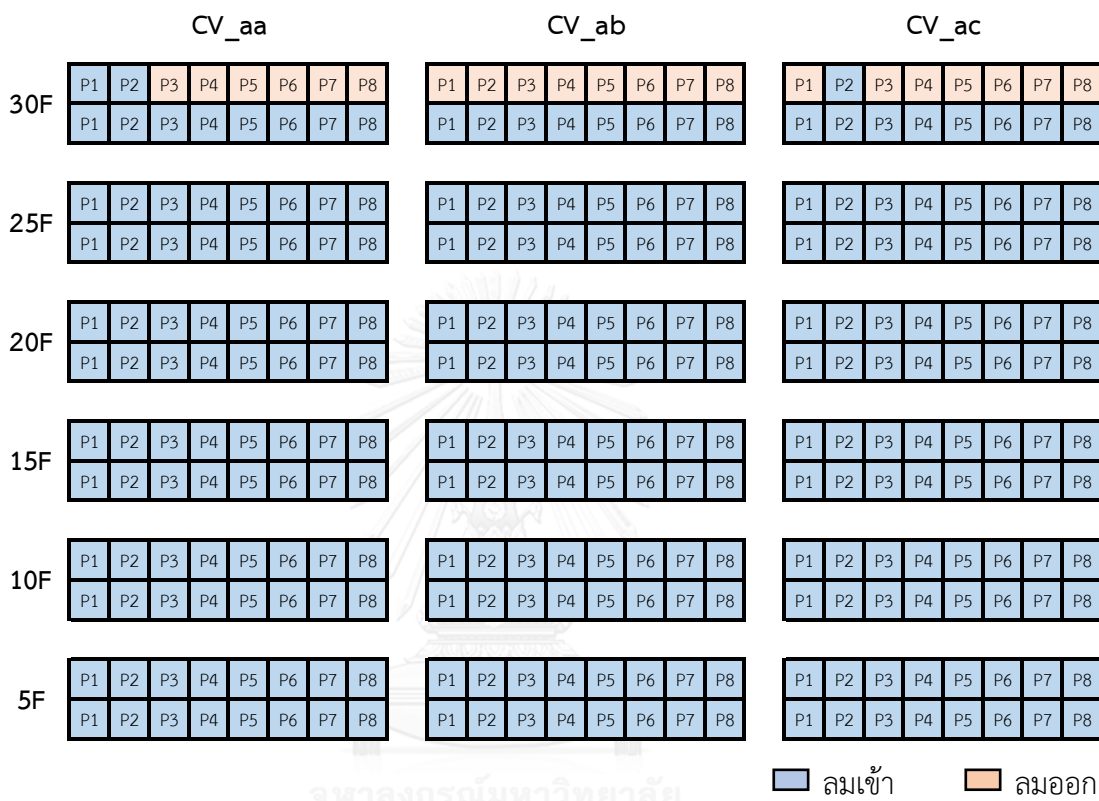
ภาพที่ 4.33 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_cb  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง



4.5.1 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่

4.34 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.34 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก

เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac

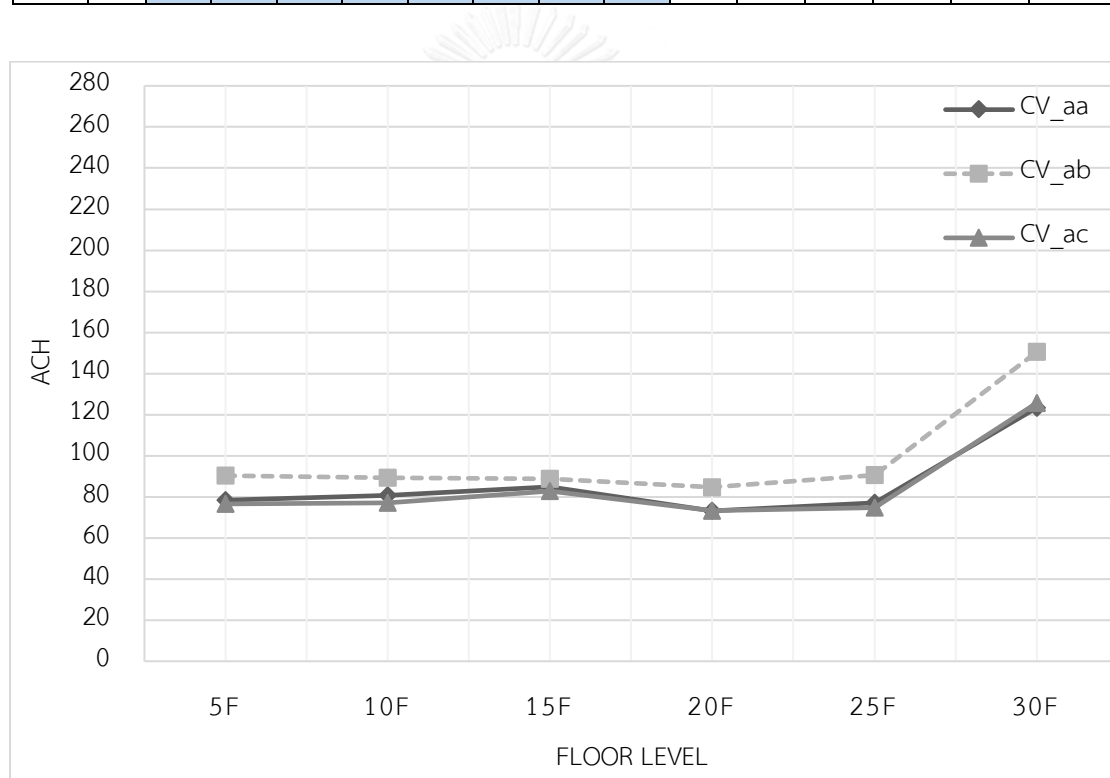
พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร และเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร ค่าความเร็วลมของชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 25 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ส่วนค่าความเร็วลมของชั้น 30 จะตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่างและด้านบนบางส่วน แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV\_aa, CV\_ab และ CV\_ac

CV_aa		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.86	0.94	0.76	0.79	0.70	0.75	0.85	1.05	0.84	1.86	1.86	1.56	3.04	78.25
	DN	1.15	0.65	0.50	0.43	0.42	0.66	1.62	0.91	0.79	1.86	1.86	1.48		
10F	UP	1.01	0.91	0.78	0.79	0.68	0.83	0.89	0.99	0.86	1.86	1.86	1.60	3.13	80.59
	DN	1.02	0.65	0.54	0.40	0.40	0.54	1.78	1.23	0.82	1.86	1.86	1.53		
15F	UP	0.93	0.87	0.89	0.94	0.64	0.83	0.85	0.94	0.86	1.86	1.86	1.60	3.29	84.78
	DN	1.43	0.69	0.52	0.38	0.49	0.63	1.62	1.50	0.91	1.86	1.86	1.69		
20F	UP	0.80	0.69	0.65	0.69	0.66	0.69	0.75	0.88	0.73	1.86	1.86	1.35	2.84	73.17
	DN	1.05	0.68	0.52	0.36	0.36	0.62	1.68	1.12	0.80	1.86	1.86	1.49		
25F	UP	0.63	0.64	0.66	0.54	0.66	0.59	0.49	0.80	0.63	1.86	1.86	1.17	2.99	77.07
	DN	1.46	0.73	0.60	0.51	0.58	0.81	1.63	1.50	0.98	1.86	1.86	1.82		
30F	UP	0.94	0.84	0.58	0.57	0.68	0.66	0.82	1.04	0.89	1.86	0.47	0.41	4.79	123.35
	DN	1.97	2.01	1.72	0.82	1.21	2.07	5.07	3.91	2.35	1.86	1.86	4.37		
CV_ab		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.53	0.56	0.50	0.50	0.42	0.51	0.50	0.72	0.53	1.86	1.86	0.99	3.50	90.23
	DN	0.90	0.81	0.74	0.81	0.72	0.85	0.84	0.86	0.82	3.08	3.08	2.52		
10F	UP	0.59	0.55	0.50	0.51	0.47	0.46	0.54	0.60	0.53	1.86	1.86	0.98	3.46	89.20
	DN	0.92	0.76	0.69	0.69	0.86	0.86	0.80	0.86	0.81	3.08	3.08	2.48		
15F	UP	0.49	0.46	0.47	0.48	0.28	0.47	0.49	0.60	0.47	1.86	1.86	0.87	3.44	88.70
	DN	0.92	0.77	0.78	0.70	0.88	0.85	0.87	0.92	0.83	3.08	3.08	2.57		
20F	UP	0.33	0.36	0.33	0.36	0.29	0.31	0.31	0.42	0.34	1.86	1.86	0.63	3.29	84.70
	DN	0.93	0.84	0.79	0.79	0.93	0.83	0.86	0.94	0.86	3.08	3.08	2.66		
25F	UP	0.09	0.25	0.26	0.30	0.22	0.26	0.14	0.27	0.22	1.86	1.86	0.42	3.52	90.69
	DN	1.05	0.99	0.93	0.94	0.87	1.07	1.09	1.14	1.01	3.08	3.08	3.11		
30F	UP	1.20	0.90	0.81	0.60	0.67	1.08	0.79	2.09	1.02	1.86	-	-	5.84	150.48
	DN	2.26	1.55	2.04	1.97	1.61	2.06	1.72	1.97	1.90	3.08	3.08	5.84		
CV_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.93	0.95	0.80	0.83	0.58	0.75	0.83	1.06	0.84	1.86	1.86	1.57	2.97	76.61
	DN	0.77	0.94	0.63	0.44	0.50	0.79	1.21	0.75	0.75	1.86	1.86	1.41		
10F	UP	0.93	0.81	0.82	0.87	0.79	0.80	0.77	1.14	0.86	1.86	1.86	1.61	2.99	77.08
	DN	0.73	1.02	0.54	0.45	0.80	0.72	0.84	0.83	0.74	1.86	1.86	1.38		

ตารางที่ 4.18 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV\_aa, CV\_ab และ CV\_ac (ต่อ)

CV_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.85	0.81	0.76	0.79	0.56	0.78	0.76	0.97	0.78	1.86	1.86	1.46	3.22	82.86
	DN	0.74	1.24	0.98	0.48	0.60	0.80	1.93	0.76	0.94	1.86	1.86	1.76		
20F	UP	0.70	0.61	0.60	0.63	0.63	0.62	0.63	0.82	0.65	1.86	1.86	1.22	2.85	73.29
	DN	0.83	1.13	0.62	0.40	0.64	0.85	1.85	0.65	0.87	1.86	1.86	1.63		
25F	UP	0.60	0.51	0.52	0.45	0.41	0.49	0.47	0.70	0.52	1.86	1.86	0.97	2.90	74.70
	DN	0.99	1.38	0.93	0.68	0.80	1.01	1.58	0.94	1.04	1.86	1.86	1.93		
30F	UP	0.80	0.80	0.70	0.90	0.77	2.02	0.83	1.43	0.80	1.86	0.23	0.19	4.88	125.67
	DN	2.65	2.17	2.57	2.06	1.95	2.56	3.98	2.22	2.52	1.86	1.86	4.69		



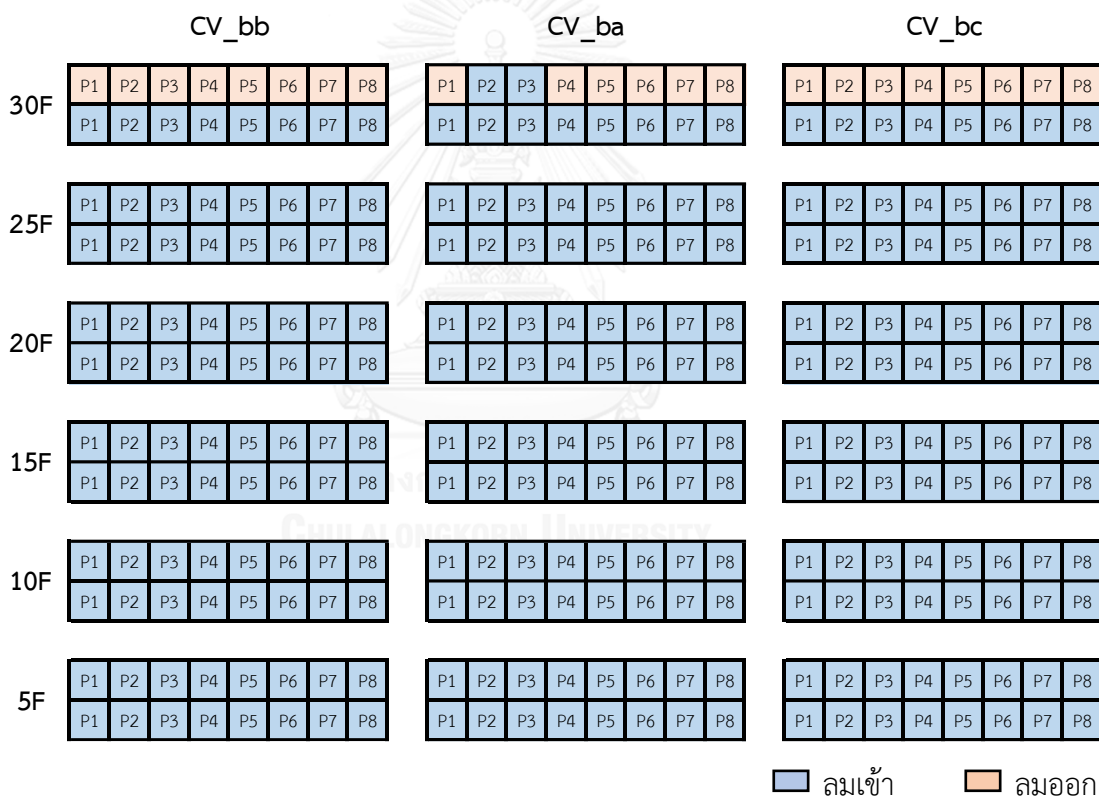
แผนภูมิที่ 4.17 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉากตามตารางที่ 4.18 และแผนภูมิที่ 4.17 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สำหรับระหว่าง 73.17 – 84.70 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 123.35 – 150.48 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV\_ab

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.05 - 1.16 เท่าที่ชั้น 15 เพิ่มขึ้นในสัดส่วน 1.05 - 1.10 เท่าที่ชั้น 10 และ 1.05 - 1.07 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 เมื่อระดับความสูงลดลง ส่วนระดับความสูงที่เพิ่มความเร็วมสูงขึ้นไป อัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.02 - 1.07 เท่าที่ชั้น 25 และเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 1.67 - 1.78 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.5.2 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.35 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.35 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก

เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc

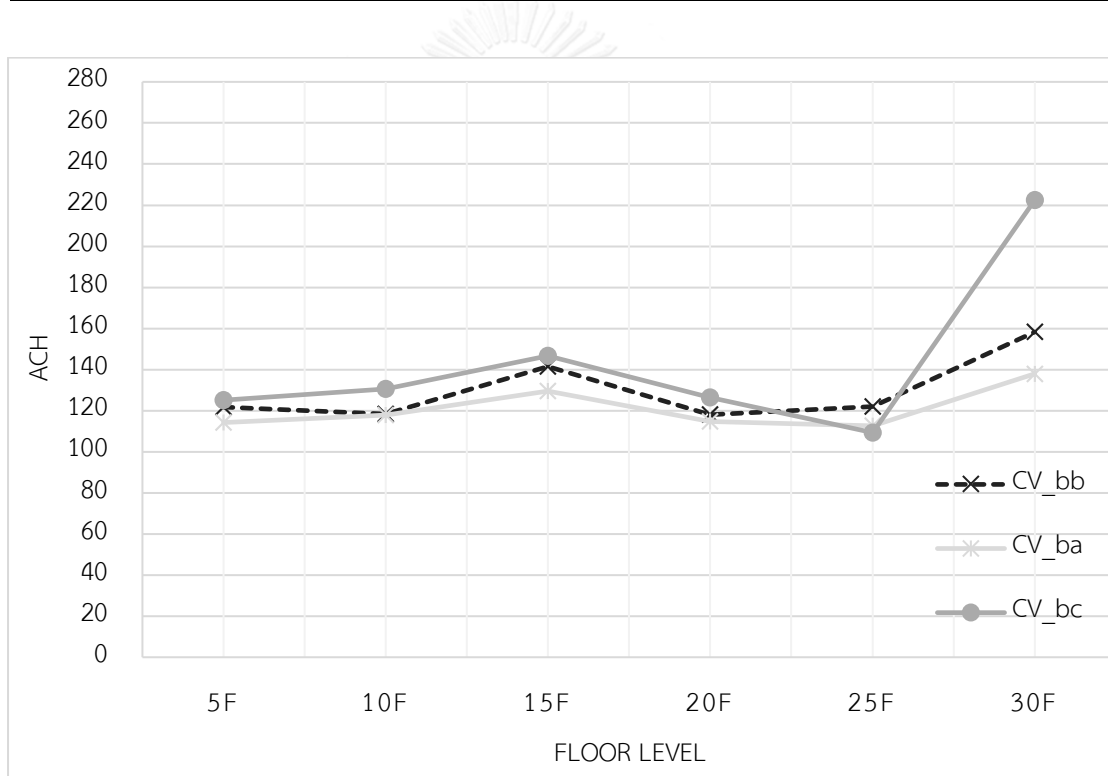
พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA ค่าความเร็วมของชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 25 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ส่วนชั้น 30 จะตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่างกับด้านบนบางส่วน แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV\_bb, CV\_ba และ CV\_bc

CV_bb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.06	1.06	0.87	0.92	0.86	1.02	0.93	1.02	0.97	3.08	3.08	2.98	4.73	121.75
	DN	0.61	0.62	0.51	0.54	0.54	0.58	0.55	0.60	0.57	3.08	3.08	1.75		
10F	UP	1.04	0.90	0.81	0.94	1.36	1.15	1.07	0.99	1.03	3.08	3.08	3.18	4.60	118.43
	DN	0.34	0.37	0.37	0.47	0.61	0.45	0.49	0.59	0.46	3.08	3.08	1.42		
15F	UP	1.01	1.06	0.99	1.03	1.24	1.31	1.15	1.30	1.13	3.08	3.08	3.49	5.49	141.43
	DN	0.65	0.68	0.55	0.57	0.75	0.65	0.66	0.69	0.65	3.08	3.08	2.00		
20F	UP	0.78	0.83	0.67	0.66	0.99	0.96	0.83	1.13	0.86	3.08	3.08	2.64	4.58	118.02
	DN	0.68	0.67	0.58	0.53	0.66	0.63	0.60	0.71	0.63	3.08	3.08	1.94		
25F	UP	0.60	0.68	0.55	0.60	0.54	0.32	0.44	0.82	0.57	3.08	3.08	1.75	4.74	122.05
	DN	1.01	1.02	0.97	0.91	0.89	0.96	0.97	1.06	0.97	3.08	3.08	2.99		
30F	UP	1.07	1.13	1.14	1.47	1.79	1.66	1.25	1.73	1.41	3.08	-	-	6.15	158.30
	DN	2.41	1.95	2.03	1.52	1.64	2.09	2.23	2.10	2.00	3.08	3.08	6.15		
CV_ba		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.36	1.21	1.07	1.15	1.13	1.09	1.28	1.33	1.20	3.08	3.08	3.70	4.44	114.28
	DN	0.43	0.35	0.20	0.22	0.24	0.56	0.68	0.47	0.39	1.86	1.86	0.73		
10F	UP	1.27	1.11	1.01	1.10	1.37	1.72	1.45	1.38	1.30	3.08	3.08	4.01	4.57	117.75
	DN	0.31	0.34	0.22	0.14	0.16	0.24	0.65	0.36	0.30	1.86	1.86	0.57		
15F	UP	1.26	1.30	1.26	1.39	1.67	1.48	1.32	1.51	1.40	3.08	3.08	4.31	5.03	129.52
	DN	0.40	0.42	0.26	0.25	0.23	0.36	0.42	0.76	0.39	1.86	1.86	0.72		
20F	UP	1.10	0.95	1.09	0.99	1.28	1.45	1.18	1.45	1.19	3.08	3.08	3.65	4.46	114.79
	DN	0.41	0.31	0.30	0.15	0.21	0.35	1.15	0.59	0.43	1.86	1.86	0.81		
25F	UP	0.87	0.90	0.77	0.86	0.86	1.18	1.10	1.04	0.95	3.08	3.08	2.92	4.37	112.61
	DN	1.03	0.77	0.50	0.42	0.47	0.70	0.94	1.43	0.78	1.86	1.86	1.46		
30F	UP	1.03	0.58	0.68	1.13	1.52	0.97	0.97	1.16	0.63	3.08	0.77	0.48	5.36	137.94
	DN	2.28	3.49	1.59	0.92	1.59	3.47	6.23	1.34	2.61	1.86	1.86	4.87		
CV_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.06	1.34	1.37	1.13	1.21	1.20	1.09	1.16	1.20	3.08	3.08	3.68	4.86	125.07
	DN	0.73	0.83	0.46	0.47	0.54	0.70	0.79	0.52	0.63	1.86	1.86	1.18		
10F	UP	1.09	1.46	1.30	1.18	1.28	1.40	1.48	1.07	1.28	3.08	3.08	3.95	5.06	130.44
	DN	0.77	0.88	0.56	0.30	0.36	0.86	0.47	0.60	0.60	1.86	1.86	1.12		

ตารางที่ 4.19 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV\_bb, CV\_ba และ CV\_bc (ต่อ)

CV_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	1.26	1.46	1.56	1.20	1.38	1.25	1.19	1.38	1.34	3.08	3.08	4.11	5.69	146.63
	DN	0.97	1.80	0.49	0.54	0.70	0.77	0.74	0.78	0.85	1.86	1.86	1.58		
20F	UP	0.88	1.38	0.98	0.99	0.96	1.18	1.14	0.90	1.05	3.08	3.08	3.23	4.90	126.28
	DN	1.09	1.33	0.86	0.44	0.98	1.06	0.73	0.68	0.90	1.86	1.86	1.67		
25F	UP	0.59	0.70	0.73	0.58	0.58	0.66	0.82	0.56	0.65	3.08	3.08	2.00	4.24	109.30
	DN	1.69	1.10	1.19	1.05	0.85	1.47	1.14	1.13	1.20	1.86	1.86	2.24		
30F	UP	3.32	4.86	3.82	3.18	2.66	3.20	2.08	1.65	3.10	3.08	-	-	8.64	222.44
	DN	7.47	3.96	4.29	3.70	3.47	4.06	3.91	6.21	4.63	1.86	1.86	8.64		



แผนภูมิที่ 4.18 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

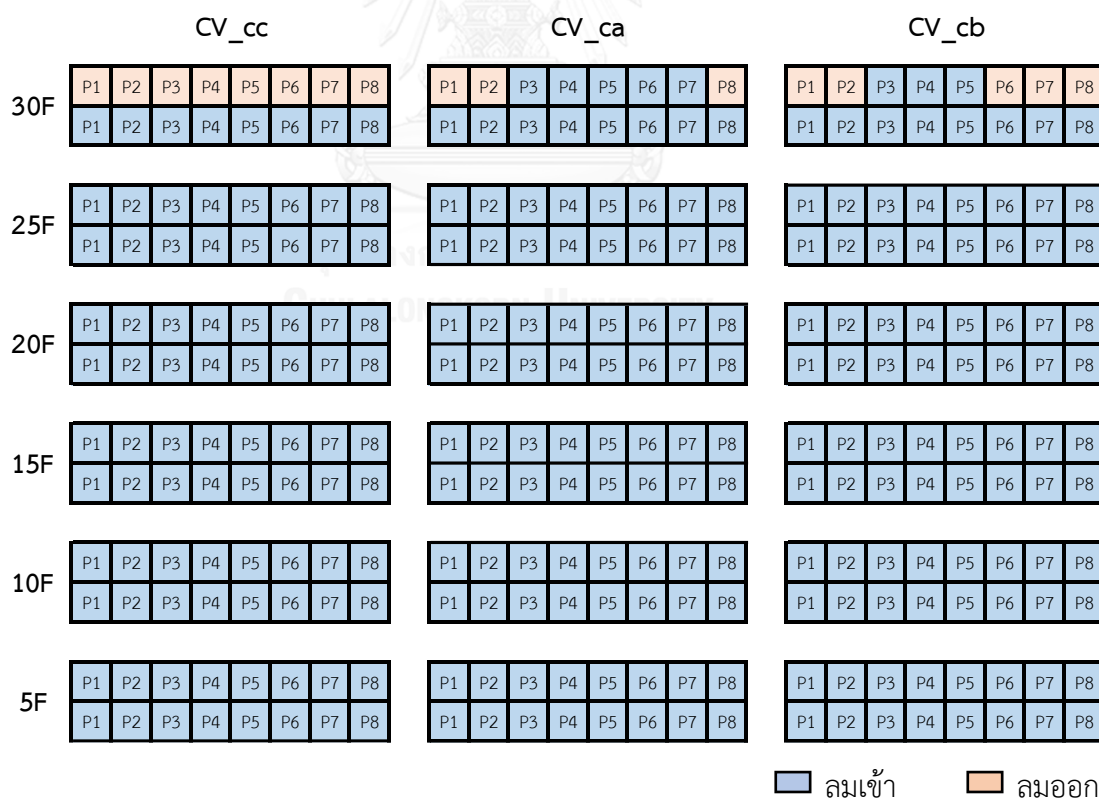
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก ตามตารางที่ 4.19 และแผนภูมิที่ 4.18 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 ไปจนถึงชั้น 25 ระหว่าง 109.30 – 118.02 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 137.94 – 222.44 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ถึง 20 และชั้น 30 คือ CV\_bc ส่วนชั้น 25 เป็นเกล็ดระบายอากาศ CV\_bb

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สำหรับเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_bb ก่อนจะเพิ่มขึ้นที่ชั้น 15 ในอัตราส่วน 1.20 เท่าส่วนที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.03 เท่าและชั้น 10 คิดเป็น 1.003 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดสำหรับทิศทางการไหลลง ส่วนทิศทางการไหลขึ้นที่ชั้น 25 อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.03 เท่าและชั้น 30 คิดเป็น 1.34 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV\_ba และ CV\_bc อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 25 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.02 - 1.16 เท่าที่ชั้น 20 เพิ่มในสัดส่วนที่สูงขึ้น 1.15 - 1.34 เท่าที่ชั้น 15 เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ลดลง 1.05 - 1.19 ที่ชั้น 10 และ 1.01 - 1.14 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 เมื่อระดับความสูงลดลง ส่วนระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นความเร็วลมสูงขึ้น อัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนสูงสุดที่ชั้น 30 คิดเป็น 1.22 - 2.04 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

### 4.5.3 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่

4.35 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง



ภาพที่ 4.36 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก

เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb

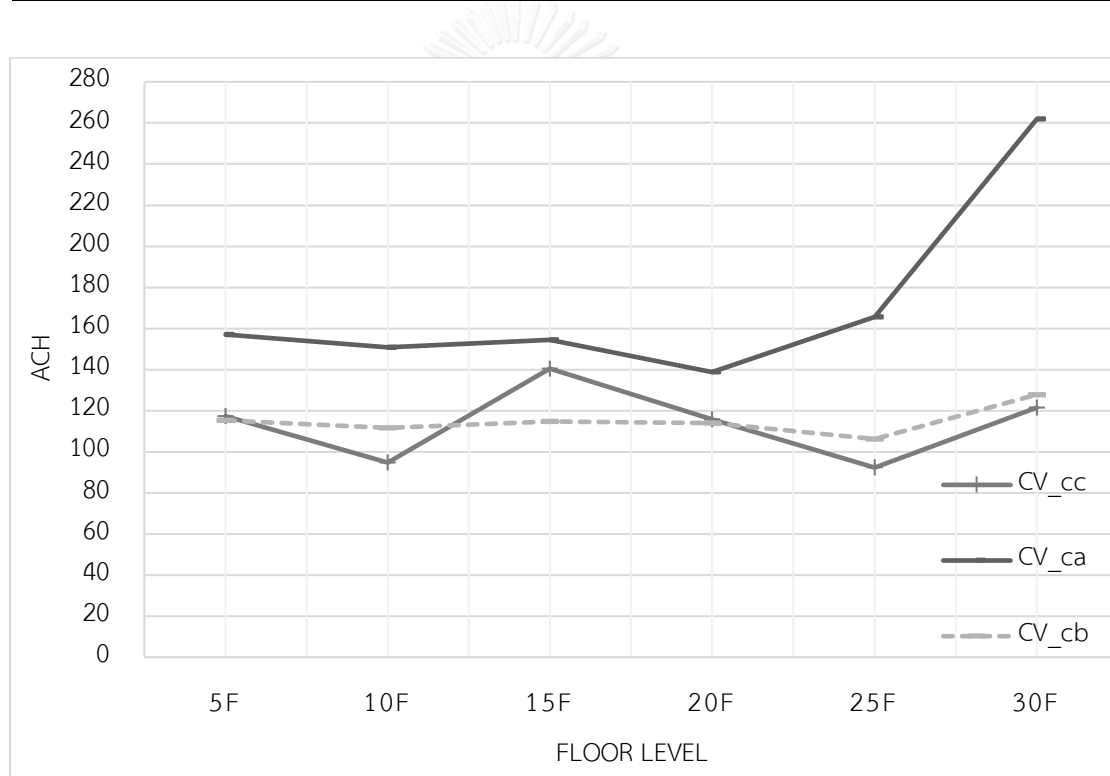
ตารางที่ 4.20 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV\_cc, CV\_ca และ CV\_cb

CV_cc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.69	2.21	2.01	0.52	1.18	1.01	2.21	0.83	1.33	1.86	1.86	2.48	4.56	117.34
	DN	1.06	0.88	1.12	0.80	1.54	1.00	1.19	1.33	1.12	1.86	1.86	2.08		
10F	UP	0.58	0.79	1.01	2.03	0.91	1.14	0.77	0.90	1.02	1.86	1.86	1.90	3.68	94.83
	DN	0.89	0.83	1.15	0.81	0.83	1.24	1.04	0.88	0.96	1.86	1.86	1.79		
15F	UP	0.83	2.33	1.70	1.05	1.96	1.15	2.47	0.99	1.56	1.86	1.86	2.91	5.45	140.47
	DN	1.22	0.98	1.05	1.10	1.52	1.35	1.51	2.20	1.37	1.86	1.86	2.55		
20F	UP	0.54	1.90	1.92	1.36	1.14	0.91	1.89	0.54	1.28	1.86	1.86	2.38	4.50	115.77
	DN	0.95	1.03	1.34	1.01	0.80	1.59	1.33	1.03	1.14	1.86	1.86	2.12		
25F	UP	0.25	0.93	0.62	0.89	1.20	0.39	0.82	0.34	0.68	1.86	1.86	1.27	3.58	92.28
	DN	1.93	1.08	1.11	1.06	0.99	1.29	1.22	1.26	1.24	1.86	1.86	2.32		
30F	UP	1.49	1.06	1.56	0.95	1.82	0.98	0.74	3.24	1.44	1.86	0.70	1.01	4.71	121.43
	DN	1.69	2.00	2.07	1.70	2.34	1.93	1.87	2.31	1.99	1.86	1.86	3.71		
CV_ca		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.87	2.50	2.11	1.77	1.14	0.91	2.31	1.24	1.73	1.86	1.86	3.23	6.10	157.04
	DN	1.97	1.09	1.77	0.67	1.53	1.82	2.30	1.18	1.54	1.86	1.86	2.87		
10F	UP	1.91	2.37	1.84	1.92	1.59	2.02	1.23	1.04	1.74	1.86	1.86	3.24	5.85	150.71
	DN	1.37	1.34	1.45	0.85	1.33	1.80	2.01	1.05	1.40	1.86	1.86	2.61		
15F	UP	1.87	3.13	1.18	2.02	1.33	1.09	2.53	1.33	1.81	1.86	1.86	3.37	6.00	154.40
	DN	1.32	2.34	1.18	0.59	1.03	2.15	1.42	1.22	1.41	1.86	1.86	2.62		
20F	UP	1.69	2.44	1.00	0.80	1.14	1.23	2.10	1.00	1.42	1.86	1.86	2.65	5.39	138.76
	DN	1.58	1.23	1.78	0.85	1.65	1.91	1.29	1.44	1.47	1.86	1.86	2.73		
25F	UP	1.36	2.11	0.90	1.71	0.88	0.91	1.95	0.87	1.34	1.86	1.86	2.49	6.43	165.59
	DN	2.60	2.05	2.93	0.73	1.98	2.08	3.35	1.18	2.11	1.86	1.86	3.94		
30F	UP	2.96	1.40	2.66	2.55	1.18	2.51	1.38	2.23	2.05	1.86	1.16	2.39	10.17	261.83
	DN	4.27	5.15	2.10	1.52	3.01	4.56	3.97	8.78	4.17	1.86	1.86	7.77		
CV_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.99	1.46	0.76	0.85	0.65	0.84	1.19	0.65	0.92	1.86	1.86	1.72	4.47	115.21
	DN	0.82	0.89	1.01	0.88	1.00	0.74	0.86	0.95	0.89	3.08	3.08	2.75		
10F	UP	0.97	1.60	0.75	1.04	0.77	0.99	0.76	0.57	0.93	1.86	1.86	1.73	4.33	111.61
	DN	0.77	0.93	0.81	0.78	0.87	0.80	1.05	0.77	0.85	3.08	3.08	2.60		



ตารางที่ 4.20 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV<sub>cc</sub>, CV<sub>ca</sub> และ CV<sub>cb</sub> (ต่อ)

CV <sub>cb</sub>		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	1.06	1.82	1.09	1.06	0.67	0.62	0.59	0.69	0.95	1.86	1.86	1.77	4.45	114.69
	DN	0.86	0.87	1.12	0.76	0.71	0.90	0.92	0.85	0.87	3.08	3.08	2.69		
20F	UP	0.55	1.46	0.69	0.88	0.65	0.80	1.33	0.47	0.85	1.86	1.86	1.59	4.43	113.99
	DN	0.79	0.88	0.79	0.81	0.89	0.99	1.16	1.05	0.92	3.08	3.08	2.84		
25F	UP	0.37	0.89	0.36	0.67	0.32	0.39	0.40	0.22	0.45	1.86	1.86	0.85	4.12	106.18
	DN	1.08	0.98	1.08	1.08	0.92	0.99	1.22	1.17	1.06	3.08	3.08	3.28		
30F	UP	1.66	0.57	1.38	1.28	1.17	1.39	1.22	2.00	1.28	1.86	0.70	0.89	4.96	127.79
	DN	1.32	1.56	1.20	1.24	1.12	1.12	1.44	1.57	1.32	3.08	3.08	4.07		

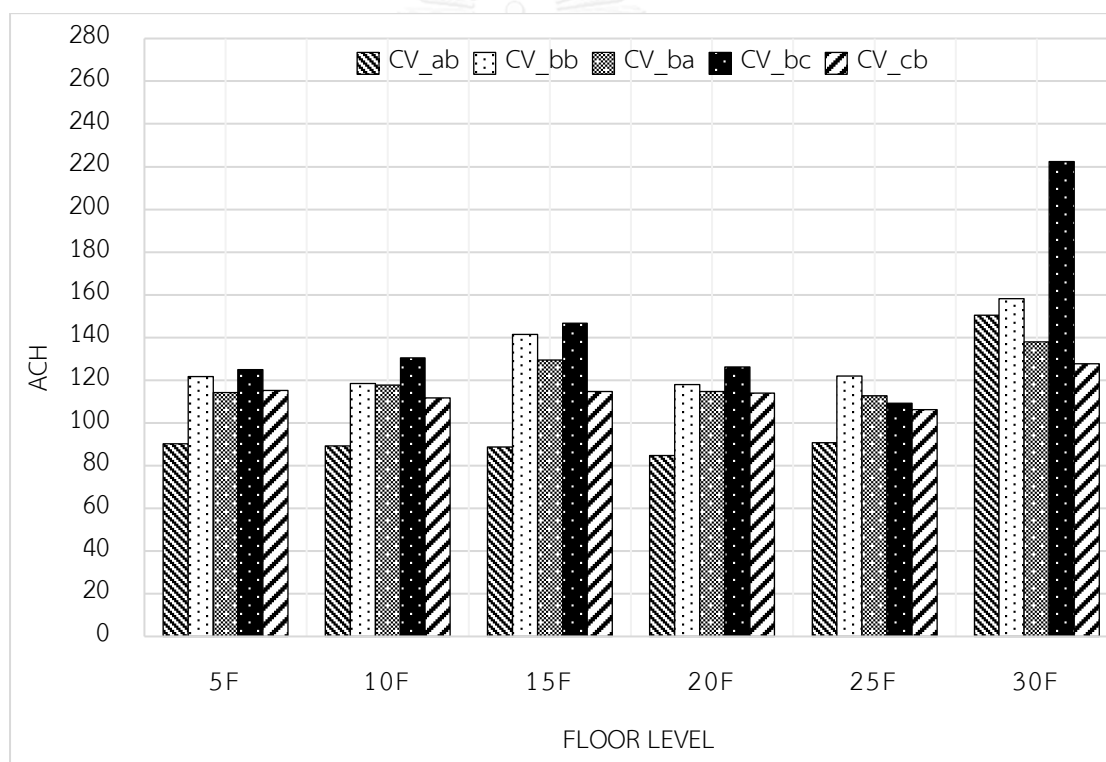


แผนภูมิที่ 4.19 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก ตามตารางที่ 4.20 และแผนภูมิที่ 4.19 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 กับชั้น 25 ระหว่าง 92.28 – 138.76 ACH และสูงสุดที่ชั้น 15 กับชั้น 30 ระหว่าง 127.79 – 261.83 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV<sub>ca</sub>

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สำหรับเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_ca ก่อนจะเพิ่มขึ้นที่ชั้น 15 ในอัตราส่วน 1.11 เท่าส่วนที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.13 เท่าและชั้น 10 คิดเป็น 1.09 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดสำหรับทิศทางการไหลลง ส่วนทิศทางการไหลขึ้นที่ชั้น 25 อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.19 เท่าและชั้น 30 คิดเป็น 1.89 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV\_cc และ CV\_cb อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 25 ก่อนจะเพิ่มขึ้น 1.07 - 1.25 เท่าที่ชั้น 20 เพิ่มในสัดส่วนที่สูงขึ้น 1.08 - 1.52 เท่าที่ชั้น 15 เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ลดลง 1.03 - 1.09 ที่ชั้น 10 และ 1.09 - 1.27 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 เมื่อระดับความสูงลดลง ส่วนระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นความเร็วลมสูงขึ้น อัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.20 - 1.32 เท่าที่ชั้น 30

#### 4.5.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก

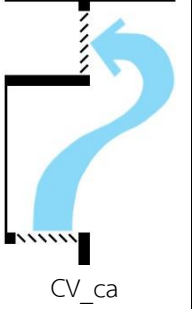
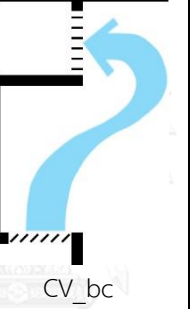
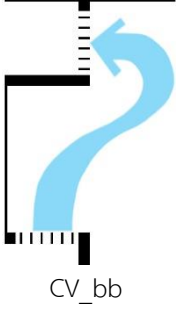
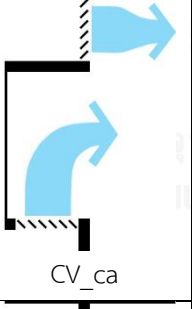
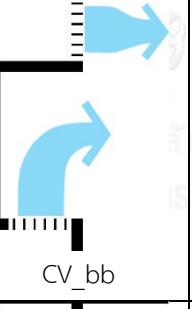
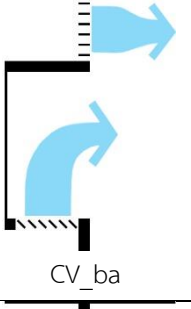
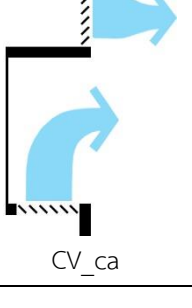
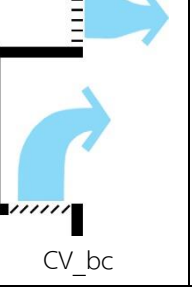
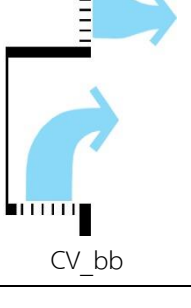


แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร CV ทิศทางลมตั้งฉาก

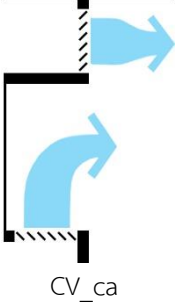


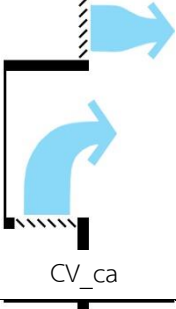

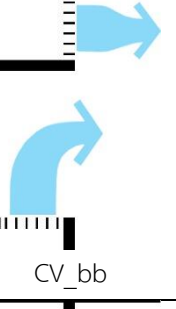
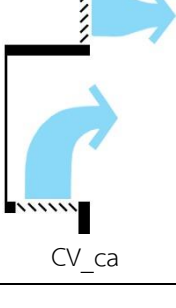
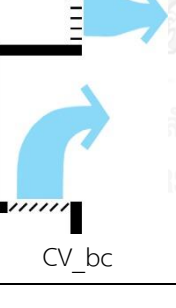
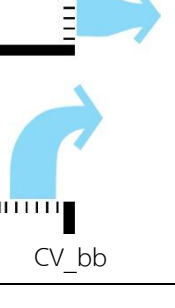
ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc และเกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละชุดคือ CV\_ab, CV\_bb, CV\_ba และ CV\_ca นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก

(แผนภูมิที่ 4.20) พบว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก คือรูปแบบ CV\_ca จากชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 รูปแบบเกล็ดที่ ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่ต่ำรองลงมาคือแบบ CV\_bc ตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 และชั้น 30 รูปแบบ CV\_bb ที่ชั้น 25 ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงเป็นลำดับที่ 3 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_bb ตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 และชั้น 30 รูปแบบ CV\_ba ที่ชั้น 25

ตารางที่ 4.21 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 CV_ca	261.83	 CV_bc	222.44	 CV_bb	158.30
ชั้น 25	 CV_ca	165.59	 CV_bb	122.05	 CV_ba	112.61
ชั้น 20	 CV_ca	138.76	 CV_bc	126.28	 CV_bb	118.02

ตาราง 4.21 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก (ต่อ)

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 15	 CV_ca	154.40	 CV_bc	146.63	 CV_bb	141.43
ชั้น 10	 CV_ca	150.71	 CV_bc	130.44	 CV_bb	118.43
ชั้น 5	 CV_ca	157.04	 CV_bc	125.07	 CV_bb	121.75

#### 4.5.4.1 อัตราการระบายอากาศ

จากแผนภูมิที่ 4.20 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่ชั้น 20 และชั้น 25 ระหว่าง 84.70 – 138.76 ACH ในพื้นที่ความกดอากาศสูง 1 ถึง 2 ใน 3 ส่วนของความสูงอาคาร และอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 137.94 – 261.83 ACH เมื่อพิจารณาจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นสัดส่วนของอัตราการระบายอากาศที่ชั้นอ้างอิงเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศต่ำสุดของแต่ละรูปแบบที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.01 – 1.14 เท่า, ชั้น 10 คิดเป็น 1.003 – 1.19 เท่า, ชั้น 15 คิดเป็น 1.05 – 1.34 เท่า, ชั้น 20 คิดเป็น 1.02 – 1.16 เท่า, ชั้น 25 คิดเป็น 1.03 – 1.19 เท่า และชั้น 30 คิดเป็น 1.22 – 2.04 เท่าของอัตราการระบายอากาศต่ำสุด

#### 4.5.4.2 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ

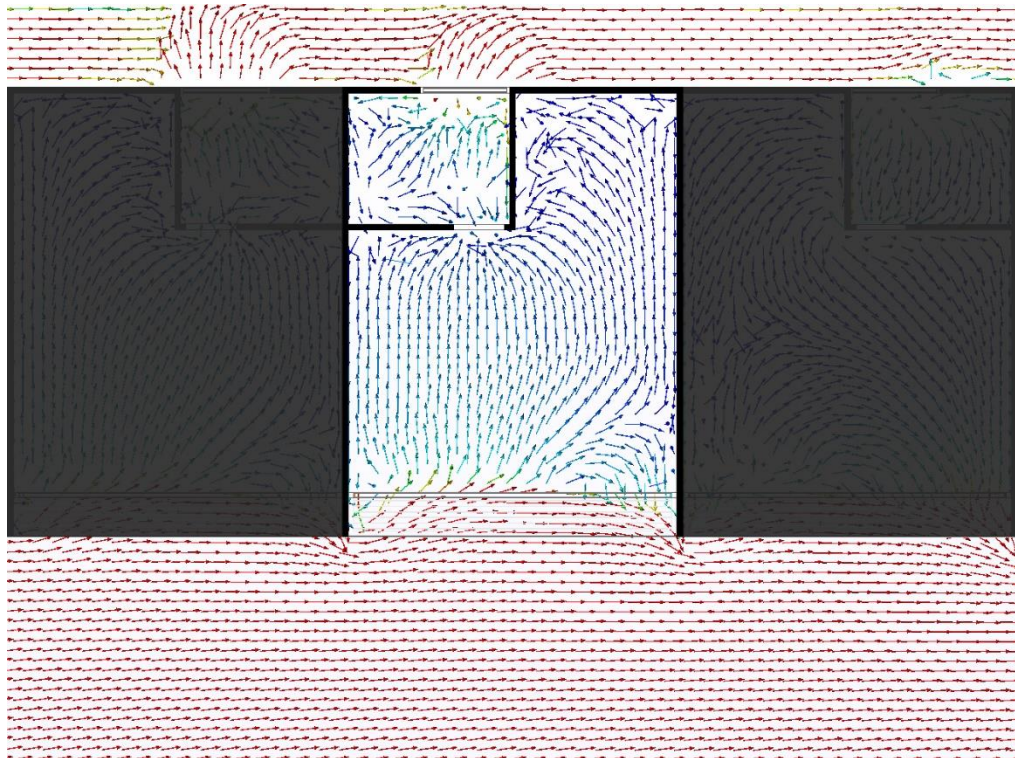
รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ (ตารางที่ 4.21) แสดงเกล็ดระบายอากาศ 6 รูปแบบ คือ CV\_bb, CV\_ba, CV\_bc, CV\_ab และ CV\_ca ซึ่งเกือบทุกแบบจะประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ( $90^\circ$ ) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือด้านล่างเสมอ เนื่องจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนรูปแบบ CV\_ca พื้นที่ช่องเปิดด้านบนและล่างมีขนาดเท่ากันแตกต่างกันที่การทำมุมของเกล็ดระบายอากาศประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ c ( $45^\circ$ ) ด้านบนและเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ a ( $-45^\circ$ ) ที่ด้านล่าง อัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อทิศทางลมภายนอกตั้งฉากกับผนัง คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV\_ca

รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 ของเกือบทุกชั้นคือเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_bc ตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 และชั้น 30 ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่างที่บานเกล็ดทำมุม  $45^\circ$  โดยชั้น 25 จะเป็นเกล็ดรูปแบบ CV\_bb ช่องเปิดด้านบนและล่างมีขนาดเท่ากันบานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ที่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 20 และชั้น 30 คือ CV\_bb ช่องเปิดด้านบนและล่างมีขนาดเท่ากันบานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่วนที่ชั้น 25 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ CV\_ba ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดด้านล่างที่บานเกล็ดทำมุม  $45^\circ$

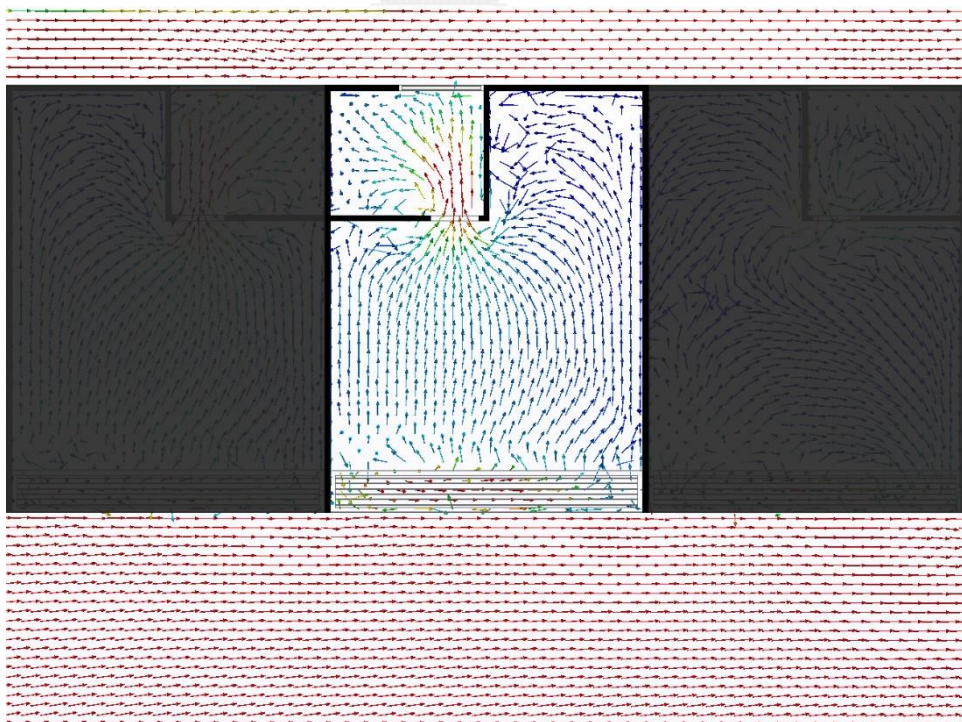
#### 4.6 ผลการจำลองการระบายอากาศของอาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม

เมื่อลมมาปะทะอาคารในทิศทางทำมุม 45 องศา พฤติกรรมของกระแสลมตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 25 ส่วนใหญ่จะพัดเข้าจากช่องเปิดที่อยู่ติดกับภายนอกไปออกทางช่องเปิดที่ติดกับทางเดิน ส่วนกลางก่อนจะออกสู่ภายนอกอาคาร (ภาพที่ 4.38) แต่ก็จะมีกระแสลมบางส่วนจะพัดเข้าและออกจากช่องเปิดเดียวกันที่ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแนวตั้งทางด้านบน โดยปริมาณลมที่พัดออกจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูง จะเห็นได้จากภาพที่ 4.37 แสดงตัวอย่างพฤติกรรมลมที่พัดเข้ามาด้านซ้ายมาออกทางด้านขวาของช่องเปิดด้านบนที่ชั้น 25 ซึ่งจะมีปริมาณลมที่พัดออกจากช่องเปิดด้านบนสูงสุดเมื่อเทียบกับชั้นที่อยู่ในระดับต่ำกว่าของเกล็ดระบายอากาศ CV45\_ab

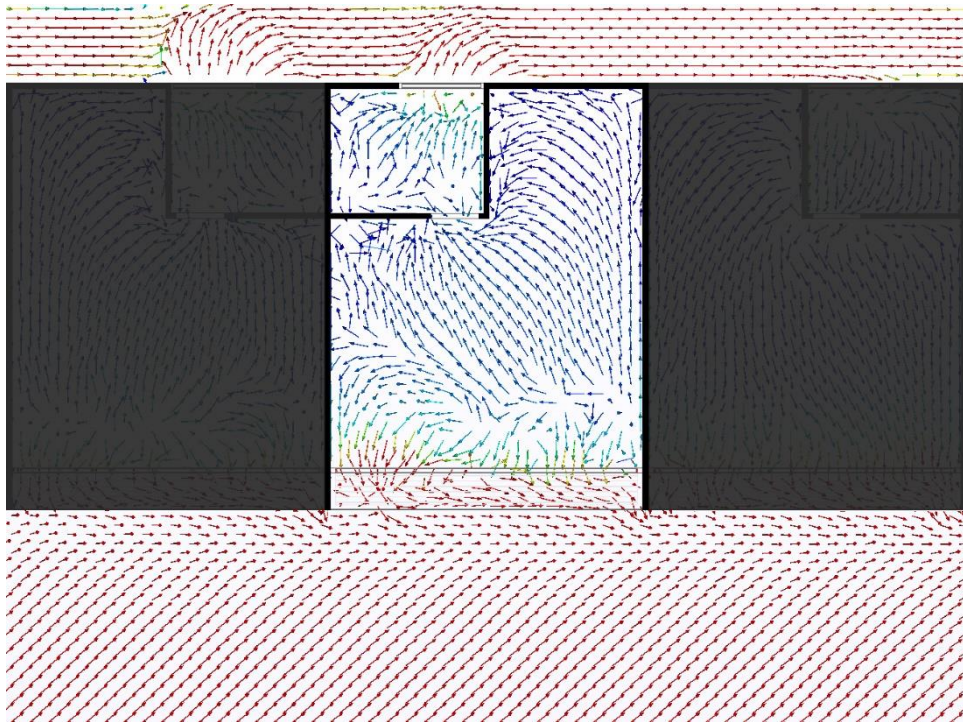
ส่วนที่ชั้น 30 ซึ่งเป็นชั้นบนสุดพฤติกรรมของลมจะพัดเข้าทางช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศด้านล่าง (ภาพที่ 4.40) แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะพัดออกนอกอาคารผ่านทางช่องเปิดด้านบน อีกส่วนหนึ่งจะไปออกทางช่องเปิดที่ติดกับทางเดินส่วนกลางก่อนจะออกสู่ภายนอกอาคารต่อไป (ภาพที่ 4.39) ดังนั้น จะมีการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของลมที่ตำแหน่งตรวจวัดใช้เฉพาะตำแหน่งที่ลมพัดเข้าสู่อาคารเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศสำหรับการคำนวณค่าการใช้พลังงานในขั้นตอนต่อไป



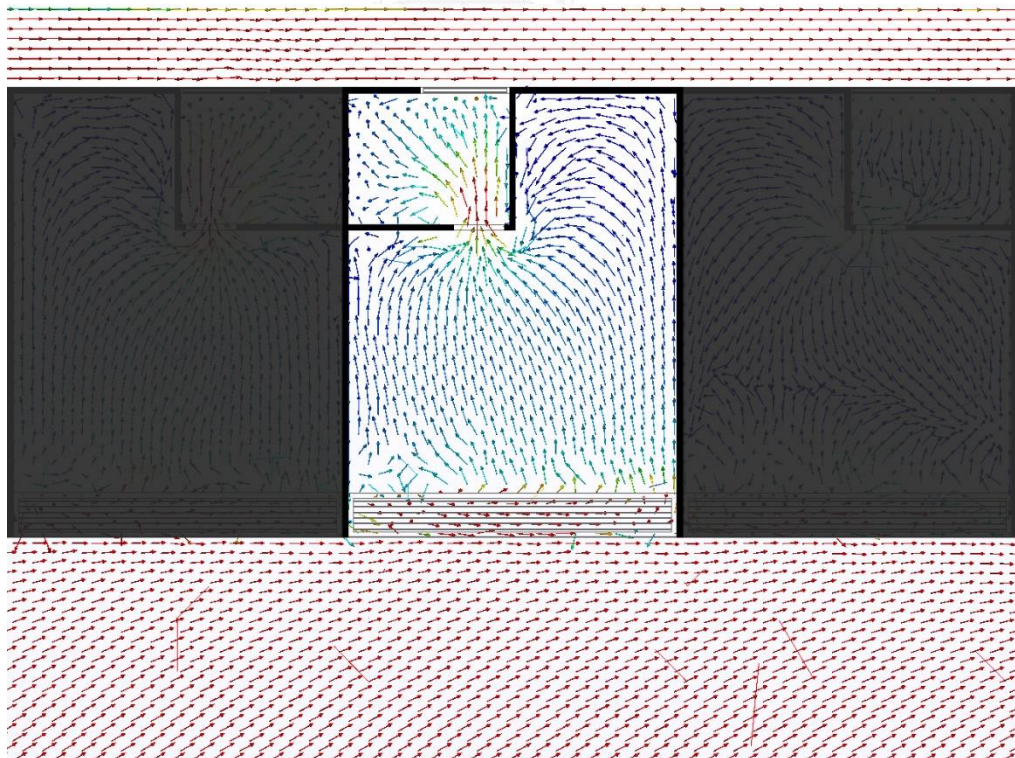
ภาพที่ 4.37 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเก็ล้ดระบายอากาศแบบ CV45\_ab  
ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านบน



ภาพที่ 4.38 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเก็ล้ดระบายอากาศแบบ CV45\_ab  
ชั้นที่ 25 ช่องเปิดด้านล่าง



ภาพที่ 4.39 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45\_ab  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านบน

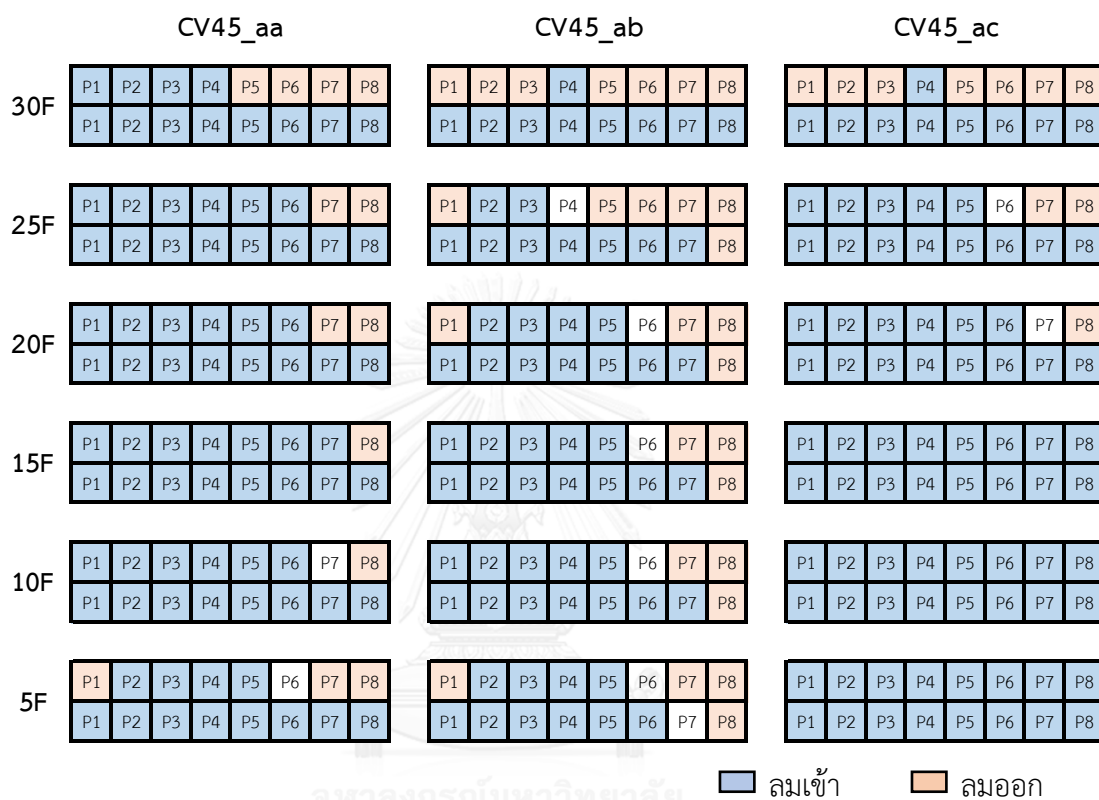


ภาพที่ 4.40 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในแนวทำมุมเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45\_ab  
ชั้นที่ 30 ช่องเปิดด้านล่าง

#### 4.6.1 เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมท่ามม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่

4.41 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.41 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางตั้งฉาก

เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ aa, ab และ ac

พื้นที่ช่องเปิดคำนวณตามวิธีการคิด Free area ของ Horizontal blade louvers โดย AMCA หากกระแสลมเข้าที่เกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ a, c พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 1.86 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.2325 ตารางเมตรต่อหน่วย) และเกณฑ์ระบายอากาศรูปแบบ b พื้นที่ช่องเปิดจะเท่ากับ 3.08 ตารางเมตร (คิดเป็น 0.385 ตารางเมตรต่อหน่วย) ค่าความเร็วลมของชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 25 จะทำการตรวจวัดที่ช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ส่วนค่าความเร็วลมของชั้น 30 จะตรวจวัดที่ช่องเปิดด้านล่างและด้านบนบางส่วน โดยค่าความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตำแหน่งลมพัดเข้า (สีฟ้า) ตามภาพที่ 4.41 แต่ละชั้น แล้วนำมาแปรผลเป็นค่าอัตราการระบายอากาศต่อชั่วโมง (ACH) เมื่อเทียบกับปริมาตรห้อง 139.79 ลูกบาศก์เมตร ตามตารางที่ 4.22

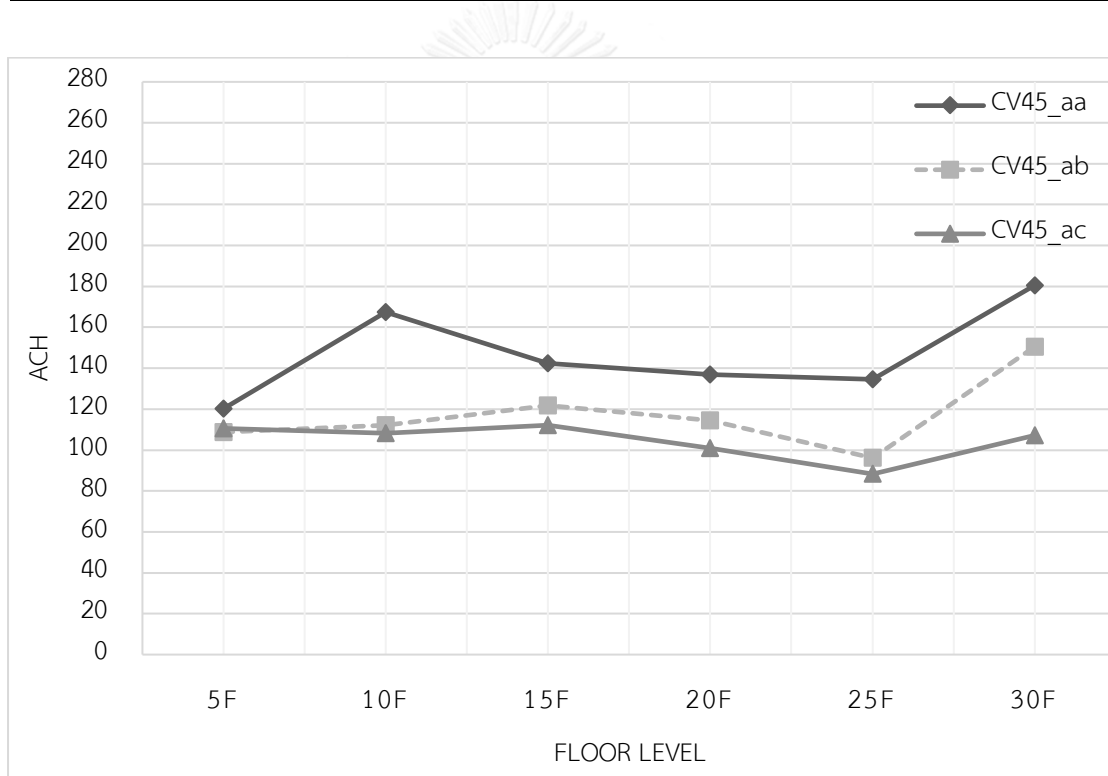


ตารางที่ 4.22 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_aa, CV45\_ab และ CV45\_ac

CV45_aa		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.66	2.55	2.73	2.55	1.96	1.68	1.04	0.28	2.09	1.86	0.93	1.95	4.67	120.23
	DN	1.29	1.68	2.22	2.16	1.96	1.34	0.73	0.30	1.46	1.86	1.86	2.72		
10F	UP	1.01	2.80	2.57	2.47	2.01	1.64	1.01	0.25	2.08	1.86	1.40	2.91	6.50	167.42
	DN	2.86	4.14	1.96	1.93	1.98	1.36	0.83	0.35	1.92	1.86	1.86	3.59		
15F	UP	0.60	2.16	2.48	2.56	1.97	1.44	0.70	0.27	1.70	1.86	1.63	2.78	5.53	142.30
	DN	1.43	1.63	1.94	2.04	2.05	1.46	0.88	0.37	1.47	1.86	1.86	2.75		
20F	UP	0.50	2.31	2.62	2.37	1.76	1.38	0.53	0.30	1.82	1.86	1.40	2.55	5.32	136.89
	DN	1.28	1.76	2.30	2.11	2.03	1.26	0.82	0.32	1.48	1.86	1.86	2.77		
25F	UP	0.56	2.26	2.17	2.09	1.61	1.15	0.45	0.76	1.64	1.86	1.40	2.29	5.23	134.66
	DN	1.32	2.06	2.27	2.06	2.07	1.49	0.82	0.51	1.57	1.86	1.86	2.94		
30F	UP	1.55	1.08	2.16	1.73	1.18	2.42	2.08	3.55	1.63	1.86	0.93	1.52	7.01	180.53
	DN	2.80	5.00	2.70	2.69	4.23	3.07	1.89	1.19	2.95	1.86	1.86	5.49		
CV45_ab		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.46	0.95	1.25	1.48	1.38	1.27	0.85	0.22	1.26	1.86	0.93	1.18	4.22	108.76
	DN	0.65	1.26	1.67	1.67	1.54	1.13	0.62	0.34	1.32	3.08	2.31	3.05		
10F	UP	0.41	0.81	1.19	1.38	1.30	1.15	0.77	0.27	1.02	1.86	1.16	1.19	4.36	112.17
	DN	0.61	1.15	1.54	1.70	1.50	1.09	0.65	0.43	1.18	3.08	2.69	3.17		
15F	UP	0.32	1.06	1.37	1.44	1.38	1.24	0.81	0.19	1.12	1.86	1.16	1.30	4.73	121.88
	DN	0.57	1.30	1.69	1.84	1.60	1.19	0.74	0.27	1.27	3.08	2.69	3.43		
20F	UP	0.36	0.92	1.22	1.37	1.33	1.10	0.68	0.30	1.21	1.86	0.93	1.12	4.45	114.49
	DN	0.68	1.24	1.64	1.74	1.57	1.15	0.61	0.22	1.23	3.08	2.69	3.32		
25F	UP	0.32	0.76	1.09	1.20	1.09	0.77	0.49	0.51	0.92	1.86	0.47	0.43	3.73	96.12
	DN	0.45	1.29	1.69	1.75	1.58	1.16	0.66	0.28	1.23	3.08	2.69	3.30		
30F	UP	2.70	4.14	1.01	1.11	1.04	0.67	0.57	0.53	1.11	1.86	0.23	0.26	5.84	150.49
	DN	1.24	2.07	2.28	2.40	2.12	1.86	1.40	1.15	1.81	3.08	3.08	5.58		
CV45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.46	1.28	1.38	1.62	1.51	1.50	1.13	0.64	1.19	1.86	1.86	2.22	4.30	110.66
	DN	0.19	1.05	1.62	1.75	1.42	1.25	1.11	0.53	1.12	1.86	1.86	2.08		
10F	UP	0.44	1.12	1.59	1.61	1.47	1.42	1.10	0.56	1.16	1.86	1.86	2.17	4.20	108.27
	DN	0.26	0.95	1.59	1.70	1.37	1.29	1.02	0.54	1.09	1.86	1.86	2.03		

ตารางที่ 4.22 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_a, CV45\_ab และ CV45\_ac (ต่อ)

CV45_ac		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.40	1.19	1.46	1.60	1.42	1.47	1.07	0.56	1.15	1.86	1.86	2.14	4.35	112.14
	DN	0.69	1.11	1.62	1.59	1.30	1.29	1.17	0.75	1.19	1.86	1.86	2.22		
20F	UP	0.41	1.01	1.37	1.53	1.46	1.40	0.98	0.46	1.20	1.86	1.40	1.67	3.92	100.87
	DN	0.16	1.16	1.74	1.81	1.41	1.31	1.33	0.70	1.20	1.86	1.86	2.24		
25F	UP	0.21	0.80	1.23	1.44	1.31	1.11	0.72	0.16	1.00	1.86	1.16	1.16	3.43	88.27
	DN	0.31	1.14	1.72	1.76	1.45	1.32	1.16	0.88	1.22	1.86	1.86	2.27		
30F	UP	1.71	0.72	1.08	0.78	1.10	0.56	0.81	0.50	0.78	1.86	0.23	0.18	4.16	107.17
	DN	1.06	2.13	2.61	2.58	2.29	2.50	2.22	1.69	2.14	1.86	1.86	3.98		



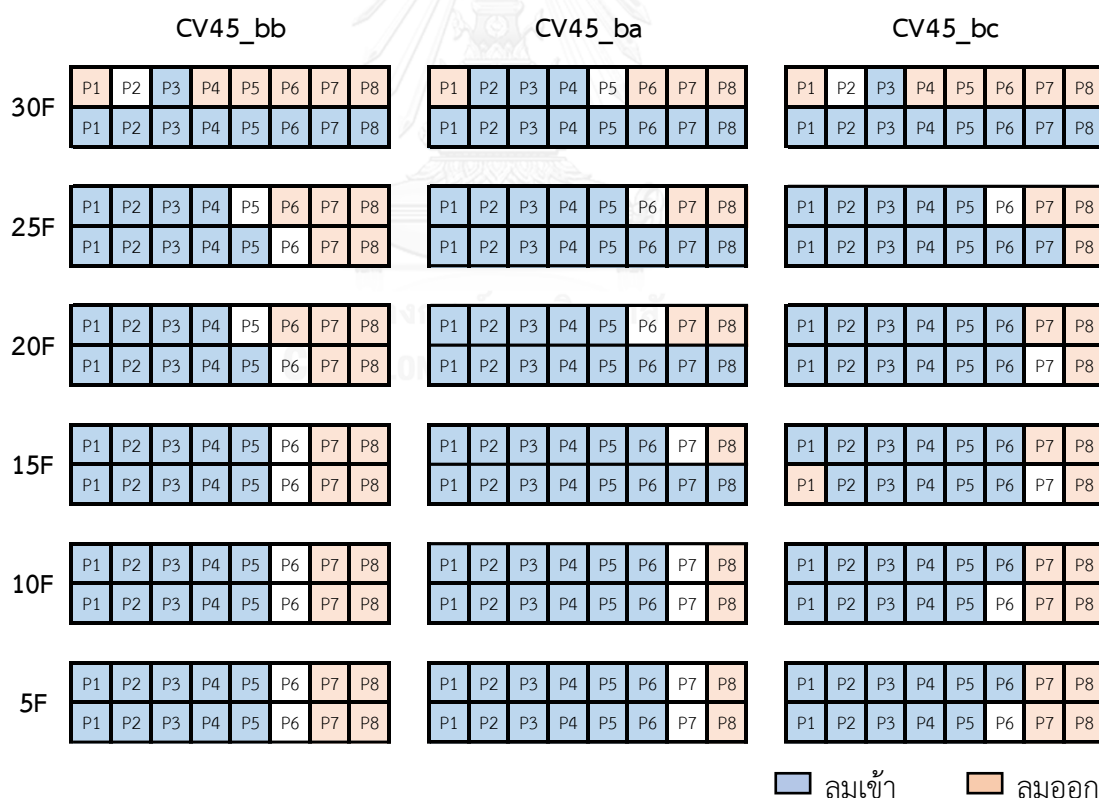
แผนภูมิที่ 4.21 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ aa, ab และ ac อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.22 และแผนภูมิที่ 4.21 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 และชั้น 25 ระหว่าง 88.27 – 120.23 ACH และสูงสุดที่ชั้น 15 และชั้น 30 ระหว่าง 112.14 – 180.53 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ไปจนถึงชั้น 30 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_aa

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 5 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_aa ก่อนจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงและความเร็วลมที่สูงขึ้น 1.39 เท่าที่ชั้น 10 เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ลดลงแต่ก็ยังสูงกว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุด 1.18 เท่าที่ชั้น 15, 1.14 เท่าที่ชั้น 20, 1.12 เท่าที่ชั้น 25 และเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนสูงสุด 1.50 เท่าที่ชั้น 30 ส่วนอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 25 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_ab และ CV45\_ac เพิ่มขึ้น 1.21 – 1.57 เท่าที่ชั้น 30 ส่วนระดับความสูงที่ลดลงอัตราการระบายอากาศก็เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.19 – 1.14 เท่าที่ชั้น 20, 1.27 เท่าที่ชั้น 15, เพิ่มขึ้น 1.17 – 1.23 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.13 – 1.25 เท่าที่ชั้น 5

#### 4.6.2 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมท่ามม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.42 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.42 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางท่ามม 45°

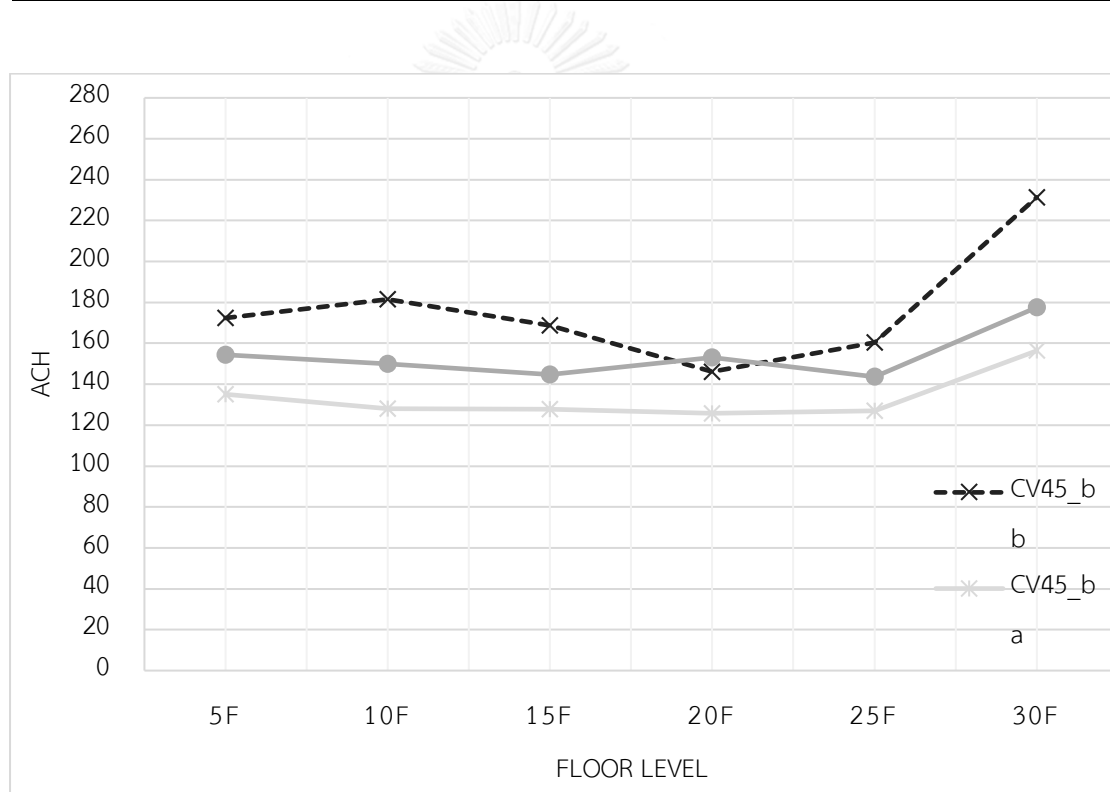
เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bb, ba และ bc

ตารางที่ 4.23 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_bb, CV45\_ba และ CV45\_bc

CV45_bb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.73	2.33	2.31	1.85	1.51	1.04	0.66	0.84	1.74	3.08	1.92	3.36	6.70	172.46
	DN	0.80	2.26	2.26	1.87	1.49	0.80	0.79	0.73	1.74	3.08	1.92	3.34		
10F	UP	1.43	2.45	2.08	1.90	1.42	1.04	0.51	0.80	1.86	3.08	1.92	3.57	7.05	181.46
	DN	0.88	2.25	2.43	1.98	1.49	0.83	0.35	0.61	1.81	3.08	1.92	3.48		
15F	UP	1.26	2.12	2.18	1.94	1.46	0.93	0.62	0.92	1.79	3.08	1.92	3.45	6.56	168.84
	DN	0.68	1.79	2.26	1.86	1.49	0.74	0.52	0.68	1.62	3.08	1.92	3.11		
20F	UP	0.56	1.79	2.01	1.74	1.20	0.83	0.80	0.99	1.52	3.08	1.54	2.34	5.67	146.15
	DN	0.89	2.06	2.23	1.94	1.54	0.88	0.44	0.76	1.73	3.08	1.92	3.33		
25F	UP	0.70	2.06	1.89	1.50	0.99	0.77	1.16	1.18	1.54	3.08	1.54	2.37	6.23	160.34
	DN	1.42	2.41	2.35	2.11	1.73	1.08	0.52	0.47	2.01	3.08	1.92	3.86		
30F	UP	1.65	1.45	1.16	2.83	2.18	2.22	3.03	2.74	1.16	3.08	0.38	0.45	8.98	231.37
	DN	3.22	4.42	3.75	3.18	2.68	2.25	1.69	1.01	2.77	3.08	3.08	8.54		
CV45_ba		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.11	1.60	1.71	1.87	1.62	1.36	1.02	0.32	1.55	3.08	2.31	3.57	5.25	135.20
	DN	1.21	1.51	1.32	1.20	1.06	0.92	0.70	0.20	1.20	1.86	1.40	1.68		
10F	UP	1.08	1.55	1.70	1.76	1.66	1.13	0.79	0.40	1.48	3.08	2.31	3.42	4.97	127.99
	DN	1.22	1.22	1.15	1.04	1.04	0.99	0.71	0.16	1.11	1.86	1.40	1.55		
15F	UP	0.91	1.45	1.75	1.77	1.53	1.11	0.87	0.32	1.42	3.08	1.92	2.73	4.96	127.75
	DN	2.02	1.67	1.18	1.33	1.20	1.10	0.72	0.35	1.20	1.86	1.86	2.23		
20F	UP	0.73	1.42	1.60	1.62	1.56	1.12	0.76	0.49	1.39	3.08	1.92	2.66	4.88	125.78
	DN	1.96	1.60	1.29	1.27	1.22	1.07	0.79	0.32	1.19	1.86	1.86	2.22		
25F	UP	1.00	1.38	1.62	1.46	1.26	0.81	0.80	0.75	1.34	3.08	1.92	2.59	4.93	126.95
	DN	2.23	1.54	1.32	1.20	1.15	1.15	0.91	0.56	1.26	1.86	1.86	2.34		
30F	UP	1.11	0.52	0.68	0.96	1.00	0.87	0.91	0.88	0.72	3.08	1.15	0.83	6.07	156.35
	DN	4.88	4.79	1.55	1.76	1.97	2.61	2.58	2.35	2.81	1.86	1.86	5.24		
CV45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.40	2.50	2.04	1.94	1.61	1.07	0.53	0.61	1.76	3.08	2.31	4.06	5.99	154.26
	DN	0.70	1.85	2.27	2.11	1.34	0.85	0.75	0.51	1.65	1.86	1.16	1.93		
10F	UP	1.42	1.95	2.15	1.94	1.38	1.20	0.45	0.75	1.67	3.08	2.31	3.86	5.83	150.03
	DN	0.88	2.02	2.05	2.02	1.46	0.92	0.62	0.48	1.69	1.86	1.16	1.96		

ตารางที่ 4.23 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_bb, CV45\_ba และ CV45\_bc (ต่อ)

CV45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.82	2.05	2.14	2.00	1.43	0.93	0.71	0.63	1.56	3.08	2.31	3.60	5.62	144.82
	DN	0.66	1.87	2.20	2.17	1.48	0.96	0.58	0.35	1.73	1.86	1.16	2.02		
20F	UP	0.80	2.14	2.18	1.82	1.54	1.04	0.54	0.86	1.59	3.08	2.31	3.67	5.95	153.19
	DN	0.74	1.88	2.33	2.26	1.56	1.03	0.67	0.41	1.63	1.86	1.40	2.28		
25F	UP	1.20	2.08	1.76	1.55	0.95	0.71	0.83	1.12	1.51	3.08	1.92	2.90	5.58	143.63
	DN	0.86	2.23	2.45	2.34	1.74	1.13	0.73	0.23	1.64	1.86	1.63	2.67		
30F	UP	1.71	3.02	2.63	3.33	2.40	2.00	1.00	2.44	2.63	3.08	0.38	1.01	6.89	177.55
	DN	2.42	4.12	4.07	4.11	3.23	2.85	3.02	1.43	3.16	1.86	1.86	5.88		



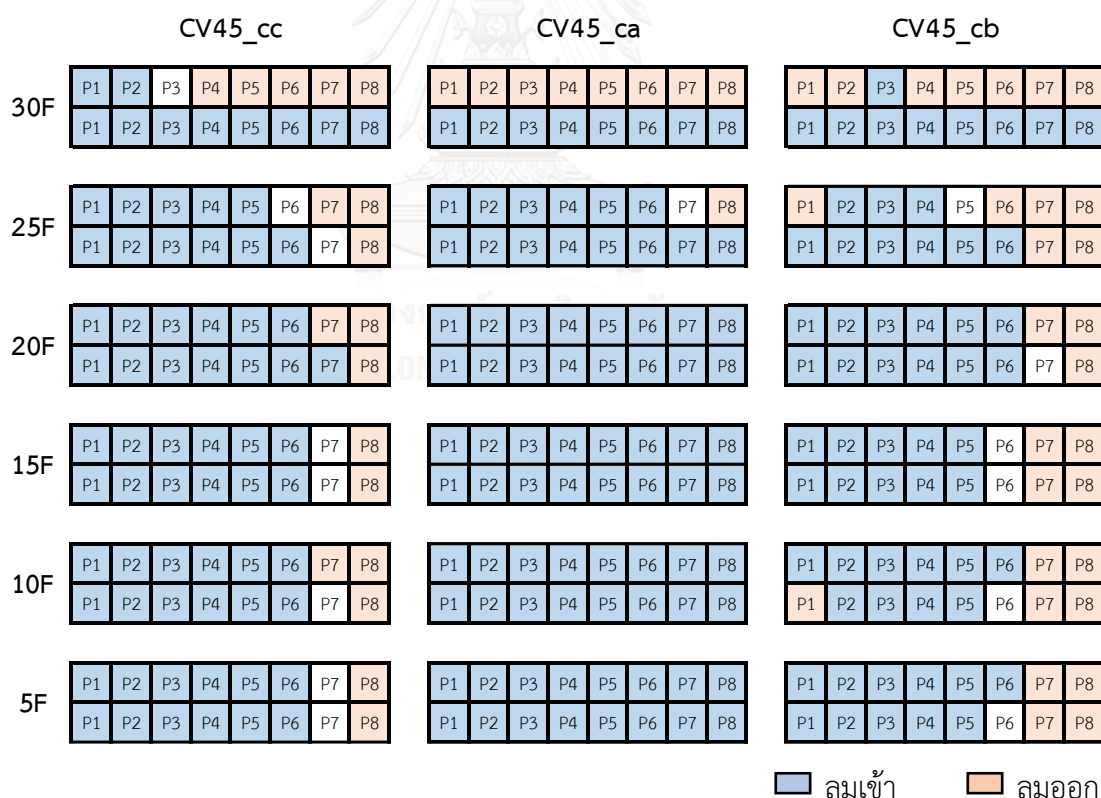
แผนภูมิที่ 4.22 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ bb, ba และ bc อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.23 และแผนภูมิที่ 4.22 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 และชั้น 25 ระหว่าง 125.78 – 146.15 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 156.35 – 231.37 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดยกเว้นชั้น 20 คือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_bb และ CV45\_bc ที่ชั้น 20

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 25 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_bc ก่อนจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงและความเร็วลมที่สูงขึ้น 1.24 เท่าที่ชั้น 30 ส่วนเมื่อความสูงลดลงอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้น 1.07 เท่าที่ชั้น 20, เพิ่มขึ้น 1.01 เท่าที่ชั้น 15, เพิ่มขึ้น 1.04 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.07 เท่าที่ชั้น 5 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 20 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_bb และ CV45\_ba เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงและความเร็วลมที่สูงขึ้น 1.01 – 1.10 เท่าที่ชั้น 25 เพิ่มขึ้นในสัดส่วนสูงสุด 1.24 – 1.58 เท่าที่ชั้น 30 ส่วนระดับความสูงที่ลดอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.02 – 1.16 เท่าที่ชั้น 15, 1.02 – 1.24 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.07 – 1.18 เท่าที่ชั้น 5

### 4.6.3 เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม

วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของกระแสลมที่ช่องเปิดด้านบนและด้านล่างตามภาพที่ 4.43 จากรูปตัดขวางที่แสดงทิศทางลมเข้าและออก 8 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดค่าความเร็วลมในตำแหน่งที่มีทิศทางลมพัดเข้าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และทราบขนาดพื้นที่ช่องเปิดส่วนลมพัดเข้า



ภาพที่ 4.43 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคาร 3 (CV) ในทิศทางทำมุม 45°

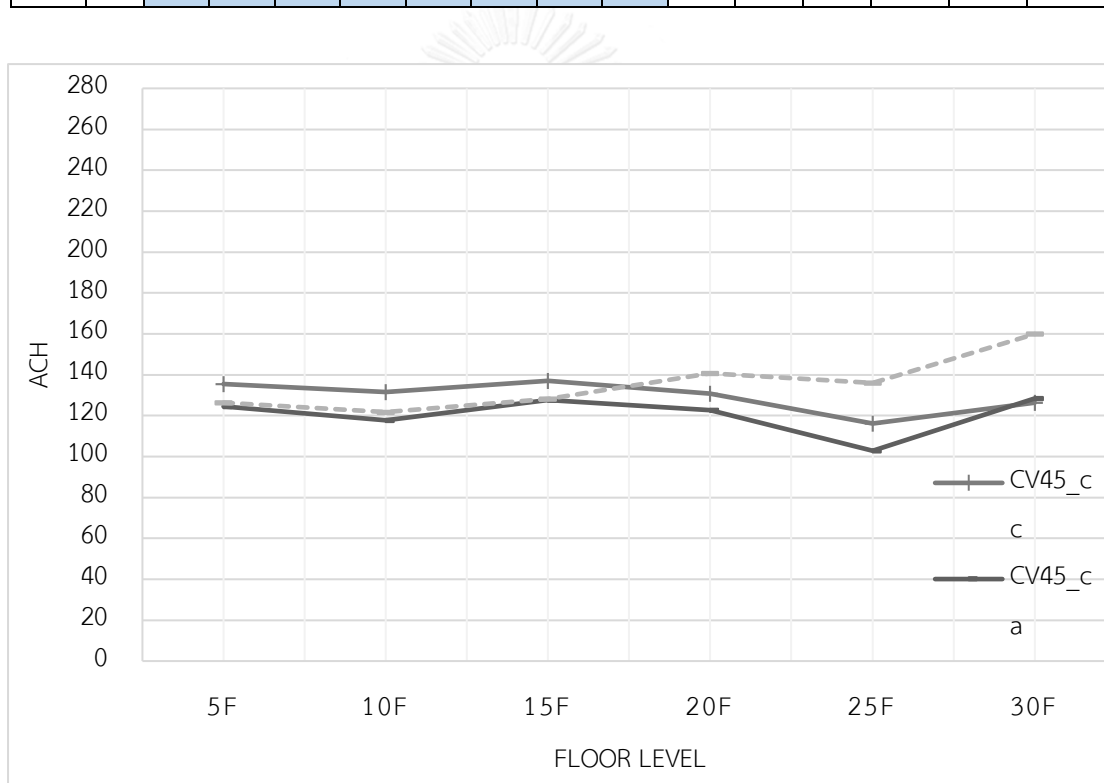
เกล็ดระบายอากาศรูปแบบ cc, ca และ cb

ตารางที่ 4.24 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_cc, CV45\_ca และ CV45\_cb

CV45_cc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	1.05	3.43	2.34	1.93	1.51	1.20	0.79	0.37	1.91	1.86	1.40	2.67	5.26	135.40
	DN	1.17	2.27	2.47	2.33	1.69	1.18	0.80	0.28	1.85	1.86	1.40	2.59		
10F	UP	0.98	3.55	2.48	1.70	1.31	0.95	0.57	0.30	1.83	1.86	1.40	2.55	5.11	131.48
	DN	0.95	2.15	2.43	2.34	1.76	1.31	0.77	0.30	1.82	1.86	1.40	2.55		
15F	UP	1.16	3.36	2.74	2.03	1.49	1.01	0.61	0.24	1.96	1.86	1.40	2.75	5.32	137.02
	DN	1.16	2.16	2.41	2.24	1.77	1.32	0.75	0.22	1.84	1.86	1.40	2.57		
20F	UP	1.05	3.20	1.94	1.45	1.44	0.98	0.67	0.42	1.68	1.86	1.40	2.34	5.08	130.77
	DN	1.06	2.17	2.50	2.27	1.74	1.24	0.77	0.26	1.68	1.86	1.63	2.74		
25F	UP	0.72	2.69	1.68	1.44	1.22	0.69	0.58	0.88	1.55	1.86	1.16	1.81	4.51	116.14
	DN	1.15	2.44	2.47	2.46	1.77	1.31	0.82	0.22	1.93	1.86	1.40	2.70		
30F	UP	1.28	0.56	1.57	0.76	1.17	2.35	1.01	2.41	0.92	1.86	0.47	0.43	4.91	126.37
	DN	1.68	3.59	3.45	3.37	2.61	2.02	1.51	0.99	2.40	1.86	1.86	4.48		
CV45_ca		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.75	1.21	1.31	1.43	1.33	1.42	1.11	0.77	1.17	1.86	1.86	2.17	4.84	124.53
	DN	2.48	1.44	1.50	1.48	1.40	1.42	0.98	0.74	1.43	1.86	1.86	2.66		
10F	UP	0.60	1.12	1.31	1.32	1.24	1.17	1.00	0.73	1.06	1.86	1.86	1.98	4.57	117.76
	DN	2.49	1.39	1.44	1.35	1.44	1.38	0.95	0.71	1.39	1.86	1.86	2.60		
15F	UP	0.49	1.31	1.35	1.27	1.23	1.26	0.99	0.72	1.08	1.86	1.86	2.01	4.95	127.54
	DN	3.29	2.17	1.45	1.39	1.11	1.36	1.07	0.78	1.58	1.86	1.86	2.94		
20F	UP	0.54	1.23	1.26	1.37	1.24	1.14	0.91	0.66	1.04	1.86	1.86	1.95	4.76	122.62
	DN	2.74	1.88	1.46	1.40	1.41	1.40	1.13	0.66	1.51	1.86	1.86	2.82		
25F	UP	0.30	0.93	1.08	1.11	1.10	1.03	0.74	0.34	0.92	1.86	1.40	1.29	3.99	102.83
	DN	2.80	1.72	1.35	1.40	1.34	1.33	1.01	0.64	1.45	1.86	1.86	2.70		
30F	UP	1.36	1.05	1.04	1.24	1.12	1.12	0.85	0.57	0.00	1.86	0.00	0.00	4.99	128.40
	DN	5.74	4.31	1.54	1.70	1.68	2.43	2.13	1.86	2.67	1.86	1.86	4.99		
CV45_cb		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
5F	UP	0.55	1.53	1.34	1.31	1.00	0.91	0.55	0.49	1.10	1.86	1.40	1.54	4.91	126.34
	DN	0.55	2.12	2.28	2.08	1.71	1.15	0.46	0.55	1.75	3.08	1.92	3.36		
10F	UP	0.52	2.18	1.51	1.41	1.20	0.83	0.54	0.86	1.28	1.86	1.40	1.79	4.73	121.74
	DN	0.94	1.87	2.18	1.96	1.63	1.01	0.47	0.55	1.91	3.08	1.54	2.94		

ตารางที่ 4.24 ค่าความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ CV45\_cc, CV45\_ca และ CV45\_cb (ต่อ)

CV45_bc		ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)									Area (m <sup>2</sup> )	Free Area	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ALL</sub> (m <sup>3</sup> /s)	ACH
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Avg.					
15F	UP	0.65	2.30	1.73	1.55	1.34	0.92	0.60	0.44	1.51	1.86	1.16	1.76	4.97	128.09
	DN	0.66	1.91	2.23	2.02	1.51	1.03	0.50	0.47	1.67	3.08	1.92	3.21		
20F	UP	0.54	2.33	1.46	1.40	1.05	0.67	0.53	0.82	1.24	1.86	1.40	1.74	5.46	140.59
	DN	0.51	2.00	2.34	2.08	1.69	1.06	0.59	0.56	1.61	3.08	2.31	3.72		
25F	UP	0.34	1.87	2.84	1.18	0.96	0.70	0.66	0.71	1.96	1.86	0.70	1.37	5.28	135.90
	DN	0.77	2.25	2.32	1.94	1.77	1.10	0.42	0.46	1.69	3.08	2.31	3.91		
30F	UP	1.53	0.51	0.80	0.47	1.02	2.85	1.94	1.20	0.80	1.86	0.23	0.19	6.21	159.89
	DN	1.49	3.23	3.26	2.64	2.08	1.42	0.97	0.57	1.96	3.08	3.08	6.02		



แผนภูมิที่ 4.23 อัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม

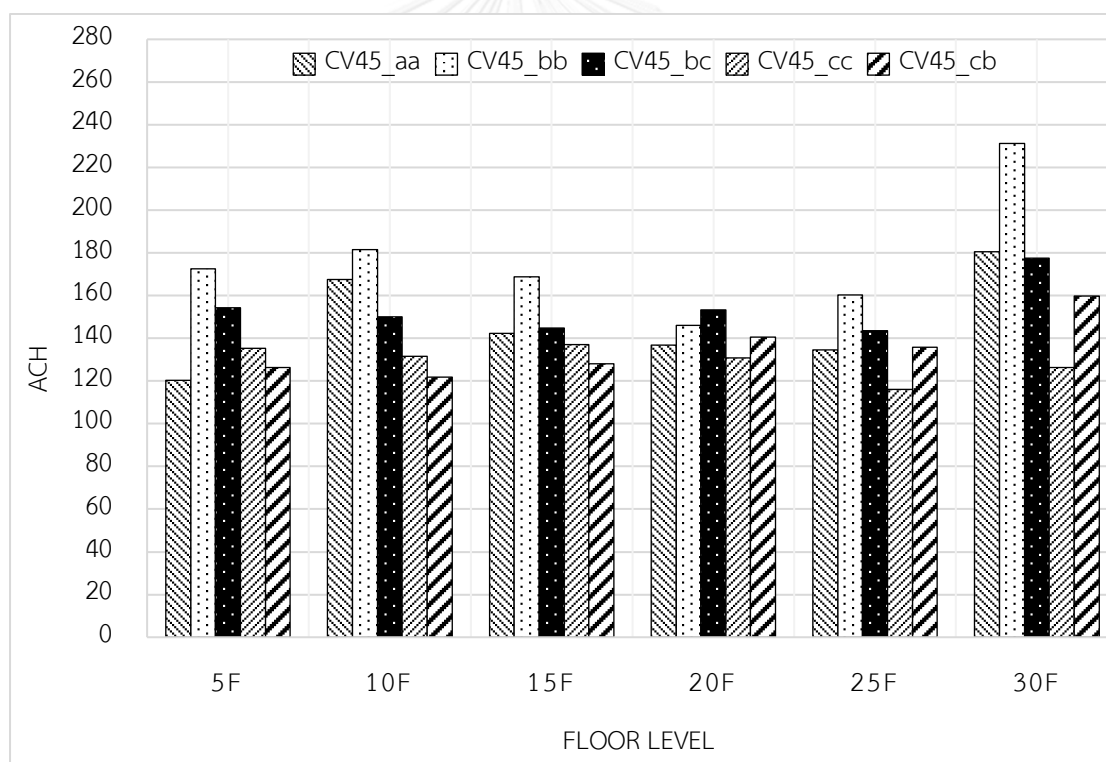
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วลมกับพื้นที่ช่องเปิดออกมาเป็นอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแบบ cc, ca และ cb อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม 45° ตามตารางที่ 4.24 และแผนภูมิที่ 4.23 พบว่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 10 และชั้น 25 ระหว่าง 102.83 – 121.74 ACH และสูงสุดที่ชั้น 15 และชั้น 30 ระหว่าง 128.40 – 159.89 ACH รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการ



ระบายอากาศสูงสุดคือเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_cc ที่ชั้น 5 ถึงชั้น 15 และ CV45\_bc ที่ชั้น 20 ถึงชั้น 30

เมื่อพิจารณาตามระดับความสูง ค่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 10 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_cb ก่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสูงลดลง 1.04 เท่าที่ชั้น 5 ส่วนเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้น 1.05 เท่าที่ชั้น 15, เพิ่มขึ้น 1.15 เท่าที่ชั้น 20, เพิ่มขึ้น 1.12 เท่าที่ชั้น 25 และเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนสูงสุด 1.31 เท่าที่ชั้น 30 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ชั้น 25 สำหรับเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_cc และ CV45\_ca เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงและความเร็วลมที่สูงขึ้น 1.09 – 1.25 เท่าที่ชั้น 30 ส่วนระดับความสูงที่ลดลงอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 1.13 – 1.19 เท่าที่ชั้น 20, 1.18 – 1.24 เท่าที่ชั้น 15, เพิ่มขึ้น 1.13 – 1.15 เท่าที่ชั้น 10 และเพิ่มขึ้น 1.17 – 1.21 เท่าที่ชั้น 5

#### 4.6.4 วิเคราะห์ผลการจำลองการระบายอากาศ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม


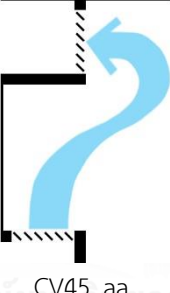

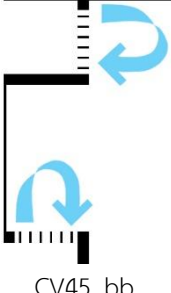
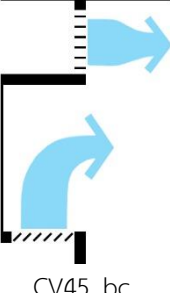
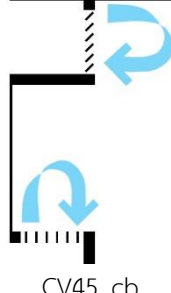
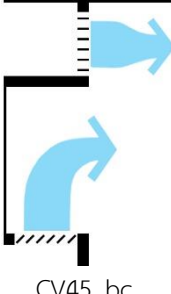
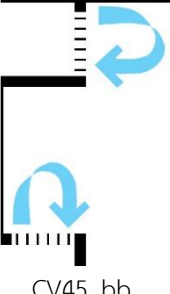
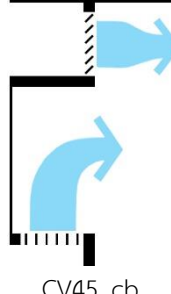


แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบการระบายอากาศสูงสุดของเกล็ดระบายอากาศแต่ละชุด อาคาร CV ทิศทางลมทำมุม

ผลการศึกษาอัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศ 3 ชุด คือ เกล็ดระบายอากาศแบบ aa, ab, ac เกล็ดระบายอากาศแบบ bb, ba, bc และเกล็ดระบายอากาศแบบ cc, ca, cb แสดงให้เห็นว่า รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของแต่ละ

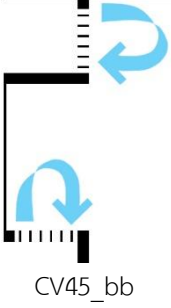
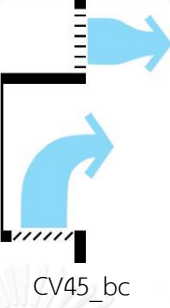
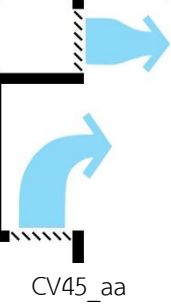
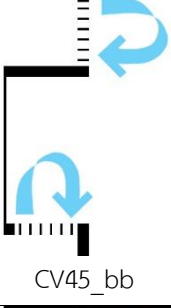
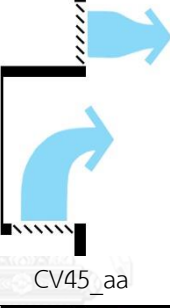
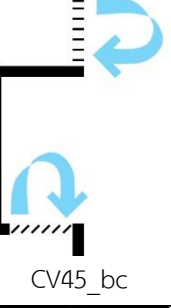
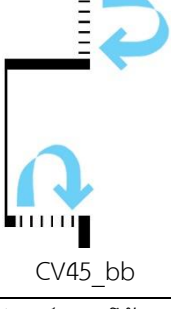


ชุดคือ CV45\_aa, CV45\_bb, CV45\_bc, CV45\_cc และ CV45\_cb นำมาเปรียบเทียบเรียงตามระดับความสูงห้องพัก (แผนภูมิที่ 4.24) พบว่า รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดของอาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม 45° คือรูปแบบ CV45\_bb ยกเว้นที่ชั้น 20 เป็นเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_bc รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่ติรงลงมาคือแบบ CV45\_bc ที่ชั้น 5, ชั้น 15 และชั้น 25 รูปแบบ CV45\_aa ที่ชั้น 10 และชั้น 30 รูปแบบ CV45\_bb ที่ชั้น 20 ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงเป็นลำดับที่ 3 คือเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45\_cc ที่ชั้น 5, CV45\_bc ที่ชั้น 10 และชั้น 30, CV45\_aa ที่ชั้น 15, CV45\_cb ที่ชั้น 20 และชั้น 25

ตารางที่ 4.25 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมทำมุม

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 30	 CV45_bb	231.37	 CV45_aa	180.53	 CV45_bc	177.55
ชั้น 25	 CV45_bb	160.34	 CV45_bc	143.63	 CV45_cb	135.90
ชั้น 20	 CV45_bc	153.19	 CV45_bb	146.15	 CV45_cb	140.59

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

ตาราง 4.25 รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ อาคารแบบที่ 3 (CV) ทิศทางลมตั้งฉาก (ต่อ)

ระดับ	อัตราการระบายอากาศสูงสุด		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 2		อัตราการระบายอากาศ ลำดับ 3	
	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH	รูปตัด	ACH
ชั้น 15	 CV45_bb	168.84	 CV45_bc	144.82	 CV45_aa	142.30
ชั้น 10	 CV45_bb	181.46	 CV45_aa	167.42	 CV45_bc	150.03
ชั้น 5	 CV45_bb	172.46	 CV45_bc	154.26	 CV45_cc	135.40

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

#### 4.6.4.1 อัตราการระบายอากาศ

จากแผนภูมิที่ 4.23 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ชั้น 25 ระหว่าง 116.14 – 146.15 ACH ในพื้นที่ความกดอากาศสูง 1 ถึง 2 ใน 3 ส่วนของความสูงอาคาร และอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 137.02 – 231.37 ACH แต่เมื่อพิจารณาจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นสัดส่วนของอัตราการระบายอากาศที่ชั้นอ้างอิงเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศต่ำสุดของแต่ละรูปแบบที่ชั้น 5 คิดเป็น 1.04 – 1.18 เท่า, ชั้น 10 คิดเป็น 1.04 – 1.39 เท่า, ชั้น 15 คิดเป็น 1.01 – 1.18 เท่า, ชั้น 20 คิดเป็น 1.07 – 1.15 เท่า, ชั้น 25 คิดเป็น 1.10 – 1.12 เท่าและชั้น 30 คิดเป็น 1.90 – 1.58 เท่า

#### 4.6.4.2 รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ

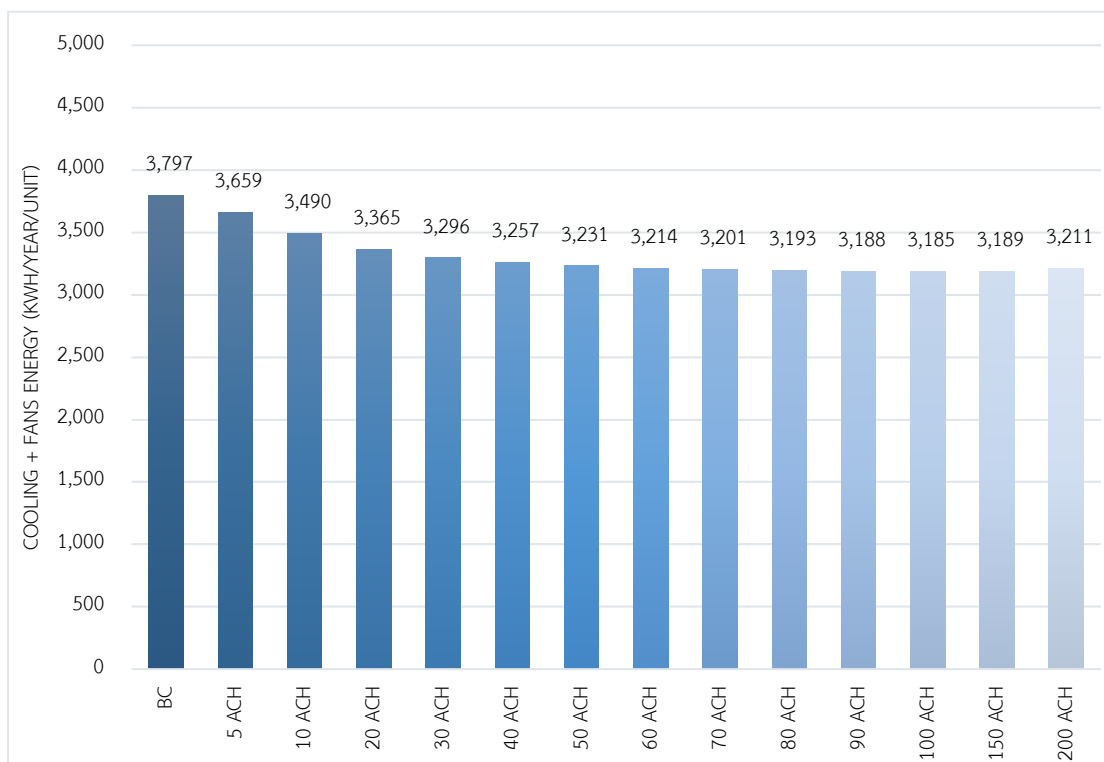
รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 3 ลำดับ (ตารางที่ 4.21) แสดงเกล็ดระบายอากาศ 6 รูปแบบ คือ CV45\_aa, CV45\_bb, CV45\_bc, CV45\_cc และ , CV45\_cb ซึ่งจะประกอบด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ( $90^\circ$ ) ที่ช่องเปิดด้านบนและ/หรือด้านล่าง เนื่องจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b มีพื้นที่ free area สูงกว่าแบบ a และ c อยู่ 1.66 เท่า จึงถือได้ว่าเป็นช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า อัตราการระบายอากาศสูงสุดเมื่อทิศทางลมภายนอกทำมุม  $45^\circ$  กับผนังอาคารตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 15 และจากชั้น 25 ถึงชั้น 30 เกิดจากเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ CV45\_bb ที่ช่องเปิดบนและล่างมีขนาดเท่ากัน ส่วนชั้น 20 เป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45\_bc ที่ช่องลมเข้าด้านล่างบานเกล็ดทำมุม  $45^\circ$  และมีขนาดเล็กกว่าช่องลมออกด้านบน

รูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 2 ของเกือบทุกชั้นคือเกล็ดระบายอากาศแบบ CV45\_bc (ชั้น 5, ชั้น 15 และชั้น 25) ช่องเปิดด้านบนมีขนาดใหญ่กว่าด้านล่างที่บานเกล็ดทำมุม  $45^\circ$  โดยชั้น 10 และชั้น 30 จะเป็นเกล็ดรูปแบบ CV45\_aa ช่องลมทางด้านล่างและด้านบนมีขนาดเท่ากัน บานเกล็ดทำมุม  $-45^\circ$  ส่วนรูปแบบเกล็ดที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ดีเป็นลำดับ 3 ประกอบด้วย 4 รูปแบบคือ CV45\_cc ที่ชั้น 5 และ CV45\_aa ที่ชั้น 15 ช่องเปิดด้านล่างและด้านบนมีขนาดเท่ากันต่างจากการทำมุมของบานเกล็ด  $45^\circ$  และ  $-45^\circ$  ส่วนอีก 2 รูปแบบคือ CV45\_bc ที่ชั้น 10 และ CV45\_cb ที่ชั้น 20 ช่องเปิดมีขนาดใหญ่บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  (b) กับช่องเปิดขนาดเล็กกว่าบานเกล็ดทำมุม  $45^\circ$  (c)

#### 4.7 ผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น

จากผลการจำลองเกล็ดระบายอากาศ 9 รูปแบบกับทิศทางลม 2 ทิศทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) สามารถกำหนดช่วงอัตราการระบายอากาศตั้งแต่ 0.2 ACH ไปจนถึง 200 ACH แบ่งเป็น 0.2 ACH (Base case), 5 ACH, 10 ACH, 20 ACH, 30 ACH, 40 ACH, 50 ACH, 60 ACH, 70 ACH, 80 ACH, 90 ACH, 100 ACH, 150 ACH และ 200 ACH กำหนดเป็นค่าอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ โดยการจำลองห้องพักเพื่อหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นผ่านโปรแกรม Visual DOE 4.1 กำหนดรายละเอียดห้องพักสำหรับอาคารอ้างอิงตามรูปแบบอาคารที่ใช้ในการจำลองเกล็ดระบายอากาศ ทิศทางการวางอาคาร 4 ทิศทาง (ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก) เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานในการทำความเย็นจาก Electrical End-use Totals (kWh) ผลรวมของค่า Cooling และ Fans นำมาเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อปีเมื่อมีการระบายอากาศก่อนการเปิดเครื่องปรับอากาศ 14 ระดับ ผลการใช้พลังงานของทั้ง 4 ทิศทางเมื่อนำมาเฉลี่ย พบว่า การใช้พลังงานในการทำความเย็นลดลงสูงสุด 612 kWh/year/unit คิดเป็นร้อยละ 16.12 ของค่าการใช้พลังงานอ้างอิง เมื่อมีการเพิ่ม

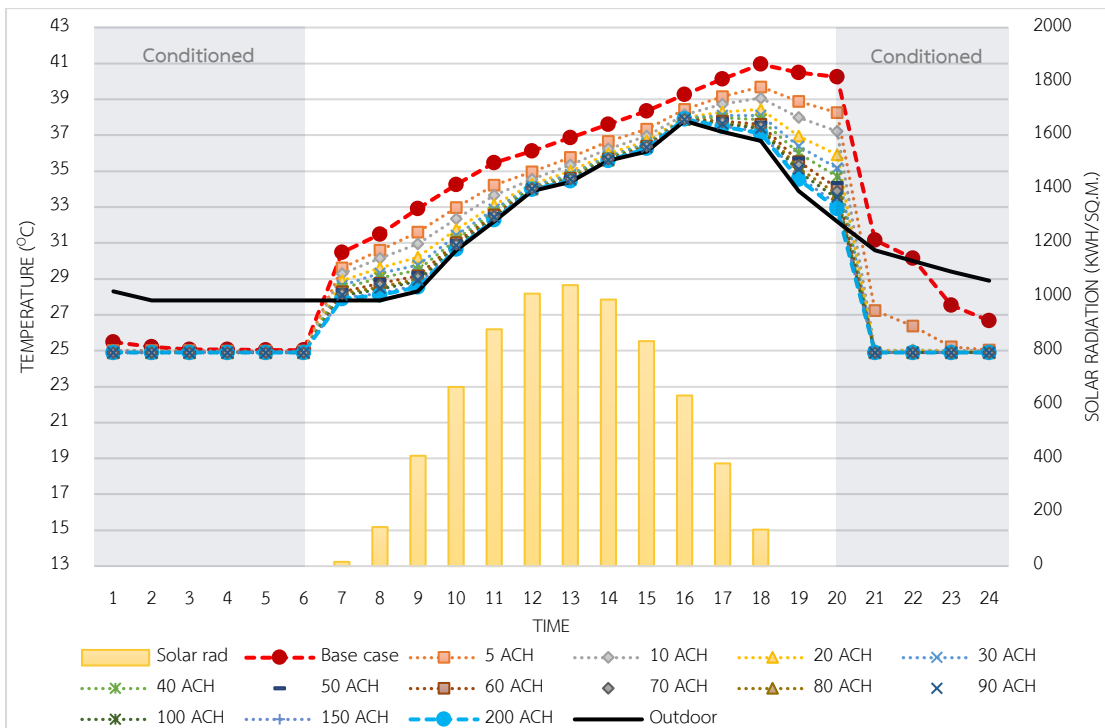
อัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้การใช้พลังงานในการทำความเย็นลดลงในรูปแบบ Logarithmic Trendline สมการ  $Y = -104.6 \ln(X) + 3681.5$  ค่า  $R^2 = 0.913$



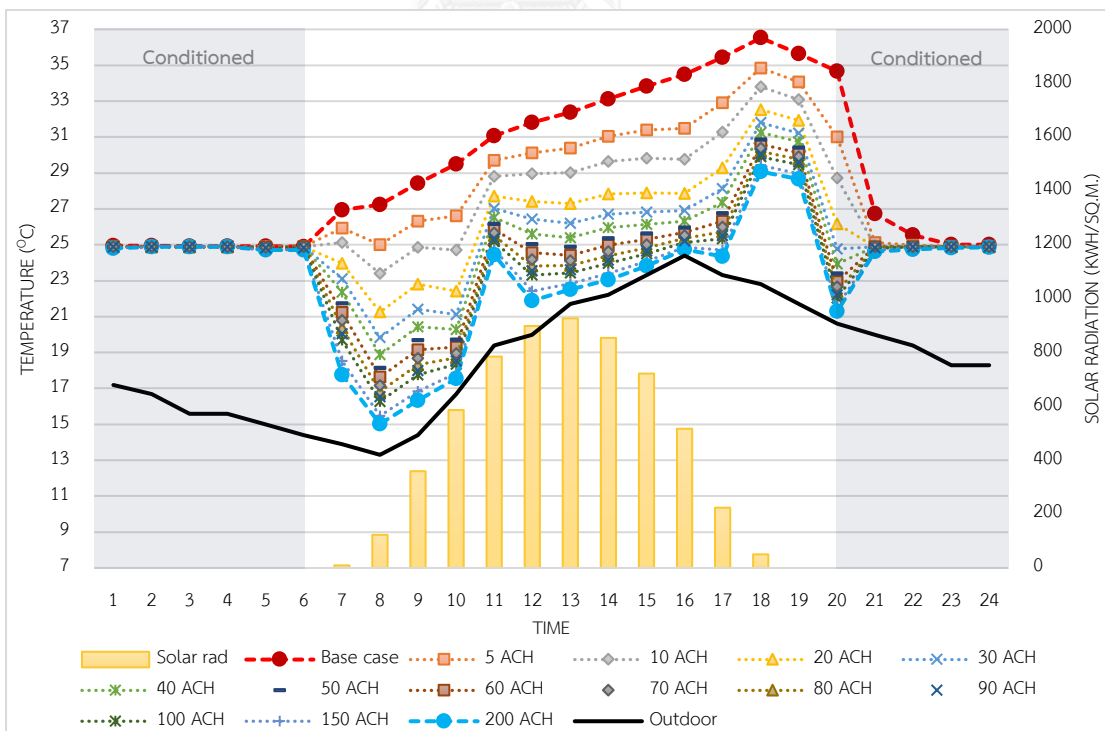
แผนภูมิที่ 4.25 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของห้องพักต่อปี เมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอาคารรายชั่วโมงของวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของปี (แผนภูมิที่ 4.26 และแผนภูมิที่ 4.27) ตามข้อมูลสภาพอากาศ bkk99 (\*.bin) วันที่ 7 มีนาคมเป็นวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด และวันที่ 25 ธันวาคมเป็นวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในห้องพักมีการปรับตัวลดลงตามอัตราการรั่วซึมอากาศของห้องพักที่เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ส่งผลให้เวลาในการทำความเย็นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอ้างอิง (Base case) แสดงให้เห็นว่า การระบายอากาศในช่วงเวลากลางวันนั้นสามารถช่วยลดความร้อนสะสมในโครงสร้างลง ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากเดิมที่ต้องใช้เวลาทำความเย็นให้กับโครงสร้างเมื่อไม่มีการระบายอากาศเลยลดลงตามไปด้วย

ในวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด Base case ใช้ระยะเวลาในการทำความเย็นจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด 7 ชม. ตั้งแต่ 20.01 น. จนถึง 03.00 น. รองลงคือกรณีที่มีการระบายอากาศ 5 ACH ใช้ระยะเวลา 4 ชม. ตั้งแต่ 20.01 น. ถึง 0.00 น. และกรณีที่มีการระบายอากาศสูงกว่า 5 ACH ทุกกรณีใช้ระยะเวลาในการทำความเย็นเพียง 1 ชม.



แผนภูมิที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรายชั่วโมง  
ของวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรายชั่วโมง  
ของวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี

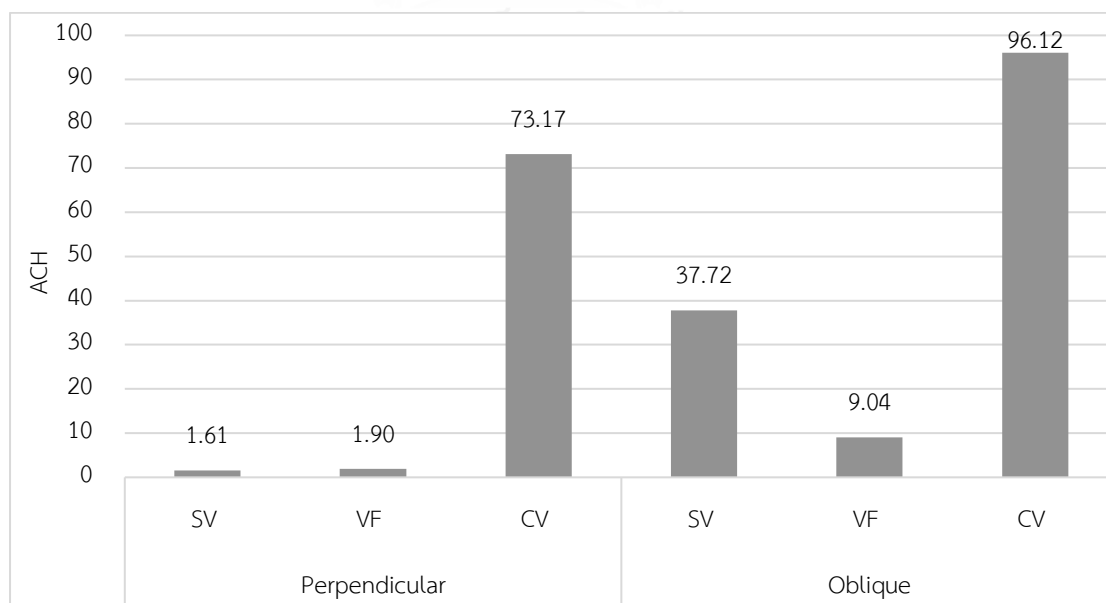
ส่วนวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดของปี (แผนภูมิที่ 4.27) กรณีที่มีอัตราการรั่วซึมอากาศ 0.2 ACH (Base case) ใช้ระยะเวลาในการปรับอากาศให้เท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด 3 ชม. เริ่มตั้งแต่ 20.01 น. ถึง 23.00 น. รองลงมาคือ 5 ACH ใช้เวลา 2 ชม. จากเวลา 20.01 น. ถึง 22.00 น. และกรณีที่มีการระบายอากาศสูงขึ้นกว่า 5 ACH ทุกกรณีใช้ระยะเวลาในการปรับอากาศ 1 ชม.

#### 4.8 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบ

เมื่อพิจารณาอัตราการระบายอากาศที่ได้จากการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล 54 กรณี ของอาคาร SV (Single sided ventilation), อาคาร VF (Vertical fin) และอาคาร CV (Cross ventilation) เกล็ดระบายอากาศ 9 รูปแบบ กับทิศทางลมภายนอก 2 ทิศทาง เมื่อนำผลที่ได้มาเทียบกับค่าความต้องการอากาศภายนอกของพื้นที่พักอาศัย เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ไว้ตามตาราง 4.26

ตารางที่ 4.26 มาตรฐานปริมาณความต้องการอากาศภายนอกสำหรับอาคารพักอาศัย

มาตรฐาน	ปริมาณความต้องการอากาศภายนอก
1. ASHRAE standard 62-2001	0.35 ACH แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน
2. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย	
3. CIBSE guide 2005	0.5 – 1 ACH
4. National building code of India 2005	2 – 4 ACH



แผนภูมิที่ 4.28 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดของอาคารแต่ละแบบ ทิศทางลม 2 ทิศทาง

จากแผนภูมิ 4.28 แสดงอัตราการระบายอากาศต่ำสุดของอาคารแต่ละแบบจะเห็นได้ว่าอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ได้จากการจำลองช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่มีค่า 1.61 ACH สูงกว่ามาตรฐานปริมาณความต้องการอากาศภายนอกของ ASHRAE, CIBSE และสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยที่กำหนดไว้ 0.35 ACH แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (2 คน) คิดเป็น 0.36 ACH ส่วนมาตรฐาน National building code of India ที่กำหนดปริมาณความต้องการอากาศภายนอกไว้ 2 - 4 ACH แสดงว่ามีบางกรณีสำหรับอาคาร SV และ VF ที่อัตราการระบายอากาศต่ำกว่ามาตรฐานจึงต้องมาพิจารณาการเลือกรูปแบบเกล็ดระบายอากาศเพิ่มเติม

นอกจากการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้แล้ว ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จะนำเสนอการระบายอากาศเพื่อระบายความร้อนสะสมจากโครงสร้าง ซึ่งส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลง นำผลการศึกษามาจัดลำดับรูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด (ตาราง 2.6 และ 2.8) วิเคราะห์ร่วมกับการใช้พลังงานในการทำความเย็นที่ลดลงจากกรณีอ้างอิง (Base case) 3,797 kWh/year/unit แบ่งเป็นทิศทางลมตั้งฉาก (ตาราง 2.7) และทิศทางลมทำมุม (ตาราง 2.9)

#### 4.8.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก (ตาราง 4.26 และตาราง 4.27)

- อาคาร CV การระบายอากาศแบบ Cross ventilation องศาเกล็ดระบายอากาศส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศมากกว่าความกว้างของช่องเปิด เนื่องจากอัตราการระบายอากาศสูงสุดของระดับความสูงเกิดขึ้นที่เกล็ดระบายอากาศแบบ ac คือเกล็ดระบายอากาศด้านบนทำมุม 45° (แบบ c) ด้านล่างทำมุม -45° (แบบ a) ในทางกลับกันหากเกล็ดระบายอากาศด้านบนเป็นแบบ a และด้านล่างเป็นแบบ c จะส่งผลให้อัตราการระบายอากาศลดลง 65.47 ACH – 136.16 ACH

- อาคาร SV และอาคาร VF ความกว้างของช่องเปิดส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศมากกว่าองศาของบานเกล็ด เนื่องจากช่องเปิดที่มีเกล็ดระบายอากาศแบบ b (90°) free area สูงสุดส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นตาม

- อาคาร VF ที่มีครีบนั่งทางตั้งเป็นส่วนประกอบสามารถช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้บางกรณี เช่น เกล็ดระบายอากาศ SV\_ac อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นสูงสุด 5.08 ACH

- รูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่ดีที่สุดสำหรับอาคารแบบ Cross ventilation คือ CV\_ca ช่วยลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นได้ 640.11 – 697.88 kWh/year/unit ส่วนอาคารแบบ Single sided ventilation จะเป็น SV\_bb (ชั้น 15 และ 20), VF\_bb (ชั้น 5, ชั้น 10 และ ชั้น 25) และ SV\_ba ที่ชั้น 30 ช่วยลดการใช้พลังงานได้ระหว่าง 281.83 – 677.46 kWh/year/unit



ตารางที่ 4.27 ลำดับอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก

ลำดับอัตราการระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก (ACH)					
5F	10F	15F	20F	25F	30F
CV_ca 157.04	CV_ca 150.71	CV_ca 154.40	CV_ca 138.76	CV_ca 165.59	CV_ca 261.83
CV_bc 125.07	CV_bc 130.44	CV_bc 146.63	CV_bc 126.28	CV_bb 122.05	CV_bc 222.44
CV_bb 121.75	CV_bb 118.43	CV_bb 141.43	CV_bb 118.02	CV_ba 112.61	SV_ba 215.40
CV_cc 117.34	CV_ba 117.75	CV_cc 140.47	CV_cc 115.77	CV_bc 109.30	SV_bc 192.18
CV_cb 115.21	CV_cb 111.61	CV_ba 129.52	CV_ba 114.79	CV_cb 106.18	CV_bb 158.30
CV_ba 114.28	CV_cc 94.83	CV_cb 114.69	CV_cb 113.99	CV_cc 92.28	CV_ab 150.48
CV_ab 90.23	CV_ab 89.20	CV_ab 88.70	CV_ab 84.70	CV_ab 90.69	CV_ba 137.94
CV_aa 78.25	CV_aa 80.59	CV_aa 84.78	CV_ac 73.29	CV_aa 77.07	SV_ab 134.54
CV_ac 76.61	CV_ac 77.08	CV_ac 82.86	CV_aa 73.17	CV_ac 74.70	SV_bb 133.49
VF_bb 15.83	VF_bb 22.69	SV_bb 18.51	SV_bb 4.90	VF_bb 27.03	CV_cb 127.79
SV_bb 14.08	SV_bb 22.65	VF_bb 18.30	VF_bb 4.52	SV_bb 26.63	CV_ac 125.67
SV_bc 12.60	SV_bc 19.37	SV_cb 16.67	SV_bc 4.50	VF_bc 22.76	CV_aa 123.35
VF_cb 12.49	SV_ba 19.24	VF_bc 15.36	SV_ba 4.01	SV_ab 22.32	CV_cc 121.43
VF_bc 12.47	SV_cb 18.15	VF_cb 15.10	SV_cb 3.49	VF_ab 22.28	VF_bb 117.30
VF_ba 12.13	VF_bc 17.72	SV_bc 14.96	VF_ba 3.35	VF_cb 21.90	SV_cb 113.40
VF_ab 11.71	VF_ba 17.14	SV_ba 14.62	VF_bc 2.92	SV_cb 21.02	VF_ab 113.12
SV_ba 11.12	VF_cb 15.44	VF_ba 14.59	SV_ab 2.91	SV_bc 19.18	VF_bc 110.76
SV_cb 10.81	VF_ab 15.18	VF_ab 13.76	VF_ab 2.88	VF_ba 18.35	SV_ac 105.90
SV_ab 10.25	SV_ab 14.59	SV_ab 12.73	SV_ca 2.73	VF_cc 18.34	SV_aa 104.46
VF_cc 9.73	SV_cc 14.29	VF_ca 11.34	VF_cb 2.60	VF_ac 18.13	VF_aa 102.59
VF_ca 9.43	SV_ca 12.25	SV_cc 10.95	SV_cc 2.47	SV_ba 17.68	VF_ba 92.29
SV_cc 9.31	VF_cc 12.03	VF_cc 10.91	SV_aa 2.34	SV_cc 16.38	SV_cc 89.78
VF_ac 8.80	VF_ca 11.92	SV_ca 10.43	VF_ac 2.29	SV_aa 16.27	VF_cb 82.88
VF_aa 8.70	SV_aa 11.46	VF_ac 10.24	VF_aa 2.10	VF_ca 15.99	VF_ac 82.57
SV_ca 8.17	VF_ac 11.00	SV_aa 9.85	VF_ca 1.99	SV_ca 13.94	SV_ca 75.09
SV_aa 7.34	VF_aa 10.52	VF_aa 9.29	VF_cc 1.90	VF_aa 13.82	VF_ca 70.92
SV_ac 4.57	SV_ac 5.91	SV_ac 5.52	SV_ac 1.61	SV_ac 13.49	VF_cc 66.98

ตารางที่ 4.28 การใช้พลังงานในการทำความเย็นของเกลือระบายอากาศแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก

ลำดับอัตราการระบายอากาศกับการใช้พลังงานที่ลดลง											
เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก (kWh/year/unit)											
5F		10F		15F		20F		25F		30F	
CV_ca	644.41	CV_ca	640.11	CV_ca	642.64	CV_ca	631.47	CV_ca	649.96	CV_ca	697.88
CV_bc	620.60	CV_bc	625.00	CV_bc	637.24	CV_bc	621.61	CV_bb	618.04	CV_bc	680.83
CV_bb	617.79	CV_bb	614.89	CV_bb	633.46	CV_bb	614.53	CV_ba	609.62	SV_ba	677.46
CV_cc	613.93	CV_ba	614.29	CV_cc	632.75	CV_cc	612.52	CV_bc	606.50	SV_bc	665.53
CV_cb	612.01	CV_cb	608.69	CV_ba	624.26	CV_ba	611.63	CV_cb	603.47	CV_bb	645.25
CV_ba	611.16	CV_cc	591.65	CV_cb	611.54	CV_cb	610.90	CV_cc	588.80	CV_ab	639.95
CV_ab	586.45	CV_ab	585.25	CV_ab	584.66	CV_ab	579.83	CV_ab	586.98	CV_ba	630.85
CV_aa	571.55	CV_aa	574.63	CV_aa	579.93	CV_ac	564.70	CV_aa	569.96	SV_ab	628.24
CV_ac	569.33	CV_ac	569.97	CV_ac	577.53	CV_aa	564.53	CV_ac	566.69	SV_bb	627.42
VF_bb	404.38	VF_bb	442.07	SV_bb	420.76	SV_bb	281.83	VF_bb	460.35	CV_cb	622.85
SV_bb	392.14	SV_bb	441.89	VF_bb	419.56	VF_bb	273.25	SV_bb	458.78	CV_ac	621.10
SV_bc	380.52	SV_bc	425.48	SV_cb	409.81	SV_bc	272.76	VF_bc	442.89	CV_aa	619.15
VF_cb	379.58	SV_ba	424.81	VF_bc	401.24	SV_ba	260.79	SV_ab	440.34	CV_cc	617.51
VF_bc	379.46	SV_cb	418.69	VF_cb	399.46	SV_cb	246.37	VF_ab	440.14	VF_bb	613.89
VF_ba	376.53	VF_bc	416.18	SV_bc	398.49	VF_ba	241.81	VF_cb	438.37	SV_cb	610.35
VF_ab	372.82	VF_ba	412.69	SV_ba	396.07	VF_bc	227.43	SV_cb	434.03	VF_ab	610.09
SV_ba	367.46	VF_cb	401.79	VF_ba	395.83	SV_ab	227.19	SV_bc	424.47	VF_bc	607.89
SV_cb	364.46	VF_ab	399.99	VF_ab	389.74	VF_ab	226.07	VF_ba	419.84	SV_ac	603.20
SV_ab	358.97	SV_ab	395.88	SV_ab	381.61	SV_ca	220.46	VF_cc	419.81	SV_aa	601.77
VF_cc	353.50	SV_cc	393.67	VF_ca	369.47	VF_cb	215.36	VF_ac	418.60	VF_aa	599.88
VF_ca	350.18	SV_ca	377.54	SV_cc	365.88	SV_cc	210.09	SV_ba	415.93	VF_ba	588.81
SV_cc	348.90	VF_cc	375.64	VF_cc	365.42	SV_aa	204.31	SV_cc	407.99	SV_cc	585.92
VF_ac	342.94	VF_ca	374.71	SV_ca	360.77	VF_ac	202.05	SV_aa	407.25	VF_cb	577.56
VF_aa	341.73	SV_aa	370.60	VF_ac	358.86	VF_aa	193.15	VF_ca	405.45	VF_ac	577.16
SV_ca	335.20	VF_ac	366.27	SV_aa	354.78	VF_ca	187.53	SV_ca	391.08	SV_ca	567.23
SV_aa	323.99	VF_aa	361.62	VF_aa	348.61	VF_cc	182.51	VF_aa	390.16	VF_ca	561.25
SV_ac	274.53	SV_ac	301.42	SV_ac	294.25	SV_ac	165.20	SV_ac	387.70	VF_cc	555.27

ตารางที่ 4.29 ลำดับอัตราการระบายอากาศของเกล็ดแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม

ลำดับอัตราการระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม (ACH)											
5F	10F	15F	20F	25F	30F						
CV_bb	172.46	CV_bb	181.46	CV_bb	168.84	CV_bc	153.19	CV_bb	160.34	CV_bb	231.37
CV_bc	154.26	CV_aa	167.42	CV_bc	144.82	CV_bb	146.15	CV_bc	143.63	CV_aa	180.53
CV_cc	135.40	CV_bc	150.03	CV_aa	142.30	CV_cb	140.59	CV_cb	135.90	CV_bc	177.55
CV_ba	135.20	CV_cc	131.48	CV_cc	137.02	CV_aa	136.89	CV_aa	134.66	SV_bb	177.08
CV_cb	126.34	CV_ba	127.99	CV_cb	128.09	CV_cc	130.77	CV_ba	126.95	SV_ba	175.49
CV_ca	124.53	CV_cb	121.74	CV_ba	127.75	CV_ba	125.78	SV_bb	116.54	SV_bc	161.32
CV_aa	120.23	CV_ca	117.76	CV_ca	127.54	CV_ca	122.62	CV_cc	116.14	CV_cb	159.89
CV_ac	110.66	CV_ab	112.17	CV_ab	121.88	CV_ab	114.49	CV_ca	102.83	CV_ba	156.35
CV_ab	108.76	CV_ac	108.27	CV_ac	112.14	CV_ac	100.87	CV_ab	96.12	CV_ab	150.49
SV_bb	103.76	SV_bb	93.37	SV_bb	92.32	SV_bb	94.82	CV_ac	88.27	SV_ab	136.02
SV_ba	89.45	SV_bc	85.33	SV_bc	83.58	SV_ba	89.47	SV_bc	85.63	CV_ca	128.40
SV_bc	76.50	SV_cb	75.66	SV_ba	71.56	SV_bc	81.15	SV_ba	82.11	CV_cc	126.37
SV_cb	72.53	SV_ba	74.56	SV_cb	71.24	SV_cb	73.05	SV_cb	78.87	SV_cb	119.65
SV_ac	66.28	SV_ac	65.41	SV_cc	61.81	SV_ac	64.81	SV_ac	71.26	VF_ba	116.39
SV_ab	63.85	SV_cc	65.09	SV_ac	59.98	SV_ab	63.03	SV_ab	64.50	SV_ac	113.80
SV_cc	60.73	SV_ab	60.98	SV_ab	57.86	SV_cc	59.85	SV_cc	63.48	CV_ac	107.17
SV_aa	40.78	SV_aa	40.09	SV_ca	43.08	SV_ca	42.10	SV_aa	45.48	VF_bb	98.49
SV_ca	40.69	SV_ca	37.72	SV_aa	39.52	SV_aa	41.06	SV_ca	42.93	SV_ca	92.49
VF_bb	26.89	VF_bb	21.32	VF_bb	20.46	VF_bb	19.52	VF_bb	26.34	VF_ab	91.22
VF_ba	24.92	VF_ba	18.32	VF_ba	17.60	VF_ba	18.85	VF_ab	24.02	VF_cb	77.01
VF_ab	22.70	VF_bc	17.19	VF_cb	17.28	VF_bc	18.18	VF_bc	23.40	SV_cc	74.83
VF_bc	21.99	VF_ab	16.52	VF_cc	13.92	VF_cb	15.97	VF_ba	22.37	VF_ac	69.10
VF_cb	21.85	VF_cb	14.68	VF_ab	13.77	VF_ab	15.71	VF_cb	21.05	SV_aa	67.97
VF_aa	15.45	VF_ac	11.89	VF_ca	13.62	VF_ac	14.41	VF_cc	19.85	VF_bc	65.21
VF_ca	13.78	VF_aa	11.49	VF_bc	13.21	VF_cc	14.17	VF_aa	19.68	VF_aa	54.03
VF_cc	13.19	VF_cc	10.60	VF_ac	11.71	VF_ca	12.45	VF_ca	18.99	VF_ca	49.55
VF_ac	13.08	VF_ca	9.04	VF_aa	10.89	VF_aa	11.92	VF_ac	18.20	VF_cc	48.31

ตารางที่ 4.30 การใช้พลังงานในการทำความเย็นของเกลือระบายอากาศแต่ละแบบ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม

ลำดับอัตราการระบายอากาศกับการใช้พลังงานที่ลดลง											
เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉาก (kWh/year/unit)											
5F		10F		15F		20F		25F		30F	
CV_bb	654.21	CV_bb	659.53	CV_bb	651.99	CV_bc	641.81	CV_bb	646.59	CV_bb	684.94
CV_bc	642.54	CV_aa	651.10	CV_bc	635.94	CV_bb	636.89	CV_bc	635.07	CV_aa	658.99
CV_cc	628.90	CV_bc	639.63	CV_aa	634.10	CV_cb	632.84	CV_cb	629.28	CV_bc	657.25
CV_ba	628.75	CV_cc	625.83	CV_cc	630.15	CV_aa	630.05	CV_aa	628.33	SV_bb	656.97
CV_cb	621.66	CV_ba	623.01	CV_cb	623.10	CV_cc	625.26	CV_ba	622.16	SV_ba	656.03
CV_ca	620.15	CV_cb	617.78	CV_ba	622.82	CV_ba	621.19	SV_bb	613.21	SV_bc	647.22
CV_aa	616.47	CV_ca	614.30	CV_ca	622.65	CV_ca	618.53	CV_cc	612.85	CV_cb	646.29
CV_ac	607.80	CV_ab	609.21	CV_ab	617.90	CV_ab	611.35	CV_ca	600.12	CV_ba	643.95
CV_ab	605.98	CV_ac	605.51	CV_ac	609.19	CV_ac	598.11	CV_ab	593.06	CV_ab	639.95
SV_bb	601.06	SV_bb	590.03	SV_bb	588.84	SV_bb	591.64	CV_ac	584.15	SV_ab	629.38
SV_ba	585.53	SV_bc	580.61	SV_bc	578.44	SV_ba	585.56	SV_bc	580.97	CV_ca	623.35
SV_bc	569.18	SV_cb	568.02	SV_ba	562.19	SV_bc	575.36	SV_ba	576.59	CV_cc	621.68
SV_cb	563.61	SV_ba	566.49	SV_cb	561.73	SV_cb	564.36	SV_cb	572.37	SV_cb	615.97
SV_ac	554.17	SV_ac	552.80	SV_cc	546.88	SV_ac	551.83	SV_ac	561.75	VF_ba	613.08
SV_ab	550.28	SV_cc	552.29	SV_ac	543.73	SV_ab	548.93	SV_ab	551.34	SV_ac	610.72
SV_cc	545.03	SV_ab	545.46	SV_ab	539.97	SV_cc	543.50	SV_cc	549.67	CV_ac	604.44
SV_aa	503.37	SV_aa	501.60	SV_ca	509.11	SV_ca	506.72	SV_aa	514.78	VF_bb	595.61
SV_ca	503.15	SV_ca	495.23	SV_aa	500.10	SV_aa	504.10	SV_ca	508.76	SV_ca	589.04
VF_bb	459.82	VF_bb	435.55	VF_bb	431.24	VF_bb	426.31	VF_bb	457.68	VF_ab	587.59
VF_ba	451.86	VF_ba	419.68	VF_ba	415.48	VF_ba	422.66	VF_ab	448.01	VF_cb	569.88
VF_ab	442.12	VF_bc	413.02	VF_cb	413.54	VF_bc	418.87	VF_bc	445.29	SV_cc	566.87
VF_bc	438.78	VF_ab	408.83	VF_cc	390.95	VF_cb	403.32	VF_ba	440.57	VF_ac	558.54
VF_cb	438.09	VF_cb	396.51	VF_ab	389.84	VF_ab	403.63	VF_cb	434.19	SV_aa	556.82
VF_aa	401.87	VF_ac	374.47	VF_ca	388.67	VF_ac	394.55	VF_cc	428.07	VF_bc	552.48
VF_ca	389.89	VF_aa	370.87	VF_bc	385.47	VF_cc	392.81	VF_aa	427.19	VF_aa	532.80
VF_cc	385.34	VF_cc	362.45	VF_ac	372.87	VF_ca	379.27	VF_ca	423.43	VF_ca	523.75
VF_ac	384.43	VF_ca	345.79	VF_aa	365.24	VF_aa	374.69	VF_ac	418.99	VF_cc	521.10

#### 4.8.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ เมื่อลมปะทะอาคารในทิศทางทำมุม (ตาราง 4.28 และตาราง 4.29)

- ความกว้างของช่องเปิดส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศมากกว่าองศาของบานเกล็ดทั้ง 3 อาคาร เนื่องจากช่องเปิดที่มีเกล็ดระบายอากาศแบบ b ( $90^\circ$ ) free area สูงสุดส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นตาม
- อาคารรูปแบบ CV (Cross ventilation) ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด รองลงมาคืออาคาร SV (Single sided ventilation) และอาคาร VF (Vertical fin) ด้วยเกล็ดระบายอากาศแบบ b ( $90^\circ$ ) ทั้งบนและล่าง หรือเป็นเกล็ดระบายอากาศแบบ b เฉพาะด้านบน
- อาคาร VF ที่มีครีบนั่งทางตั้งเป็นส่วนประกอบส่งผลให้อัตราการระบายอากาศลดลงจากอาคารรูปแบบ SV ที่ไม่มีครีบนั่งทางตั้งเป็นส่วนประกอบเฉลี่ย 50.57 ACH
- รูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่ดีที่สุดสำหรับอาคารแบบ Cross ventilation คือ CV\_bb และ CV\_bc ช่วยลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นได้ 641.81 – 684.94 kWh/year/unit ส่วนอาคารแบบ Single sided ventilation จะเป็น SV\_bb ช่วยลดการใช้พลังงานได้ระหว่าง 590.03 – 657.97 kWh/year/unit

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ สำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วมที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว โดยวิธีการจำลองด้วยอาคารโปรแกรมคอมพิวเตอร์ศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิด และความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับอุณหภูมิภายในห้องพักที่ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็น และจากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่า

- การออกแบบหน้าต่างบานเกล็ดสองบานแยกกันส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงกว่าหน้าต่างบานใหญ่บานเดียวในขนาดพื้นที่เท่ากัน
- การติดตั้งครีบนั่งทางตั้งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดบนผนังฝั่งเดียวกัน เมื่อมีความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างช่องเปิดทั้งสอง
- การเลือกช่องเปิดรูปแบบแบบบานเกล็ดปรับมุม (Angle adjustable slats) ใช้ร่วมกับ Slat controller และการติดยางกันซึมที่บานเกล็ดแต่ละแผ่น เป็นรูปแบบทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดอัตราการรั่วซึมอากาศที่ต่ำและประหยัดพลังงาน
- การทำมุมของบานเกล็ด เมื่อองศาเกล็ดเข้าใกล้  $90^{\circ}$  ลมที่เข้ามาจะมีความเร็วสูง ส่วนบานเกล็ดที่ทำมุม  $45^{\circ}$  กับช่องเปิดส่งผลให้มีการผสมผสานกันของอากาศรวดเร็วกว่า สามารถช่วยลดความเร็วลมลงได้ในสภาพแวดล้อมที่ลมแรงเกินสภาวะน่าสบาย
- การพัฒนาช่องเปิดระบายอากาศในอาคารสูงเขตร้อนชื้นรูปแบบ Monsoon window ที่สามารถระบายอากาศได้ตรงลงมาจากหน้าต่างบานหลัก

จากข้อมูลเบื้องต้นนำมากำหนดตำแหน่งช่องเปิดสำหรับช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยเลือกใช้ช่องเปิดที่สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ทั้งการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติและการปรับสภาวะอากาศเชิงกลสามารถควบคุมทิศทางลมได้อย่างบานเกล็ด มาประยุกต์ใช้ร่วมกับหน้าต่าง Monsoon window โดยมีลักษณะดังนี้

- ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่ลักษณะของช่องลมด้านล่างเป็นแนวระนาบและด้านบนเป็นแนวตั้ง เพื่อความแตกต่างกันของความกดอากาศ
- การทำมุมของบานเกล็ดด้านบนและด้านล่างแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ  $-45^{\circ}$  (a),  $90^{\circ}$  (b) และ  $45^{\circ}$  (c) เมื่อนำมาจับคู่ให้ช่องเปิดบนเป็น a (aa, ab, ac) ช่องเปิดบนเป็น b (bb, ba, bc) และช่องเปิดบนเป็น c (cc, ca, cb) คิดเป็น 9 รูปแบบ

- การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบจากอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วมที่มีช่องเปิดติดกับภายนอกเพียงด้านเดียว (SV) เพิ่มครีบนั่งทางตั้งด้านข้างขนาด 1.50 เมตร (VF) และการเพิ่มช่องเปิดสู่โถงทางเดินกลาง (CV) ขนาด  $0.60 \times 1.50$  เมตร เท่ากันกับช่องเปิดที่ปลายโถงทางเดินทั้ง 2 ด้าน

ทำการจำลองรูปแบบเกล็ดระบายอากาศหาอัตราการระบายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล CFD ของอาคารขนาด  $17.50 \times 78.00$  เมตร ความสูง 30 ชั้น พิจารณาที่ห้องพักกลางอาคาร นำค่าอัตราการระบายอากาศที่ได้มากำหนดเป็นอัตราการรั่วซึมอากาศภายนอกตั้งแต่เวลา 6.01 น. ถึง 20.00 น. แล้วจำลองหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

## 5.1 ประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

### 5.1.1 ทิศทางลมตั้งฉาก

- **อาคาร 1 (SV)** พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากจะเกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงบริเวณชั้น 20 ลมจะเริ่มต้นพัดลงที่ชั้น 20 และพัดขึ้นที่ชั้น 25 ดังนั้น ตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 20 ลมจะพัดเข้าทางช่องเปิดด้านบนออกทางช่องเปิดด้านล่าง และชั้น 25 ถึงชั้น 30 จะพัดเข้าทางช่องเปิดด้านล่างออกทางช่องเปิดด้านบน อัตราการระบายอากาศจะต่ำสุดที่ชั้น 20 ระหว่าง 1.61-4.90 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 75.06-215.40 ACH

โดยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ที่บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 25 และเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ ba ที่ช่องเปิดด้านบนทำมุม  $90^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $-45^\circ$  เป็นรูปแบบที่มีอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30

- **อาคาร 2 (VF)** เมื่อมีการติดตั้งครีบนั่งทางตั้งด้านข้างช่องเปิดอัตราการระบายอากาศส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นที่ชั้น 5 กับชั้น 25 อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ระหว่าง 1.90-4.52 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 66.98-117.30 ACH โดยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ที่บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 30

- **อาคาร 3 (CV)** เมื่อเพิ่มช่องเปิดติดกับโถงทางเดิน อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนเฉลี่ย 12.06 เท่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 20 ถึงชั้น 25 ระหว่าง 73.17-138.76 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 121.43-261.83 ACH รูปแบบเกล็ดระบายอากาศ ca ที่เกล็ดระบายอากาศด้านบนทำมุม  $45^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $-45^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 30

### 5.1.2 ทิศทางลมทำมุม

- **อาคาร 1 (SV)** พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางทำมุมลมจะเข้าและออกจากช่องเปิดเดียวกันตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 20 ส่วนที่ชั้น 25 ถึงชั้น 30 ลมส่วนใหญ่จะพัดเข้าที่ช่องเปิดด้านล่างไปออกที่ช่องเปิดด้านบน อัตราการระบายอากาศจะต่ำสุดส่วนใหญ่เกิดที่ชั้น 15 ระหว่าง 37.72-92.32 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 67.97-177.08 ACH โดยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 30

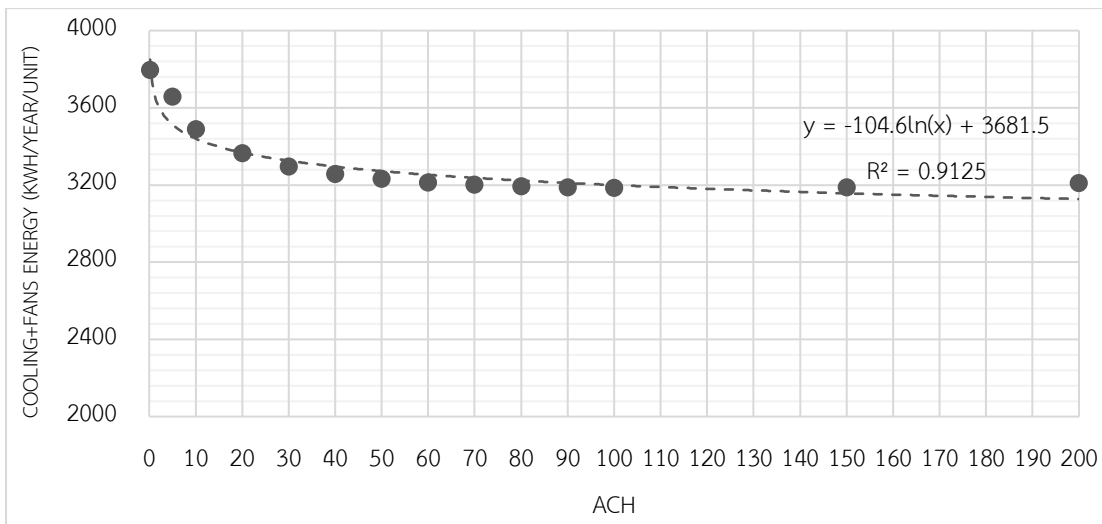
- **อาคาร 2 (VF)** เมื่อเพิ่มครีบนั่งทางตั้งด้านข้างช่องเปิดอัตราการระบายอากาศทุกรูปแบบลดลงเฉลี่ย 50.57 ACH อัตราการระบายอากาศต่ำสุดส่วนใหญ่เกิดที่ชั้น 10 ถึงชั้น 15 ระหว่าง 9.04-19.52 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 48.31-116.39 ACH ด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ที่บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดตั้งแต่ชั้น 5 จนถึงชั้น 25 และเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ ba ที่ช่องเปิดด้านบนทำมุม  $90^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $-45^\circ$  เป็นรูปแบบที่มีอัตราการระบายอากาศสูงสุดที่ชั้น 30

- **อาคาร 3 (CV)** เมื่อเพิ่มช่องเปิดติดกับโถงทางเดิน อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนเฉลี่ย 1.95 เท่า อัตราการระบายอากาศต่ำสุดส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ชั้น 20 ถึงชั้น 25 ระหว่าง 88.27-146.15 ACH และสูงสุดที่ชั้น 30 ระหว่าง 107.17-231.37 ACH ด้วยเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ b ที่บานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดเกือบทุกชั้น ยกเว้นที่ชั้น 20 เป็นเกล็ดระบายอากาศรูปแบบ bc ที่ช่องเปิดด้านบนทำมุม  $90^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $45^\circ$

## 5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับค่าการใช้พลังงาน และอุณหภูมิภายใน

จากการจำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศแต่ละแบบออกมาเป็นช่วงของอัตราการระบายอากาศที่จะนำมาใช้ในการจำลองค่าพลังงานในการทำความเย็นและวิเคราะห์อุณหภูมิภายในห้องพัก เมื่อมีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติผ่านห้องพักที่ยอมให้อากาศผ่านหรือมีการรั่วซึมอากาศตั้งแต่ 0.2 ACH (Base case), 5 ACH, 10 ACH, 20 ACH, 30 ACH, 40 ACH, 50 ACH, 60 ACH, 70 ACH, 80 ACH, 90 ACH, 100 ACH, 150 ACH จนถึง 200 ACH ช่วงเวลา 6.01-20.00 น. และเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 20.01-6.00 น. พบว่า สามารถลดค่าพลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุด 612 kWh/year/unit คิดเป็นร้อยละ 16.12 ของค่าการใช้พลังงานตั้งต้น 3,797 kWh/year/unit ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นจะลดลงในรูปแบบ Logarithmic Trendline สมการ  $Y = -104.6 \ln(X) + 3681.5$  ค่า  $R^2 = 0.913$





แผนภูมิที่ 5.1 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของห้องพักต่อปี  
เมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศภายในห้องพักตามข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการจำลอง (bkk99) วันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (7 มีนาคม) Base case ใช้ระยะเวลาในการทำความเย็นจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด 7 ชม. รองลงคือกรณีที่มีการระบายอากาศ 5 ACH ใช้ระยะเวลา 4 ชม. และกรณีที่มีการระบายอากาศสูงขึ้นทุกกรณีใช้ระยะเวลาในการทำความเย็น 1 ชม. ส่วนวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด (25 ธันวาคม) ใช้ระยะเวลาในการปรับอากาศให้เท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด 3 ชม. รองลงมาคือ 5 ACH ใช้เวลา 2 ชม. และกรณีที่มีการระบายอากาศตั้งแต่ 10 ACH ขึ้นไปจะใช้ระยะเวลาในการปรับอากาศ 1 ชม. แสดงให้เห็นว่า การระบายอากาศในช่วงเวลากลางวันสามารถช่วยให้ความร้อนที่สะสมในโครงสร้างลงเทียบกับห้องที่แทบไม่เกิดการระบายอากาศ ส่งผลให้ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลงตามไปด้วย

### 5.3 แนวทางการออกแบบช่องเปิดรูปแบบเกลี๊ตระบายอากาศ

จากการศึกษาอัตราการระบายอากาศของอาคารพักอาศัยรวมความสูง 30 ชั้น โดยพิจารณาที่ความสูง 6 ระดับคือ ชั้น 5, ชั้น 10, ชั้น 15, ชั้น 20, ชั้น 25 และชั้น 30 ที่มีช่องเปิดเกลี๊ตระบายอากาศทำมุมแตกต่างกัน 9 รูปแบบ กับทิศทางลมภายนอก 2 ทิศทาง (ตั้งฉากและทำมุม) สามารถสรุปแนวทางในการออกแบบช่องเปิดรูปแบบเกลี๊ตระบายอากาศ สำหรับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วมแบ่งเป็น 5 ข้อ ดังนี้

### 5.3.1 ทิศทางลมภายนอก

เมื่อทิศทางลมภายนอกทำมุม  $45^\circ$  กับผนังอาคาร อัตราการระบายอากาศของเกล็ดระบายอากาศทุกรูปแบบจะเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 52 ACH ยกเว้นที่ชั้น 30 หากเกล็ดระบายอากาศทั้งบนล่างทำมุมแบบเดียวกัน  $45^\circ$  -  $45^\circ$  และทำมุมแตกต่างกันด้านบนทำมุม  $90^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $45^\circ$  -  $45^\circ$  อัตราการระบายอากาศจะลดลง แต่ก็ยังมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 119.90 ACH

### 5.3.2 ระดับความสูง

ปริมาตรของลมที่ความเร็วเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามระดับความสูงนั้น เมื่อปะทะกับอาคารในทิศทางตั้งฉากจะไหลลงที่ระดับความสูง  $1/3$  ถึง  $2/3$  ของตัวอาคารและไหลขึ้นที่ระดับความสูง  $1/3$  ของส่วนบนสุด ดังนั้น ส่วนกลางอาคารที่ชั้น 20 จะเป็นชั้นที่อัตราการระบายอากาศต่ำที่สุด 1.61-4.90 ACH ก่อนจะเพิ่มขึ้นที่ทิศทางการไหลลงเป็นอัตราส่วน 4 เท่าที่ชั้น 15, 5 เท่าชั้น 10 และ 3 เท่าที่ชั้น 5 ส่วนทิศทางการไหลขึ้น เมื่อระดับความสูงและความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงขึ้นเช่นกันคิดเป็น 6 เท่าที่ชั้น 25 และ 40 เท่าที่ชั้น 30 ซึ่งจะแตกต่างกับทิศทางลมทำมุมที่อัตราการระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.06 เท่าตั้งแต่ชั้น 5 ถึงชั้น 25 จากอัตราการระบายอากาศต่ำสุด 37.72-92.32 ACH ที่ชั้น 15 และเพิ่มขึ้น 1.84 เท่าที่ชั้น 30

### 5.3.3 องศาเกล็ดระบายอากาศ

ช่องเปิดบานเกล็ดที่มีค่า free area หรือพื้นที่เปิดของบานเกล็ดสูง อัตราการระบายอากาศก็จะสูงขึ้นตาม ดังนั้น รูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่องศาบานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ทั้งบนและล่าง จึงเป็นรูปแบบที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงสุดสำหรับทิศทางลมทำมุม ส่วนทิศทางลมตั้งฉากนั้นจะมีความแตกต่างที่ชั้น 30 บานเกล็ดด้านบนทำมุม  $90^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $-45^\circ$  หรือ  $45^\circ$  ช่วยให้อัตราการระบายอากาศสูงกว่าบานเกล็ดทำมุม  $90^\circ$  ทั้งบนและล่าง

### 5.3.4 การเพิ่มองค์ประกอบcribผนังแนวตั้ง

เมื่อทิศทางลมภายนอกตั้งฉากกับผนังอาคารอัตราการระบายอากาศส่วนใหญ่จะลดลง โดยเฉพาะที่ชั้น 30 แต่สามารถช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศสำหรับเกล็ดระบายอากาศที่ด้านบนทำมุม  $-45^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $45^\circ$  ซึ่งเป็นรูปแบบที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศได้ค่อนข้างต่ำสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้สูงสุด 5.08 ACH ส่วนทิศทางลมทำมุมนั้นอัตราการระบายอากาศลดลงในทุกกรณีเฉลี่ย 51 ACH ดังนั้น จึงควรหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางทิศทางลมจากทางด้านข้าง

### 5.3.5 การเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศสู่โถงทางเดินกลาง

อัตราการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 12 เท่าสำหรับทิศทางลมตั้งฉาก การทำมุมของบานเกล็ดส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศมากกว่าขนาดของพื้นที่ free area รูปแบบเกล็ดระบาย

อากาศที่บานเกล็ดด้านบนทำมุม  $45^\circ$  ด้านล่างทำมุม  $-45^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด 138.76-261.83 ACH ส่วนทิศทางลมทำมุมเมื่อเพิ่มช่องเปิดระบายอากาศสู่โถงทางเดินกลางอัตราการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2 เท่าตัว รูปแบบบานเกล็ดที่ทำมุม  $90^\circ$  เหมือนกันและด้านบน  $90^\circ$  ด้านล่าง  $45^\circ$  ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงสุด 153.19-231.37 ACH

### 5.3.6 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศ

จากการศึกษารูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุด หากพิจารณาเลือกใช้รูปแบบของบานเกล็ดที่เหมาะสมสำหรับลมจากทั้งสองทิศทางเพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด อัตราการระบายอากาศควรสูงกว่า 10 ACH ขึ้นไปเพื่อใช้ระยะเวลาในการทำความเย็นจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดต่ำสุด และค่าการใช้พลังงานจะลดลงสูงสุดเมื่ออัตราการระบายอากาศเท่ากับหรือใกล้เคียง 100 ACH สามารถสรุปรูปแบบเกล็ดระบายอากาศที่เหมาะสมได้ 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 รูปแบบอาคารอ้างอิงแล้วเลือกเกล็ดระบายอากาศที่ประสิทธิภาพดีที่สุด และแบบที่ 2 รูปแบบอาคารที่มีการเพิ่มช่องเปิดสู่โถงทางเดินกลางกับเกล็ดระบายอากาศที่อัตราการระบายอากาศใกล้เคียง 100 ACH ดังนี้

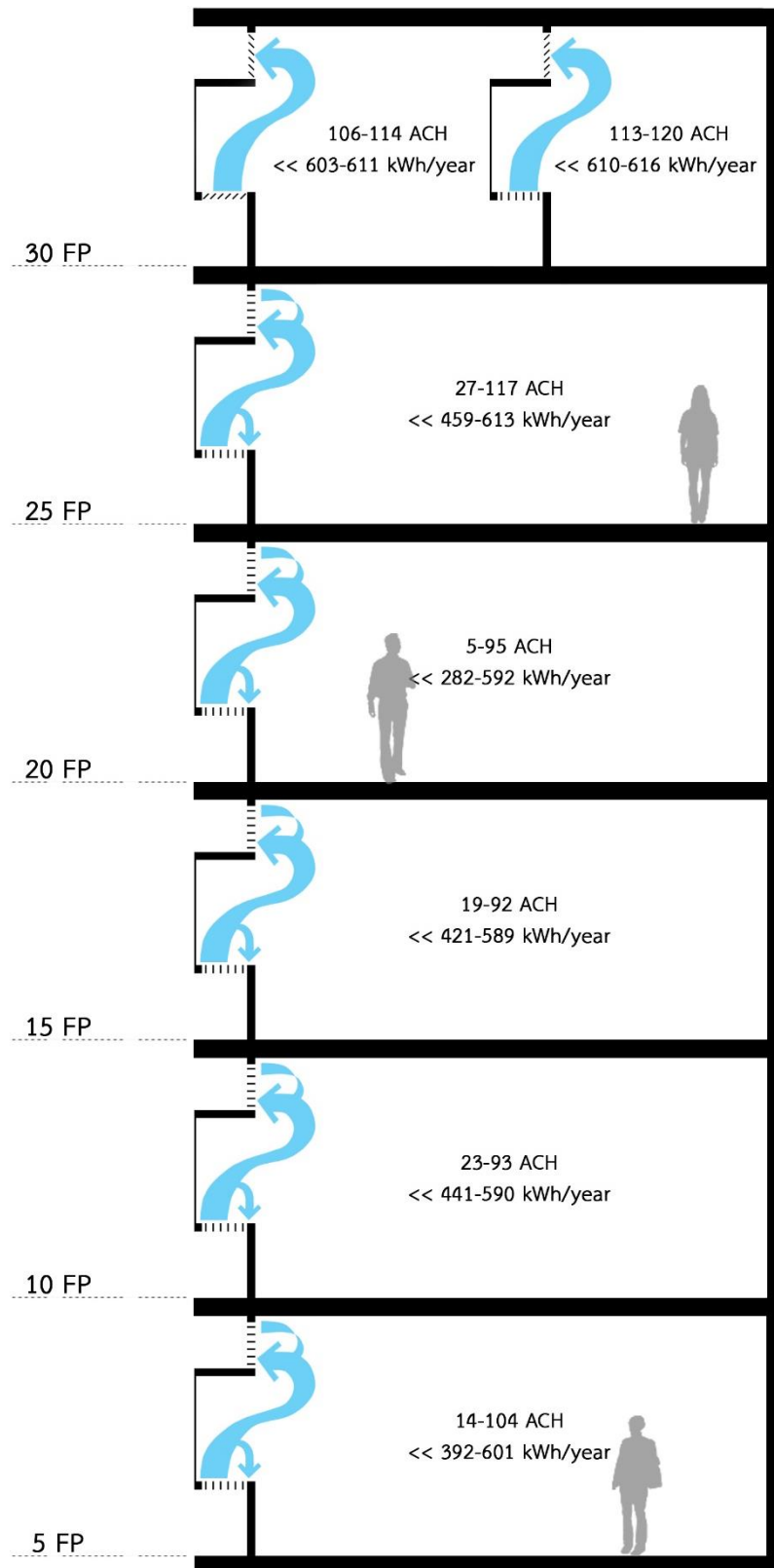
- **แบบที่ 1 (อาคารอ้างอิง)**

ชั้น 5 - ชั้น 25	:	bb	(บานเกล็ดทำมุม $90^\circ$ ทั้งบนและล่าง)
ชั้น 30	:	ac	(ด้านบนทำมุม $-45^\circ$ / ด้านล่างทำมุม $45^\circ$ )
		cb	(ด้านบนทำมุม $45^\circ$ / ด้านล่างทำมุม $90^\circ$ )

- **แบบที่ 2 (อาคารอ้างอิง + เพิ่มช่องเปิดระบายอากาศสู่โถงทางเดินกลาง)**

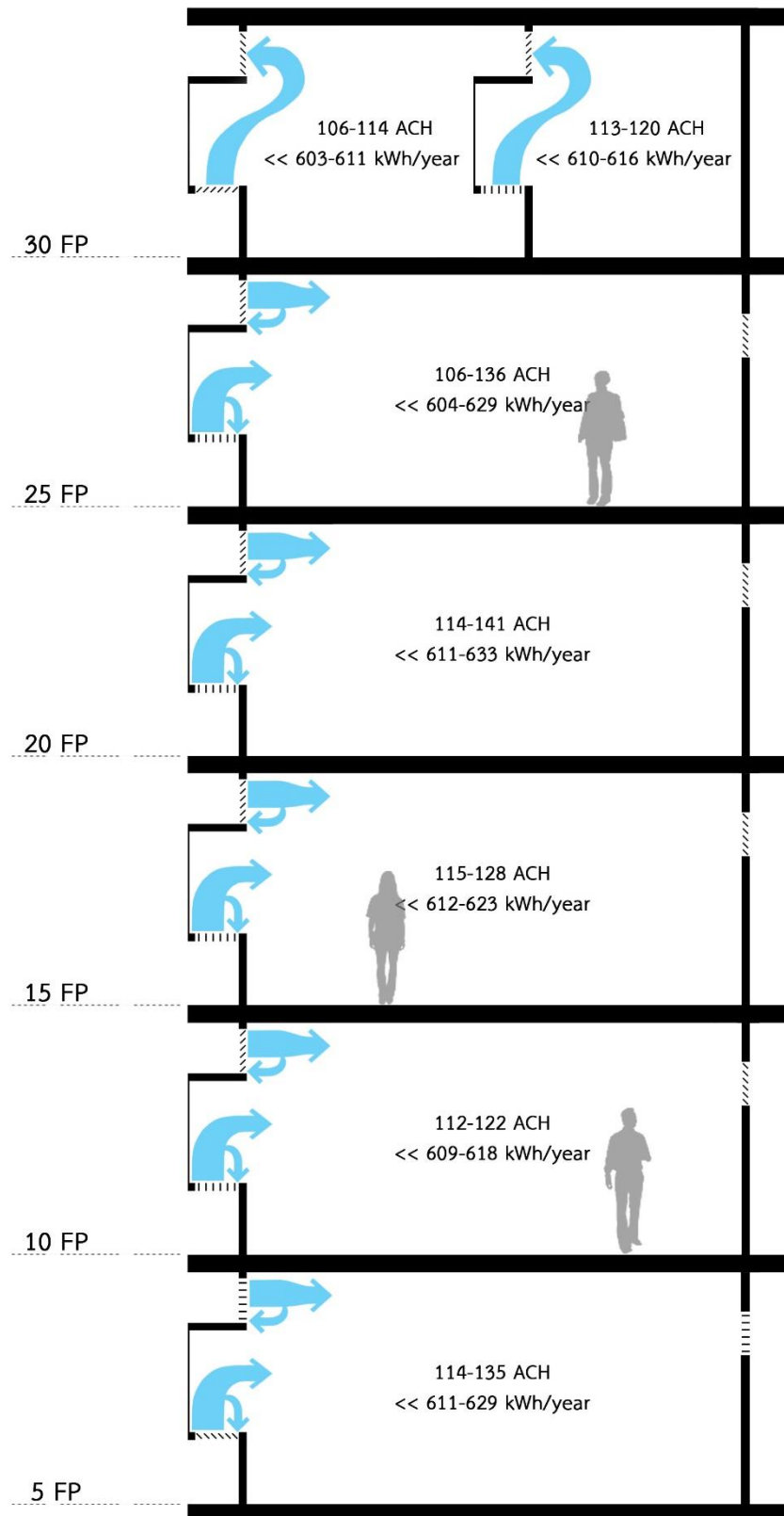
ชั้น 5	:	ba	(บานเกล็ดทำมุม $90^\circ$ / ด้านล่างทำมุม $-45^\circ$ )
ชั้น 10 - ชั้น 25	:	cb	(ด้านบนทำมุม $45^\circ$ / ด้านล่างทำมุม $90^\circ$ )
ชั้น 30	:		ไม่จำเป็นต้องเพิ่มช่องเปิดสู่โถงทางเดินกลาง

จากภาพที่ 5.1 และ 5.2 แสดงช่วงของอัตราการระบายอากาศเมื่อลมภายนอกปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากและทำมุม กับช่วงของพลังงานที่ลดลงเนื่องจากอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูง โดยการเลือกใช้เกล็ดระบายอากาศตามอาคารแบบที่ 1 สามารถประหยัดพลังงานเฉลี่ย 530 kWh/year/unit (เฉลี่ย 74 ACH) และอาคารแบบที่ 2 สามารถประหยัดพลังงานเฉลี่ย 616 kWh/year/unit (เฉลี่ย 120 ACH) ดังนั้น สามารถสรุปเป็นรูปแบบการทำมุมของบานเกล็ดที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ เพื่อลดค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ 530-616 kWh/year/unit ภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร



หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

ภาพที่ 5.1 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกลี๊ตระบายอากาศ แบบที่ 1

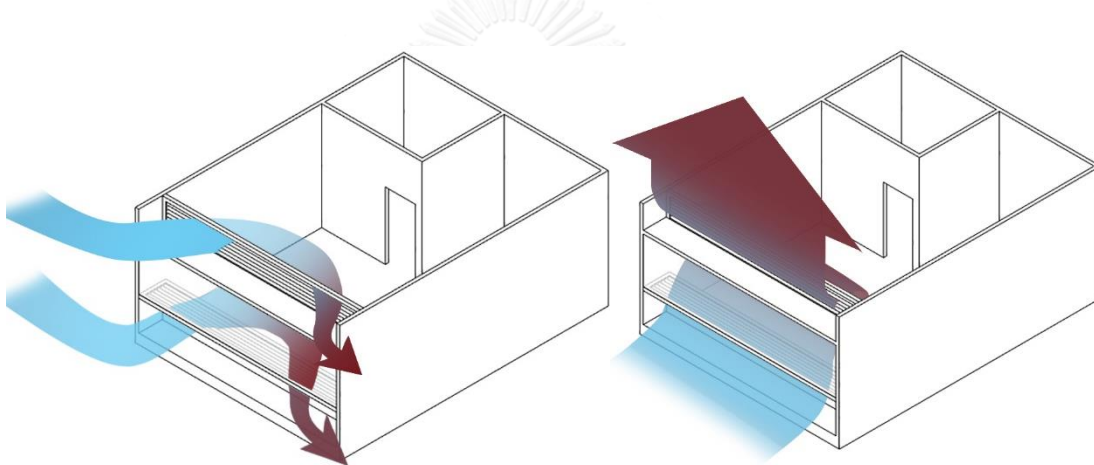


หมายเหตุ: สัญลักษณ์ลูกศรโค้ง (↻) แสดงพฤติกรรมลมที่เข้าด้านซ้ายและออกด้านขวาของช่องเปิด

ภาพที่ 5.2 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดเกลี๊ตระบายอากาศ แบบที่ 2

#### 5.4 การอภิปรายผล

จากการศึกษาแนวทางการออกแบบช่องเปิดประเภทเกล็ดระบายอากาศ ประสิทธิภาพการระบายอากาศ และการประหยัดพลังงาน พบว่า การเลือกใช้งานช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศที่สามารถปรับมุมเพื่อเปิดระบายอากาศภายในห้องพักในช่วงเวลากลางวัน สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ร้อยละ 16.12 โดยกระบวนการวิจัยจะเริ่มจากการพิสูจน์สมมุติฐานที่ว่า อัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นก่อนการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง ผลการจำลองอาคารที่ได้เป็นไปตามสมมุติฐาน หลังจากนั้นจึงทำการกำหนดรูปแบบช่องเปิดเกล็ดระบายอากาศจากการทบทวนวรรณกรรม การจำลองอาคารหาค่าอัตราการระบายอากาศ และการหาค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการระบายอากาศให้กับห้องพักในช่วงกลางวัน



ภาพที่ 5.3 พฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางทำมุม (ซ้าย) และทิศทางตั้งฉาก (ขวา)

ผลจากการจำลองอาคารที่มีช่องเปิดในรูปแบบเกล็ดระบายอากาศ 9 แบบ กับอาคารพักอาศัยรวมแบบผังทางเดินร่วม ความสูง 30 ชั้น ลมภายนอกปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากและทิศทางทำมุม พบว่า เมื่อลมภายนอกปะทะอาคารในทิศทางตั้งฉากพฤติกรรมของลมจะไหลลงที่ระดับความสูง  $1/3$  ถึง  $2/3$  ของตัวอาคารและไหลขึ้นที่ระดับความสูง  $1/3$  ของส่วนบนสุดสอดคล้องกับ ASHRAE handbook-fundamentals 2001 เกิดพื้นที่ความกดอากาศสูงกลางอาคารที่ระบายอากาศได้ยากที่ชั้น 20 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cui, D. J. และคณะ ที่ได้ทำการศึกษาการเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้กับชั้นกลางอาคารด้วยช่องเปิดในลักษณะแคบยาวที่ด้านบนและด้านล่างของผนัง ส่วนพฤติกรรมของลมเมื่อปะทะอาคารในทิศทางทำมุมลมจะพัดเข้าทางด้านซ้ายมาออกทางด้านขวาของช่องเปิดส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นเฉลี่ย 52 ACH สอดคล้องกับผลการวิจัยโดย Mohamed M. F. และคณะ ที่ได้เสนอว่าทิศทางลมเฉียงทำให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศของช่องเปิด 2 แบบที่มีพื้นที่เท่ากัน (แบบบานใหญ่บานเดียวและบานเล็ก 2 บาน) สูงขึ้น

การทำมุมของบานเกล็ด  $90^\circ$  เป็นรูปแบบที่ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงสุดสอดคล้องกับการศึกษาการไหลของกระแสลมภายในอาคารเมื่อการทำมุมของบานเกล็ดเปลี่ยนไป โดย Deepa Chandrashekar ได้กล่าวว่า เมื่อองศาเกล็ดเข้าใกล้  $90^\circ$  ลมที่เข้ามาจะมีความเร็วสูง ส่วนบานเกล็ดที่ทำมุม  $45^\circ$  กับช่องเปิดส่งผลให้ความเร็วลมลดลงนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ผลที่แตกต่างออกไปคือ บานเกล็ดที่ทำมุม  $45^\circ$  ส่งผลให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงสุดได้เมื่อมีการเพิ่มช่องเปิดสู่โถงทางเดินกลางอาคาร

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

**5.5.1** ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะบานเกล็ดรูปแบบมาตรฐาน กับองศาการทำมุม 3 แบบ คือ  $-45^\circ$ ,  $90^\circ$  และ  $45^\circ$  เท่านั้น ดังนั้น การนำไปใช้งานจริงกับรูปแบบบานเกล็ดรูปแบบอื่น ๆ เช่น เกล็ดที่มีความสามารถในการป้องกันน้ำฝน หรือการลู่ลม (Aerodynamic blade) ควรทำการทดสอบกับแบบจำลอง หรือศึกษาถึงผลกระทบอื่น ๆ เพิ่มเติม

**5.5.2** ทิศทางลมในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะทิศทางตั้งฉากและทำมุม  $45^\circ$  กับผนังอาคาร ที่ตำแหน่งห้องพักกึ่งกลางอาคารเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาทิศทางลมภายนอกอาคารทิศทางอื่นและตำแหน่งห้องพักอื่นเพิ่มเติม

**5.5.3** รูปแบบกลไกการปรับมุมของบานเกล็ดในงานวิจัยนี้เบื้องต้นได้ทำการเตรียมพื้นที่วงกบขนาด  $10 \times 10$  เซนติเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านเวลาทำให้ยังไม่ได้ศึกษาวิธีการทำงานของระบบ หากมีการนำไปใช้งานควรมีการศึกษาในส่วนนี้เพิ่มเติม

**5.5.4** การระบายอากาศสำหรับงานวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นจากแรงลมเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากอากาศร้อนลอยตัว (buoyancy effect) เพิ่มเติม

**5.5.5** อัตราการระบายอากาศที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการคำนึงถึงการติดตั้งมุ้งลวด การกันฝน และการป้องกันเพลิงไหม้ ดังนั้น หากมีการนำไปใช้จริงควรพิจารณาถึงการทำการทดสอบเพิ่มเติม

**5.5.6** ค่าการใช้พลังงานที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นการจำลองห้องพักกลางอาคาร โดยมีการกำหนดให้ความร้อนจากผนังและหลังคาต่ำมาก หากมีการนำไปใช้จริงควรคำนึงถึงความร้อนจากผนังอาคารของห้องพักปลายทางเดินและความร้อนที่แผ่เข้ามาทางหลังคาของห้องพักชั้นบนด้วย

**5.5.7** ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความคุ้มค่าในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของอาคารแต่ละรูปแบบด้วย

5.5.8 สำหรับการใช้งานจริงอาจมีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับองค์ประกอบที่มีส่วนช่วยระบายอากาศอื่น ๆ เช่น ประตู Air-post หรือการต่อท่อลมออกเพิ่มเติม





## รายการอ้างอิง

- [1] Stemstein, L. 1966. The Distribution of Thai Centres at Mid-Nineteenth Century. Journal of Southeast Asian History 7: 66-72.
- [2] ปราณี นันทเสนามาตร์. (ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านการผังเมือง). 2557. มิติใหม่ของการพัฒนาภาคมหานครในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สไลด์). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง.
- [3] สุขาดา ศิริรังษี. 2558. ข้อมูลโครงการที่อยู่อาศัยภาคเอกชนเปิดตัวใหม่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 2557. กรุงเทพมหานคร: การเคหะแห่งชาติ กองยุทธศาสตร์และสารสนเทศที่อยู่อาศัย ฝ่ายวิชาการที่อยู่อาศัยและตั้งถิ่นฐานมนุษย์.
- [4] อิศระ บุญยัง. 2558. สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยปี 2557 และแนวโน้มปี 2558. วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์ 80: 64-72.
- [5] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2546. สถิติการใช้พลังงานเครื่องใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนปี 2546. กรุงเทพมหานคร. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- [6] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2559. Peak ไฟฟ้าที่ท่วม บกอะไรสังคมไทยยุคนี้ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1532:article-20160616-01&catid=49&Itemid=251](http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1532:article-20160616-01&catid=49&Itemid=251) [8 กันยายน พ.ศ. 2559]
- [7] อรรถนัย เศรษฐบุตร์. 2557. นิเวศวิทยสถาปัตยกรรม. กรุงเทพมหานคร: บริษัทอมรินทร์ พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- [8] ต่อวงศ์ เจนวิทย์การ. 2550. การออกแบบโดยวิธีการธรรมชาติเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิในเขตอากาศร้อน-ชื้น. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 5 (มิถุนายน 2550): 1-27.
- [9] ดนุสรณ์ บัวขจร. 2554. การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] อภิญา บุญมา. 2555. ผลกระทบจากการกำหนดค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมายที่มีต่อการออกแบบคอนโดมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- [11] ไชยชมภู นาคประสิทธิ์. 2557. ผลกระทบของรูปทรงอาคาร การวางทิศทาง และเปลือกอาคาร ชุดพักอาศัยต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เปรียบเทียบกับอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 2010. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] Allocca, C., Chen, Q. and Glicksman, L.R. 2011. Design analysis of single-sided natural ventilation. Energy and Buildings **35**: 758-795.
- [13] Mohamed, M.F., King, S., Behnia, M. and Presad, D. 2011. A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings. in World Renewable Energy Congress 2011. Linköping, Sweden.
- [14] Cui, D.J., Mak, C.M. and Niu, J.L. 2014. Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilation building. Building services engineering research & Technology **35**(4): 393-407.
- [15] Hong Kong Building department. 2014. Guideline on Design and Construction Requirements for Energy Efficiency of Residential Buildings 2014. Hong Kong.
- [16] New South Wales Department of planning and environment. 2015. Apartment Design Guide. Sydney, New South Wales.
- [17] Kiang, T.B. and Robson, D. 2006. Bioclimatic Skyscraper – Learning from Bawa. in The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Switzerland. Geneva, Switzerland.
- [18] Wong, M. and Hassell, R. 2009. Tall Buildings in Southeast Asia – A Humanist Approach to Tropical High-rise. Council on tall buildings and urban habitat journal (3): 24-32.
- [19] Daranee Lehtonen, Chujit Teerattanapan and Jayada Boonyakiat. 2011. Louvered door research and development for user needs and energy efficiency in Thailand's context. in 2011 ARCC Spring Research Conference. Bangkok, Thailand.
- [20] Autodesk, i. 2015. Learn & Explore [Online]. Available from: <https://knowledge.autodesk.com/support/cfd/learn-explore?sort=score> [2016, April 28]
- [21] Krautheim, M., Pasel, R., Pfeiffer, S. and Granberg, J.S. 2014. City and Wind: Climate as an Architectural Instrument Berlin: DOM publishers.

- [22] Lechner, N. 2015. Heating, cooling, lighting Sustainable Design Method for Architects. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd.
- [23] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 2545. มาตรฐานการระบายอากาศ เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้.
- [24] Industrial Hygiene Consulting. 2011. IAQ index. Available from: <http://www.iaqindex.com/> [2015, May 13]
- [25] Olgyay, V.W. 1963. Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton, New Jersey: Princeton university press.
- [26] เฉลิมวัฒน์ ต้นตสวัสดิ์ และ ดารณี จาริมิตร. 2005. การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ: แนวทางการออกแบบผังอาคารชุดพักอาศัยประเภทอาคารสูง. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 3: 23-36.
- [27] The American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers [ASHRAE]. 2001. ASHRAE handbook-fundamentals (SI) 2001. Atlanta: Author.
- [28] อรรถน ศรีขรรุบุตร. 2559. ประสิทธิภาพการระบายอากาศของบานเลื่อนขอบประตู (Air Post) ในอาคารชุดพักอาศัยแนวตั้ง. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 65: 111-124.
- [29] Sun, M., Ford, B. and Lau, B. 2013. The Applicability of the Bio-Climatic Façade in a Hot and Humid Climate. The 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future. Munich, Germany.
- [30] Kiang, T.B., Maheswaran, C.R.U. and Shunjuan, H. 2007. Naturally ventilated tall office building in the tropics-Learning from Bawa. The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Singapore.
- [31] Zainab, F., A.,. 2007. NO 1 Moulmein Rise [Online]. Available from: <http://www.akdn.org/sites/akdn/files/media/documents/AKAA%20press%20kits/2007%20AKAA/Moulmein%20Rise%20-%20Singapore.pdf> [2016, september 15]
- [32] Yuii. 2558. คอนโดรุ่นใหม่ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง: สสำรวจขนาดคอนโดตั้งแต่ปี 2553-2557 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://thinkofliving.com/2015/01/09/คอนโดรุ่นใหม่/> [28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558]

- [33] Chandrashekar, D. 2010. Air flow through louvered openings: Effect of louver slats on air movement inside a space. Master's Thesis, Faculty of USC school of architecture, University of Southern California.
- [34] อเนก สุวรรณชัยสกุล. 2550. การออกแบบและการประเมินการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในบ้านพักอาศัยด้วยอิทธิพลของการใช้ช่องเปิด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [35] Fisk, W. and Sullivan, D. Measuring Outdoor Air Intake Rates Using Electronic Velocity Sensors at Louvers and Downstream of Airflow Straighteners. CA: Environmental Energy Technologies Division Indoor Environment Department Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, 2008. (Unpublished Manuscript)
- [36] Air Movement and Control Association International, i. 2013. Certified Ratings Program Product Rating Manual for Air Control Devices. Author.
- [37] อรรถน ศรีชูบุตร และธนิต จินดาวณิก. 2550. การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3.
- [38] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และคณะ. 2542. รายงานวิจัยข้อมูลภูมิอากาศมาตรฐานสำหรับใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายการใช้พลังงานของอาคาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมณีนารถ ลินวัฒนา เกิดวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2531 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนฉัตรวิทยา ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมสาธิตวัดพระศรีมหาธาตุ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ระดับอุดมศึกษาจากภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเข้าศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

