

การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์
ในอาคารตึกแถว,
กรณีศึกษา : อาคารตึกแถวเขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร

A STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF APPLYING DOWNDRAUGHT
VENTILATION IN A ROW HOUSE,
CASE STUDY : HUAYKWANG BANGKOK

ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์
DARUNEE MONGKOLSAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-133-7

การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์

ในอาคารตึกแถว,

กรณีศึกษา : อาคารตึกแถวเขตหัวซวงววง กรุงเทพมหานคร

A STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF APPLYING DOWNDRAUGHT
VENTILATION IN A ROW HOUSE,
CASE STUDY : HUAYKWANG BANGKOK

ดร. ณี มงคลสวัสดิ์

DARUNEE MONGKOLSAWAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45648
วัน, เดือน, ปี 1 2 ก.พ. 2546

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-133-7

A STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF APPLYING DOWNDRAUGHT
VENTILATION IN A ROW HOUSE,
CASE STUDY : HUAYKWANG BANGKOK

DARUNEE MONGKOLSAWAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-324-133-7

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ในอาคารตึกแถว, กรณีศึกษา : อาคารตึกแถวเขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร
นักศึกษา	นางสาวดรุณี มงคลสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	43063121
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ (Downdraught Ventilation) กับอาคารตึกแถวที่มีข้อจำกัดในการระบายอากาศ เช่น ตึกแถวที่อยู่ในพื้นที่แออัดของเมือง ไม่มีกระแสลมพัดผ่านด้านล่างของอาคาร เปิดช่องเปิดได้น้อยหรือไม่สามารถเปิดได้เลยเนื่องจากมลภาวะ โดยอาศัยทฤษฎีการสร้างความแตกต่างของความกดดันอากาศทำให้อากาศเคลื่อนที่ จากส่วนลมอัดไปยังส่วนลมดูด

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบอาคารที่ทำให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย ที่ดักลม ปล่องลม และเส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของที่ดักลมรูปแบบต่างๆ แล้วนำไปออกแบบประยุกต์เข้ากับตัวอาคารตึกแถวเดิมได้ โดยมุ่งเน้นให้เกิดการผลัดเปลี่ยนอากาศใหม่เข้าไปแทนที่อากาศเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในอาคารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษารูปแบบการวางผังอาคารที่มีผลกับการระบายอากาศในพื้นที่เมืองประกอบด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยออกแบบกรณีทดลองต่างๆ ตามตัวแปรที่ต้องการศึกษา และใช้วิธีทดลองหลายวิธีเปรียบเทียบกัน ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ได้แก่ ใต้น้ำ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computational Fluid Dynamics : CFD) และหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จากการทดลองเบื้องต้นสรุปผลได้ดังนี้ว่า ที่ดักลมแบบหลังคาเอียงจะช่วยบังคับทิศทางลมให้เคลื่อนที่ต่ำลงถึงระดับผู้ใช้งานได้มากกว่าแบบหลังคาแบน ประกอบกับการวางตำแหน่งช่องลมออกในระดับเดียวกับผู้ใช้งานจะช่วยให้ที่ดักลมมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อทดลองลดขนาดช่องเปิดลมเข้าขนาดปล่อง หรือสัดส่วนช่องเปิดลมออกให้เล็กลง ทำให้ปริมาณและความเร็วลมภายในหน่วยทดลองต่ำลง เนื่องจากปริมาณลมที่เข้ามาจะขึ้นอยู่กับขนาดช่องเปิดที่เล็กที่สุดเสมอ

ในการทดลองกรณีต่อมาพบว่า ยิ่งหน่วยทดลองมีความลึก ก็ยิ่งทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในหน่วยทดลองต่ำลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ อันเนื่องจากแรงเสียดทาน สำหรับหน่วยทดลองที่มีความ

สูงหลายชั้น การกระจายลมภายในหน่วยทดลองให้มีความสม่ำเสมอกันนั้นทำได้โดย กำหนดให้ช่องเปิดลมเข้าจากภายในปล่องมีขนาดเล็กลงจากชั้นบนลงล่าง เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างพื้นที่ช่องเปิด กับความแตกต่างของความกดดันอากาศในแต่ละชั้น แต่ในทางปฏิบัติ การเปิดช่องเปิดให้เท่ากันทุกชั้นจะเหมาะสมกว่าในแง่ของการใช้งาน นอกจากนี้การแยกเปิดช่องเปิดทีละชั้น จะทำให้ความเร็วลมภายในหน่วยทดลองในชั้นนั้นๆ สูงขึ้นด้วย

เมื่อวิเคราะห์และสรุปเหตุปัจจัยที่ส่งเสริม หรือเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคารแล้ว จึงได้นำเสนอแบบทางเลือกอาคารตึกแถวที่ได้มีการประยุกต์ใช้ที่ตึกกลมแล้ว 3 แบบ ในเขตห้วยขวาง ซึ่งเป็นพื้นที่กรณีศึกษา โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ควรพิจารณาความเร็วลมในพื้นที่ตั้งก่อนเป็นอันดับแรก เนื่องจากการระบายอากาศแบบดาวนดราฟต์เป็นวิธีระบายอากาศแบบธรรมชาติ จึงต้องอาศัยแรงลมตามธรรมชาติในพื้นที่เป็นหลัก จากนั้นจึงพิจารณาระดับของที่ตึกกลมให้สูงกว่าอาคารแวดล้อมเพื่อให้สามารถดักลมในระดับสูงได้

2. ตึกแถวที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป หรือมีความลึกตั้งแต่ 3 เท่าของความกว้าง ขึ้นไป ควรมีที่ตึกกลม และปล่องลม 2 ชุดขึ้นไป เพื่อแบ่งภาระการนำอากาศเข้ามาภายในอาคาร จากแบบทางเลือกที่ 1 มีการแบ่งปล่องลมเป็น 2 ปล่อง กระจายลมเข้าสู่ภายในปล่องละ 2 ชั้นเท่าๆ กัน ทำให้ปริมาณ และความเร็วลมในแต่ละชั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าแบบทางเลือกที่ 2

3. จากแบบทางเลือกทั้ง 3 แบบ ให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วลมเริ่มต้น เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับความเร็วลมในพื้นที่กรณีศึกษา, เขตห้วยขวาง พบว่าค่าความเร็วลมที่ได้อยู่ต่ำมากจนมนุษย์ไม่อาจรู้สึกได้ อย่างไรก็ตามหากพื้นที่ตั้งมีความเร็วลมสูงขึ้น เช่น ในภาคใต้ของประเทศไทย ก็สามารถทำให้ความเร็วลมภายในอาคารสูงขึ้นได้

4. การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายใน การจัดวางเครื่องเรือน และองค์ประกอบอาคารอื่นๆ ไม่ควรให้มีส่วนที่บวมเกินไป ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการกระจายลมภายในอาคาร จากแบบทางเลือกทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยเลือกใช้การวางผังแบบเหลี่ยมชั้นกัน เพื่อลดการกั้นผนังระหว่างห้องให้น้อยลง

สุดท้ายนี้ ผลจากการทดลองนำเทคนิคการระบายอากาศดังกล่าวมาใช้ แม้จะไม่สามารถตอบสนองผู้ใช้ถึงระดับที่ทำให้เกิดความสบายได้ ซึ่งจะต้องมีปัจจัยด้านอุณหภูมิอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย แต่ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการระบายอากาศแบบกล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคาร สร้างสุขลักษณะที่ดีให้แก่ผู้อยู่อาศัยในตึกแถวได้

Thesis Title	A Study of the Effectiveness of Applying Downdraught Ventilation in a Row House, Case Study : Huaykwang Bangkok
Student	Miss Darunee Mongkolsawat
Student ID.	43063121
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2002
Thesis Advisor	Assist.Prof.Dr.Somchai Srisompong

ABSTRACT

In high density urban areas; such as Bangkok, row houses are the most popular building type used for living and trading, since they are able to response the functional requirement for living. On the other hand, from the climatic viewpoint, row houses are much more inferior to other types of buildings, especially the potential of ventilation. In many cases, the users can not get the maximum benefit from the building's openings because of pollution and obstructions such as commercial advertising panels, curtains or even furniture settings. Moreover, in such high density areas, surrounding buildings can be obstructions themselves. As a result, there is a lack of sufficient wind speed for ventilation in row houses.

This study tries to provide another alternative ventilating technique, namely downdraught ventilation in application to a row house. Downdraught ventilation is the behavior of air movement which flows in a downwards direction due to air pressure difference. In order to create this downdraught effect, the building needs 3 important components consisting of wind catcher, wind tower and flow path.

Previously, the paper presented a preliminary study of general configurations of the wind catcher and its relative factors, which influence the efficiency of ventilation. The size and location of the inlet-outlet area and the tower, the depth and height of the building and the techniques used for air dissipation are all parameters that have been studied. All case studies have been investigated by using 3 methods: by 2 dimensional models on a flow visualization table, computer simulation (CFD) and 3 dimensional models in wind tunnel.

The previous conclusions are: the wind catcher with the lean roof can direct the airflow to the occupancy level better than the flat one. Besides, placing the outlet openings

at the normal level (wind catcher type 3 and 6) is able to create the simplest flow path, which resulted in better airflow performance. In addition, reducing the size of the inlet area, wind tower or outlet area produces lower air volume and air velocity in the room for the flow rate is determined mainly by the smallest area, either the inlet or the outlet. In the next experiment, when the given room depth is greater, the average wind speed in the room is lower accordingly, because of the greater friction loss along the flow path.

For multi-storied buildings, to achieve vertical balancing the inner tower openings should be proportionally decreased on lower floors. In practice, having equal areas of inner openings on each floor is more appropriate, from a functional aspect. Furthermore, to operate all openings in the building by separating air supply, floor by floor, increases the wind speed on the desired floor due to the smaller occupied volume compared with the volume of air supply.

Following the results of the analysis, the final part of this study presented 3 different types of row house design which were integrated with downdraught ventilation. The following recommendations can be summarized from the study:

1. Consider the site's wind conditions, which are the wind speed and prevailing wind around a building, since the effectiveness of downdraught ventilation mainly depends on natural wind. If the satisfying wind speed is available, the efficiency of downdraught is better as well. Apart from that, the level of the wind catcher is one of the most important criteria also. Generally, the level of the wind catcher should be higher than all surroundings in order to capture the higher wind speeds above the roof's level.

2. Row houses which are higher than 3 stories or 3 times longer than their width should be provided with up to 2 sets of wind catchers and wind towers. From the first alternative design, there are 2 sets of wind catchers, each one serving 2 floors. In this case, each wind catcher is able to provide a greater quantity and better balance of air on each floor.

3. In all case studies an average wind speed in the floor space is about 30% of the original wind speed. Using the Beaufort Wind Scale as a standard, it was found that the calculated floor wind speed in buildings, located in Bangkok, was too low to be effective, simply because the original wind speed was low. However, in some parts of Thailand, such as the south, where average wind speed is higher, row houses that include downdraught ventilation are able to provide more air movement than those without.

4. Manage the functional area in a row house in order to get the most advantage from natural ventilation. Solid objects such as partitions, furniture and stair cases should be placed where they are least likely to obstruct airflow.

In the end, even the effectiveness of downdraught ventilation can not provide comfortable thermal ventilation for dwellings all the time. However, integration downdraught ventilation with mechanical ventilation does have the potential to improve internal conditions, supply purified air for maintaining air quality and meet ventilation health requirements.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ รวมทั้ง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อีก 2 ท่าน คือ อ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ และ รศ.สุภาวดี รัตนมาศ ที่ให้ คำแนะนำที่ดีเสมอมา และขอขอบคุณ ผศ.ปรีชญา รังสิรักษ์ รวมไปถึงคณาจารย์ทุกท่านในคณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล. ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จาก ท่าน และขอกราบขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รศ.มาลินี ศรีสุวรรณ อาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทดลอง การใช้ไดอะแกรม และกรุณาให้คู่มือ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทดลอง ขอขอบคุณ อ.ดร.พันธดา พุฒิไพโรจน์ และ คณาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำแนะนำในช่วงเริ่มต้นการวิจัย และขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการทดลอง (ไดอะแกรม)

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. อติ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับ คำแนะนำในการใช้อูโมงค์ลม และความรู้เกี่ยวกับอุโมงค์ลม

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำอุโมงค์ลม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล. ที่ อำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดการวิจัยของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ครอบครัวของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ จากมหาวิทยาลัยศิลปากรและ สจล. ขอขอบคุณ คุณวิญญู อาจรักษา สำหรับกำลังใจและ คำปรึกษาที่มีคุณค่า ขอขอบคุณ คุณวิเชษฐ วัชรนันท์ชัย สำหรับคำแนะนำในเบื้องต้น และคุณชลธิชา ประเสริฐแสน สำหรับคำแนะนำในการใช้คอมพิวเตอร์ในการวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ และบัณฑิตวิทยาลัยที่ มอบทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญภาพ.....	XIII
สารบัญแผนภูมิ.....	XX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.7 กระบวนการดำเนินการ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ส่วนที่ 1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการระบายอากาศ	
2.1 ความรู้เบื้องต้น.....	9
2.2 การระบายอากาศ คือ อะไร.....	11
2.3 ความต้องการการระบายอากาศ.....	11
2.4 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ.....	16
2.5 แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ.....	17
2.6 ความเร็วลมภายในห้อง และทิศทางของลมที่สัมพันธ์กับช่องเปิด.....	22
2.7 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการระบายอากาศ.....	22
2.8 การใช้หุ่นจำลองเพื่อการศึกษาการระบายอากาศในอุโมงค์ลม.....	24
ส่วนที่ 2 สภาพลม และลักษณะการระบายอากาศในพื้นที่เมือง	
2.9 ลักษณะของลมในพื้นที่เมือง.....	27
2.10 ลักษณะของลมตามลักษณะพื้นที่.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 ความกว้าง และทิศทางของถนนที่มีผลต่อการระบายอากาศในพื้นที่เมือง.....	29
2.12 การเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคาร.....	30
2.13 ความเร็วลม และระยะห่างระหว่างอาคาร.....	31
2.14 ดึกแถว.....	32
ส่วนที่ 3 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน့်ดราฟต์	
2.15 ปล่องลม.....	35
2.16 ที่ดักลม.....	35
2.17 ปล่องลม และที่ดักลม.....	35
2.18 การศึกษาปล่องลมในอดีต.....	36
2.19 การระบายอากาศแบบดาวน့်ดราฟต์.....	40
บทที่ 3 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร	
3.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย.....	58
3.2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร.....	61
3.3 การหาค่าสภาวะน่าสบาย.....	71
3.4 การหาค่าขอบเขตสภาวะสบายของกรุงเทพมหานคร.....	73
3.5 การหาขอบเขตสภาวะสบายเมื่อมีความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง (CET).....	78
3.6 สรุปสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร และอิทธิพลของความเร็วม.....	88
บทที่ 4 ดึกแถว ลักษณะทางกายภาพ และปัญหา	
4.1 ที่มา.....	89
4.2 ประโยชน์ใช้สอย และพฤติกรรมการใช้งานภายในดึกแถว.....	90
4.3 ระบบการระบายอากาศในอาคารพักอาศัย.....	94
บทที่ 5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการวางผังกลุ่มอาคารดึกแถว และการเคลื่อนที่ของลมภายนอกอาคาร	
5.1 การพิจารณาเลือกรูปแบบการวางผังกลุ่มอาคารดึกแถวที่นำมาทดลอง.....	100
5.2 ขอบเขตการศึกษา.....	100
5.3 วิธีการทดลอง.....	100

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ผลการทดลอง.....	101
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	108
บทที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของที่ดักลม เพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนั ดราฟต์ในอาคารตึกแถว	
6.1 การพิจารณาเลือกรูปร่างที่ดักลมมาใช้ในการทดลอง.....	109
6.2 ขอบเขตการศึกษา.....	109
6.3 การทดลองครั้งที่ 1 : รูปแบบที่ดักลม.....	109
6.4 การทดลองครั้งที่ 2 : สัดส่วนช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่องและขนาดช่องเปิดลม ออก.....	124
6.5 การทดลองครั้งที่ 3 : ระยะเวลาลึกลงของหน่วยทดลอง.....	132
6.6 การทดลองครั้งที่ 4 : การกระจายลมภายในหน่วยทดลองหลายชั้น.....	137
6.7 สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	154
บทที่ 7 ภาคออกแบบ	
7.1 การสำรวจปริมาณ และความเร็วลม ณ ที่ตั้ง.....	155
7.2 หลักการออกแบบทางเลือก.....	158
7.3 แบบทางเลือกที่ 1.....	159
7.4 แบบทางเลือกที่ 2.....	169
7.5 แบบทางเลือกที่ 3.....	179
7.6 สรุป และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลแบบทางเลือก.....	193
บทที่ 8 บทสรุป และเสนอแนะ	
8.1 บทสรุป.....	197
8.2 ปัญหา และข้อเสนอแนะ.....	201
8.3	
บรรณานุกรม.....	203
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิจัย.....	206
ภาคผนวก ข สิ่งเจือปนในอากาศที่ทำให้เกิดมลภาวะ.....	252

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค คำนิยามศัพท์.....	259
ประวัติผู้เขียน.....	261

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงมาตรฐานความเร็วลมของบิวฟอร์ต (The Beaufort Wind Force Scale).....	2
1.2 แสดงปริมาณลมที่วัดได้ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ระดับความสูง 10 เมตร.....	3
1.3 แสดงกระบวนการดำเนินการวิจัย.....	7
2.1 แสดงค่าดัชนีการเสียดทานที่ผิวพื้น (α) แบ่งตามลักษณะพื้นที่.....	29
2.2 ตารางสรุปผลการศึกษารวบรวมที่เกี่ยวข้อง.....	55
3.1 ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (1989 – 1998).....	62
3.2 แสดงทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (1989 – 1998).....	67
3.3 อุณหภูมิเฉลี่ยราย 2 ชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (1989 – 1998).....	70
3.4 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (1989 – 1998).....	71
3.5 ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตสภาวะสบาย ของกรุงเทพมหานคร.....	74
3.6 สรุปค่าอุณหภูมิขอบเขตสภาวะสบาย จากวิธีของ Auliciem.....	78
3.7 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 เมื่อกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 0.1 เมตร/วินาที.....	79
3.8 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 เมื่อกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที.....	80
3.9 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 เมื่อกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 1.0 เมตร/วินาที.....	81
3.10 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 เมื่อกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที.....	82
4.1 แสดงพฤติกรรม และการใช้งานของผู้อยู่อาศัยในตึกแถว ลักษณะกึ่งพักอาศัย กึ่งพาณิชย์..	93
4.2 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารตึกแถวที่วัดได้จากการทดลอง.....	99
6.1 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ของที่ดักลมแต่ละแบบ.....	123
6.2 แสดงแผนการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องสัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดลมออก.....	124
6.3 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) เมื่อสัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดลมออกเปลี่ยนไป.....	131
6.4 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ภายในหน่วยทดลองที่มีระยะลึกต่างกัน.....	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.5	สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ภายในหน่วยทดลองหลายชั้นที่มีเทคนิค การกระจายลม ภายในแตกต่างกัน..... 153
7.1	แสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมภายในแบบทางเลือกที่ 1, 2 และ 3..... 193
7.2	แสดงทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541..... 194
7.3	แสดงทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดภูเก็ต พ.ศ.2532 – 2541..... 195

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระแสลมที่พัดผ่านอาคาร.....	19
2.2 ผังการกระจายความกดดันอากาศรอบๆ อาคาร.....	20
2.3 รูปตั้งแสดงการกระจายความกดดันอากาศรอบๆ อาคารเมื่อมีลมมาปะทะ.....	20
2.4 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคาร.....	31
2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในตึกแถว.....	32
2.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศในตึกแถว เมื่อมีการใช้ที่ดักลม.....	33
2.7 การสร้างความแตกต่างของความกดดันอากาศที่ผนัง เพื่อให้เกิดการระบายอากาศ.....	33
2.8 แสดงรูปแบบของปล่องลม และที่ดักลมในแต่ละพื้นที่.....	34
2.9 แสดงลักษณะของปล่องลม และที่ดักลมแบบต่างๆ.....	36
2.10 มัลคัพในกรุงไคโร.....	36
2.11 แบดเกอร์.....	37
2.12 วินด์ สคูป.....	38
2.13 บ้านพื้นดินในมาเลเซีย.....	39
2.14 พิพิธภัณฑสถานในอังกฤษ.....	39
2.15 โบสถ์พัตนี ในลอนดอน.....	40
2.16 โรงละครเดวิด บอสเวล ริด.....	40
2.17 ที่ดูดอากาศ (baadkash) และปล่องลม (baadgeer).....	41
2.18 ลักษณะที่ดักลมแบบต่างๆ.....	42
2.19 ปล่องลมแบบดั้งเดิมที่มีความหลากหลายกันไปในแต่ละพื้นที่.....	43
2.20 อากาศพัดผ่านปล่องลม.....	47
2.21 ปล่องลมทำหน้าที่เหมือนปล่องอุณหภูมิ.....	47
2.22 สัดส่วนอาคารที่เหมาะสมในการระบายอากาศแบบดาวนดราฟต์.....	49
2.23 ที่ดักลมรูปแบบต่างๆ.....	50
3.1 แสดงการแบ่งเขตภูมิอากาศของโลก.....	58
4.1 รูปตัดอาคารตึกแถว.....	91
4.2 ผังอาคารตึกแถว.....	92
4.3 แสดงการแบ่งประเภทห้องในอาคารพักอาศัย ตามหลักการการระบายอากาศ.....	95
4.4 ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้นที่ 1.....	97
4.5 ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้นที่ 2.....	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6	ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้นที่ 3..... 98
4.7	ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้นที่ 4..... 98
5.1	ผังแสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลม เมื่อความกว้างถนน และทิศทางลมเปลี่ยนไป..... 101
5.2	รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของลม เมื่อความกว้าง และความสูงของอาคารเปลี่ยนไป..... 102
5.3	แสดงการวางผังกลุ่มอาคารตึกแถวแบบเหลี่ยมกัน เพื่อให้มีการไหลเวียนอากาศภายในถนนได้ดีขึ้น..... 103
5.4	ผังแสดงปริมาณลมรอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 6 เมตร..... 104
5.5	ผังแสดงปริมาณลมรอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 9 เมตร..... 105
5.6	ผังแสดงปริมาณลมรอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 12 เมตร..... 106
5.7	แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปตัวที ความกว้างถนน 12 เมตร..... 107
5.8	แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปกากบาท ความกว้างถนน 12 เมตร..... 107
5.9	แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปสี่เหลี่ยม ความกว้างถนน 12 เมตร..... 108
6.1	เครื่อง Flow Visualization Table (โต๊ะน้ำ) ที่ใช้ในการทดสอบ..... 110
6.2	รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาแบน..... 111
6.3	รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาเอียง..... 111
6.4	รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาแบน..... 112
6.5	รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาเอียง..... 112
6.6	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 1 หลังคาแบน..... 113
6.7	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 2 หลังคาแบน..... 113
6.8	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 3 หลังคาแบน..... 113
6.9	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา..... 114
6.10	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 30 องศา..... 115
6.11	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา..... 116
6.12	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 60 องศา..... 117
6.13	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 4 หลังคาเอียง..... 118
6.14	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 5 หลังคาเอียง..... 118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.15	หุ่นจำลองที่ดักลมแบบที่ 6 หลังคาเอียง..... 118
6.16	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียง เมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา..... 119
6.17	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียง เมื่อทิศทางลมเป็น 30 องศา..... 120
6.18	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียง เมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา..... 121
6.19	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียง เมื่อทิศทางลมเป็น 60 องศา..... 122
6.20	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้าเล็กลง..... 125
6.21	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง..... 126
6.22	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมออกเล็กลง..... 126
6.23	แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้าเล็กลง..... 127
6.24	แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง..... 128
6.25	แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมออกเล็กลง..... 129
6.26	แสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้า ขนาดปล่อง และช่องลมออก เป็น 1 หน่วยเท่ากัน..... 130
6.27	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 2 หน่วย..... 133
6.28	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 3 หน่วย..... 133
6.29	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 4 หน่วย..... 133
6.30	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 2 หน่วย..... 134
6.31	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 3 หน่วย..... 135
6.32	แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึกลับ 4 หน่วย..... 136
6.33	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง..... 139
6.34	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง..... 139
6.35	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลงจากชั้นบนลงล่าง..... 140
6.36	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้า จากปล่องเท่ากันทุกชั้น (เปิดทุกชั้น)..... 141
6.37	รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้า จากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1..... 141

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.52 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง.....	149
6.53 ผังชั้น 1 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน.....	150
6.54 ผังชั้น 2 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน.....	150
6.55 ผังชั้น 3 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน.....	151
6.56 ผังชั้น 4 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน.....	151
6.57 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน.....	152
7.1 ผังบริเวณที่ตั้ง, กรณีศึกษา : เขตห้วยขวาง.....	155
7.2 ทศนิยมภาพที่ตั้ง, กรณีศึกษา : เขตห้วยขวาง.....	156
7.3 แสดงการวัดความเร็วลม ณ ที่ตั้ง.....	156
7.4 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 1.....	158
7.5 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 2.....	158
7.6 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 3.....	158
7.7 ผังพื้นที่อาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1.....	159
7.8 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1.....	160
7.9 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1.....	160
7.10 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1.....	161
7.11 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 1.....	162
7.12 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 1.....	163
7.13 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 2.....	163
7.14 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 3.....	163
7.15 ผังพื้นที่แบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1 – 4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น.....	165

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.16 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4.....	166
7.17 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3.....	167
7.18 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 1 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3.....	168
7.19 ผังพื้นอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2.....	169
7.20 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2.....	170
7.21 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2.....	170
7.22 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2.....	171
7.23 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 2.....	172
7.24 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 1.....	173
7.25 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 2.....	173
7.26 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 3.....	174
7.27 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น.....	175
7.28 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2.....	176
7.29 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1.....	177
7.30 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 2 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3.....	178
7.31 ผังพื้นอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3.....	179
7.32 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3.....	180
7.33 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3.....	180
7.34 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3.....	181
7.35 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 3.....	182
7.36 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 1.....	183
7.37 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 2.....	183
7.38 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 3.....	184
7.39 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 4.....	184

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.40 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 5.....	185
7.41 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดทุกชั้น.....	186
7.42 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2.....	187
7.43 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4.....	188
7.44 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 3 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3.....	189
7.45 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 4 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง.....	190
7.46 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 5 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า.....	191
7.47 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 3 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 4 และ 5.....	192
7.48 ผังอาคารตึกแถวเดิม แสดงความเร็วลม (%) ที่วัดได้ในอุโมงค์ลม.....	196

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
1.1 แสดงผลการขยายขอบเขตสภาวะนำสลายเมื่อมีกระแสลม 1 และ 1.5 เมตร/วินาที.....	1
1.2 แผนภูมิแสดงแผนการดำเนินการวิจัย.....	8
2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยอากาศต่ำสุดที่ต้องการ ในสหรัฐอเมริกา.....	10
2.2 ตัวอย่างแสดงผลกระทบของลมต่อขอบเขตสภาวะสลายที่เพิ่มขึ้น.....	14
2.3 ลักษณะลาดของลมแบ่งตามลักษณะพื้นที่.....	29
2.4 และ 2.5 แผนภูมิแสดงความกดดันอากาศที่ช่องเปิด 1 และช่องเปิด 2.....	44
2.6 แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความกดดันอากาศที่ช่องเปิดของปล่องดักลม.....	45
2.7 แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของที่ดักลมแต่ละประเภท.....	46
3.1 อุณหภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	63
3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	63
3.3 ชั่วโมงแดด กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	63
3.4 อุณหภูมิดิน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	64
3.5 อุณหภูมิหญ้า กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	64
3.6 อุณหภูมิน้ำ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	64
3.7 ปริมาณการระเหยกลายเป็นไอ กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	65
3.8 ปริมาณฝน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	65
3.9 จำนวนวันที่มีฝน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	65
3.10 ความเร็วลม กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	66
3.11 ทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ย กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541.....	66
3.12 (ก) แสดงทิศทาง ความถี่ และความเร็วลมรายเดือน ของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (เดือนมกราคม – มิถุนายน).....	68
3.12 (ข) แสดงทิศทาง ความถี่ และความเร็วลมรายเดือน ของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม).....	69
3.13 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ของกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2532 – 2541 เปรียบเทียบกับ ช่วงอุณหภูมิที่อยู่ในเขตสภาวะสลาย.....	76
3.14 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน เปรียบเทียบกับขอบเขตสภาวะสลาย..	77
3.15 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน เปรียบเทียบกับขอบเขตสภาวะสลาย และกลวิธีการเพิ่มขอบเขตสภาวะสลายด้วยการระบายอากาศ.....	77
3.16 แผนภูมิแสดงการหาขอบเขตสภาวะสลายแบบ CET.....	78

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

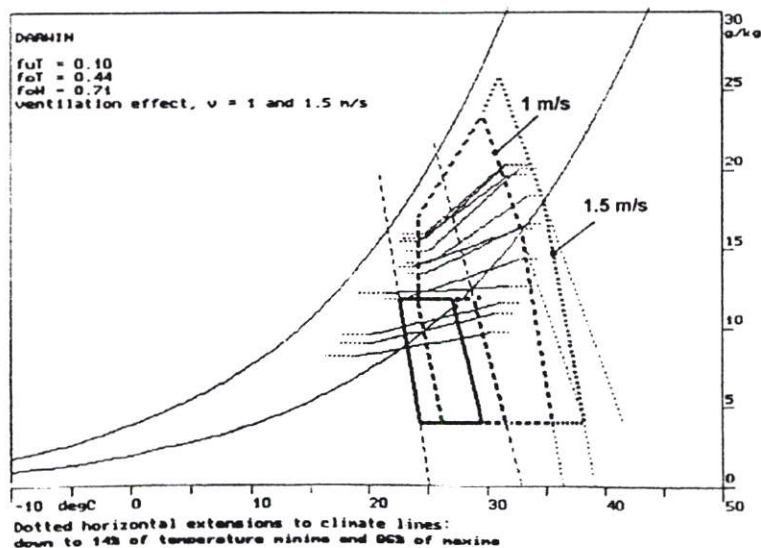
แผนภูมิที่	หน้า
3.17 แผนภูมิระดับ แสดงอุณหภูมิ CET และขอบเขตสภาวะสบาย เมื่อมีความเร็วลม 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที.....	83
3.18 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.1 เมตร/วินาที.....	84
3.19 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.1 เมตร/วินาที.....	84
3.20 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.5 เมตร/วินาที.....	85
3.21 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.5 เมตร/วินาที.....	85
3.22 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.0 เมตร/วินาที.....	86
3.23 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.0 เมตร/วินาที.....	86
3.24 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.5 เมตร/วินาที.....	87
3.25 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือน ม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือน ก.ค. – ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.5 เมตร/วินาที.....	87
7.1 แสดงลักษณะลมพื้นผิวบริเวณที่ตั้ง เขตห้วยขวาง.....	157

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การสร้างสภาวะสบาย ในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ เกิดจากการออกแบบตัวอาคารโดยคำนึงถึงสภาพอากาศของที่ตั้งอาคารประกอบ โดยสภาวะสบายดังกล่าว ได้แก่ สภาวะที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันของปัจจัยมูลฐาน คือ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ การพัดของกระแสลม และการแผ่รังสีความร้อน¹ สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้น หากเปรียบเทียบสภาพอากาศของประเทศไทยในแผนภูมิชีวอากาศ (Bioclimatic Chart) ของวิกเตอร์ โอจาย (Victor Olgyay) พบว่าสภาพอากาศโดยทั่วไปมักอยู่เหนือขอบเขตสภาวะสบาย หรือกล่าวได้ว่า มีอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป ซึ่งหากมีการเคลื่อนที่ของลมจะช่วยให้เกิดความเย็น เพราะการเคลื่อนที่ของลมช่วยเร่งการระเหยกลายเป็นไอจากผิวหนัง ทำให้อุณหภูมิลดลงถ้าความเร็วลมเพิ่ม ส่วนบนของสภาวะสบายจะถึบตัวตามขึ้นผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของอากาศต่อขอบเขตสภาวะสบายเมื่อมีกระแสลม ความเร็ว 1 และ 1.5 เมตร/วินาที สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)²



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงผลการขยายขอบเขตสภาวะน่าสบายเมื่อมีกระแสลม 1 และ 1.5 เมตร/วินาที

¹สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541, หน้า 22.

²Michael Docherty and Steven V. Szokolay. *Climate Analysis*. Queensland : The University of Queensland Printery, 1999, p. 35.

การเคลื่อนที่ของอากาศจะทำความเย็นแก่ผิวกายมนุษย์ ถึงแม้ว่าอากาศนั้นจะอุ่นกว่า อุณหภูมิผิว (ไม่เกิน 38°C) โดยการเพิ่มอัตราการระเหยของเหงื่อ มีวิธีการคำนวณผลกระทบจากการทำความเย็นวิธีนี้หลายวิธี วิธีที่น่าเชื่อถือสรุปว่า ถ้ามีความเร็วลม 1 เมตร/วินาที จะสามารถขยายขอบเขตบนของสภาวะสบายได้อีก 4.2°C ถ้ามีความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที จะสามารถขยายขอบเขตบนของสภาวะสบายได้อีก 6.1°C เราสามารถแบ่งระดับความเร็ว ความเร็วลมได้จากมาตราวัดของบิวฟอร์ด สเกล (The Beaufort Wind Force Scale)³ ได้ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงมาตรฐานความเร็วลมของบิวฟอร์ด (The Beaufort Wind Force Scale)

ระดับ	ผลกระทบจากความเร็วลมที่ระดับต่างๆ	ความเร็วลม	
		เมตร/ วินาที	กิโลเมตร/ ชั่วโมง
0	สงบมาก, คิว้นลอยขึ้นสูง, พื้นน้ำราบเรียบ	< 0.5	1.8
1	มีความเคลื่อนไหวเล็กน้อย, คิว้นลอยเฉียง	1.7	6.1
2	ลมอ่อนๆ, ใบไม้ไหว	3.3	11.8
3	ลมบางเบา, กิ่งไม้เล็กๆ ไหว, น้ำกระเพื่อมเล็กน้อย	5.2	18.7
4	ลมปานกลาง, กิ่งไม้ขยับ	7.4	26.6
5	ลมแรง, กิ่งไม้ขนาดใหญ่ขยับ, มีเสียงลม, คลื่นแตกฟอง	9.8	35.3
6	ลมแรงมาก, ใบไม้ร่วง, ทรงตัวลำบาก	12.4	44.6
7	พายุ, ต้นไม้ขนาดเล็กไหวเอน, กิ่งก้านไม้เล็กๆ หัก	15.2	55.4
8	พายุแรง, กิ่งไม้อาจหักได้, กิ่งไม้ใหญ่โก่งงอ	18.2	65.5
9	พายุแรงจัด, ต้นไม้ขนาดเล็กถอนรากออกมา, กระเบื้องมุงหลังคาปลิว, อาคารได้รับความเสียหาย	21.5	77.4
10	พายุใหญ่, อาคารขนาดใหญ่ได้รับความเสียหาย, ต้นไม้โค่น หรือถอนราก	25.1	90.4
11	พายุใหญ่, อาคารเสียหาย, ป่าไม้โค่น, คน และสัตว์อาจถูกพัดลอยขึ้น	29.0	104.4
12	พายุใหญ่เช่นเดียวกัน แต่มีความรุนแรงมากกว่า	> 29.0	> 104.4

ในอาคารพักอาศัย การเคลื่อนที่ของลมนอกจากจะช่วยเพิ่มขอบเขตสภาวะสบายแล้ว ยัง

³Michael Docherty and Steven V. Szokolay. *Climate Analysis*. Queensland : The University of Queensland Printery, 1999, p. 51.

ช่วยให้เกิดการระบายอากาศซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการหมุนเวียนอากาศบริสุทธิ์เข้ามาใช้ภายในอาคาร และกำจัดเชื้อโรค ก๊าซพิษในอากาศภายในอาคาร สร้างสุขลักษณะที่ดีให้แก่ผู้อยู่อาศัย ในอีกแง่หนึ่งการระบายอากาศตามวิธีธรรมชาติ จะช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในอาคารด้วย

สำหรับอาคารตึกแถวนั้น เป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมที่มีอยู่มากในเขตพักอาศัยหนาแน่นตามเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร จากรูปแบบของสถาปัตยกรรมที่เน้นประโยชน์ใช้สอยเป็นหลัก ทำให้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ในการสร้างสภาพแวดล้อมที่ดี ประกอบกับรูปร่างอาคารที่มีลักษณะแคบ ยาว เรียงตัวต่อเนื่องกัน และการจัดพื้นที่ภายในที่มีการกั้นห้องมากจึงเป็นลักษณะที่เป็นอุปสรรคต่อการระบายอากาศที่ดี เมื่อพิจารณาลักษณะการใช้งานจริงของตึกแถวในเมืองใหญ่จะพบว่า อาคารตึกแถวมักจะไม่สามารถเปิดช่องเปิดเพื่อให้เกิดการระบายอากาศได้โดยตรง เพราะปัญหาลมภาวะอากาศ และเสียง หรือแม้กระทั่งอุปสรรคจากการติดตั้งป้ายโฆษณา ดังนั้นการศึกษาทางเลือกอื่นในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ อาจสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

เทคนิคการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติแบบดาวน์ดราฟต์ เป็นเทคนิคที่นำลมเข้าจากส่วนบนของอาคาร ด้วยการออกแบบช่องลมเข้า ให้มีลักษณะเป็นที่ดักลมให้เข้ามาไหลเวียนภายใน แล้วเคลื่อนที่ออกทางช่องลมออก โดยอาศัยความแตกต่างของความกดดันอากาศภายนอก และภายในอาคาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ สำหรับกรุงเทพมหานคร มีการสำรวจปริมาณ และความเร็วของกระแสลมเฉลี่ยในรอบหนึ่งปี⁴ (Exell, 1981) พบว่าเมื่อทำการวัดปริมาณ และความเร็วลมที่ความสูง 10 เมตรเหนือพื้นดินได้ผลดังตาราง 1.2 แต่ทั้งนี้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลปริมาณลมจากกรมอุตุนิยมวิทยา มาเปรียบเทียบผลการวิจัยแทน

ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณลมที่วัดได้ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ระดับความสูง 10 เมตร

เดือน	ลมสงบ %	ความเร็วลมเฉลี่ย จากการวัด เมตร/วินาที	ความเร็วลมเฉลี่ย จากการคำนวณ เมตร/วินาที	คลาดเคลื่อน %
กพ. – เม.ย.	35.0	1.01	1.01	+0
พ.ค. – มิ.ย.	46.6	0.76	0.79	+4
ส.ค. – ต.ค.	63.2	0.46	0.46	-1
พ.ย. – ม.ค.	62.2	0.40	0.39	-2

⁴R. H. B. Exell, S. Thavapalachandran and P. Mukhia. The Availability of Wind Energy in Thailand. Bangkok : The Renewable Energy Resources Information Center, AIT, 1981, p. 17.

ดังนั้นในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำลมมาใช้ให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับอาคารตึกแถวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศของตึกแถวให้ดียิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการระบายอากาศในอาคารตึกแถวทั่วไป ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบพิเศษ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคารเมื่อมีการประยุกต์ใช้องค์ประกอบอาคารรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์เมื่อกำหนดให้ทิศทาง และความเร็วลมเป็นไปตามข้อมูลอ้างอิงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 1.2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยส่งเสริม และอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร อันเนื่องมาจากเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์
- 1.2.4 เพื่อนำผลจากการศึกษา นำไปสู่การออกแบบองค์ประกอบอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้ในอาคารตึกแถวในพื้นที่ที่ทำการศึกษา เพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์ และส่งเสริมประสิทธิภาพการระบายอากาศในอาคารด้วยวิถีธรรมชาติ
- 1.2.5 เพื่อศึกษาการใช้เครื่องมือ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศในงานสถาปัตยกรรม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์ สามารถประยุกต์ใช้กับสภาพอากาศร้อนชื้นได้ โดยต้องคำนึงถึงการป้องกันปัญหามลภาวะอากาศ ความชื้น น้ำฝน ความปลอดภัยในสภาพการใช้งานจริงได้
- 1.3.2 เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิถีธรรมชาติภายในอาคารตึกแถวได้ ในกรณีที่ไม่สามารถเปิดช่องเปิดที่ติดกับภายนอกได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นผลจากอิทธิพลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ หรือความแตกต่างของความกดดันอากาศทำให้เกิดกระแสลม ใน

การศึกษาเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ มีองค์ประกอบสำคัญ คือ ปล่องอากาศ ซึ่งในสภาพอากาศนิ่ง ถ้ามีความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพียงพอ อาจทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน แต่สำหรับการวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นที่การศึกษาเทคนิคการนำอากาศบริสุทธิ์จากด้านบนของปล่อง มาไหลเวียนภายในอาคารด้านล่างโดยอาศัยความแตกต่างของความกดดันอากาศเท่านั้น

- 1.4.2 ศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศจากเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ อันเป็นผลจากปัจจัยในการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่แตกต่างกัน ได้แก่ รูปร่าง ขนาด ตำแหน่ง และความสูงของปล่อง ช่องลมเข้า ช่องลมออก และอุปกรณ์ดักลม เมื่อกำหนดให้ทิศทาง และความเร็วลมเป็นไปตามข้อมูลในพื้นที่กรณีศึกษา
- 1.4.3 ศึกษาเทคนิคการกระจายลมภายในอาคารตึกแถว ที่สอดคล้องกับพื้นที่ และกิจกรรมในการใช้งานจริง
- 1.4.4 ศึกษาเฉพาะกรณีอาคารตึกแถวที่อยู่ตรงกลางระหว่างตึกแถวอื่นๆ (ไม่ใช่ส่วนที่อยู่หัวมุม) และมีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเท่านั้น
- 1.4.5 ศึกษาโดยอ้างอิงข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ (ทิศทาง และความเร็วลม) จากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 1.4.6 ศึกษาโดยอ้างอิงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคารตึกแถว และการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในทั่วไปในกรุงเทพมหานคร
- 1.4.7 ศึกษาโดยอ้างอิงกฎหมายเกี่ยวกับการออกแบบอาคารประเภทตึกแถวในเขตกรุงเทพมหานคร ที่เกี่ยวข้อง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

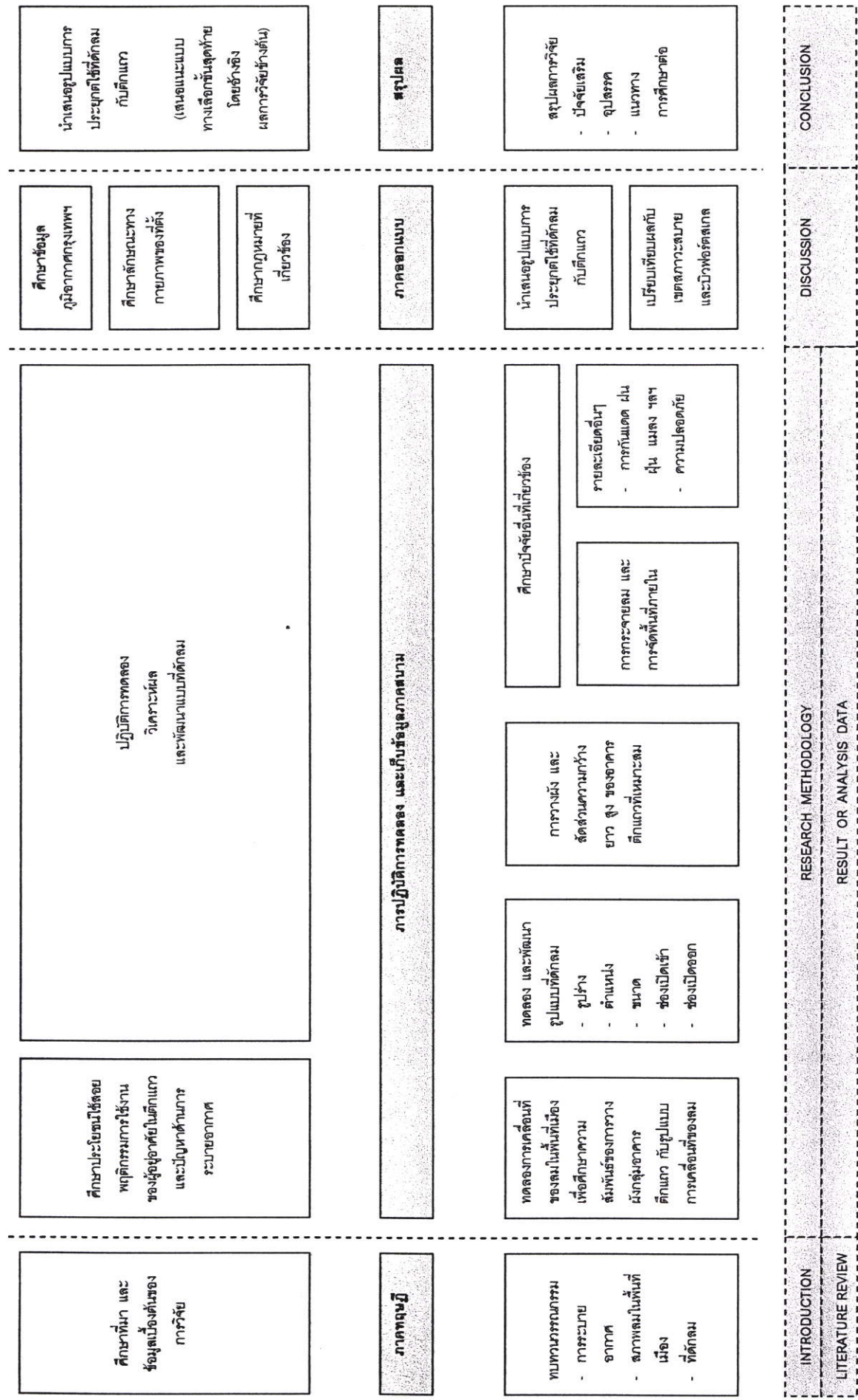
- 1.5.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงปัญหา แนวความคิด ทฤษฎี และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ อันเป็นการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยบทความ หนังสือทั้งในและนอกประเทศ
- 1.5.2 ศึกษาปริมาณ ทิศทาง ความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศในเขตร้อนชื้น (กรณีศึกษา : กรุงเทพมหานคร)
- 1.5.3 ศึกษาวิธีการทดลองที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ โดยแบ่งการทดลองเป็นกรณีศึกษาย่อย เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองด้วยโต๊ะน้ำ หุ่นจำลองในอุโมงค์ลม และผลจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ภายใต้งี้อื่นๆ และสภาวะความเร็วลมที่กำหนด

- 1.5.4 ออกแบบการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์กับอาคารตึกแถวในพื้นที่กรณีศึกษา โดยกำหนดตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ
- ขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของปล่องดักลม
 - ขนาด และตำแหน่งของช่องลมเข้า – ลมออก
 - รูปร่างของอุปกรณ์ดักลม
- ตัวแปรที่ควบคุมให้เหมือนกัน คือ
- รูปแบบอาคารตึกแถวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา
 - โครงสร้าง ขนาด พื้นผิว และคุณสมบัติของวัสดุของหุ่นจำลองอาคารทดลอง
 - ความเร็วลม ที่ใช้ในการทดลอง
 - อุปกรณ์การวัดผลการทดลอง
 - อุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง
 - สภาพแวดล้อมขณะทำการทดลอง
- 1.5.5 ทำการทดลอง และบันทึกผล โดยแบ่งเป็นกรณีศึกษาย่อย ทำการทดลองทั้งสามแบบ คือ ทดลองด้วยโต๊ะน้ำ หุ่นจำลองในอุโมงค์ลม และโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง นำไปเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารตึกแถว และทำการทดลองย่อยเพื่อพิสูจน์ผลการออกแบบ
- 1.5.7 สรุปผลการทดลอง เพื่อเสนอแนะแนวทาง ปัจจัยส่งเสริม และข้อจำกัดในการใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์และเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เป็นแนวทางในการในการประยุกต์ใช้การออกแบบองค์ประกอบอาคารเพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ ในอาคารตึกแถว หรืออาคารประเภทอื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
- 1.6.2 สร้างความรู้ ความเข้าใจ หลักการอากาศพลศาสตร์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม

แผนภูมิที่ 1.2 แผนภูมิแสดงแผนการดำเนินการวิจัย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงการศึกษาทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการระบายอากาศ

ส่วนที่ 2 สภาพลม และลักษณะการระบายอากาศในพื้นที่เมือง

ส่วนที่ 3 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์

ส่วนที่ 1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการระบายอากาศ

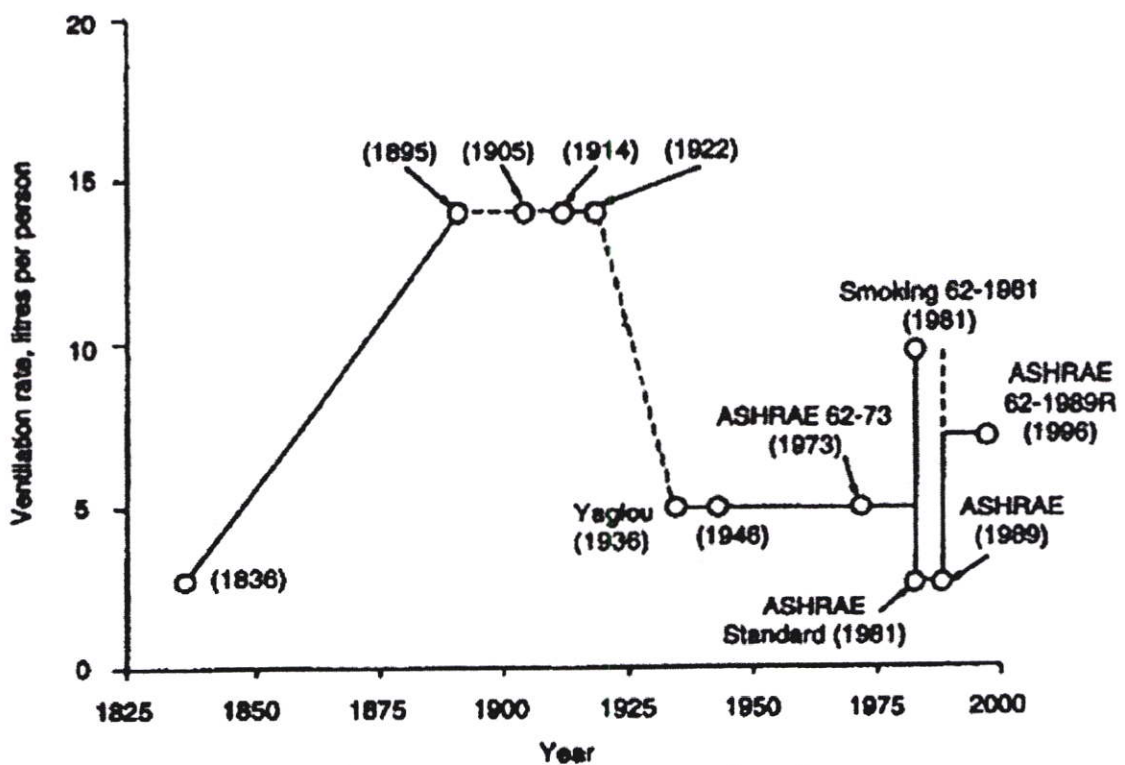
2.1 ความรู้เบื้องต้น

การระบายอากาศภายในอาคารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิต โดยการรักษาระดับปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ในอากาศให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ป้องกันไม่ให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงเกินระดับที่ยอมรับได้ ช่วยระบายกลิ่น ความชื้น และมลพิษภายในอาคาร ถึงแม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ใช่ก๊าซพิษร้ายแรง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป (มากกว่า 5000 part per million : ppm) ก็มีผลเสียเทียบเท่ากับการขาดออกซิเจนในอากาศที่เดียว

ในอดีต การระบายอากาศภายในอาคารมีไว้เพื่อระบายความร้อนในฤดูร้อน ในประเทศแถบตะวันออกกลางมีการพัฒนาปล่องลม เพื่อใช้ดักอากาศเย็นเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งบางครั้งก็มีการให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการระเหยเพื่อสร้างความเย็น และทำให้รู้สึกสดชื่น ในพื้นที่ที่สภาพอากาศค่อนข้างสบาย เช่น ภาคกลาง และภาคเหนือของยุโรป นั้น ใช้การระบายอากาศเพื่อระบายควันจากเตาผิงเป็นหลัก มากกว่าเพื่อนำอากาศใหม่เข้ามาใช้หายใจ ในศตวรรษที่ 18 และ 19 การระบายอากาศในอาคารพักอาศัยขนาดเล็กกลายเป็นปัญหาสำคัญในยุโรป นักวิชาการ และผู้เชี่ยวชาญด้านเวชศาสตร์ ต่างทำการศึกษาความต้องการปริมาณอากาศบริสุทธิ์ในอาคาร จนกระทั่งในปี 1862 นายเพทเทินโคเฟอร์ (Pettenkofer) ชาวเยอรมัน ได้แสดงให้เห็นว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มักถูกเข้าใจว่าเป็นสาเหตุของอากาศเสีย นั้น แท้จริงแล้วไม่มีอันตรายต่อร่างกาย นายบาร์เคอร์ (Barker) ชาวอังกฤษ ก็ยอมรับว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณ 1000 ppm แทบจะไม่ทำให้เกิดกลิ่นเสียในอากาศเลย ซึ่งเทียบเท่ากับการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาในอัตราประมาณ 7 ลิตร/วินาที/คน

การพิจารณาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร อย่างไรก็ตามยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับดัชนีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพอากาศ การวิจัยเมื่อเร็วๆ นี้ ได้แสดงให้เห็นว่าในอาคารสมัยใหม่ ยังมีมลภาวะอากาศชนิดอื่นที่มีความสำคัญมากกว่า ทั้งในแง่ปริมาณและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการปรับปรุงแก้ไขคู่มือการระบายอากาศที่แนะนำเกี่ยวกับอัตราการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาไหลเวียนภายในหลายครั้ง จากแผนภูมิที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอากาศบริสุทธิ์ที่แนะนำ ในสหรัฐอเมริกา ในช่วง 160 ปี ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเราขาดความรู้เกี่ยวกับอัตราการอากาศบริสุทธิ์ที่เหมาะสมเพียงใด แม้กระทั่งทุกวันนี้ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบ การพัฒนาเทคโนโลยี และวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนถึงความสัมพันธ์ด้านราคาของพลังงานที่ใช้ในการระบายอากาศตามอัตราที่ระบุไว้



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายอากาศต่ำสุดที่ต้องการ ในสหรัฐอเมริกา

เมื่อไม่นานมานี้ คำว่า “อาคารป่วย” (Sick Buildings : SB) และนิยามของโรคอันเป็นผลมาจากอาคารที่ป่วย (Sick Building Syndrome : SBS) ได้ถูกนำมาพิจารณาอีกครั้งในแง่ของวิธีการระบายอากาศภายในอาคาร ไม่ว่าจะป็นอาคารปรับอากาศหรือไม่ จากการศึกษาหลายครั้ง จะพบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิด SBS และลักษณะการระบายอากาศ ถึงแม้ว่าจะ

มีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลด้วยเช่นกัน โดยพบว่าการขาดอากาศบริสุทธิ์เป็นเพียงปัจจัยสนับสนุน มิใช่สาเหตุหลักในการเกิด SBS ดังนั้น ทุกวันนี้เราจึงพบว่า มนุษย์เองเป็นกรณีศึกษาสำคัญ ในช่วง 3 ศตวรรษที่ผ่านมา ที่ทำให้ทราบว่าภาวะระบายอากาศเป็นสิ่งจำเป็น แต่ก็ไม่มั่นใจว่า มนุษย์ หรืออาคาร มีความต้องการอะไรบ้างเพื่อสุขภาพที่ดี และการสร้างความสบาย

2.2 การระบายอากาศ คือ อะไร

ในสองทศวรรษที่ผ่านมา การระบายอากาศ และการอนุรักษ์พลังงาน กลายเป็นหัวข้อหลัก ในการออกแบบงานระบบอาคาร การระบายอากาศกลายเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในหมู่นักออกแบบ ระบบอาคาร นักวิทยาศาสตร์ และวิศวกร ต่อสูขลักษณะที่ดีของผู้อยู่อาศัย เป็นผลให้ความ สนใจในประเด็นนี้ขยายออกไป สมมติฐานที่ว่าภาวะระบายอากาศเกิดจากการเปิดช่องเปิดในห้อง ตามอัตราที่แนะนำไว้ในคู่มือ นั้นไม่เพียงพออีกต่อไป เนื่องจากยังมีตัวแปรอีกมากมายที่มี ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายใน ตัวอย่างเช่น การกระจายตัวของอากาศก็มีความสำคัญ ไม่ เฉพาะต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่อยู่อาศัย แต่มีผลต่อความต้องการพลังงานความร้อน หรือ ความเย็นด้วยเช่นกัน คำศัพท์ใหม่ๆ เช่น ประสิทธิภาพของการระบายอากาศ ประสิทธิภาพของ การระบายอากาศ ดัชนีคุณภาพอากาศ อายุของอากาศ เป็นต้น ได้กลายมาเป็นตัวบ่งชี้สำคัญ ในการประเมินกระบวนการระบายอากาศ ทุกวันนี้เราสนใจการระบายอากาศ ว่าเป็น กระบวนการจัดหาอากาศบริสุทธิ์ให้กับผู้อยู่อาศัยในอาคาร มากกว่าเพื่อตัวอาคารเอง

2.3 ความต้องการการระบายอากาศ

จากที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น ว่าการระบายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการหายใจ และการ ถ่ายเทมลภาวะภายในออกไป ก่อนที่จะระบุน้อตราการระบายอากาศลงไป จำเป็นต้องประเมิน อัตราการผลิตมลภาวะในอาคารที่เกิดจากแหล่งต่างๆ ก่อน เช่น จากกลไกชีวภาพของร่างกาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คิวบิกเมตร หรือ ไอระเหยต่างๆ (volatile organic compounds : VOCs) โอโซน ฝุ่นละออง เรดอน และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากเรายังไม่ทราบว่าการรวมตัวของ มลภาวะเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพอากาศอย่างไร จึงได้ทำการแยกศึกษาที่ละประเภท โดยประเมิน อัตราการระบายอากาศต่อมลภาวะแต่ละประเภท แล้วเลือกใช้ค่าอัตราการระบายอากาศที่มาก ที่สุดเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ การพิจารณาระดับมลภาวะในอากาศที่ยอมรับได้ในอาคาร สามารถหาได้จากมาตรฐานของแอสเร (ASHRAE Standard 62-1989R) และเกณฑ์การจัดการ สุขภาพและความปลอดภัยของอังกฤษ (UK Health and Safety Executive : HSE)

ปัจจัยอื่นที่มักถูกละเลย แต่มีความสำคัญมากต่อการกำหนดอัตราการระบายอากาศ คือ ประสิทธิภาพของการระบายอากาศ (ventilation effectiveness : E_v) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\varepsilon_v = (c_o - c_i) / (c - c_i) \times 100(\%) \quad (2.1)$$

เมื่อ c_i = ปริมาณมลภาวะในอากาศที่นำเข้ามา, ppm หรือ mg m^{-3}
 c_o = ปริมาณมลภาวะในอากาศที่ระบายออกไป, ppm หรือ mg m^{-3}
 c = ปริมาณมลภาวะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่ใช้งาน, ppm หรือ mg m^{-3}

ค่าของ ε_v ขึ้นอยู่กับวิธีการระบายอากาศที่ใช้ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่งของช่องนำอากาศเข้า และช่องระบายอากาศออก การเคลื่อนที่ และการปิดตัวของอากาศที่นำเข้ามาภายในห้อง ความร้อน และการกระจายความร้อนในห้อง การประเมินค่าของ ε_v สามารถทำได้โดยการวัด หรือ การทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

การระบายอากาศภายในอาคาร เป็นปัจจัยแรกๆ ที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ความสบาย และความเป็นอยู่ที่ดี ความบริสุทธิ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศมีผลโดยตรงต่อร่างกายมนุษย์ ส่วนอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศภายในจะมีผลทางอ้อม

การระบายอากาศมีประโยชน์ 3 ประการ ซึ่งต้องการระดับความเร็วลมภายในอาคาร แตกต่างกัน ดังนี้

2.3.1 รักษาคุณภาพอากาศภายในโดยแทนที่ด้วยอากาศใหม่ภายนอก

การรักษาคุณภาพอากาศเป็นคุณสมบัติที่ต้องการและเป็นสิ่งจำเป็นในทุกๆ สภาพอากาศ เพื่อนำออกซิเจนเข้ามาใช้หายใจ ป้องกันไม่ให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป และระบายกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ในกรณีที่มีการทำความร้อน หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ ควรให้มีอัตราการระบายอากาศที่สูงพอที่จะรักษาระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ ให้ต่ำกว่าระดับที่เป็นผลเสียต่อสุขภาพ สิ่งเจือปนในอากาศที่ทำให้เกิดมลภาวะดังกล่าวมีอยู่มากมายหลายชนิด ได้แก่ (รายละเอียดดูภาคผนวก ข)

- ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygen and Carbon Dioxide)
- กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ (Odour)
- คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)
- ควันบุหรี่ (Tobacco Smoke)
- ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde)
- โอโซน (Ozone)
- สารประกอบไอระเหย (Volatile Organic Compounds : VOCs)
- เรดอน (Radon)
- ฝุ่นละออง (Particulates)
- ไอน้ำ (Water Vapour)

2.3.2 สร้างสภาวะสบายทางอุณหภูมิ

ความสบายเชิงอุณหภูมิของมนุษย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักทางสภาพแวดล้อม 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศ และรังสีดวงอาทิตย์ จากผลการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านยอมรับว่า วิธีวัดสภาวะสบายที่ดีที่สุด คือ การวัดอุณหภูมิเกาะปะาะแห่งที่ระดับความชื้นต่างๆ กัน

จากสาเหตุที่ว่าความสบายขึ้นอยู่กับการสูญเสียความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย ดังนั้น ความไม่สบาย จะเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการดังกล่าวไม่เหมาะสม หรือมากเกินไป การสูญเสียความร้อนของร่างกายสามารถอยู่ในรูปของการพาความร้อน (การนำความร้อน) ก็เป็นไปได้ ถ้ามีการสัมผัสผิววัตถุที่เย็นกว่า) การแผ่รังสี และการระเหย ในสภาพอากาศหนึ่ง อุณหภูมิประมาณ 18 - 20°C ถ้าไม่มีการนำความร้อนเกิดขึ้น สัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์จะแบ่งเป็น

การแผ่รังสี	45	%
การพาความร้อน	30	%
การระเหย	25	%

การพาความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ การแผ่รังสีขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีของสภาพแวดล้อม สภาวะความร้อน ความเย็นในอาคาร ก็ขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีภายนอก และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ด้วยเช่นกัน ส่วนการระเหยขึ้นอยู่กับการนำความร้อนในบรรยากาศ

การเคลื่อนที่ของอากาศที่ผิวกายมนุษย์ จะส่งผลให้เกิดความเย็น แม้ในสภาพอากาศที่อุ่นกว่าอุณหภูมิผิว (ไม่เกิน 38°C) โดยการเพิ่มอัตราการระเหยของเหงื่อ หรือการลดความชื้นนั่นเอง วิธีที่ใช้ในการคำนวณผลของความเย็นที่เกิดขึ้นนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่ดีที่สุดภายใต้สภาพอากาศต่างๆ ไป คือ

$$dT = 6 \times (v - 0.2) - (v - 0.2)^2 \quad (2.2)$$

เมื่อความเร็วลมไม่เกิน 2 m/s

เมื่อ v = ความเร็วลม, m/s ความเร็วลมที่ต่ำกว่า 0.2 m/s ไม่นำมาพิจารณา

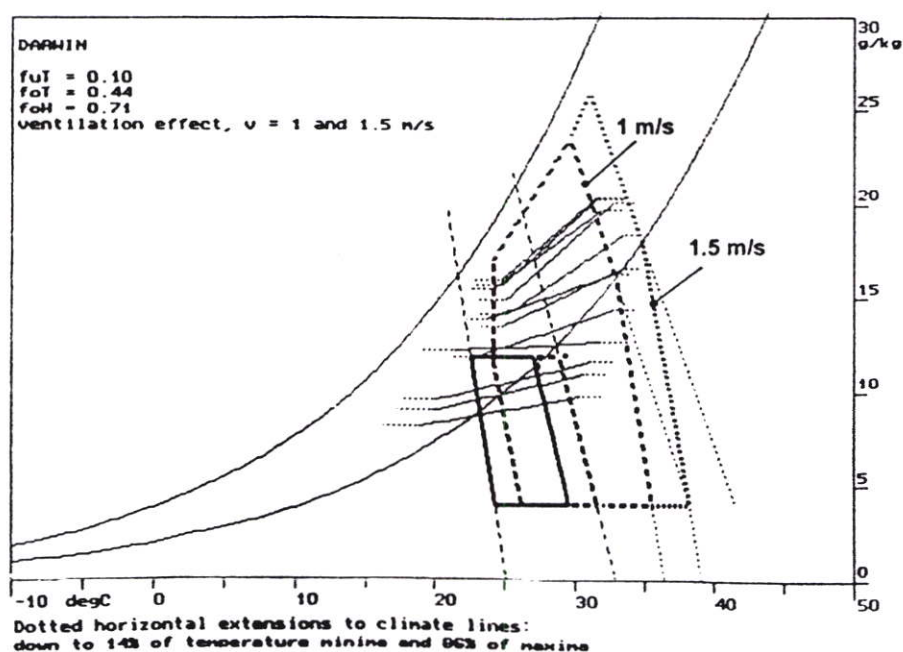
ในทางปฏิบัติ ความเร็วลมที่สูงกว่า 1.5 m/s อาจรบกวนผู้อยู่อาศัย ดังนั้น ด้วยวิธี CPZ¹ (Szokolay, 1986) จึงกำหนดความเร็วลมที่ใช้คำนวณเป็น 2 ค่า คือ

$$\text{เมื่อ } v = 1 \text{ m/s, } dT_1 = 6 \times 0.8 - 0.8^2 = 4.2 \text{ K}$$

$$\text{เมื่อ } v = 1.5 \text{ m/s, } dT_2 = 6 \times 1.3 - 1.3^2 = 6.1 \text{ K}$$

¹CPZ (Control Potential Zone) ขอบเขตของอุณหภูมิอากาศ และความชื้นภายนอกอาคารที่สามารถใช้กลวิธีควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น การใช้มวลอาคาร การระบายอากาศ การระเหยเพื่อทำความเย็น และการใช้รังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น ควบคุมสภาพอากาศภายนอก เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ยอมรับได้ : ผู้เขียน

ค่า dT นี้จะถูกเพิ่มเข้าไปในขอบเขตบนของสภาวะสบาย ในรูปของเส้น ET^* ² ไปตามเส้นความชื้นที่ 50% จากจุดนี้ขึ้นไป ความชื้นของขอบเขต CPZ จะเป็นไปตามความชื้นของเส้น ET^* แต่จากจุดนี้ลงมา ความชื้นจะแคบลง ตำแหน่งจุดตัดกับแกน x จะลดลงครึ่งหนึ่งเนื่องจากในสภาพอากาศร้อนแห้ง จะมีการระเหยที่ติดอยู่แล้ว แม้จะไม่มี การเคลื่อนที่ของอากาศช่วย ดังนั้น ความเย็นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในกรณีนี้จึงไม่ชัดเจนนัก ยกตัวอย่างจากแผนภูมิที่ 2.2 เมืองดาร์วิน ในเดือนมกราคม อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยเป็น 28.3°C จากสูตรค่ากลางของอุณหภูมิในขอบเขตสภาวะสบาย (Auliciem, 1981)



แผนภูมิที่ 2.2 ตัวอย่างแสดงผลกระทบของลมต่อขอบเขตสภาวะสบายที่เพิ่มขึ้น

$$T_n = 17.6 + 0.31 \times T_{o.av} \quad (2.3)$$

เมื่อ $T_{o.av}$ = อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยของเดือน

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times 28.3) = 26.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ขอบเขตบนของสภาวะสบาย} = 28.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

เมื่อ $v = 1 \text{ m/s}$,

$$ET^* = 28.4 + 4.2 = 32.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ที่ RH 50% ณ อุณหภูมิดังกล่าว ค่า AH จะเป็น 16 g/kg

$$\text{จุดตัดแกน } x = 32.6 + 0.5 \times \{0.023 \times (32.6 - 14) \times 16\} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

² ET^* (new effective temperature) : ผู้เขียน

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } v &= 1.5 \text{ m/s,} \\ ET^* &= 28.4 + 6.1 = 34.5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{ที่ RH 50\% ณ อุณหภูมิดังกล่าว ค่า AH จะเป็น } &18 \text{ g/kg} \\ \text{จุดตัดแกน x} &= 34.5 + 0.5 \times (0.023 \times (34.5 - 14) \times 18) = 38.7 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากลักษณะทางกายภาพของผลกระทบที่เกิดจากการพัดพาของอากาศ นำไปสู่ประเด็นเกี่ยวกับปริมาณ ความเร็วลมที่ต้องการเพื่อที่จะให้ได้รับความสบาย

ความสบายทางอุณหภูมิ มิได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันไอน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความเร็วลมด้วย การกระจายลมภายในห้องนั้นมีความหลากหลายมาก ดังนั้นในการวัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ ควรพิจารณาเรื่องความเร็วลมในห้องมากกว่าเรื่องการนำอากาศเข้า หรือการผลัดเปลี่ยนอากาศ เนื่องจากมันไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ และความเร็วลมที่พัดผ่านอาคาร ตัวอย่างเช่น ลมหมุนที่มีความเร็วต่ำอาจจะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในระดับใช้งานสูงขึ้น ดีกว่าความเร็วลมสูงในระดับฝ้าเพดาน

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ และความเร็วลม ขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพของพื้นที่ และตำแหน่งของช่องเปิด สำหรับห้องแคบ ยาว ความเร็วลมจะสูงขึ้นเมื่อมีช่องลมเข้า และช่องลมออกในบริเวณที่แคบ ยาวนี้ มากกว่าในที่กว้าง หรือที่ที่มีทางเดินลมสั้นกว่า

จากสูตรสมดุลทางอุณหภูมิมะหว่างร่างกาย และสิ่งแวดล้อม

$$M \pm R \pm C - E = Q \quad (2.4)$$

เมื่อ M	=	อัตราการเผาผลาญในร่างกาย
R	=	การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการแผ่รังสี
C	=	การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการพาความร้อน
E	=	การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการระเหย
Q	=	ความร้อนในร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไป

จึงเป็นไปได้ว่าเราสามารถคำนวณความเร็วลมที่ต้องการเพื่อให้รู้สึกสบาย ในสภาพที่แตกต่างกันของอุณหภูมิ ความชื้น เสื้อผ้า อัตราการเผาผลาญได้

ความต้องการความเร็วลมจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศ เพื่อให้เกิดความเย็น โดยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิร่างกาย และสภาพแวดล้อมให้น้อยลง จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองเท่ากัน ในที่สุด (ประมาณ 35°C) โดยยังมีได้พิจารณาเรื่องความชื้น เสื้อผ้า ลักษณะการทำงาน แต่ปัจจัยเหล่านี้ก็มีความสำคัญเช่นกัน หากอุณหภูมิอากาศสูงเกิน 35°C การเพิ่มความเร็วลมจะทำให้ได้รับความร้อนจากการพา แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความชื้น อัตราการเผาผลาญในร่างกาย และเสื้อผ้าด้วย ถ้าความชื้นต่ำ และใส่เสื้อผ้าบางๆ ความเร็วลมต่ำๆ ก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าความชื้น

และอัตราการเผาผลาญในร่างกายสูงขึ้น เสื้อผ้าหนาขึ้น ก็ต้องการความเร็วลมที่สูงขึ้นด้วย จากที่กล่าวมาทำให้ทราบว่าความเร็วลมที่เหมาะสมในสภาพต่างๆ อาจไม่เท่ากันก็ได้

2.3.3 ทำความเย็นให้กับมวลโครงสร้างอาคารในตอนกลางวัน

ปกติแล้ว อากาศจะมีความจุความร้อนต่ำมาก ดังนั้น ถ้าอาคารไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิอากาศภายในก็จะรับความร้อนจากสภาพแวดล้อม พื้นผิวภายใน และภายนอกไว้ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก และภายใน ขึ้นอยู่กับสีผนังภายนอกเป็นหลัก อุณหภูมิอากาศภายในจะสูงขึ้น ถ้าสีผนังเป็นสีเข้ม ช่วงเวลาการส่งผ่านความร้อน ขึ้นอยู่กับความจุความร้อนของวัสดุ และคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของมัน รวมทั้งช่วงของอุณหภูมิผิวภายนอกด้วย

การทำความเย็นให้กับมวลโครงสร้างอาคารในตอนกลางวัน คือ กลวิธีในการทำความเย็น โดยการป้องกันการรั่วไหลของอากาศในเวลากลางวัน (ร้อน) และทำความเย็นให้กับมวลโครงสร้างอาคารในตอนกลางวัน ด้วยการหมุนเวียนอากาศภายนอก (เย็น) เข้ามาภายในผ่านมวลโครงสร้างโดยตรง หรือเก็บไว้ในถังเก็บความเย็น เช่น กระจกสะท้อน ถังเก็บน้ำ เป็นต้น แล้ววางท่ออากาศผ่านถังเก็บความเย็นนี้ มวลโครงสร้างที่เย็นแล้วนี้จะทำหน้าที่เหมือนอ่างความเย็น (heat sink) ในตอนกลางวันของวันต่อมา โดยการดูดซับความร้อนที่กระจายอยู่ภายในอาคาร การถ่ายเทความร้อนในช่วงกลางวัน จากอากาศภายในสู่มวลเก็บความเย็นเป็นไปโดยธรรมชาติ ด้วยวิธีการพาความร้อน หรือการแผ่รังสีคลื่นยาว หรือทำให้อากาศเคลื่อนที่ระหว่างพื้นที่ภายใน กับถังเก็บความเย็น

ความสัมพันธ์ของประโยชน์ที่เกิดจากการระบายอากาศทั้ง 3 ประการขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในพื้นที่นั้นๆ ในฤดูกาลต่างๆ

2.4 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

ในทุกๆ ส่วนของโลกไม่ว่าจะมีสภาพภูมิอากาศแบบใด จะต้องมีส่วนช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความเหมาะสม และสามารถนำมาใช้ระบายอากาศภายในอาคารเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายได้ แม้แต่ในพื้นที่เขตร้อน ก็ยังมีบางเดือน และบางช่วงเวลาในหนึ่งวันที่สามารถใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติได้ โดยเฉพาะในพื้นที่เขตอบอุ่นขึ้น และร้อนขึ้น การระบายอากาศตามธรรมชาติจะเป็นวิธีสำคัญในการสร้างความเย็นตลอดทั้งปี การระบายอากาศที่ดีจะช่วยรักษาคุณภาพอากาศภายใน และความสบายทางอุณหภูมิได้

ในการระบายอากาศตามธรรมชาติโดยทั่วไป อากาศจะเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร คือ หน้าต่าง ดังนั้น การออกแบบอาคารเพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติ จะต้องคำนึงถึง ตำแหน่ง จำนวน ขนาด ทิศทาง และรายละเอียดของหน้าต่างเป็นสำคัญ

ศักยภาพในการระบายอากาศภายในอาคารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความเร็ว ลมรอบๆ อาคาร ณ ที่ตั้งนั้นๆ สภาพลมในที่ตั้งซึ่งขึ้นอยู่กับลมที่พัดเข้าสู่ที่ตั้ง และการออกแบบ ภูมิสถาปัตยกรรมของที่ตั้งนั้น

2.5 แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ

การระบายอากาศผ่านตัวอาคาร จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปิดช่องเปิดในตำแหน่งที่อาคารมี ระดับความกดดันอากาศแตกต่างกัน ซึ่งความดันที่แตกต่างกันนี้เกิดจากแรงสองประเภท คือ

- 2.5.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก (thermal หรือ thermosyphonic force)
- 2.5.2 การพัดพาของลมปะทะตัวอาคาร (wind pressure force)

2.5.1 การระบายอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

ความหนาแน่น และความกดดันอากาศจะลดลงตามความสูง อัตราการลดลงของความกดดันอากาศนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ หากอุณหภูมิอากาศสูง อัตราการลดลงของความกดดันอากาศตามความสูงจะลดลง เมื่ออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในอาคารสูงกว่าภายนอก ณ ระดับความสูงเดียวกัน อากาศภายในอาคารซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่า จะมีความกดดันอากาศน้อยกว่าภายนอก ดังนั้น ถ้าเปิดช่องเปิด ณ ระดับความสูงที่แตกต่างกัน ความกดดันอากาศภายในบริเวณช่องเปิดที่อยู่สูง จะสูงกว่าช่องเปิดที่อยู่ต่ำ เมื่อเทียบกับความกดดันอากาศภายนอกในระดับความสูงเดียวกัน ความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำอากาศภายนอกเข้ามาสู่ภายในทางช่องเปิดด้านล่าง แล้วระบายออกทางช่องเปิดด้านบน เรียกรวมการเคลื่อนที่ของอากาศแบบนี้ว่า “thermosyphonic flow”

หากนำหลักการการระบายอากาศด้วยวิธีดังกล่าวมาประยุกต์เข้ากับรูปแบบปล่องจะเรียกว่า stack effect ประสิทธิภาพของระบบจะแปรตามความแตกต่างของอุณหภูมิ และความสูงระหว่างช่องอากาศเข้า และช่องอากาศออก และจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของปล่องสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเท่านั้น ถ้าอุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอก รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจะกลับทางกัน อากาศภายนอกจะเคลื่อนที่เข้ามาทางช่องเปิดด้านบน และระบายออกทางช่องเปิดด้านล่าง

สูตรการคำนวณหาความแตกต่างของความกดดันอากาศที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (Δp) คือ³

$$\Delta p = h \times g \times (d_o - d_i) \quad (2.5)$$

เมื่อ Δp = ความแตกต่างของความกดดันอากาศ (Pa)
 h = ความแตกต่างของความสูง (เมตร)
 g = แรงโน้มถ่วง (9.81 เมตร/วินาที²)
 d = ความหนาแน่นของอากาศ (กก./ลบ.ม.)

เมื่อความหนาแน่นของอากาศ (d) ณ อุณหภูมิ (T) คือ d_T

$$d_T = 1.293 \times 273/T \quad (2.6)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ ($^{\circ}K$)

ดังนั้น $\Delta p = h \times 9.81 \times (1.293 \times 273/T_o - 1.293 \times 273/T_i)$

$$\Delta p = h \times 3462 \times (1/T_o - 1/T_i) \quad (2.7)$$

สูตรการคำนวณอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (vr) คือ

$$vr = 0.827 \times A_{\text{ปล่อง}} \times \sqrt{\Delta p} \quad (2.8)$$

ยกตัวอย่างห้องที่มีการระบายอากาศแบบนี้ และมีความแตกต่างความสูงไม่เกิน 5 เมตร

$$\text{ถ้า } T_i = 28 + 273 = 301 \text{ } ^{\circ}K$$

$$T_o = 20 + 273 = 293 \text{ } ^{\circ}K$$

$$\Delta p = 5 \times 3462 \times (1/293 - 1/301)$$

$$= 1.57 \text{ Pa}$$

ถ้าปล่องมีขนาด 0.25 ตร.ม.

$$\text{ดังนั้น } vr = 0.827 \times 0.25 \times \sqrt{1.57}$$

$$= 0.26 \text{ ลบ.ม./วินาที}$$

ด้วยอัตราการระบายอากาศดังตัวอย่าง อาจเพียงพอต่อการหมุนเวียนนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในอาคาร แต่ความเร็วลมที่ได้อาจไม่พอ หากพื้นที่ช่องเปิดเป็น 4 ตร.ม. ค่าความเร็วลมจะเป็น

³Michael Docherty and Steven V. Szokolay. *Climate Analysis*. Queensland : The University of Queensland Printery, 1999, p. 42.

$$v = 0.26 / 4$$

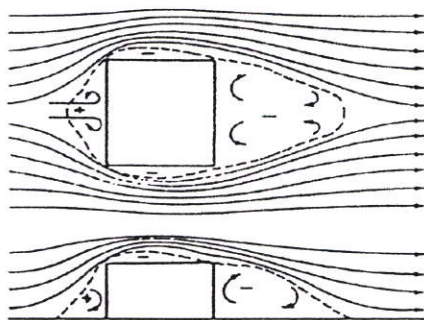
$$= 0.06 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

ซึ่งน้อยมากจนมนุษย์ไม่สามารถรู้สึกได้ ในสภาพอากาศอบอุ่นที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกต่ำ การระบายอากาศแบบปล่องนี้จะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้นุษย์รู้สึกสบายได้

2.5.2 การระบายอากาศที่เกิดจากแรงลม

เมื่อมีลมพัดปะทะอาคาร มันจะแตกตัวออกรอบๆ ผนัง และหลังคา อาคารด้านหน้าผนังที่ปะทะกับลมจะเกิดแรงอัด ทำให้เกิดพื้นที่ลมอัด ส่วนอากาศที่อยู่ด้านผนังที่อับลม และเหนือหลังคาจะขยายตัวออก ความดันจะลดลง ทำให้เกิดพื้นที่ลมดูด ด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดพื้นที่ของเปลือกอาคารที่มีความกดดันอากาศแตกต่างกัน

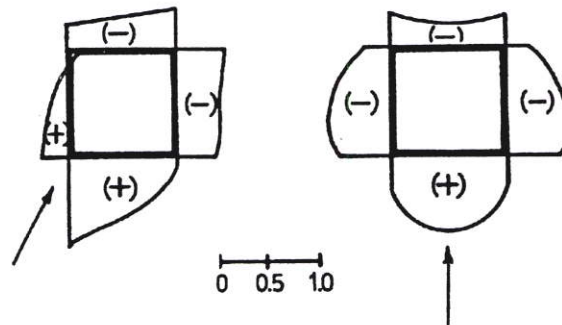
เมื่อลมปะทะอาคารดังกล่าว ความเร็วลมจะลดลงด้วย อัตราความเร็วลมที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากรูปร่างของผนังหน้าอาคารด้านที่ลมเข้าไปปะทะ ซึ่งจะเบี่ยงขึ้นไปสู่เบื้องบน และลู่ออกไปทางด้านข้างทั้งสองข้าง กระแสลมจะแยกตัวเป็นชั้น ซึ่งแต่ละชั้นมีความเร็วแตกต่างกัน ที่ชั้นในสุดที่ปะทะกับอาคารจะมีความเร็วมาก เพราะถูกรีดให้แคบลง และเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดช่องความกดดันอากาศสูงขึ้นที่หน้าอาคาร และพัฒนาไปเป็นลมหมุนวนอยู่ภายในช่องดังกล่าวนี้ ดังภาพที่ 2.1



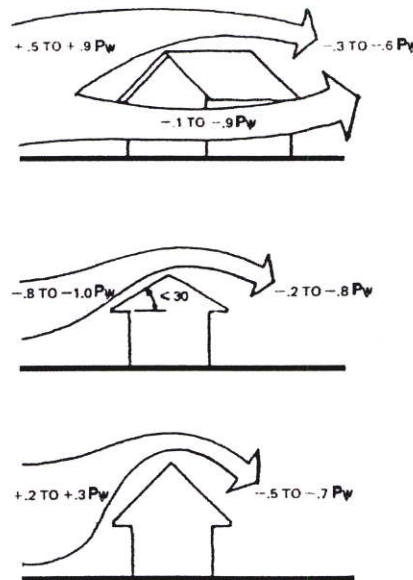
ภาพที่ 2.1 กระแสลมที่พัดผ่านอาคาร

ในเรื่องของไมเนนตั้มแล้ว ลมในชั้นต่างๆ จะพยายามรักษาทิศทางให้คงเดิมไว้เสมอ ดังนั้นเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางใดๆ แล้วก็จะวิ่งกลับสู่สภาพเดิมทุกครั้ง ดังนั้นจากรูปผัง ชั้นลมก็จะกลับมาพบกันดังเดิม ส่วนจากรูปตัดชั้นลมก็จะวิ่งกลับไปเสียดผิวดินตามเดิม ทำให้เกิดช่องว่างที่ด้านหลังของอาคารขึ้นอีก ช่องว่างดังกล่าวนี้ เป็นบริเวณความกดดันอากาศต่ำ และมีลมหมุนอ่อนๆ ที่มีกำลังไม่แน่นอนเกิดขึ้นอยู่ด้วย บ้างเรียกกันว่าเป็น “เงาของลม” (wind shadow) ความกดดันอากาศรอบๆ อาคารจะเป็นสัดส่วนกับความดันของกระแสลม (pw) เสมอ ไม่ว่าจะ เป็นด้านที่มีความกดดันอากาศสูงหรือต่ำ เมื่อลมพัดตั้งฉากกับอาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่

ด้านหน้าลม (windward side) จะเป็นพื้นที่ลมอัด โดยปกติจะมีค่าความกดดันอากาศเป็น $0.5 - 0.9$ เท่าของความดันกระแสลม (p_w) ส่วนพื้นที่ด้านข้าง และด้านหลังลม (downwind side) จะเป็นพื้นที่ลมดูด ด้านหลังลมจะมีค่าความกดดันอากาศเป็น $(-0.3) - (-0.9) p_w$ ดังภาพที่ 2.3 หากลมพัดมาเฉียงๆ ทำมุมกับอาคาร พื้นที่บริเวณผนังสองด้านที่อยู่หน้าลมจะเป็นพื้นที่ลมอัด ส่วนพื้นที่บริเวณผนังสองด้านที่อยู่หลังลมจะเป็นพื้นที่ลมดูด ดังภาพที่ 2.2 ส่วนพื้นที่เหนือหลังคาจะเป็นส่วนพื้นที่ลมดูด ในทุกกรณี ความกดดันอากาศที่ปะทะเข้ากับอาคารจะไม่เท่ากัน แต่ความกดดันอากาศจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อห่างออกจากศูนย์กลางพื้นที่ลมอัด



ภาพที่ 2.2 ผังการกระจายความกดดันอากาศรอบๆ อาคาร



ภาพที่ 2.3 รูปตั้งแสดงการกระจายความกดดันอากาศรอบๆ อาคารเมื่อมีลมมาปะทะ

อากาศถึงแม้ว่าจะเบามาก (ประมาณ 1.2 กก./ลบ.ม.) แต่ก็ถือว่าเป็นมวลสาร ดังนั้นขณะที่อากาศเคลื่อนที่ก็จะมีโมเมนตัม อันมีมวล และความเร็ว (กก., เมตร/วินาที) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ สามารถเปลี่ยนทิศทางหรือขนาดได้ด้วยแรงอื่น เมื่อ

อากาศเคลื่อนที่ปะทะเข้ากับสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ความเร็วก็จะลดลงแต่ก็จะสร้างความดันขึ้น บริเวณผิวหน้าของสิ่งกีดขวาง ความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสความเร็วที่พัดเข้ามา ดังสูตร⁴

$$p_w = 0.612 v^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ p_w = ความดันของลม, Pa

v = ความเร็วของลม, เมตร/วินาที

0.612 = ค่าคงที่

สำหรับผนังด้านรับลม ค่าความดันของลมจะมีค่า 0.5 ถึง 1 p_w

สำหรับผนังด้านอับลม ค่าความดันของลมจะมีค่า -0.3 ถึง -0.4 p_w

ค่าความดันลมดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับทิศทางของลม ผลกระทบของสภาพแวดล้อม และลักษณะพิเศษอื่นๆ ด้วย ความแตกต่างของความกดดันอากาศระหว่างสองตำแหน่งใดๆ บนเปลือกอาคาร อธิบายได้ถึงศักยภาพของการระบายอากาศ เมื่อมีการเปิดช่องเปิด ณ ตำแหน่งนั้นๆ อากาศจะสามารถเคลื่อนที่ภายในอาคารจากช่องเปิดที่มีความกดดันอากาศสูง ไปสู่ช่องเปิดที่มีความกดดันอากาศต่ำ ความเร็วลมภายในอาคารเป็นสัดส่วนกับความเร็วลมภายนอกด้านหน้าช่องลมเข้า ส่วนตัวหน้าต่างเอง จะมีลักษณะเป็นสิ่งกีดขวางทางลม ทำให้เกิดแรงต้านทาน และลดความเร็วลมลง สูตรการคำนวณอัตราการระบายดังกล่าว คือ

$$v_r = 0.827 \times A_{\text{ช่องเปิด}} \times \sqrt{\Delta p} \quad (2.10)$$

ถ้าสมมติให้ความเร็วลมเฉลี่ยเป็น 7 เมตร/วินาที

$$p_w = 0.612 \times (7)^2 = 30 \text{ Pa}$$

ถ้าสมมติให้ความแตกต่างของความกดดันอากาศเป็น

$$\Delta p = 0.75 p_w - (-0.25 p_w) = 1 p_w$$

ถ้าขนาดช่องลมเข้าและช่องลมออกเท่ากัน เท่ากับ 4 ตร.ม. อัตราการระบายอากาศจะเป็น

$$v_r = 0.827 \times 4 \times \sqrt{30} = 18.1 \text{ ลบ.ม./วินาที}$$

ความเร็วลมของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านหน้าต่างจะเป็น

$$v = 18.1 / 4 = 4.5 \text{ เมตร/วินาที}$$

ถ้าช่องลมเข้าและช่องลมออกมีขนาดไม่เท่ากัน ให้คำนวณค่า A ใหม่เป็น

$$A = \frac{A_{\text{เข้า}} \times A_{\text{ออก}}}{\sqrt{A_{\text{เข้า}} \times A_{\text{ออก}}}}$$

⁴Michael Docherty and Steven V. Szokolay. *Climate Analysis*. Queensland : The University of Queensland Printery, 1999, p. 43.

จากการทดลองการวางตำแหน่งทิศทางของอาคาร หากทำให้กระแสลมปะทะโดยตรงกับอาคารเป็นมุมฉากแล้ว จะเกิดบริเวณความกดดันอากาศสูงขึ้น และถ้ามีการเจาะหน้าต่างที่บริเวณนี้ จะทำให้ภายในห้องมีความกดดันอากาศสูงขึ้นด้วย และหากว่าเปลี่ยนให้กระแสลมปะทะกับผนังอาคารเป็นมุม 45 องศา แล้ว ความกดดันอากาศสูงที่ว่่านี้ก็จะลดลงไปได้ถึง 50% อย่างไรก็ตามก็ดีกว่ากระแสลมที่ปะทะอาคารเป็นมุม 45 องศา นั้น จะช่วยให้กระแสลมที่พัดเข้าภายในอาคารแรง และมีการกระจายลมได้ดีกว่า

2.6 ความเร็วลมภายในห้อง และทิศทางของลมที่สัมพันธ์กับช่องเปิด

ถ้าภายในห้องมีการระบายอากาศแบบ cross ventilation โดยมีช่องลมเข้า และช่องลมออกอยู่ในแนวเดียวกัน และมีขนาดช่องเปิดใกล้เคียงกัน สามารถคำนวณหาความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้จากสูตร⁵

$$V(i) = 0.45 (1 - ke^{-3.84}) V(o) \quad (2.11)$$

เมื่อ $V(i)$ = ความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้อง (เมตร/วินาที)

$V(o)$ = ความเร็วลมภายนอก (เมตร/วินาที)

k = อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่างต่อพื้นที่ผนัง

(กรณีที่ช่องลมเข้ามีขนาดเท่ากับช่องลมออก)

$$e^{-3.84} = \text{ค่าคงที่ทางกลศาสตร์ เท่ากับ } 0.0215$$

ตัวอย่างการหาความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 3 x 3 x 3 เมตร มีช่องเปิดอยู่บนผนังสองด้านตรงข้ามกัน ขนาด 1 x 1 เมตร กระแสลมด้านนอกเท่ากับ 5 เมตร/วินาที

$$\begin{aligned} V(i) &= 0.45 (1 - (9 \times 0.0215)) 5 \\ &= 1.815 \quad \text{เมตร/วินาที} \end{aligned}$$

หรือเท่ากับ 36% ของความเร็วลมภายนอกห้อง

2.7 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการระบายอากาศ

ปัจจัยในการออกแบบที่มีผลต่อการระบายอากาศภายใน คือ

2.7.1 ประเภทอาคาร โดยเฉพาะบ้านพักอาศัย ควรพิจารณาการออกแบบให้เกิดการระบายอากาศแบบ โดยจัดให้มีช่องเปิดทั้งด้านปะทะลม และด้านอับลม

⁵ Givoni, B. Man, Climate and Architecture. 2nd ed. London : Applied Science Publishers, 1976, p. 293.

- 2.7.2 ทิศทางที่ตั้งอาคาร โดยเฉพาะทิศทางของช่องเปิด กับทิศทางลม หากต้องการให้เกิดการระบายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ควรมีผนังหันเข้าหาลมอย่างน้อยหนึ่งด้าน โดยไม่จำเป็นต้องให้ทิศทางลมตั้งฉากกับผนัง แต่อาคารสามารถรับลมได้ในมุมกว้างถึง 60 องศา จากแนวตั้งฉาก (ทิศทางของลมกระทำกับผนังที่เป็นไปได้จึงเป็น 120 องศา) ส่วนผนังด้านอับลม ควรใช้เป็นช่องลมออก ตามความเข้าใจเดิม เชื่อว่าหากหันผนังตั้งฉากกับทิศทางลมจะทำให้เกิดความแตกต่างของความกดดันอากาศมากที่สุด ความเข้าใจนี้เป็นจริงเฉพาะเมื่ออาคารตั้งอยู่โดดเดี่ยว แต่ความเป็นจริง อาคารที่ตั้งอยู่ในเขตเมืองจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน เช่น ตึกแถวที่เรียงตัวยาว ถ้าหันผนังภายนอกตั้งฉากกับทิศทางลม จะทำให้ผนังด้านนั้น (ยกเว้นตึกแถวที่อยู่ริม) กลายเป็นพื้นที่ลมดูดในทางตรงกันข้าม หากวางทิศทางของอาคารให้ทำมุมกับทิศทางลม ประมาณ 30 ถึง 60 องศา จากแนวตั้งฉาก จะทำให้ลมเข้าถึงพื้นที่ได้ดีกว่า เพราะเมื่อลมทำมุมกับผนังดังกล่าว จะทำให้เกิดผนังด้านลมอัด 2 ด้าน และด้านลมดูด 2 ด้าน จึงมีทางเลือกในการเปิดช่องเปิดมากกว่า ในกรณีนี้ห้องมีผนังติดภายนอกด้านเดียวก็เช่นกัน ความสำคัญของผลกระทบจากตำแหน่งช่องเปิดนั้น จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของช่องลมเข้าเป็นหลัก ส่วนตำแหน่งของช่องลมออกนั้นมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเพียงเล็กน้อย
- 2.7.3 พื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด ทั้งด้านลมอัด และด้านลมดูด สัดส่วนของพื้นที่ช่องลมเข้า และช่องลมออกทั้งหมด จะมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ และความเร็วลมภายในกรณีที่ทิศทางลมตั้งฉากกับช่องเปิด ถ้าช่องลมเข้า และช่องลมออกมีขนาดเท่ากัน จะมีอัตราการเคลื่อนที่ และความเร็วลมภายในสูงสุด ถ้าช่องลมเข้า และช่องลมออกมีขนาดไม่เท่ากัน อัตราการเคลื่อนที่ และความเร็วลมภายในจะขึ้นอยู่กับช่องเปิดที่เล็กกว่า ดังนั้นการขยายขนาดช่องเปิดช่องใดช่องหนึ่ง จะทำให้ความเร็วลมภายในสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าช่องลมเข้าเล็กกว่าช่องลมออก ความเร็วลมสูงสุดจะสูงขึ้นมาก แต่ความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่จะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ตรงกันข้ามกับกรณีที่ช่องลมเข้าใหญ่กว่าช่องลมออก นอกจากนี้ การกระจายความเร็วลมภายในพื้นที่ก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อช่องลมเข้าใหญ่กว่าช่องลมออก
- 2.7.4 ประเภท และรายละเอียดของช่องเปิด ช่องเปิดแต่ละประเภทจะทำให้รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศแตกต่างกัน เช่น หน้าต่างบานยก บานเลื่อน บานเปิดบานพลิกแนวนอน (ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศได้)

- 2.7.5 สิ่งกีดขวางภายในระหว่างช่องลมเข้า และช่องลมออก เมื่อมีการแบ่งพื้นที่ภายในอาคาร จะทำให้อากาศที่เข้ามามีความเร็วลดลงเนื่องจากแรงต้านทาน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่องเปิดภายในระหว่างพื้นที่ย่อย รวมทั้งการบีบตัว และขยายตัวของอากาศขณะเคลื่อนที่ ที่จะทำให้เกิดลมหมุน และลดความเร็วลมลง สิ่งที่น่าสังเกต คือ หากช่องเปิดระหว่างพื้นที่ย่อยภายในมีขนาดเล็กกว่าช่องลมเข้า และช่องลมออก อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดช่องเปิดที่เล็กที่สุด
- 2.7.6 ตำแหน่งทางแนวตั้งของช่องเปิด ความสูงของช่องเปิดมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในมาก เช่น บริเวณใต้วงกบหน้าต่างมักเป็นพื้นที่อับลม หากตำแหน่งหน้าต่างอยู่สูงเกินไป จะทำให้บริเวณอยู่อาศัยอับลม แต่เราสามารถออกแบบรายละเอียดของช่องลมเข้าที่จะควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศได้ เช่น การใช้บานพลิกปรับมุมได้
- 2.7.7 การใส่มุ้งลวด ในพื้นที่เขตร้อนหลายๆ แห่ง มุ้งลวดเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากเพื่อป้องกันแมลงแล้วยังช่วยด้านลมที่มาปะทะแรงๆ ด้วย ในทางทฤษฎี หากพื้นที่ติดตั้งมุ้งลวดมากกว่าพื้นที่ช่องเปิด เช่น ติดตั้งมุ้งลวดที่ระเบียงด้านหน้าของหน้าต่าง ความเร็วลมภายในจะสูงกว่า เมื่อเทียบกับการติดมุ้งลวดที่ช่องหน้าต่างโดยตรง
- 2.7.8 รายละเอียดพิเศษในการนำลมเข้ามาภายในอาคาร

2.8 การใช้หุ่นจำลองเพื่อการศึกษาการระบายอากาศในอุโมงค์ลม

วิธีวัดพฤติกรรมของลมต่อโครงสร้างอาคารที่ดีที่สุด คือ การวัดจากอาคารจริง อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เข้าใจหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบจากปัจจัยสำคัญต่างๆ ให้มากขึ้น ซึ่งการวัดจากอาคารจริงทำได้ยาก และเป็นไปไม่ได้ วิธีที่เหมาะสมที่สุดก็คือ การทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม การทดลองในอาคารจริงโดยทั่วไปก็เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง กับผลการทดลองในอุโมงค์ลม

หุ่นจำลองนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการทดลองในอุโมงค์ลมที่ต้องมีกฎเกณฑ์รองรับต่างๆ กันไปในแต่ละกรณี ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับข้อกำหนดในการทำหุ่นจำลอง หรือ “โมเดลลอว์” (model laws) และเทคนิคการทดลองในอุโมงค์ลมดังกล่าวให้มากยิ่งขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว ผู้วิจัยควรยึดโมเดล ลอว์ ในการทำการทดลอง แต่ในความเป็นจริง ก็มีความผิดพลาดบางอย่างที่ต้องยอมรับ การแปลงผลการทดลองด้วยหุ่นจำลอง เพื่อคาดผลที่เกิดขึ้นในอาคารจริงควรกระทำอย่างรอบคอบ

โมเดล ลอวส์ เป็นตัวอธิบายสภาพการทดลองด้วยหุ่นจำลองเพื่อที่จะให้ได้ผลซึ่งถูกต้องตามความเป็นจริง ในแง่ของวิศวกรรมอากาศพลศาสตร์ มีตัวแปรมากมาย จนยากที่จะรวบรวมเอาไว้ได้ในการทดลองทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องละตัวแปรบางตัวที่ไม่สำคัญออกไป ในกรณีนี้ จึงได้มีการแบ่งโมเดล ลอวส์ ออกตามการพิจารณาแรงที่แตกต่างกัน

ในการทดลองอุโมงค์ลม จะทำหุ่นจำลองของอาคารจริง เป็นสัดส่วนเดียวกัน ดังนั้นพฤติกรรมของลมรอบหุ่นจำลอง จึงควรมีความใกล้เคียงกับในอาคารจริงเป็นสัดส่วนเดียวกันด้วย ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการพิจารณาให้สัดส่วนของแรงกระทำต่อมวลอากาศเท่ากับในหุ่นจำลอง เทียบเท่ากับอาคารจริง แรงกระทำต่อมวลอากาศดังกล่าว ได้แก่ แรงเฉื่อย แรงโน้มถ่วง และแรงหนืด แรงเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอากาศ แต่โดยปกติแล้วความสำคัญของแต่ละแรงจะแตกต่างกันไปในแง่ของกลไกการเคลื่อนที่ของอากาศ โมเดล ลอวส์ 2 แบบที่ใช้บ่อยๆ คือ

- โมเดล ลอวส์ ของฟราวด์ (Froude's model law) ซึ่งพิจารณาแรงเฉื่อย และแรงโน้มถ่วงร่วมด้วย
- โมเดล ลอวส์ ของเรย์โนลด์ (Reynolds' model law) ซึ่งพิจารณาแรงเฉื่อย และแรงหนืดร่วมด้วย

การที่จะให้ผลจากการทดลองในอุโมงค์ลมมีความถูกต้องใกล้เคียงความจริง จำเป็นต้องทดลองการเคลื่อนที่ของอากาศในชั้นบรรยากาศต่างๆ ก่อน ดังที่ได้อธิบายต่อไปในเรื่องของความเร็วลมที่เปลี่ยนไปในสภาพพื้นผิวต่างๆ เมื่อควบคุมให้การเคลื่อนที่ของอากาศในพื้นที่ทดลองให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงแล้ว ก็สามารถใช้โมเดล ลอวส์ ของเรย์โนลด์ ในการทดลองได้ การเคลื่อนที่ของลมใกล้พื้นผิวจะมีความถูกต้องมากขึ้น

$$Re = UI / \nu \quad (2.12)$$

เมื่อ Re = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

U = ค่าความเร็วลม

l = ขนาดของวัตถุ

ν = ค่าความหนืดของของไหล

ปกติแล้ว ในการศึกษาด้านวิศวกรรมการบิน ค่า “เรย์โนลด์ นัมเบอร์” (Reynolds number) ของหุ่นจำลอง และวัตถุจริง จะต้องเท่ากัน เพื่อให้สามารถกำหนดความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองได้เหมาะสมตามอัตราส่วนของขนาดวัตถุ และทำให้รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศรอบหุ่นจำลอง และวัตถุจริง ใกล้เคียงกัน

$$(Re)_{\text{model}} = (Re)_{\text{prototype}} \quad (2.13)$$

$$(UI / \nu)_{\text{model}} = (UI / \nu)_{\text{prototype}} \quad (2.14)$$

ในการทดลองเกี่ยวกับโครงสร้างที่อยู่กับที่ เช่น อาคาร สะพาน เป็นต้น หุ่นจำลองมักมีขนาดเล็กกว่าของจริงมาก ทำให้ค่าความเร็วลมสำหรับการทดลองมีค่าสูงมากจนเป็นไปได้ยากที่จะตามได้มีการพิสูจน์จากนักวิจัยหลายท่าน ได้แก่ เฮอร์มิงเกอร์ กับนอคเคนท์ (Iminger and Nokkentved), สมิท (Smith) และแวนเนนเบอร์ก กับแวน สเตรทเทน (Wannenburg and Van Straaten) ว่าในการทดลองอาคาร รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศไม่ขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ และถึงแม้ว่าจะใช้ความเร็วลมในระดับต่างๆ หลายระดับ ก็ไม่ส่งผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ และการกระจายความกดดันอากาศรอบๆ ผิวดัดแต่อย่างใด ดังนั้นการกำหนดค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ จึงไม่จำเป็นสำหรับการทดลองอาคาร โดยสามารถใช้ความเร็วลมปกติ หรือความเร็วที่ให้ผลในการทดลองดีที่สุด ในการทดลองเรื่องการระบายอากาศได้

วิธีการศึกษาด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และทรัพยากรที่หาได้ อย่างไรก็ตาม มีมาตรฐานของหุ่นจำลองสำหรับการทดลองต่างๆ ไป ดังนี้

- การทดลองลักษณะทางภูมิประเทศ เพื่ออธิบายสภาพลมเหนือพื้นผิวที่ซับซ้อน มาตรฐานส่วนใหญ่ที่เหมาะสม คือ 1:2000 – 1:5000 การทดลองลักษณะทางภูมิประเทศสามารถใช้ประเมินศักยภาพของพลังงานลมในที่ตั้ง และเพื่อประเมินการกระจายความเร็วลมบนสะพานที่ตั้งอยู่ในที่มีพื้นผิวซับซ้อน โดยทั่วไปการทดลองแบบนี้จะใช้เพื่อเชื่อมโยงสภาพลมของที่ตั้ง กับความเร็วลมที่วัดได้ในที่จริง
- การทดลองความกดดันอากาศในที่ตั้ง โดยใช้ท่อความดันวัด มาตรฐานที่เหมาะสมคือ 1:100 – 1:500 โดยทั่วไปการวัดแบบนี้จะใช้ท่อไวโนลเส้นเล็กๆ ต่อสายวัดความดันเข้าไปในหุ่นจำลอง ผลกระทบต่อความกดดันอากาศอันเกิดจากท่อจะต้องแก้ค่าใหม่อีกครั้งหนึ่ง ค่าความดันที่วัดได้ในอุโมงค์ลมนี้ จะใช้คำนวณลักษณะความกดดันอากาศ และแรงดูดที่เกิดขึ้นในจุดต่างๆ ของโครงสร้าง
- การทดลองหุ่นจำลองรูปตัดโครงสร้าง มาตรฐานส่วนใหญ่ที่เหมาะสม คือ 1:50 – 1:100 หุ่นจำลองรูปตัดอาคารใช้อธิบายแรงอัดอากาศภายในโครงสร้าง

นอกจากนี้ การกำหนดมาตรฐานของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลองในอุโมงค์ลม ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดลองด้วย โดยทั่วไป ขนาดหน้าตัดของหุ่นจำลองทั้งหมด ไม่ควรเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดหน้าตัดอุโมงค์ลม หรือเพื่อให้ได้ความถูกต้องมากขึ้น ไม่ควรเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมาตรฐานทั่วไปอยู่ระหว่าง 1:300 – 1:600 สำหรับการทดลองอาคารขนาดใหญ่ หรือ 1:100 สำหรับการทดลองอาคารขนาดเล็ก เพื่อเลี่ยงอิทธิพลของลมบริเวณรอบๆ อุโมงค์ลม ซึ่งจะทำให้การทดลองผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตาม ในการเลือกใช้วิธีการทดลองแบบใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้ ทางเลือกที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับประเภทข้อมูลที่ใช้

ต้องการใช้ในการออกแบบ และสูตรที่ใช้ในการแปลงค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อคาดการณ์ผลในความเป็นจริง

ส่วนที่ 2 สภาพลม และลักษณะการระบายอากาศในพื้นที่เมือง

2.9 ลักษณะของลมในพื้นที่เมือง

จากการออกแบบผังเมืองที่ได้พิจารณาสภาพภูมิอากาศในเมือง และขอบเขตสภาพน่าสบายของมนุษย์มาใช้ การพิจารณาสภาพลมในพื้นที่เมือง เป็นประเด็นสำคัญที่สุด การออกแบบองค์ประกอบของเมืองสามารถทำให้ความเร็วลมที่ระดับถนน ลด หรือเพิ่มได้ตามความต้องการด้านความสบายในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะเรื่องทิศทางของถนน และทิศทางลม ขนาด ความสูง และความหนาแน่นของอาคาร การกระจายตัวของตึกสูง เป็นต้น ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อสภาพลมในพื้นที่เมืองทั้งสิ้น ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการระบายอากาศในเมือง คือ ลักษณะลาดของลม นอกจากนี้ยังมีเรื่องความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นที่หนาแน่น กลางใจเมือง และพื้นที่โล่งที่ล้อมรอบ ซึ่งสามารถทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลางได้ โดยเฉพาะในช่วงลมสงบตอนกลางคืน

สภาพลมในพื้นที่เมือง โดยเฉพาะลมที่ระดับถนนนั้น มีผลโดยตรงต่อสุขภาพ และความสบายของมนุษย์ ไปจนถึงการบริโภคพลังงานทั้งเพื่อการทำความร้อน และความเย็น และยังเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยลดมลภาวะในอากาศด้วย สภาพลมในพื้นที่เมืองต่างๆ ไปสามารถบ่งบอกศักยภาพการระบายอากาศของอาคารได้ โดยพิจารณาจากลมที่ระดับทางเท้าด้านนอกอาคาร ในช่วงที่มีความร้อนในเมืองสูงเกินไป หากมีลมความเร็วสูงพัดเข้ามา จะช่วยลดความร้อนของวัตถุ และยังช่วยลดอุณหภูมิบริเวณเกาะความร้อนในเมือง (heat island) ได้ด้วย

สภาพการระบายอากาศในพื้นที่เมือง โดยเฉพาะบริเวณถนนสายหลักที่มีการจราจรหนาแน่น ผลของลมที่มีต่อมลภาวะทางอากาศ คือ ลมที่พัดเข้ามาแล้วทำให้เกิดลมหมุนบริเวณถนน จะช่วยให้เกิดการผสมอากาศใหม่เข้าไปในอากาศเดิม จึงทำให้มลภาวะในอากาศเจือจางลง

2.10 ลักษณะของลมตามลักษณะพื้นที่

โดยทั่วไปกระแสลมที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และปัจจัยอื่นรบกวน จะเกิดจากความกดดันอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่เท่ากัน เป็นผลให้อุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศทั่วทั้งโลกมีความหลากหลาย การเคลื่อนที่ของอากาศจากบริเวณที่มีความกดดันอากาศสูงไปยังบริเวณที่มีความกดดันอากาศต่ำ เป็นผลจากการหมุนของโลก รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ การกระจายตัวของแผ่นดิน และแผ่นน้ำด้วย ลักษณะ

การเคลื่อนที่ของลมจากระดับพื้น ไปถึงระดับที่การเคลื่อนที่ของลมที่ไม่ถูกสิ่งใดๆ รบกวน ที่ ความสูงหลายร้อยเมตรเหนือพื้นดิน จะมีลักษณะลาด ความเร็วลมดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามความสูง แต่อัตราการเพิ่มขึ้นจะต่ำมากในที่สูงๆ การเคลื่อนที่ของลมในระดับความสูงที่ไม่ ถูกรบกวนนี้เรียกว่า “gradient wind” ซึ่งมีความเร็วลมเรียกว่า “gradient velocity” ในระดับ ใกล้กับพื้นดิน จะมีแรงต้านทานมาก ความเร็วลมถูกหน่วง ทำให้เกิดลมหมุนวนมากขึ้น แม้ บริเวณพื้นราบ ลมก็จะถูกต้านทานด้วยผิวดิน และพืชพรรณที่ปกคลุมอยู่ โดยเฉพาะพุ่มไม้ ต้นไม้ ที่ระดับถนน ความเร็วลม และการเกิดลมหมุน ขึ้นอยู่กับความเร็วลมคงที่ (gradient wind speed) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ แต่ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบการออกแบบผังเมืองเป็นหลัก แม้แต่ลมภาวะจากยานพาหนะ ก็เป็นผลจากการ ออกแบบเช่นกัน

สภาพลมในพื้นที่เมืองเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสบายของผู้อยู่อาศัย ทั้งในพื้นที่เขต หนาวที่ไม่ต้องการลม และในเขตอบอุ่น โดยเฉพาะเขตอบอุ่นขึ้น สภาพลมในพื้นที่เมืองทั่วไป อธิบายถึงศักยภาพในการระบายอากาศของอาคาร และการได้รับลมบริเวณทางเข้าออก อาคาร ลักษณะความเร็วลมในพื้นที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดใน แกนตั้ง และแนวลมหมุน ซึ่งปัจจัยทั้งสองข้อนี้เป็นผลจากลักษณะภูมิประเทศ และโครงสร้างของ เมือง ความเร็วลมที่วัดตามระดับความสูง เมื่อกำหนดให้ลักษณะความหยาบของพื้นผิวที่วัดมี ลักษณะแตกต่างกัน ดังแผนภูมิที่ 2.3

ความเร็วลม ณ ระดับต่างๆ สามารถหาได้จากสูตร⁶

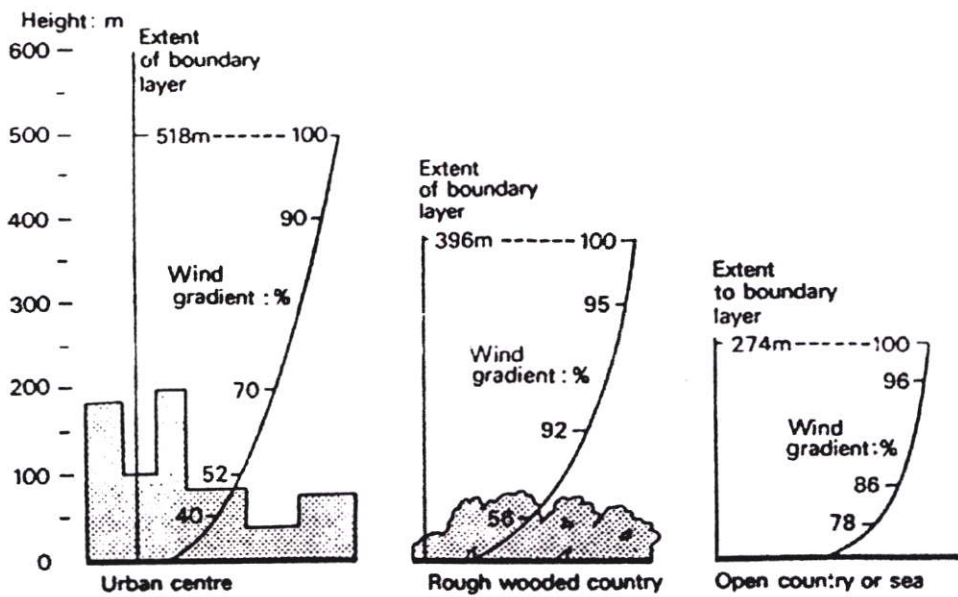
$$U(z) = U(z_{ref}) (z/z_{ref})^\alpha \quad (2.15)$$

เมื่อ $U(z)$ = ความเร็วลม ณ ความสูง z (กม./ชม.)
 $U(z_{ref})$ = ความเร็วลม ณ ความสูงอ้างอิง (เมตร), ประมาณ 10 เมตร
 z = ความสูงจากผิวพื้นถึงจุด z (เมตร)
 α = ดัชนีการเสียดทานที่ผิวพื้น, ดูตารางที่ 2.1

⁶Claes Cyrbye et al. *Wind Loads on Structures*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าดัชนีการเสียดทานที่ผิวพื้น (α) แบ่งตามลักษณะพื้นที่

ลักษณะพื้นที่		α
1	พื้นราบหยาบ, ทะเลเปิด, ทะเลสาบซึ่งมีระยะทางตามทิศทางลมอย่างน้อย 5 เมตร และมีสภาพแวดล้อมราบเรียบไม่มีสิ่งกีดขวาง	0.12
2	ทุ่งนาที่มีสิ่งก่อสร้างขนาดเล็ก เช่น รั้ว บ้าน หรือต้นไม้	0.16
3	ชานเมือง หรือนิคมอุตสาหกรรม และป่า	0.22
4	เมืองซึ่งมีพื้นที่อาคารอย่างน้อย 15% และอาคารมีความสูงเฉลี่ย 15 เมตร	0.30



แผนภูมิที่ 2.3 ลักษณะลาดของลมแบ่งตามลักษณะพื้นที่

2.11 ความกว้าง และทิศทางของถนนที่มีผลต่อการระบายอากาศในพื้นที่เมือง

ในพื้นที่เมือง ความเร็วลมที่ระดับถนน และรอบๆ อาคารมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลม ทิศทางของถนน และอาคาร ถ้าอาคารเป็นแถววางตั้งฉากกับทิศทางลม ลมที่ถนนจะน้อยมากเมื่อเทียบกับบริเวณเหนือหลังคา หรือเมื่อเทียบกับลมที่มีทิศทางขนานกับเส้นถนน ในขณะที่ถ้าอาคาร และถนนวางตัวขนานกับทิศทางลม ทำให้ลมสามารถพัดผ่านที่ว่างระหว่างอาคารไปตามถนน ซึ่งมีแรงต้านทานน้อยกว่า ในกรณีนี้ ความเร็วลมที่ถนนทางเดินเท้า และพื้นที่โล่งระหว่างอาคารจะสูงขึ้นมาก อย่างไรก็ตาม ผนังอาคารที่ติดภายนอกจะมีค่าความกดตันอากาศเท่าๆ กันทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำให้ลดศักยภาพในการระบายอากาศตามธรรมชาติลง

ในบางกรณี เมื่อลมทำมุมกับถนน และอาคารประมาณ 45 องศา และอาคารมีความสูงปานกลาง (ประมาณสองเท่าของความกว้างถนน) จะทำให้ลักษณะของลมทั้งสองด้านของถนนแตกต่างกันมาก แรงดันและความเร็วลมที่ผนังอาคารสองด้านก็แตกต่างกัน ทางเข้าบนถนนด้านรับลม จะมีความเร็วลมสูงกว่าอีกด้านซึ่งอับลม เนื่องจากลมจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของพื้นที่ ซึ่งด้านที่รับลมจะได้รับผลโดยตรง ส่วนอีกด้านหนึ่งจะกลายเป็นพื้นที่เงาลม

ถ้าถนนมีทิศทางขนานไปกับทิศทางลม ทำให้ไม่มีสิ่งกีดขวางเส้นทางเดินของลม ลมจึงสามารถพัดพาเข้าสู่ใจกลางเมืองได้ ในกรณีนี้ ยิ่งถนนมีความกว้างมากเท่าใด การเคลื่อนที่ของลมก็ยิ่งถูกต้านทานจากอาคารน้อยลง ทำให้การระบายอากาศทั่วไปในเมืองมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ถ้าถนนมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม และอาคารมีลักษณะเป็นแถวยาว อาคารที่เคลื่อนที่บริเวณถนน จัดเป็นอากาศชั้นที่สอง (a secondary air) ที่เป็นผลจากลมที่พัดเหนืออาคารแล้วถูกต้านทานให้ไหลวนกลับเข้าสู่ถนน ลักษณะเช่นนี้ การระบายอากาศในเมืองจะขึ้นอยู่กับความกว้างของถนนเป็นหลัก

ถ้าถนนทำมุมกับทิศทางลมประมาณ 45 องศา ลมจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับถนน เฉพาะถนนด้านที่ปะทะลมเท่านั้น ส่วนที่สองซึ่งอยู่บริเวณอาคารและถนนด้านที่อับลม อากาศจะเคลื่อนที่อย่างแผ่วเบา ในกรณีนี้ ยิ่งถนนมีความกว้าง ก็ยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในเมืองให้ดีขึ้นทั้งในอาคาร และบริเวณถนนด้านนอก

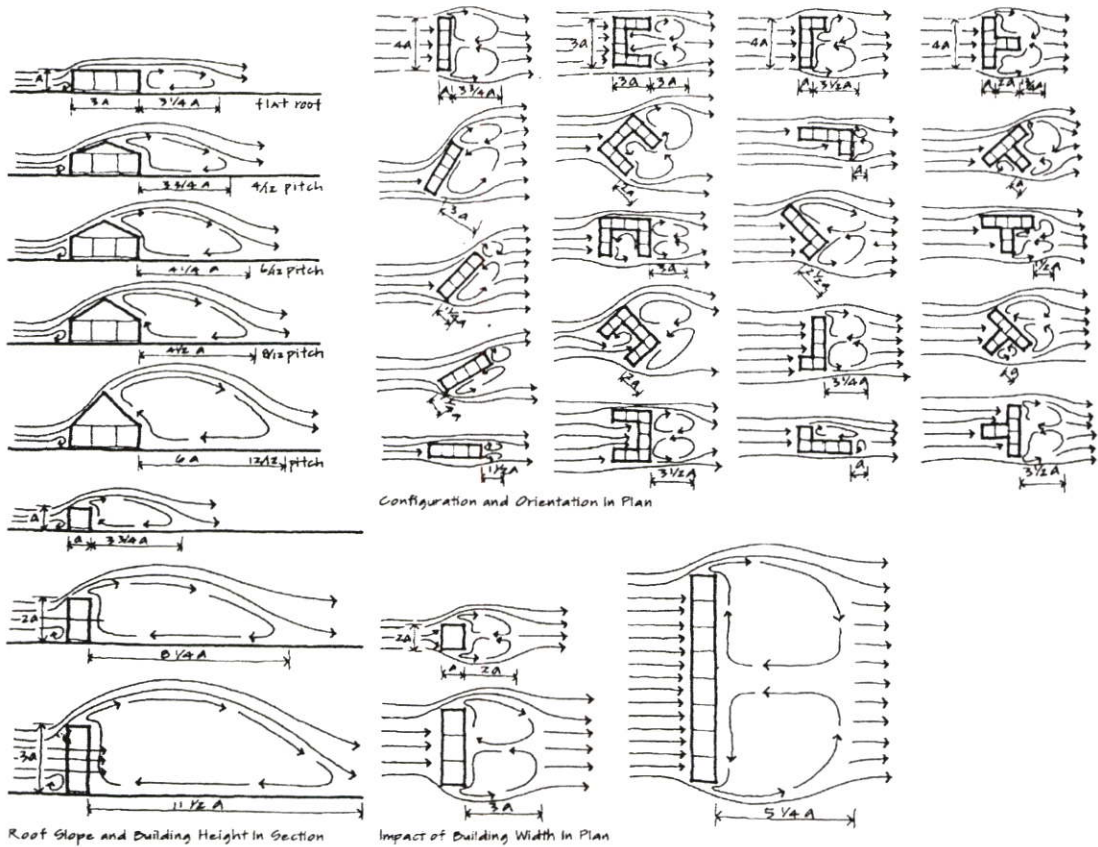
ความต้องการลมที่มีความเร็วต่ำหรือสูง ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปในเขตร้อนแห้งจะให้ความสำคัญกับการป้องกันแดดมากกว่าการระบายอากาศ ส่วนในเขตร้อนชื้นอาจจะตรงกันข้าม แต่ในเขตนหนาวจะต้องป้องกันลมหนาวเป็นหลัก

2.12 การเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคาร

การเคลื่อนที่ของอากาศรอบๆ อาคารมีรูปแบบหลากหลาย ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของสภาพแวดล้อม จากภาพที่ 2.4 (Evan, 1957) แสดงผลที่ได้จากการทดลองการเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคารในอุโมงค์ลม ลูกศรแสดงทิศทางการไหลของอากาศ ลูกศรหมุนวนแสดงลมหมุน บริเวณภายในขอบเขตที่เกิดลมหมุนนี้เป็นเขตเงาลม

ในกรณีส่วนใหญ่ บริเวณที่มีความกดดันอากาศสูงจะเกิดขึ้นที่ผนังด้านปะทะลม และบริเวณที่มีความกดดันอากาศต่ำจะเกิดขึ้นที่ผนังด้านอับลม ในขณะที่บริเวณรอบรูปอาคาร จะมีความเร็วลมสูงขึ้น ภาพรูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อหลังคามีความลาดชัน และความสูงอาคารต่างกัน เมื่อกำหนดให้ความกว้างอาคารเท่ากัน หลังคาที่ชันมากจะทำให้ทิศทางลมเบนสูงขึ้น เป็นผลให้มีบริเวณเงาลมกว้าง และสูงขึ้น

ส่วนล่างของภาพแสดงการเคลื่อนที่ของลม เมื่ออาคารมีความสูงเท่ากัน แต่มีความกว้างต่างๆ กัน อาคารยิ่งกว้าง เงามลมจะยิ่งกว้างขึ้นด้วย แต่ไม่ได้เป็นสัดส่วนตรง การเพิ่มความกว้างอาคารมากๆ จะทำให้ความยาวของเงาลมยาวขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนบนของภาพแสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมที่พัดผ่านอาคารรูปร่างต่างๆ ในทิศทางต่างๆ กัน



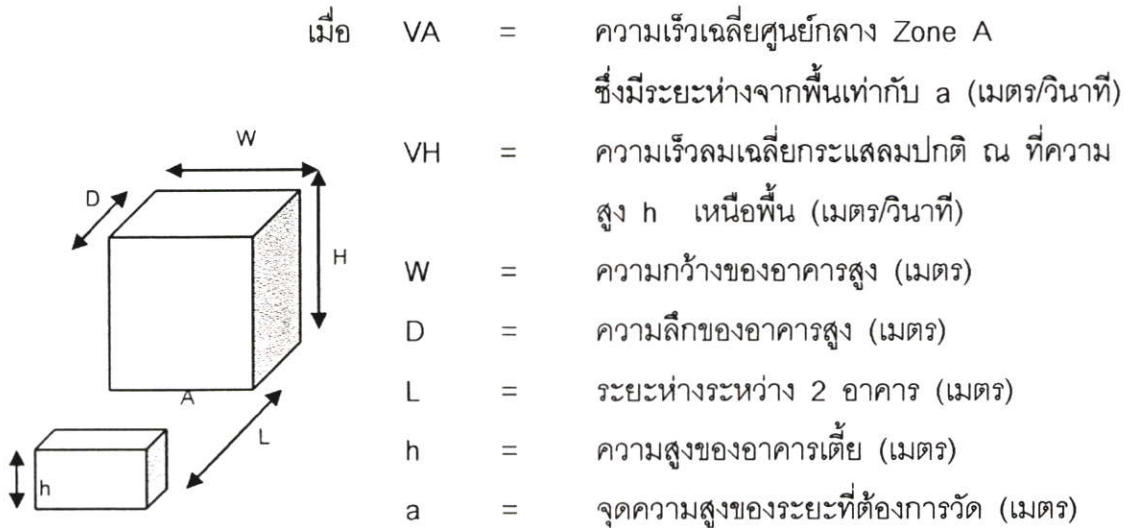
ภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคาร

2.13 ความเร็วลมและระยะห่างระหว่างอาคาร⁷

ความเร็วลมเฉลี่ย จุดหนึ่งจุดใด ระหว่างอาคารสองหลัง ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Zone A สามารถคำนวณหาได้จากสมการ ดังนี้

$$VA / VH = 0.24 \{ (a/H)^{0.28} + (L/H)^{0.4} \times (W/H)^{0.4} \times (H/h)^{0.8} \} \tag{2.16}$$

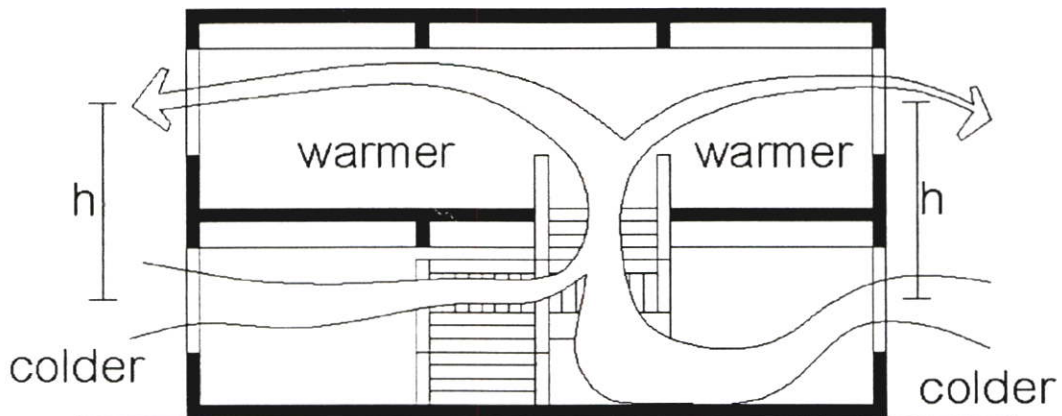
⁷วิรมน ไวโรจนกิจ, เอกสารประกอบการสอนวิชา Environmental Technology of Building, กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



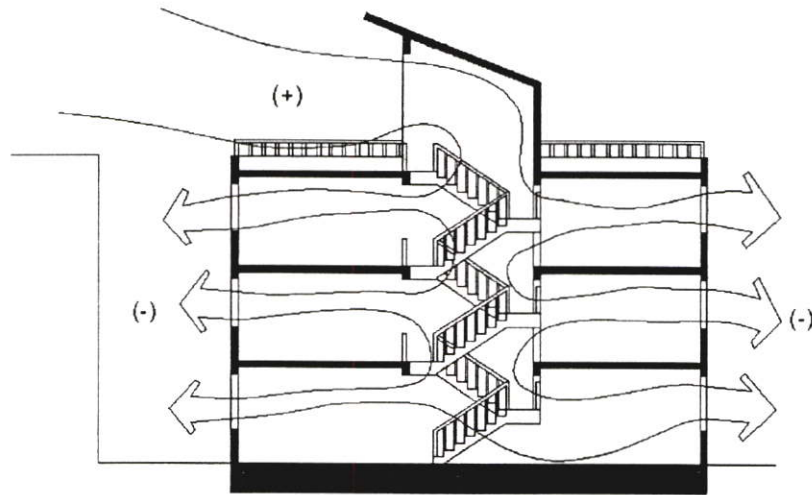
2.14 ตึกแถว

ทาวน์เฮ้าส์ หรือตึกแถว คือ หน่วยที่พักอาศัยที่ต่อเนื่องกัน สูงตั้งแต่ 1 ชั้น ถึงประมาณ 3 ชั้น ผังของแต่ละหน่วยติดกับหน่วยอื่นๆ จนเกิดเป็นอาคารแถว แต่ละหน่วยมีการใช้สอยพื้นที่ทั้งหมดทุกชั้น ตั้งแต่ชั้นล่างถึงชั้นหลังคา

การแบ่งพื้นที่ใช้สอยในแต่ละชั้นของแต่ละหน่วยที่อยู่ภายใต้เจ้าของเดี่ยว ทำให้ตึกแถวมีคุณสมบัติพิเศษในแง่ของสภาพอากาศ และการใช้พลังงานด้านการระบายอากาศ การจัดพื้นที่ใช้สอยในแนวตั้งทำให้ตึกแถวมีความสูงพอเหมาะที่จะเกิดการระบายอากาศทางปล่อง โดยที่อากาศลอยตัวโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงที่ไม่มีลม ดังภาพที่ 2.5 ในขณะที่ตึกแถวก็มีปล่องบันไดที่เชื่อมห้องในชั้นต่างๆ ไปจนถึงชั้นหลังคาเป็นองค์ประกอบสำคัญ จึงทำให้สามารถใช้ที่ดักลม ดังภาพที่ 2.6 เพื่อรับลมที่มีความเร็วสูงเหนือระดับหลังคา ในยามที่มีลมได้

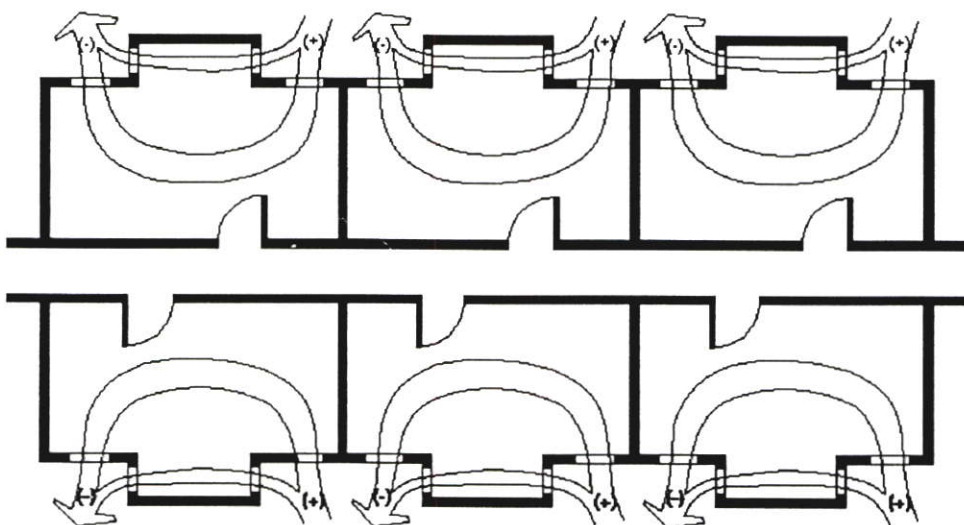


ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในตึกแถว



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศในตึกแถว เมื่อมีการใช้ที่ดักลม

เมื่อพิจารณาในด้านพลังงาน ตึกแถวเป็นอาคารที่มีผนังติดกับภายนอกน้อย แต่ก็สามารถใช้การออกแบบสถาปัตยกรรม หรือการร่นระยะผนัง ทำให้เป็นไปได้ที่จะทำให้อาคารมีพื้นที่ผนังภายนอกทั้งสี่ทิศ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มพื้นที่ผนังภายนอก และยังช่วยเพิ่มศักยภาพในการระบายอากาศตามธรรมชาติได้ด้วย เมื่อลมมีทิศทางค่อนข้างขนานไปกับผนังด้านนอกของอาคาร ตัวอย่างเช่น เมื่อลมพัดมาจากทิศตะวันตก ถ้าผนังภายนอก และหน้าต่างหันไปทางทิศเหนือและใต้ จะทำให้ศักยภาพในการระบายอากาศต่ำ เพราะมีมุมกระทำระหว่างทิศทางลมกับผนังน้อยมาก อย่างไรก็ตามการสร้างสิ่งกีดขวางเพื่อให้เกิดพื้นที่ที่มีความดันสูงและต่ำ และให้มีช่องเปิด จะทำให้ศักยภาพการระบายอากาศสูงขึ้น ดังภาพที่ 2.7

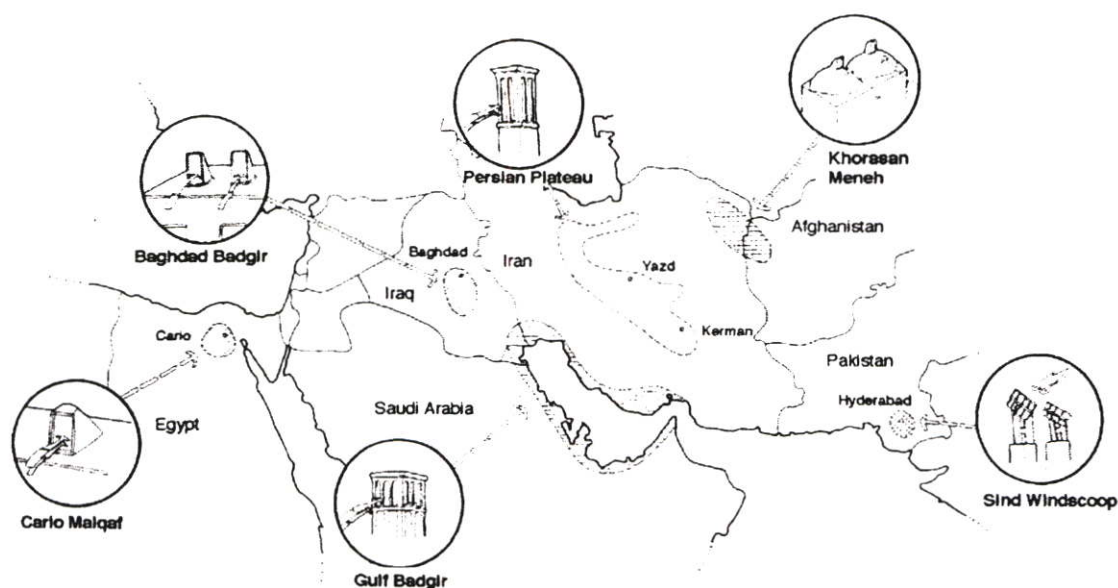


ภาพที่ 2.7 การสร้างความแตกต่างของความกดดันอากาศที่ผนัง เพื่อให้เกิดการระบายอากาศ

ส่วนที่ 3 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน ดราฟต์

ช่างก่อสร้างในสมัยโบราณ ได้เรียนรู้ที่จะป้องกันปัญหา และเลือกเฉพาะข้อดีจากลมมาใช้ ในอาคาร ในพื้นที่โล่งที่มีลมแรงจัด ก็จะต้องลดพื้นผิวอาคารด้านปะทะลมให้น้อยที่สุด ในบางเมืองมีการวางตัวอาคารเบียดชิดกัน ก็เป็นวิธีป้องกันลมวิธีหนึ่ง ในพื้นที่เขตร้อน การระบายอากาศมีความสำคัญต่อการลดอุณหภูมิและความชื้นอย่างยิ่ง ตัวอย่างเช่น การวางผังเมืองบนชายฝั่งแอฟริกัน ริมทะเลเมดิเตอร์เรเนียน แสดงให้เห็นถึงการวางถนนที่สามารถนำความเย็นจากทะเลเข้ามายังใจกลางเมืองได้ บ้านในเปอร์เซีย ก็มีการออกแบบหน้าต่างขนาดใหญ่ ซึ่งมี "iwanes" ช่วยรับลม ในประเทศสเปนและอินเดีย ก็มีการใช้บานกรอบตาตารางทรงกลมก่อนเข้าสู่ภายใน บ้านในอียิปต์ที่มีลักษณะหนาแน่นติดกัน ก็สามารถระบายอากาศทางหลังคาได้ โดยใช้ "mulgaf" เพื่อดักลม

ในประเทศแถบตะวันออกกลาง มีการใช้ที่ดักลม เพื่อการระบายอากาศมาหลายร้อยปีแล้ว ที่ดักลมเหล่านี้ถูกติดตั้งอยู่เหนือหลังคา เพื่อสร้างความแตกต่างของความกดดันอากาศ และดึงอากาศลงสู่ชั้นล่าง หรือให้อากาศพัดเข้าทางหน้าต่างทางหนึ่ง และเคลื่อนที่ออกทางปล่องอีกทางหนึ่ง ที่ดักลมไม่ได้ใช้แรงในการดึงให้อากาศเข้าไปภายในอาคาร แต่อากาศจะเคลื่อนที่ไปเอง เนื่องจากมีความแตกต่างของความกดดันอากาศ เมื่อมีลมพัดมา



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบของปล่องลม และที่ดักลมในแต่ละพื้นที่

ที่ดักลม หรือปล่องลม ถูกพบได้ในพื้นที่เขตร้อน ตั้งแต่ปากีสถาน ไปจนถึงอียิปต์ และแอฟริกาเหนือ และมีรายละเอียดแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยมีหลักการทำงาน คือ ใช้ดักลมในที่สูง ซึ่งไม่มีสิ่งกีดขวางลม ในบางที่จะหันที่ดักลมไปทางด้านรับลมเพื่อจับลมโดยตรง ขณะที่ในบางที่ อาจมีบานเปิด - ปิด หรือหันได้หลายทิศทางเพื่อดักลมได้หลายทิศทาง

2.15 ปล่องลม

การออกแบบปล่องลมแบบง่ายที่สุด คือ ใช้โครงสร้างปล่องแนวตั้ง ความสูงจากพื้นเลย หลังคาขึ้นไปในระดับที่ไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อม ปากปล่องเป็นช่องเปิด วิธีนี้จะทำให้เกิดบริเวณความกดดันอากาศเป็นลบ ทำให้เกิดแรงดูด ไม่ว่าจะลมจะพัดมาจากทิศใด ในกรณีที่ต้องการกันฝน ก็สามารถครอบหลังคาที่ส่วนบนของช่องเปิดได้

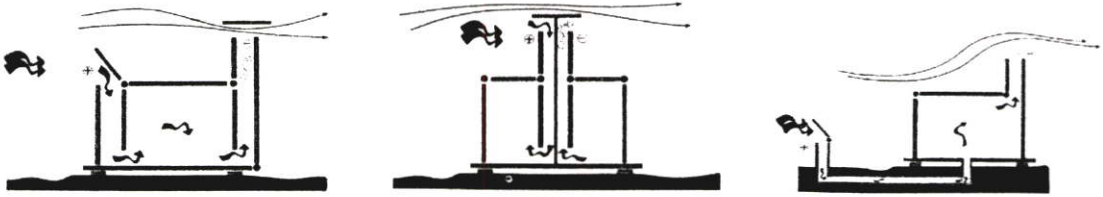
2.16 ที่ดักลม

ที่ดักลมถูกออกแบบมาเพื่อใช้ดักลมให้เข้าสู่อาคารโดยตรง ที่ดักลมที่มีประสิทธิภาพควรปรับเปลี่ยนได้ตามทิศทางลม ที่ดักลมที่ติดตั้งอาจดักลมไม่ได้ในกรณีที่ทิศทางลมไม่สัมพันธ์กัน และอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ คือ กลายเป็นช่องทางออกของลมแทน ที่ดักลมจะมีประสิทธิภาพมากเป็นพิเศษหากมีพื้นที่รอบๆ เป็นที่โล่งกว้าง ซึ่งอาจติดตั้งที่ดักลมนี้ได้บนหลังคา หรือในที่โล่งที่ห่างออกไป แล้วดึงอากาศผ่านท่อใต้ดินเข้ามาภายในอาคาร

2.17 ปล่องลม และที่ดักลม

ลมที่พัดรอบๆ หรือพัดผ่านอาคาร ทำให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติ และสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายวิธี ปล่องลมสามารถใช้เป็นเส้นทางออกของลม ขณะที่ใช้ที่ดักลม ดักลมด้านนอกเข้ามาสู่ภายใน การใช้ปล่องลม และที่ดักลมร่วมกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นระบบ คือ ที่ดักลมจะดักอากาศเย็นเข้ามาภายใน เมื่ออากาศอุ่นขึ้นจะลอยสูงออกไปทางปล่องลม ซึ่งจะได้ผลดีกว่า ปล่องอากาศออกจากหน้าต่าง เพราะความแตกต่างของความกดดันอากาศระหว่างปล่องลมกับที่ดักลมจะมีมากกว่า การระบายอากาศผ่านอาคารด้วยการใช้ปล่องลม และที่ดักลมสามารถแยกช่องลมเข้า - ออก เป็น 2 ส่วน หรือรวมกันก็ได้

อย่างไรก็ตาม ควรจำกัดจำนวนที่ดักลมให้เหลือแต่ที่จำเป็น และหันเข้าหาทิศทางลม โดยการแบ่งพื้นที่ปล่องลมเป็น 4 ช่อง หันไปในทิศทางต่างๆ กัน ขณะที่ปล่องหนึ่งรับลมเข้า อีกปล่องหนึ่งก็จะกลายเป็นช่องลมออก ปล่องดักลมแบบนี้ถูกใช้ครั้งแรกที่อิหร่าน เรียกว่า “แบดเกอร์” (badgir)



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะของปล่องลม และที่ดักลมแบบต่างๆ

2.18 การศึกษาปล่องลมในอดีต

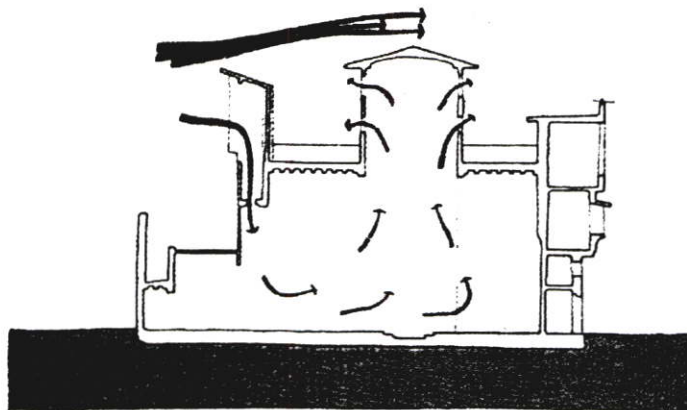
ก่อนยุคอุตสาหกรรม ผู้คนในพื้นที่เขตอบอุ่นจะใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติในการระบายอากาศเพื่อทำความเย็นให้กับบ้านตนเอง ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ดักลมจึงถูกพัฒนาขึ้นมานับแต่นั้น

แต่เดิมตัวเมืองจะถูกตั้งอยู่ตามเชิงเขา เพื่อให้รับลมได้เต็มที่ เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ผู้คนจึงจำเป็นต้องขยายที่อยู่ออกไปยังที่ที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย การสร้างอาคารขึ้นใหม่จึงต้องอาศัยความรู้เรื่องสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างดี ตัวอย่างปล่องลมมากมายในตะวันออกกลาง แอฟริกาเหนือ และอินเดีย แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจ ความสัมพันธ์อันซับซ้อนระหว่างสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น และความสบายทางอุณหภูมิ ด้วยวิธีทางวิศวกรรมสมัยใหม่ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ระบบการระบายอากาศได้มีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องมากขึ้น

ตัวอย่างที่ดักลมที่พบในพื้นที่เขตร้อนแห้ง

มัลคัฟ (The Mulgaf)

มัลคัฟ หรือที่ดักลม ถูกใช้ในประเทศอียิปต์มาตั้งแต่ต้นปี 1300 ก่อนคริสตกาล และเป็นลักษณะเด่นของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นของอียิปต์มาจนถึงปัจจุบัน



The Qa 'a of Muhib Ad-Din Ash-Shaf 'I Al-Muwaqqf.

ภาพที่ 2.10 มัลคัฟในกรุงไคโร

มัลคัฟ เป็นที่ดักลมธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับอาคารในเขตร้อนแห้ง เช่น อียิปต์ เพราะการใช้หน้าต่างขนาดใหญ่ เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาทำให้อากาศร้อน และนำฝุ่นทรายเข้ามาด้วย มัลคัฟ เป็นปล่องสูงเหนืออาคาร ทำหน้าที่ดักลมความเร็วสูงด้านบน นำลงมาสู่ด้านล่างด้วยวิธีนี้เมืองที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น ก็สามารถนำอากาศที่มีความสะอาด ไม่มีมลภาวะจากภายนอกเข้ามาสู่อาคารได้ มัลคัฟนี้จะติดตายกับที่โดยพิจารณาทิศทางให้หันเข้าหาลม และพิจารณาสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคารประกอบ โดยเฉพาะตัวอาคารเอง ข้อเสียของมัลคัฟ คือมันไม่สามารถหมุนได้ ตัวอย่างของมัลคัฟที่ดีอยู่ที่กรุงไคโร (Qa 'a of Muhib Ad - Din Ash - Shaf 'I N - Muwaqqi) สร้างตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 14 มันเป็นปล่องขนาดใหญ่สูงขึ้นไปเหนือหลังคา ดักลมเย็นเข้ามาจากทางเหนือลงสู่พื้นที่โล่งตรงกลาง การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านอาคารนี้เกิดจากความแตกต่างของความกดดันอากาศรอบๆ อาคาร อากาศจะเคลื่อนที่ออกทางหน้าต่างชั้นบน เหนือที่โล่งตรงกลาง และเมื่อความเร็วลมภายนอกต่ำก็สามารถเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศอันเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิได้ ที่โล่งตรงกลางนั้นถูกล้อมรอบด้วยห้อง ซึ่งป้องกันความร้อนภายนอกจากผนัง เพื่อรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในให้มากที่สุด

แบดเกอร์ (The Badgir)

แบดเกอร์ คือ มัลคัฟที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ในอิหร่านและประเทศอื่นๆ ในอ่าว มันเป็นที่ดักลมติดตายซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งช่องดักลมเข้า และเป็นช่องลมออก ด้านบนมีช่องเปิด 4 ด้าน (บางแห่งมี 2 ด้าน) ผนังที่แบ่งช่องลมนี้ จะวางทแยงมุม (กากบาท) ไปตลอดความยาวของปล่อง ปล่องลมนี้มีขนาด 3 x 3 สูงได้ถึง 7 เมตร แบดเกอร์นี้สามารถดักลมได้ทุกทิศทาง เพื่อนำลมเย็นลงมาสู่ด้านล่าง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นปล่องอุณหภูมิ อากาศร้อนจะลอยสูงขึ้นและออกจากอาคารทางด้านอับลม และเมื่อความเร็วลมต่ำลง ก็สามารถเกิดการระบายอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิได้

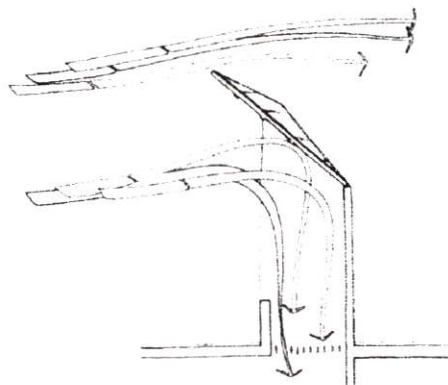


ภาพที่ 2.11 แบดเกอร์

เนื่องจากในอ่าวอะราเบียเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูง ช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิอาจสูงถึง 32°C ถึง 49°C ในตอนกลางวัน และต่ำลงถึง 20°C หรือน้อยกว่านั้นในตอนกลางคืน ส่วนช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิสูง 20°C ถึง 35°C ในตอนกลางวัน และต่ำลงถึง 9°C ในตอนกลางคืน สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงเช่นนี้ การใช้แบดเจอร์จะได้ผลดีเฉพาะตอนกลางวันเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องแบ่งพื้นที่ในบ้านเป็น 2 ส่วน ชั้นล่างใช้พักอาศัยตอนฤดูหนาว ส่วนชั้นบนจะใช้พักอาศัยตอนฤดูร้อน และใช้ส่วนหลังคาแบนสำหรับนอน บางที่อาจจะพบแบดเจอร์ 3 หรือมากกว่านั้นในอาคารเดียวกัน เพื่อใช้ระบายอากาศให้ห้องนอนแต่ละห้อง

วินด์ สคูป (Wind Scoops)

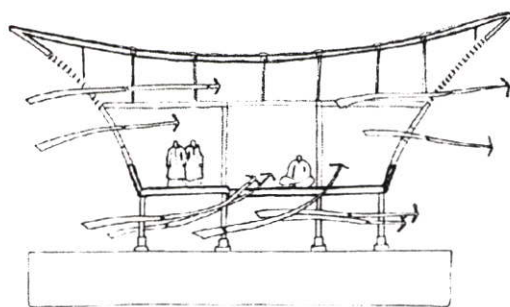
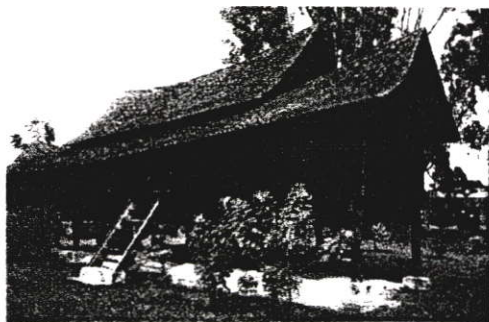
วินด์ สคูป เป็นที่ดักลมที่พบได้ในไฮเดอราบัด ประเทศปากีสถานมากกว่า 500 ปีแล้ว วินด์ สคูป ถูกติดตั้งอยู่กับที่เพื่อนำอากาศเย็นเข้ามาในห้อง ในบ้านที่มีความสูงหลายชั้น ที่ดักลมนี้ได้กลายเป็นลักษณะเด่นที่พบได้มากในอ่าวอะราเบีย ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นี้



ภาพที่ 2.12 วินด์ สคูป

ตัวอย่างที่ดักลมที่พบในประเทศเขตร้อนชื้น

ในสภาพอากาศร้อนชื้นอย่างมาเลเซีย ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยระหว่าง 22°C ถึง 32°C มีลมมาจากสองทิศหลัก คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ ในแถวเส้นศูนย์สูตรลมจะพัดขึ้น และมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ วันที่มีลมมากในมาเลเซีย จะมีสภาพคล้ายกับวันที่ท้องฟ้าโปร่งใสในอังกฤษ ในการจะดักลมในที่ที่มีความเร็วลมต่ำ จำเป็นต้องประยุกต์ใช้ส่วนของหลังคาทั้งหมดเป็นปล่องลม และที่ดักลมในตัว



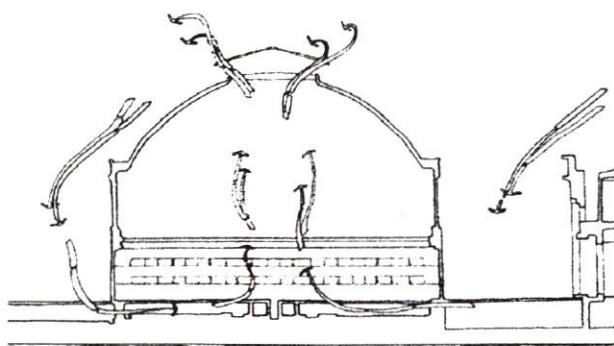
ภาพที่ 2.13 บ้านพื้นดินในมาเลเซีย

บ้านพื้นดินในมาเลเซียจะถูกออกแบบพิเศษให้สามารถระบายอากาศตามธรรมชาติ ตัวอาคารถูกยกสูงชันเพื่อดักลมในที่สูง อากาศเย็นจากพื้นดินที่อยู่ในร่มจะพัดสูงชันผ่านช่องพื้นไม้เข้าไปในห้อง หลังคาที่มีความชันสูงนั้นนอกจากจะช่วยกันแดด กันฝนให้อาคารแล้ว ยังช่วยให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติด้วย หลังคาจั่วที่มีรูปร่างคล้ายเรือนี้จะนำอากาศเข้ามาพัดผ่านหลังคาเพื่อทำให้ตัวบ้านเย็น ช่องระบายอากาศจะอยู่ด้านบนของผนังภายนอก อากาศร้อนภายในจะลอยสูงชันถึงหลังคา และพัดพาออกไปทางช่องระบายอากาศนี้ การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านรอยต่อของหลังคาก็ช่วยให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตัวอย่างที่ดักลมที่พบในประเทศที่มีสภาพอากาศไม่รุนแรง

พิพิธภัณฑสถานในอังกฤษ

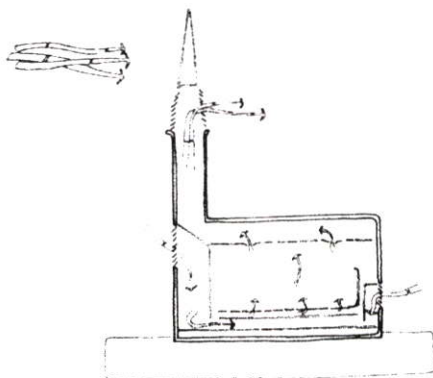
พิพิธภัณฑสถานดั้งเดิมในอังกฤษที่สร้างขึ้นในปี 1857 เป็นตัวอย่างแรกๆ ของการนำหลักการระบายอากาศตามธรรมชาติมาใช้ หลังคาทรงโดมที่มีการระบายอากาศด้านบน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความกดดันอากาศเป็นลบ ทำให้อากาศอุ่นลอยออกจากห้องได้ ความกดดันอากาศลบภายในห้องจะทำให้อากาศเคลื่อนที่จากลานเปิดภายนอกเข้ามาในห้องใต้ดินผ่านทางท่อลม ความจุความร้อนที่ผนังห้องใต้ดินสามารถทำให้อากาศร้อน หรือเย็นก่อนที่จะเข้าสู่ภายในห้องได้ ขึ้นอยู่กับฤดูกาล



ภาพที่ 2.14 พิพิธภัณฑสถานในอังกฤษ

โบสถ์

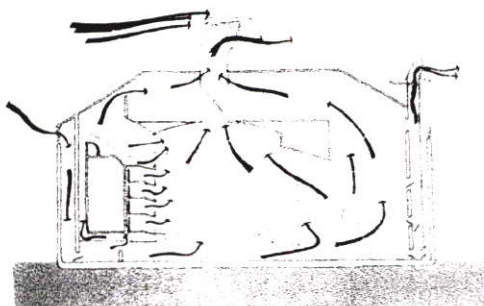
โบสถ์พัตนี (Putney Church) ในลอนดอนได้ใช้หอระฆังเป็นปล่องระบายอากาศ โดยอากาศจะเข้ามาภายในอาคารผ่านทางช่องเกล็ดด้านล่าง เพื่อลดความรุนแรงของอากาศที่เข้ามา เมื่ออากาศสะสมตัวกันมากพอก็จะระบายออกทางปล่อง



ภาพที่ 2.15 โบสถ์พัตนี ในลอนดอน

โรงละคร

โรงละครเดวิด บอสเวล ริด (David Boswell Reid) สร้างในปี 1872 มีการติดตั้งที่ดักลมแบบกลมบนหลังคา ซึ่งสามารถระบายอากาศออกได้ อากาศบริสุทธิ์จะถูกดึงเข้ามาทางท่อสูงจำนวนมาก เพื่อให้มีอากาศเข้ามาอย่างต่อเนื่อง อากาศบริสุทธิ์จะเคลื่อนที่ลงมาตามท่อ ซึ่งสามารถทำให้เย็นได้โดยใช้น้ำพุนในฤดูร้อน หรือทำให้อุ่นขึ้นได้ในฤดูหนาว โดยผ่านคอยล์ร้อนก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ท่อใต้พื้นซึ่งมีวาล์วปรับปริมาณอากาศที่เข้าออกได้



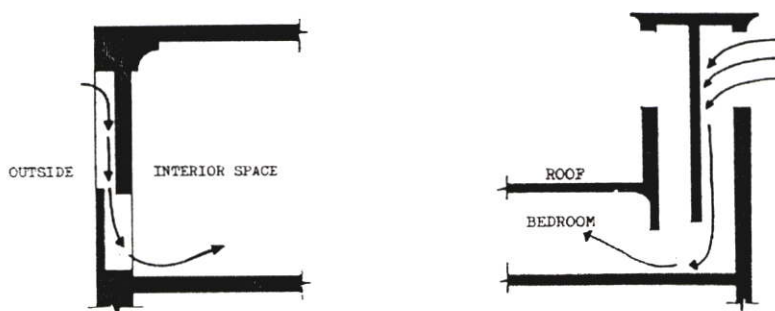
ภาพที่ 2.16 โรงละครเดวิด บอสเวล ริด

2.19 การระบายอากาศแบบดาวนดราฟต์

การระบายอากาศแบบดาวนดราฟต์ เป็นคำที่ใช้อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์สำหรับดักลม เป็นองค์ประกอบสำคัญ ดังนั้น

การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในอาคารที่ใช้เทคนิคดังกล่าวนี้ จึงเน้นที่การศึกษา รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบและประสิทธิภาพของที่ดักลมร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เป็นหลัก

Bookhash, F.M. 1981. *Wind Tower Houses of Bastakeya in Dubai*. [1] เป็น การศึกษาลักษณะการออกแบบสถาปัตยกรรมเขตร้อนแห้ง ถึงผลกระทบต่อด้านชีวะอากาศจากการ ทำความเย็นตามวิถีธรรมชาติ ในบ้านพักอาศัย ใน Bastakeya, Dubai ประเทศสหรัฐอาหรับเอ มิเรตส์ บ้านพักอาศัยดังกล่าวมีขนาด 30 ห้อง ล้อมรอบลานเปิดกลางบ้าน 2 ชั้น มี ปล่อง ลม 3 ตัว โครงสร้างเสาคาน ก่ออิฐฉาบปูน Dubai จัดอยู่ในพื้นที่ที่ร้อนแห้ง - ร้อนชื้น ใน ฤดูร้อนจะมีสภาพอากาศร้อน และได้รับความชื้นสูงจากมหาสมุทรอินเดีย อุณหภูมิในฤดูร้อนสูง ถึง 32-49°C ในตอนกลางวัน และลดลงเหลือ 20°C ในตอนกลางคืน และจะลดลงต่ำสุดถึง 9°C ความชื้นสูงสุดตลอดปี ในฤดูร้อนค่าความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85% ในฤดูหนาว 75% มีฝน น้อยมาก มีลมตามชายฝั่งเป็นประจำ พัดมาจากทางทิศใต้ในฤดูร้อน ในช่วงกลางฤดูหนาวและ ต้นฤดูร้อนจะมีลมพัดมาจากทางทิศเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นลมที่มาพร้อมกับฝุ่น ในฤดูหนาวตอนกลางคืนอากาศหนาวมาก จะพักอาศัยที่ชั้นล่างที่มีหน้าต่างน้อยเพื่อหลีกเลี่ยง การระบายอากาศผ่านอาคาร และอาศัยมวลอาคาร คือ กำแพงหนาถึง 60 ซม. ที่สะสมความ ร้อนในช่วงกลางวัน ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ห้องในช่วงกลางคืนโดยการแผ่รังสีความร้อน แต่ต้อง ปิดประตู หน้าต่างไว้เพื่อกักเก็บความร้อนให้อยู่ภายใน แต่ถ้าอากาศหนาวมากก็มักจะไม่ได้อผล บางครั้งจึงต้องเผาถ่านช่วยสร้างความอบอุ่น ส่วนในฤดูร้อนอากาศร้อนและชื้นมาก จึงต้องการ ร่มเงา และการระบายอากาศผ่านอาคารมาก โดยใช้องค์ประกอบอาคารช่วย ได้แก่ ปล่องลม, ที่ดูดอากาศ, ทางเดิน และ มุ้งลวด ปล่องลมขนาดใหญ่สูง 7 เมตร เหนือหลังคา



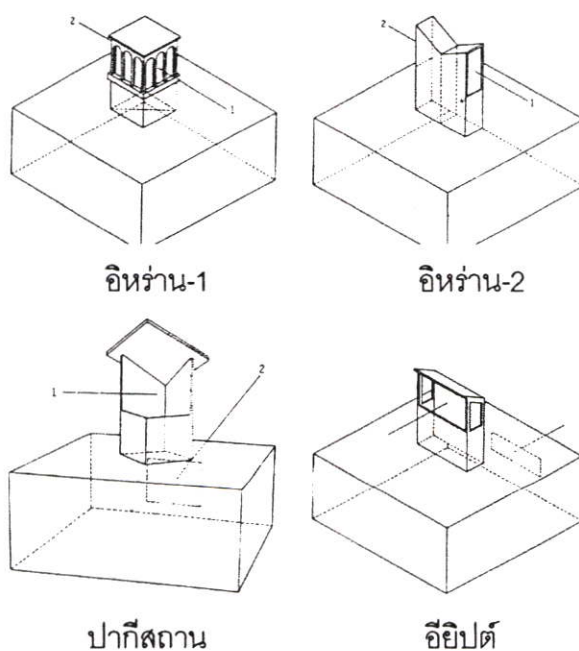
ภาพที่ 2.17 ที่ดูดอากาศ (baadkash) และปล่องลม (baadgeer)

ทางเดินที่โอบรอบอาคารไว้จะต้องมีความกว้างพอที่จะสร้างร่มเงาให้กับผนังห้อง ในขณะที่ ผนังด้านหน้า และด้านข้างจะถูกเปิดเกือบตลอดเวลา เพื่อให้กระแสลมพัดผ่าน และใช้ประโยชน์

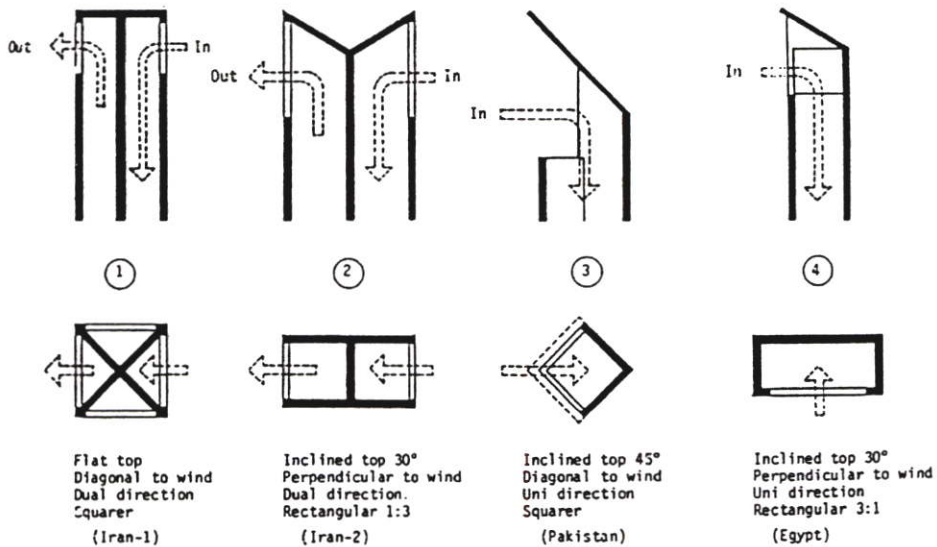
ได้

สำหรับกระบวนการถ่ายเทอากาศในชั้นบนของอาคาร จะใช้ปล่องลม ซึ่งส่วนสูงครึ่งหนึ่งของปล่องด้านบนจะเปิดทั้ง 4 ด้าน มีแกนกันตรงกลาง เพื่อให้ดักลมได้ทุกทิศทาง ส่วนผนังปล่องอีกครึ่งหนึ่งด้านล่างจะปิดทึบ ลมที่พัดมาจะถูกพัดลงสู่ด้านล่าง ทำให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปล่องลมจะทำหน้าที่เป็นปล่องอุณหภูมิ (thermal chimney) ด้วยเมื่อส่วนบนของปล่องได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากพอ อากาศภายในปล่องจะร้อน และลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นจะเคลื่อนที่ผ่านลานเปิดกลางบ้านเข้ามาแทนที่ จากการศึกษาได้เสนอแนะเกี่ยวกับส่วนต่างๆ ของอาคารไว้ว่า วัสดุโครงสร้างอาคารควรมีความเป็นตัวนำความร้อนต่ำ ส่วนหลังคาที่เช่นกัน และควรมีสีอ่อนเพื่อสะท้อนความร้อน

Megren, K.A.A. n.d. *Wind Catchers for Passive Ventilation Cooling in Hot Humid Regions*. [2] เป็นการศึกษาการใช้ที่ดักลม ในสภาพอากาศร้อนชื้น โดยศึกษารูปแบบของที่ดักลมที่แตกต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ แบบอิหร่าน-1 แบบอิหร่าน-2 แบบปากีสถาน และแบบอียิปต์ ดังภาพที่ 2.18 และภาพที่ 2.19 โดยกำหนดทิศทางลมกระทำกับช่องเปิดที่ต่างกัน คือ 0, 45, 90, 135 และ 180 องศา ที่ดักลมนี้อาศัยหลักการความแตกต่างของความกดดันอากาศระหว่างผนังด้านปะทะลม และผนังด้านอับลม ผู้วิจัยกล่าวอ้างถึงประสิทธิภาพของปล่องดักลมใน Hyderabad ประเทศปากีสถานว่า ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเป็น 49°C ตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงมิถุนายน อุณหภูมิภายในกลับเหลือเพียง 35°C



ภาพที่ 2.18 ลักษณะที่ดักลมแบบต่างๆ



ภาพที่ 2.19 ปล่องลมแบบดั้งเดิมที่มีความหลากหลายกันไปในแต่ละพื้นที่

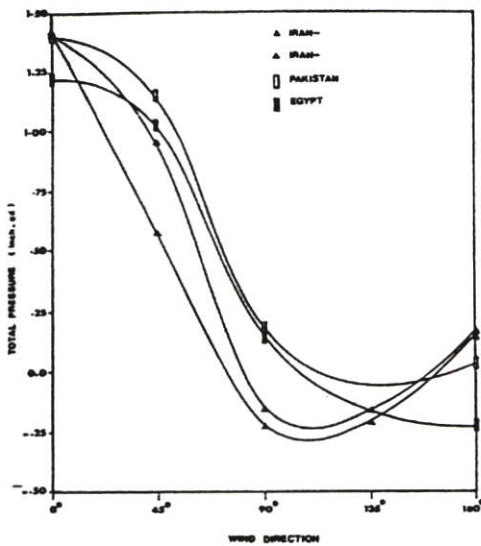
ในทางเทคนิคแล้ว อุปกรณ์ดักลมจะอยู่ส่วนบนของปล่องลมเพื่อให้รับลมได้ อุปกรณ์ดักลมนั้นเป็นส่วนสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่มีปฏิริยากับลมโดยตรง ตามหลักการในอดีต จะมีอุปกรณ์ดักลม 2 ประเภทหลักๆ คือ แบบเป็นช่องลมเข้าอย่างเดียว (unidirectional devices) เช่น แบบปากีสถาน และแบบอียิปต์ และแบบเป็นทั้งช่องลมเข้า และช่องลมออกในปล่องเดียวกัน (dual directional devices) เช่น แบบอิหร่าน-1 และอิหร่าน-2 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม โดยเริ่มจากศึกษาผลกระทบของระดับชั้นของลมต่ออาคาร พร้อมทั้งจำลองสภาพแวดล้อม ขอบเขตที่ใกล้เคียงกับลักษณะพื้นที่ของเมือง และชานเมือง

การสำรวจประสิทธิภาพของปล่องลม จะต้องทำการวัดความกดตันอากาศที่ช่องลมเข้า และช่องลมออก การวัดจะต้องทำที่ที่ว่างตรงกลางที่ติดกับปล่องลมซึ่งภายในปิดสนิท หุ่นจำลองที่ใช้วัดทำจากเพลกซิกลาส (plexiglas) มีผนังด้านหนึ่งเป็นมุ้งลวด เครื่องมือที่ใช้วัดเป็นเซนเซอร์หัวทองแดงขนาด 1/16 นิ้ว วัดความดันที่ช่องเปิดด้านที่ติดมุ้งลวด ค่าความต้านทานของมุ้งลวดต่อกระแสลมก็นำมาคำนวณด้วยเนื่องจากจำเป็นต้องมีในการใช้งานจริง ทิศทางลมที่กำหนดในการทดลองพิจารณาจากรูปร่างของปล่องลมแต่ละแบบ ซึ่งมันจะแสดงให้เห็นจุดวิกฤตของปล่องแต่ละแบบ

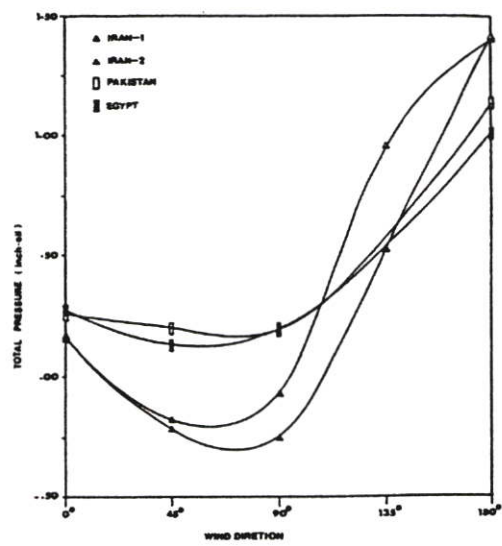
ผลจากการทดลองพบว่าปล่องลมแบบ dual - จะมีค่าความแตกต่างของความกดตันอากาศมากกว่าอีกแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าปล่องลมแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการระบายอากาศได้ดีกว่า แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศของปล่องลมแบบนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยเกือบจะไม่ได้ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเลย ในทางกลับกันปล่องลมแบบ uni - จะทำให้อากาศไหลเวียนภายในก่อนจะไหลออกทางช่องลมออก ในกระบวนการนี้ อากาศจะ

แลกเปลี่ยนความร้อนกับโครงสร้างอาคาร และสร้างสภาวะสบายทางอุณหภูมิได้ดีขึ้น หากมีการควบคุมที่ดี ปล่องลมแบบ uni - จะสามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับผลจากการระบายอากาศได้โดยตรง โดยการเปิดหน้าต่างในพื้นที่นั้นไว้ และปิดประตูหน้าต่างอื่นๆ ให้หมด ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้กับปล่องแบบ dual - เพราะช่องลมออกถูกติดตายอยู่กับที่แล้ว แต่ปล่องลมแบบ dual - สามารถประยุกต์ใช้ได้ดีเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาความต้องการด้านพื้นที่ ปล่องลมแบบ dual - ต้องการพื้นที่ติดตั้งมากกว่าแบบ uni - ในกรณีที่ได้ปริมาตรอากาศเท่ากัน เพราะแบบ uni - นั้นใช้ประตู หรือหน้าต่างเป็นช่องลมออก

ผลการวัดความกดดันอากาศที่ช่องเปิด 1 และ 2 ของปล่องลมแต่ละแบบในแผนภูมิที่ 2.4 – 2.5 แสดงให้เห็นว่าสำหรับปล่องลมแบบ dual - ประสิทธิภาพทั่วไปของช่องเปิด 1 จะตรงข้ามกับช่องเปิด 2 ขึ้นอยู่กับความสมมาตรของช่องเปิดทั้งสอง ส่วนปล่องลมแบบ uni - นั้นมีประสิทธิภาพที่ช่องเปิดทั้งสองต่างกันโดยสิ้นเชิง สำหรับช่องเปิด 1 เมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา ประสิทธิภาพของปล่องทุกแบบใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นแบบอียิปต์ เมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา ประสิทธิภาพของปล่องทุกแบบใกล้เคียงกัน ยกเว้นแบบอิหร่าน-2 อย่างไรก็ตามเมื่อทิศทางลมเป็น 90 องศา ประสิทธิภาพของปล่องลมค่อนข้างแตกต่างกัน และเมื่อทิศทางลมเป็น 180 องศา ประสิทธิภาพของปล่องลมแบบอิหร่าน-1 และอิหร่าน-2 เท่านั้นที่คล้ายคลึงกัน



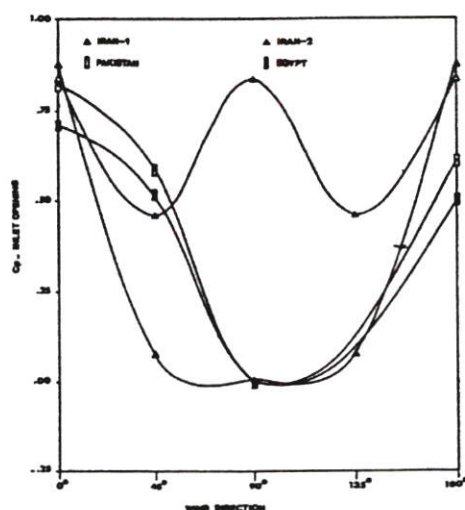
ช่องเปิด 1



ช่องเปิด 2

แผนภูมิที่ 2.4 – 2.5 แผนภูมิแสดงความกดดันอากาศที่ช่องเปิด 1 และช่องเปิด 2

สำหรับช่องเปิด 2 ปล่องลมแบบอิหร่าน-1 และอิหร่าน-2 มีประสิทธิภาพเหมือนกันเมื่อทิศทางลมเป็น 180 องศา ในขณะที่เดียวกันปล่องลมแบบปากีสถาน และแบบอียิปต์ก็มีประสิทธิภาพเหมือนกันเมื่อทิศทางลมเป็น 90 องศา



แผนภูมิที่ 2.6 แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความกดดันอากาศที่ช่องเปิดของปล่องดักลม

เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนจาก 0 ไปจนถึง 180 องศา ช่องลมเข้าจะเปลี่ยนไป การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงตำแหน่งของช่องเปิดเป็นหลัก ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน (pressure coefficient) ของความดันที่ช่องลมเข้าของปล่องแต่ละแบบ เมื่อมีทิศทางแตกต่างกันไป จะแสดงในแผนภูมิที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านช่องเปิดของปล่อง ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความดันดังกล่าว ก็เทียบเท่ากับการเปรียบเทียบความเร็วลมเช่นกัน

จากภาพ ค่าสัมประสิทธิ์ความดันแบ่งเป็น 2 แนวทาง แนวทางแรก คือแบบอิหร่าน-1 แนวทางที่สอง คือ แบบอื่นๆ ที่เหลือ ในแบบอิหร่าน-1 ค่าสัมประสิทธิ์จะแปรไปตามทิศทางลมซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนด้านของปล่องลม คาดว่าช่วงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์จะลดลงจนถึง 0 เมื่อปล่องลมมีจำนวนด้านเพิ่มขึ้นจนนับไม่ถ้วน เช่น ปล่องทรงกระบอก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันจะลดลงเมื่อจำนวนด้านของปล่องลมเพิ่มขึ้น สำหรับแนวทางที่สองค่าสัมประสิทธิ์ความดันจะสูงสุดเมื่อทิศทางลมเป็น 180 องศา และจะต่ำสุดเมื่อทิศทางลมเป็น 90 องศา เนื่องจากลักษณะของปล่องลมแบบที่เหลือมีช่องเปิดเพียงสองด้านตรงข้ามกัน ดังนั้นเมื่อทิศทางลมเป็น 90 องศา ความดันที่ช่องเปิดทั้งสองด้านจึงเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ

จากผลการทดลองปรากฏว่าปล่องลมแบบอิหร่าน-1 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อทิศทางลมไม่แน่นอน แต่หากลมมีทิศทางเดียว หรือมีสองทิศทางตรงข้ามกัน แบบอิหร่าน-2 จะมีประสิทธิภาพที่สุด แต่แบบนี้จะมีความไวต่อทิศทางลมมาก แบบปากีสถานจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน 45 องศา ทั้งแบบปากีสถาน และแบบอียิปต์จะ

มีค่าสัมประสิทธิ์ความดันต่ำเมื่อทิศทางลมเป็น 180 องศา เนื่องจากว่าช่องลมเข้าของสองแบบนี้ อยู่ต่ำกว่าช่องลมเข้าของอีกสองแบบที่เหลือ จึงทำให้ได้รับความเร็วลมที่ต่ำกว่า

ประสิทธิภาพของที่ดักลมมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับทิศทางลม ลักษณะทางกายภาพของปล่องดักลม และทิศทางของช่องลมเข้า – ช่องลมออก ผลจากการวิจัยสามารถสรุปสูตรหาสัมประสิทธิ์ของที่ดักลม ที่ขึ้นอยู่กับ พื้นที่ช่องลมเข้า ความกดดันอากาศที่ช่องลมเข้า ความเร็วลม พื้นที่ปล่องลมได้ คือ

$$Q = A_i (C_{p_i} \times V_z^2)^{1/2}$$

เมื่อ Q = อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศโดยเฉลี่ย

A_i = พื้นที่ช่องลมเข้า

C_{p_i} = สัมประสิทธิ์ความกดดันอากาศเฉลี่ยที่ช่องลมเข้า

V_z = ความเร็วลมอ้างอิง

ซึ่ง A_i (พื้นที่ช่องลมเข้า) สามารถอธิบายได้ว่า

$$A_i = r \times A_f$$

เมื่อ r = สัดส่วนช่องลมเข้า

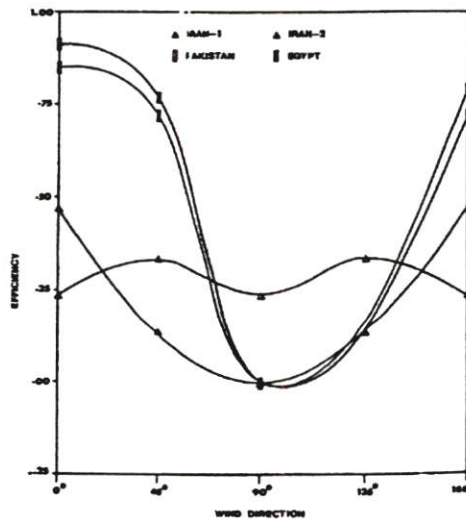
A_f = พื้นที่รูปตัดผ้งของปล่อง

ดังนั้น $Q = r \times A_f (C_{p_i} \times V_z^2)^{1/2}$

$$Q = r \times A_f \times C_{p_i}^{1/2} \times V_z$$

$$Q / A_f \times V_z = r \times C_{p_i}^{1/2}$$

$Q / A_f \times V_z$ ไม่มีหน่วย เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของที่ดักลม (Catching Device Efficiency – CE) ค่า CE นี้จะพิจารณาความเร็วลม และพื้นที่ปล่องลมเป็นหลัก



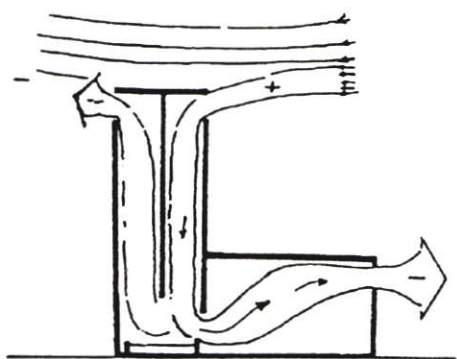
แผนภูมิที่ 2.7 แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของที่ดักลมแต่ละประเภท

ค่า CE ของปล่องลมทั้ง 4 แบบในแผนภูมิที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าปล่องลมแบบปากีสถาน และแบบอียิปต์มีประสิทธิภาพมากกว่าแบบอิหร่าน-1 และอิหร่าน-2 ประสิทธิภาพของปล่องแบบอิหร่าน-1 ค่อนข้างคงที่เพราะมีช่องเปิดที่หันออกทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามการนำปล่องลมแต่ละแบบมาประยุกต์ใช้ต้องคำนึงถึงทิศทางลมเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเสมอ

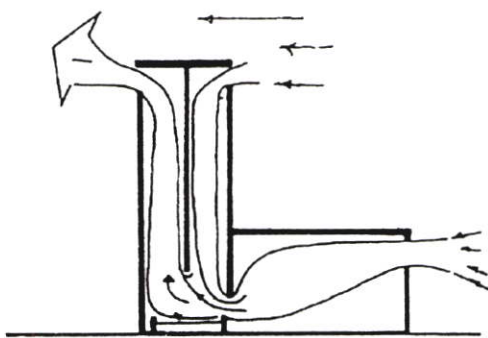
Yaghoubi, M.A. et. al. 1991. *Wind Towers : Measurement and Performance.*

[3] เป็นการศึกษาประสิทธิภาพทางอุณหภูมิจากปล่องลมที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยทำการวัด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในอาคารจริง 3 หลัง คือ Old Mosque, Lary House และ Dowlat Abad ใน Yazd ประเทศอิหร่าน ผู้วิจัยกล่าวถึงปล่องลม หรือ Baud-Geer ว่าเป็นลักษณะพิเศษของสถาปัตยกรรม ที่ช่วยให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติ ในเขตร้อนแห้ง เช่น ตะวันออกกลาง โครงสร้างของปล่องลมเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูน และมีการจัดการแตกต่างกันไปตามปริมาณ และช่วงเวลาที่มิลมในแต่ละวัน ในพื้นที่ร้อนแห้งแล้งของอิหร่าน อุณหภูมิจะต่ำลงในช่วงกลางคืนทำให้ผนังก่ออิฐของปล่องลมเย็นลง ในวันต่อมา เมื่อไม่มีลม อากาศร้อนภายนอกที่เข้ามาทางปล่องจะถูกทำให้เย็นลงเมื่อมันกระทบผิวผนังปล่อง อากาศที่เย็นนี้จะหนักขึ้นและเคลื่อนที่ต่ำลงสู่ด้านล่าง ทำให้เกิดดาวนด์กราฟต์ ดังภาพที่ 2.20 และหากมีลมแรงพอก็จะทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น ประตูด้านล่างของปล่องจะเปิดออกสู่โถงกลางบ้าน และห้องใต้ดิน เมื่อเปิดประตู อากาศจากปล่องจะถูกดันเข้าสู่ภายใน และเคลื่อนที่ออกทางหน้าต่าง หรือประตูอื่นๆ ทำให้ห้องมีอากาศหมุนเวียน

ในตอนกลางวันเมื่อไม่มีลม ปล่องลมจะทำหน้าที่เป็นปล่องอุณหภูมิ ความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในผนังในช่วงกลางวัน จะทำให้อากาศหนาวในช่วงกลางคืนอุ่นขึ้น อากาศที่อุ่นขึ้นนี้จะเบาและลอยสูงขึ้น ทำให้เกิดอัพเวอร์ดกราฟต์ (upward draft) ดังภาพที่ 2.21 อากาศภายในก็จะระบายออกทางปล่อง อากาศเย็นจะถูกดึงเข้ามาแทนที่ แต่หากมีลมในตอนกลางวัน จะกลับกัน อากาศเย็นที่ถูกทำให้อุ่นขึ้นแล้วจะเคลื่อนที่เข้าสู่ปล่องลงสู่ด้านล่าง



ภาพที่ 2.20 อากาศพัดผ่านปล่องลม



ภาพที่ 2.21 ปล่องลมทำหน้าที่เหมือนปล่องอุณหภูมิ

จากลักษณะปล่องลมที่แตกต่างกัน กรณีศึกษาที่ 1 Lary House (ละติจูด 31.9°N) จะเป็นบ้านที่มีลานโล่งตรงกลางล้อมรอบด้วยห้องต่างๆ ปล่องลมจะอยู่ที่มุมหนึ่งของผนัง ผู้วิจัยใช้สายเทอร์โมคัพเพิล วัดค่าอุณหภูมิของตำแหน่งต่างๆ กัน 6 จุด ที่อากาศจากปล่องเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ ผนังด้านทิศใต้ปล่องด้านบน ผนังด้านทิศเหนือของปล่องด้านบน บริเวณกันปล่อง บริเวณโถงโล่งติดกับปล่อง ห้องที่ติดกับโถง และห้องใต้ดิน ค่าที่วัดมีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ บันทึกค่าด้วยเครื่องบันทึกของโอภาว่า เซกิ 6 ช่องทาง ทำการวัดในวันที่ 5 กรกฎาคม (วันตัวแทนของฤดูร้อน)

กรณีศึกษาที่ 2 Dowlat Abad มีลักษณะคล้ายคลึงกับแห่งแรก วิธีการวัดอุณหภูมิจึงเหมือนกัน ยกเว้นความสูงของปล่องลมที่จะสูงกว่าอีกสองแห่งมากเมื่อเปรียบเทียบกัน

กรณีศึกษาที่ 3 Old Mosque ใน Kerman (ละติจูด 30.25°N) ทำการวัดอุณหภูมิด้วยแอลกอฮอล์ เทอร์โมมิเตอร์ ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ทำการวัดในวันที่ 4 สิงหาคม (วันตัวแทนของฤดูร้อน) ส่วนค่าความเร็วลมของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านปล่อง และภายในอาคาร วัดด้วยแอนนิโมมิเตอร์ ติดตั้งในตำแหน่งต่างๆ ช่วงความเร็วลมที่เครื่องวัดได้เป็น 0.01 – 13 เมตร/วินาที ซึ่งความเร็วลมในพื้นที่ที่วัดได้จริงไม่เกิน 4 เมตร/วินาที ความเร็วลมสูงสุดของอากาศที่เคลื่อนที่ออกจากปล่อง เข้าสู่ภายในห้องวัดได้เป็น 2.1 เมตร/วินาที ในวันที่ทำการวัด ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง วัดด้วยฮาร์ ไฮโกรมิเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของพื้นที่แถบทะเลทราย สำหรับกรณีที่ 3 นี้ ปล่องลมจะค่อนข้างสั้น และหนา และแตกต่างจากอีกสองแห่งตรงที่มีการใช้ผนังปล่องร่วมกับห้องภายใน ทำให้ผนังปล่องไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

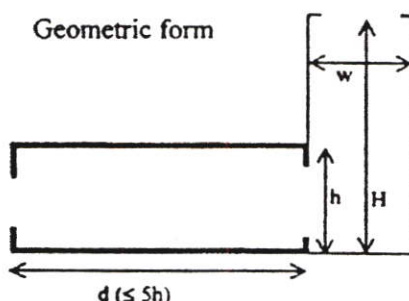
จากผลการวัด เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศในห้อง และอุณหภูมิสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาทั้ง 3 แห่ง พบว่าค่าอุณหภูมิอากาศในห้องจะต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอกประมาณ $2 - 3^{\circ}\text{C}$ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิห้องในช่วงกลางคืน จะสูงกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ซึ่งอธิบายได้ว่าความร้อนที่ถูกสะสมไว้ที่เพดาน และผนังห้องในตอนกลางวัน บางส่วนจะถูกแผ่กลับออกมาสู่ภายในห้องในตอนกลางคืน และบางส่วนถูกแผ่กลับคืนสู่ท้องฟ้า

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยไว้ว่า ปล่องลมมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านอาคาร ซึ่งไม่เพียงแต่ในสภาพที่มีลมดีเท่านั้น แต่ยังได้ผลดีในสภาพลมสงบด้วย สำหรับกรณีที่ต้องการให้ปล่องลมช่วยสร้างสภาวะสบายทางอุณหภูมิให้กับห้องด้านล่าง ตัวปล่องลมเองจะต้องมีการกันแดด เพื่อให้อุณหภูมิอากาศจากปล่องที่ถูกปล่อยออกมาสู่ห้องต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อม เมื่อปล่องลมมีความสูง และได้รับรังสีดวงอาทิตย์ต่อเนื่องเป็นเวลาหลายชั่วโมง อุณหภูมิอากาศจากปล่องที่ถูกปล่อยออกมาสู่ห้องจะสูงกว่าอุณหภูมิ

สภาพแวดล้อม สำหรับกรณีที่จะทำให้ปล่องลมมีประสิทธิภาพ สามารถทำได้โดยให้อากาศจากปล่องผ่านพื้นที่ที่มีความชื้นก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ห้อง เพื่อให้เกิดการระเหยเพื่อทำความเย็น

Robinson, D. et. al. 1999. *The Design and Control of Buildings with Passive Downdraught Evaporative Cooling*. [4] เป็นการศึกษาการทำทำความเย็นให้กับอาคารในพื้นที่เขตร้อนแห้ง ด้วยเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ ร่วมกับการทำความเย็นด้วยการระเหย (Passive Downdraught Evaporative Cooling : PDEC) เพื่อทำความเย็นให้กับอาคารสำนักงานหลายชั้น ซึ่งมีการวางผังแบบแบ่งเป็นหน่วยย่อยๆ โดยเทคนิค PDEC ดังกล่าว จะเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ ความชื้น และความเย็นให้กับอากาศ เมื่ออากาศเย็นจึงลอยตัวลงต่ำสู่ภายในอาคาร

ในส่วนของกำหนัดรูปร่างของอาคารเพื่อใช้ระบบการระบายอากาศแบบนี้ให้มีประสิทธิภาพ (ภาพที่ 2.22) แนะนำว่า หากต้องการได้รับประโยชน์จากความเย็นจากระบบจะต้องจำกัดโครงสร้าง และเปลือกอาคารที่ได้รับแสงแดดโดยตรงให้น้อยที่สุด จะต้องมียปล่องระบายอากาศ เพื่อนำอากาศเข้ามาภายใน โดยที่ความกว้างของพื้นที่ทำความเย็นจากผนังด้านหนึ่งถึงผนังปล่องลมไม่ควรมากกว่า 5 เท่าของความสูงจากพื้น – เพดานห้อง เพื่อให้มีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยที่สุด ข้อพิจารณาสำคัญในการนำเทคนิคไปประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานหลายชั้น จะต้องพิจารณาวิธีการนำอากาศจ่ายเข้าสู่พื้นที่สำนักงานให้สมดุลกันทั้งในแนวราบ และแนวตั้งเพื่อควบคุมรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศให้สม่ำเสมอกัน โดยกำหนดขนาดช่องจ่ายอากาศเข้าจากปล่องให้สัมพันธ์กับความกดดันอากาศ จากการศึกษาพบว่าในระบบการระบายอากาศตามธรรมชาติ ความกดดันอากาศสูงจะอยู่ด้านล่างของปล่อง ตำแหน่งของช่องเปิดระหว่างปล่องกับพื้นที่ภายในที่เล็กที่สุดควรอยู่ที่ชั้นล่างสุดของอาคาร เพื่อให้เกิดความสมดุลในแนวตั้ง สัดส่วนของขนาดช่องเปิดในชั้นอื่นๆ ควรมากขึ้นตามความสูง ส่วนในแนวราบ ช่องเปิดแต่ละช่องควรมีขนาดใหญ่ขึ้นตามระยะทางจากช่องลมเข้าในอาคารถึงช่องลมออก ช่องลมออกจะมีขนาดใหญ่ที่สุด เพื่อให้เกิดความสมดุลในแนวราบ

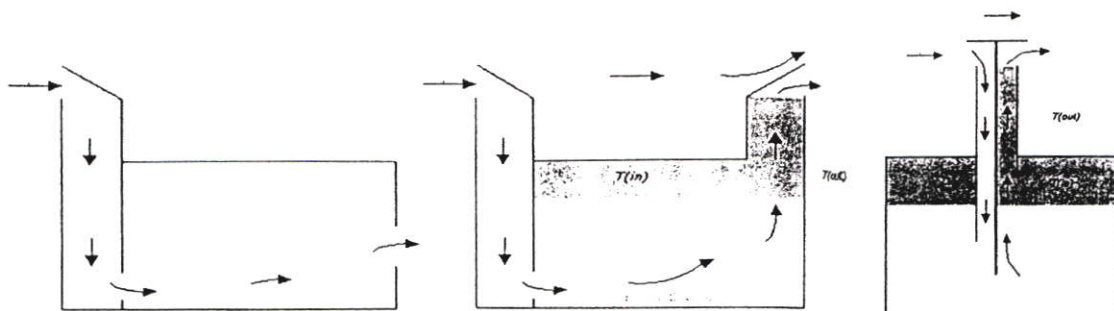


ภาพที่ 2.22 สัดส่วนอาคารที่เหมาะสมในการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์

ในส่วนของการทำความเย็นด้วยการระเหยได้ใช้วิธีพ่นสเปรย์น้ำให้ระเหยในอากาศ กระบวนการระเหยจะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง สิ่งสำคัญที่สุดของกระบวนการ คือ การควบคุมให้เกิดกระบวนการระเหยอย่างสมบูรณ์ก่อนที่อากาศจะถูกปล่อยเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยของหยดน้ำดังกล่าว คือ ขนาดของหยดน้ำ และระยะเวลาที่หยดน้ำสัมผัสอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลอื่นๆ อีก ได้แก่ อุณหภูมิระเปาะเปียกของอากาศ อุณหภูมิระเปาะแห้งของอากาศภายนอก และภายในพื้นที่ ความสูงของปล่อง และความเร็วลม

ผู้วิจัยได้นำหลักการดังกล่าวไปทดลองกับอาคารสำนักงานจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ขนาด 4,880 ตร.ม. ใน Seville สรุปผลได้ว่า เมื่ออาคารได้นำหลักการ PDEC มาใช้ สามารถประหยัดพลังงานในการทำความเย็นได้ถึง 56% หรือ 18.4 กิโลวัตต์ - ชม./ตร.ม. จาก 32.9 กิโลวัตต์ - ชม./ตร.ม.

Riain, C.N. and Kdokotroni, M. 2000. *The Effectiveness of Ventilation Stacks in Enhancing Natural Ventilation in Non - Domestic Buildings*. [5] เป็นการศึกษาทฤษฎีการใช้ปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ เพื่อประมวลตัวแปรในการออกแบบปล่องระบายอากาศ โดยได้แบ่งประเภทของปล่อง เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปล่องลม อาศัยความแตกต่างของความกดดันอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค และแบบปล่องอุณหภูมิ อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดแรงลอยตัวของอากาศ สำหรับปล่องลมเป็นการออกแบบโดยอาศัยลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศตามธรรมชาติ โดยเพิ่มความแตกต่างของความกดดันอากาศ ช่องลมเข้า ทำหน้าที่เป็นที่ดักลม และเพิ่มความเร็วลมด้วยความสูงของปล่อง แล้วไหลเวียนลมออกทางช่องลมออก ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ที่ดักลม จะต้องมียุทปริมาณมาก ความเร็วลม และทิศทางคงที่ นอกจากนั้นความดันลมที่ช่องลมเข้าจะต้องอยู่เหนืออิทธิพลธรรมชาติอื่นๆ เช่น ความกดดันอากาศในปล่อง กระแสลมที่เข้าภายในอาคารด้านล่าง เป็นต้น



ภาพที่ 2.23 ที่ดักลมรูปแบบต่างๆ

ผลจากการศึกษารูปแบบของการระบายอากาศด้วยปล่อง ทั้งการทดลองหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม ทดลองในห้องปฏิบัติการทดลองขนาดใหญ่ ศึกษาจากบ้านทดลองที่มีการใช้ปล่องระบายอากาศ การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และศึกษาข้อมูลจากประสิทธิภาพในการใช้งาน สามารถสรุปตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้บางประการ คือ ขนาดของปล่องลม รูปแบบของช่องลมเข้า - ลมออก วัสดุก่อสร้างของปล่องลม ความสูงของห้อง และอุปกรณ์ช่วยอื่นๆ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดช่องลมเข้า และขนาดของปล่อง ความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศจะเกิดจากรูปร่างของเส้นทางเดินอากาศ และอุณหภูมิที่ต้านทาน (หรือส่งเสริม) การเคลื่อนที่ของอากาศ นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นด้านความปลอดภัย การกรองอากาศ และการป้องกันเสียงรบกวน ที่เป็นข้อจำกัดในการระบายอากาศ ส่วนปัจจัยที่ส่งเสริมการเคลื่อนที่ของอากาศ สำหรับปล่องที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ คือ การจัดสวน หรือการให้ร่มเงาบริเวณช่องลมเข้าด้านล่าง จะทำให้อากาศที่เข้าสู่อาคารมีความเย็นและสดชื่น ส่วนปล่องที่อาศัยความแตกต่างของความกดดันอากาศ การใช้เทคนิค PDEC จะให้ความเย็นกับอากาศที่นำเข้ามาด้วยวิธีการระเหย อย่างไรก็ตามผู้วิจัยสรุปว่า การนำปล่องระบายอากาศมาใช้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการภายในอาคารได้อย่างสมบูรณ์ แต่มันมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะส่งเสริมสภาพการระบายอากาศในช่วงที่เหมาะสม และอาคารลักษณะแคบที่มีการวางผังแบบเปิด จะได้รับประโยชน์จากปล่องระบายอากาศมาก ท้ายที่สุดยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการนำเทคนิคการระบายอากาศด้วยปล่องไปประยุกต์ใช้

Ford, B. et. al. 2000. *Passive Downdraught Cooling : Architectural Integration in Seville*. [6] เป็นการศึกษาการทำความเย็นด้วยเทคนิค PDEC ซึ่งกำลังมีบทบาทอย่างมากในการทำความเย็นให้กับอาคารในพื้นที่ตอนใต้ของยุโรป และเขตร้อนแห้ง โดยยกกรณีศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ สถาบันการศึกษา เป็นอาคารปรับปรุง ใน Seville และอาคารสำนักงานใหม่ ใน Seville ประเทศสเปน เช่นกัน

สำหรับกรณีศึกษาแรก คือ สถาบันการศึกษา ได้ศึกษาองค์ประกอบหลักของอาคารที่ใช้ระบบ PDEC ได้แก่

- ปล่องจ่ายลม สำหรับเหนี่ยวนำอากาศในที่สูงเข้าสู่อาคาร ไม่ว่าจะด้วยวิธี "ดักลม" หรืออาศัยแรงลอยตัวของอากาศ และเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ทำการระเหย เช่น ไมโครไนเซอร์ (micronisers)⁸ แผ่นใย หรือเหยือกน้ำมีรูพรุน

⁸ไมโครไนเซอร์ เป็นอุปกรณ์พ่นน้ำแรงอัดสูง ทำให้สามารถพ่นละอองน้ำที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ : ผู้เขียน

- พื้นที่เชื่อมต่อ เป็นส่วนเปิด หรือส่วนปิดล้อมก็ได้ เชื่อมต่อระหว่างปล่องจ่ายลม และพื้นที่ใช้งาน เพื่อกระจายลมเย็นในแนวตั้ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อระบบของส่วนนี้ คือ รูปร่างของพื้นที่ ขนาดช่องเปิดระหว่างพื้นที่เชื่อมต่อนี้ กับพื้นที่ใช้งาน
- พื้นที่ใช้งานภายใน เป็นส่วนที่ได้รับผลจากระบบ โดยทำการศึกษาเฉพาะกรณีผนังเปิด
- ส่วนจ่ายลมออก ใช้จ่ายลมออกสู่ภายนอกโดยตรง หรือจ่ายเข้าสู่ช่องท่อนแล้วจึงจ่ายสู่ภายนอกอีกทีก็ได้

ผู้วิจัยแบ่งพื้นที่ทำการศึกษาเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่กึ่งเปิด พื้นที่ส่วนเปลี่ยน และพื้นที่ปิดล้อม

- พื้นที่กึ่งเปิด ผู้วิจัยเสนอให้ทำความเย็นในบริเวณลานเปิดของอาคาร โดยใช้พืชพรรณปกคลุม และติดตั้งไมโครไคโนเซอร์ โดยรอบ ผลการวิเคราะห์ห้ด้วยคอมพิวเตอร์ สรุปว่า หากจะทำความเย็นให้ถึงระดับสภาวะน่าสบาย จะบริโภคน้ำสูงมาก แต่ถ้าเพิ่มพื้นที่ปิดล้อมที่ชั้นล่างเพื่อเป็นแหล่งความเย็น (เช่น สระน้ำเย็น) จะช่วยลดปริมาณการบริโภคน้ำได้
- พื้นที่ส่วนเปลี่ยน คือ พื้นที่โดยรอบลานเปิด ซึ่งมีผนังทั้ง 4 ด้าน แต่ส่วนบนเปิดออกสู่ท้องฟ้า ขั้นตอนของระบบที่เสนอ คือ กำหนดให้ส่วนลานเปิด เป็นเสมือนภาชนะเก็บอากาศเย็นจากระบบการระเหย แล้วจ่ายเข้าสู่ห้องเรียน และห้องทำงานที่อยู่ติดกับลานเปิด จากนั้นจึงระบายออกผ่านผนังภายนอก หรือหลังคา จากการทดลองในอุโมงค์ลมพบว่า บริเวณด้านบนของลานเปิด มีความดันเป็นลบ หรือเป็นพื้นที่ลมดูด ซึ่งทำให้อากาศด้านล่างถูกดึงขึ้นสู่ด้านบน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบที่ดักลม เพื่อแก้ปัญหา จึงได้ออกแบบหลังคากระจกทรงปริมาตรเพื่อดักลม แต่เมื่อทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่าวิธีดังกล่าวอาจทำให้ลมในพื้นที่ใช้งานมีความเร็วสูงเกินไป จึงต้องพิจารณาการออกแบบลักษณะที่ดักลมใหม่ให้เหมาะสม
- พื้นที่ปิดล้อม คือ ห้องประชุมใหญ่ โดยจ่ายอากาศเย็นผ่านทางช่องใต้ที่นั่ง แล้วระบายออกทางช่องท่อนใกล้เพดานด้านหลัง

จากผลการวิเคราะห์ทั้งระบบพบว่า ถึงแม้ระบบทำความเย็นแบบ PDEC เพียงอย่างเดียว จะไม่สามารถทำความสบายให้ได้ตลอดปี แต่ก็สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ถึง 25 – 70% เมื่อเทียบกับอาคารปรับอากาศทั้งหลัง

สำหรับกรณีศึกษาที่สอง คือ อาคารสำนักงานใหม่กลางใจเมือง มีลักษณะผนังทึบ มีช่องแสงทำหน้าที่เป็นพื้นที่ส่วนเปลี่ยน กระจายลมเย็นให้แต่ละชั้นเช่นเดียวกับกรณีศึกษาแรก มีการป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยการให้ร่มเงากับช่องแสงด้านทิศใต้ ซึ่งจะป้องกันแดดในฤดูร้อน และยอมให้แสงผ่านได้ในฤดูหนาว ผนังด้านทิศใต้เป็นส่วนที่ต้องป้องกันมลภาวะทาง

เสียงจากถนน จึงกำหนดให้มีช่องท่อจ่ายลมออกในจุดนี้ อากาศที่ใช้แล้ว จากพื้นที่ทำงานจะถูกจ่ายออกผ่านทางบานเปิดด้านบนผนัง

ผลการวิเคราะห์ระบุว่า ระบบทำความเย็นแบบ PDEC ประสบผลสำเร็จประมาณ 85% ในช่วงทำงานของฤดูร้อน อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ถึงขอบเขตบนของสภาวะสบาย (อุณหภูมิ 26°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70%) ตลอดฤดูร้อน ควรให้มีระบบสำรองร่วมกับระบบ PDEC อย่างไรก็ตามระบบ PDEC ต้องอาศัยทักษะและความเข้าใจผลจากการออกแบบของสถาปนิกอย่างมาก

Francis, E. 2000. *The Application of Passive Downdraught Evaporative Cooling (PDEC) to Non – domestic Buildings, Office Building Prototype Design in Catania Italy.* [7] เป็นการศึกษาการทำความเย็นให้กับอาคารในพื้นที่เขตร้อนแห้ง ด้วยเทคนิค PDEC เพื่อทำความเย็นให้กับอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการประยุกต์ใช้เทคนิคการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ ร่วมกับการออกแบบสถาปัตยกรรม โดยศึกษารายละเอียดองค์ประกอบหลักของอาคารที่ทำให้เกิดการระบายอากาศ คือ ปล่องลม ประกอบด้วย ที่ดักลม ตัวควบคุมทิศทาง และบานเกล็ดที่ช่องลมเข้า ผู้วิจัยได้ยกกรณีศึกษา เป็นอาคารสำนักงานในประเทศอิตาลี ที่ออกแบบให้มีปล่องลม (PDEC tower) จำนวน 9 ปล่องกระจายอยู่ในพื้นที่ทำงานทุกๆ ชั้น ปล่องนั้นนอกจากใช้ระบายอากาศแล้วยังช่วยให้ได้รับแสงธรรมชาติในเวลากลางวันด้วย กระบวนการทำงานของระบบระบายอากาศ คือ นำอากาศเข้าที่ช่องลมเข้าของปล่อง ใช้ไมโครไวนเซอร์ พ่นสเปรย์น้ำผ่านอากาศเพื่อให้เกิดการระเหยแล้วทำความเย็นให้อากาศ อากาศที่เย็นแล้วจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างผ่านช่องเปิดด้านบนระหว่างปล่องกับพื้นที่ทำงาน แล้วจึงระบายออกทางช่องเปิดด้านล่างของผนังภายนอก ผลสรุปจากการทดลองพบว่า ระบบ PDEC สามารถลดการบริโภคพลังงานได้ 15%

ภัทรนันท์ ทักชนนท์. 2544. การศึกษาองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมประเภทเรือนแถวที่ส่งเสริมการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ. [8] เป็นการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเรือนแถว อันเกิดจากแรงลม โดยทำการศึกษาจากหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม และหุ่นจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติ ในคอมพิวเตอร์โปรแกรม เรือนแถวดังกล่าวมีความสูง 2 - 3 ชั้น มีลักษณะพิเศษ คือมีปล่องดักลมสำหรับระบายอากาศอยู่บนหลังคา หน้าช่องเปิดของปล่องไปทางทิศใต้ ผู้วิจัยกำหนดให้เรือนแถวมีลักษณะคงที่ แต่ทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และทิศทางของช่องเปิดทุกๆ 45 องศา จากการทดลองเบื้องต้นดังกล่าว ได้ผลสรุปบางประการ คือ ทิศทางของลมที่กระทำกับพื้นที่อาคารด้านลมปะทะ มีผลต่อปริมาณของลมที่เข้าสู่อาคาร

และสอดคล้องกับทฤษฎีของ วิกเตอร์ โอจาย (Victor Olgyay) เกี่ยวกับปริมาณพื้นที่ของช่องเปิดอาคารด้านทางเข้า และทางออกของลม มีความสัมพันธ์กับปริมาณลมที่ผ่านเข้าและออกอาคารดังนี้ (1) พื้นที่ทางเข้า เท่ากับทางออก ผลคือ ปริมาณลมเข้าเท่ากับออก (2) พื้นที่ทางเข้ามาก ทางออกน้อย ผลคือ ลมไม่เข้าสู่อาคาร หรือเข้าน้อยมาก (3) พื้นที่ทางเข้าน้อย ทางออกมาก ผลคือ ลมผ่านเข้าออกอาคารมาก

คมกฤษ ชูเกียรติมั่น. 2544. การศึกษาเทคนิคเบื้องต้นสำหรับทดลองเพื่อประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร. [9] เป็นการศึกษาเทคนิคสำหรับการทดลองเพื่อประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคารในลักษณะ 3 มิติ โดยทำการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และหุ่นจำลองในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ หน้าตัด 2.00×2.00 เมตร ความเร็วลมสูงสุด 5 เมตร / วินาที แบ่งการทดลองเป็นแบบจำลองบ้านเดี่ยว มาตรฐาน 1:20 และแบบจำลองกลุ่มบ้าน มาตรฐาน 1:200 ทำจากแผ่นอะคริลิกใส การทดลองในขั้นต้นเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลในลักษณะ 2 มิติ ระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์ทางด้านการไหลของของไหล (CFD) และการทดลองในอุโมงค์ลม กับทฤษฎีที่ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาไว้และเป็นที่ยอมรับเพื่อบอกความเป็นไปได้ในการนำการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ และการใช้อุโมงค์ลมไปใช้ทดลองเพื่อประเมินในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปผลการศึกษารวบรวมกรณีที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ประเด็นการศึกษา	สถานที่	ระเบียบวิธีวิจัย	ตัวแปรที่ศึกษา	เครื่องมือ	บทสรุป	ผู้วิจัย	ปี
1.	Wind Tower Houses of Bastakeya in Dubai.	สหรัฐอเมริกา เอมิเรตส์	ศึกษาจากอาคารจริง	อุณหภูมิ	-	สภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวัน กลางคืนมาก และมีลมประจำพัดตลอดทั้งปี เชื้อต่ออาคารระบายอากาศทั้งแบบความดันกราฟต์ และแบบ stack ventilation	Fuad M.Bookhash	1981
2.	Wind Catchers for Passive Ventilation Cooling in Hot Humid Regions.	-	ศึกษาจากหุ่นจำลองที่ดัดกลม 4 แบบในอุโมงค์ลม	ความกดดัน อากาศ	เซนเซอร์หัวทองแดง ขนาด 1/16 นิ้ว	$Q=A_i (C_p \times V_z)^{1/2}$ ประสิทธิภาพของที่ดัดกลมแต่ละแบบขึ้นอยู่กับทิศทางลมเป็นหลัก	K A Al – Megren	-
3.	Wind Towers : Measurement and Performance.	อิหร่าน	ศึกษาเปรียบเทียบจากอาคารจริง 3 แห่ง	อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์	เทอร์โมคัพเพิล และแอลกอฮอล์ เทอร์โมมิเตอร์ แอนนีโมมิเตอร์ ฮาร์ ไฮโกรมิเตอร์	ปล่องลมทั้ง 3 แบบช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการระบายอากาศทั้งแบบความดันกราฟต์ และแบบ stack ventilation มีข้อสังเกตว่าหากปล่องมีความสูง ผนังปล่องจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์มาก ทำให้อุณหภูมิภายในปล่องสูงขึ้น	M A Yaghoubi, A Sabzevari and A A Golneshan	1991

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ลำดับ	ประเด็นการศึกษา	สถานที่	ระเบียบวิธีวิจัย	ตัวแปรที่ศึกษา	เครื่องมือ	บทสรุป	ผู้วิจัย	ปี
4.	The Design and Control of Buildings with Passive Downdraught Evaporative Cooling.	จำลองอาคารสำนักงานในสเปน	ทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์	อุณหภูมิ ความชื้น ความกดดันอากาศ	คอมพิวเตอร์ โปรแกรม CFD	การนำระบบ PDEC มาใช้ในอาคารหลายชั้นต้องคำนึงถึงการกระจายอากาศภายในเป็นหลัก โดยพิจารณาขนาดของเปิดที่สัมพันธ์กับความกดดันอากาศ ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดพลังงานในการทำความเย็นได้ถึง 56%	D Robinson, M J Cook, K J Lomas and N T Bowman	1999
5.	The Effectiveness of Ventilation Stacks in Enhancing Natural Ventilation in Non - Domestic Buildings.	-	เป็นการรวบรวมผล การศึกษารูปแบบของการระบายอากาศด้วยปล่องทั้งห้าปล่อง อาคารจริงและคอมพิวเตอร์	รูปร่างของปล่อง ตึกลม และตัวแปรอื่นๆ	-	ยังไม่มีบทสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับการนำปล่องระบายอากาศไปใช้ แต่มีผลอ้างอิงได้ว่าการใช้ปล่องสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบายอากาศได้ ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศนิ่ง หรือมีลม	Caitriona Ni Riain and Maria Kdokotroni	2000
6.	Passive Downdraught Cooling : Architectural Integration in Seville.	จำลองอาคารสถาบันศึกษาในสเปน	ทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์	อุณหภูมิ ความชื้น	คอมพิวเตอร์ โปรแกรม CFD	ผู้ออกแบบพยายามสร้างความเย็นให้กับอาคารด้วยการใช้พืชพรรณธรรมชาติปกคลุมและการใช้อุปกรณ์พัดลมของน้ำในอากาศ ก่อนจ่ายเข้าสู่ตัวอาคาร	Brian Ford, Camilo Diaz and Mark Hewitt	2000

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ลำดับ	ประเด็นการศึกษา	สถานที่	ระเบียบวิธีวิจัย	ตัวแปรที่ศึกษา	เครื่องมือ	บทสรุป	ผู้วิจัย	ปี
7.	The Application of Passive Draught Evaporative Cooling (PDEC) to Non-domestic Buildings, Office Building Prototype Design in Catania Italy.	จำลองอาคารสำนักงานในอิตาลี	ทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์	อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม	คอมพิวเตอร์โปรแกรม CFD	ผู้วิจัยนั้นสามารถในการประยุกต์ระบบให้เข้ากับงานออกแบบ ผลการใช้ระบบ PDEC ช่วยลดการบริโภคพลังงานได้ 15% และสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารร่วมด้วย	Elizabeth Francis	2000
8.	การศึกษาองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมประเภทเรือนแถวที่ส่งเสริมการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ	ติกแถวจังหวัดอยุธยา	ทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ และหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม	การเคลื่อนที่ของอากาศ	คอมพิวเตอร์โปรแกรม CFD	ทิศทางลมที่กระทำกับของเปิด ขนาดของลมเข้าลมออกมีผลกับการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน สอดคล้องกับทฤษฎีของ จิกเตอร์ โอจาย	ภทรนันท์ ทักขมนนท์	2001
9.	การศึกษาเทคนิคเบื้องต้นสำหรับทดลองเพื่อประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร.	ตัวอย่างอาคารสมมติ	ทดลองด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ และหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม	การเคลื่อนที่ของอากาศในลักษณะ 3 มิติ	คอมพิวเตอร์โปรแกรม CFD	มีความเป็นไปได้ในการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศในอาคาร ทั้งในลักษณะ 2 และ 3 มิติ	คมกฤษ ชูเกียรติมัน	2001

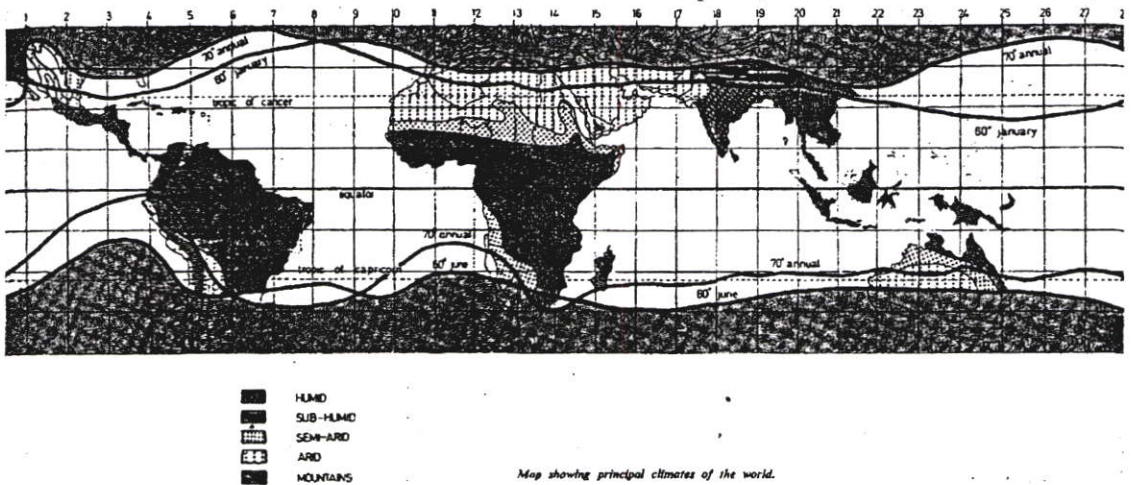
บทที่ 3

การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร

3.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในคาบสมุทรอินโดจีน มีเนื้อที่ประมาณ 200,148 ตารางไมล์ หรือประมาณ 514,000 ตารางกิโลเมตร อยู่ในเขตร้อน ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 องศาเหนือที่จังหวัดยะลา ถึง 21 องศาเหนือที่จังหวัดเชียงราย ชายแดนทางทิศตะวันออกอยู่ที่ลองจิจูด 106 องศาตะวันออก ชายแดนตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 97 องศาตะวันออก

ลักษณะดินฟ้าอากาศโดยทั่วไปมีมรสุมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ในระยะช่วงนี้อากาศค่อนข้างเย็นและแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศน้อย ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากอ่าวเบงกอล ทะเลอันดามันและมหาสมุทรอินเดีย พัดเอาเมฆฝนเข้าสู่ประเทศไทยทำให้มีฝนตกทั่วไปในทุกภาคของประเทศ อากาศในช่วงนี้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง นอกจากนั้นยังมีกระแสลมพัดจากทะเลจีนใต้เข้าสู่อ่าวไทย และประเทศไทยทางทิศใต้ หรือตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน อากาศโดยทั่วไปร้อนและแห้งแล้ง



ภาพที่ 3.1 แสดงการแบ่งเขตภูมิอากาศของโลก

3.1.1 ฤดูกาลของประเทศไทย

ตามลักษณะภูมิอากาศวิทยา ประเทศไทยแบ่งฤดูกาลต่างๆ ออกเป็น 3 ฤดู คือ

1) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม เมื่อลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย และร่องความกดต่ำอากาศต่ำเลื่อนขึ้นมาพาดผ่าน ทำให้มีฝนตก

ทั่วไป ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นำเอาฝนจากมหาสมุทรอินเดียมาตกในประเทศไทยทุกภาค อากาศจะไม่ร้อนเพิ่มขึ้นในฤดูนี้ แต่จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นมาก ประเทศไทยตอนบนตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไป ฝนจะตกชุกในเดือนสิงหาคม และกันยายน ส่วนภาคใต้ฝนจะตกมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน

2) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่ประเทศไทยมีระยะเวลาประมาณ 4 เดือน อากาศค่อนข้างหนาวในช่วงปลายเดือนธันวาคมต่อกับต้นเดือนมกราคม อากาศหนาวในประเทศไทยนั้นมีระยะเวลาสั้นๆ และไม่สู้จะหนาวเย็นมากนัก ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งอยู่ในละติจูดสูง มีพื้นที่ติดต่อกับผืนแผ่นดินใหญ่ของทวีป ได้รับอิทธิพลจากอากาศหนาวอย่างเต็มที่ จึงมีอากาศหนาวกว่าภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งอยู่ในละติจูดที่ต่ำลงมา ส่วนภาคใต้อยู่ใกล้ฝั่งทะเลทั้งสองด้านจึงไม่มีลักษณะอากาศหนาวเย็นของฤดูหนาวเลย

3) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้ลมฝ่ายใต้และตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ดวงอาทิตย์โคจรจากซีกโลกใต้ขึ้นไปทางซีกโลกเหนือ เป็นช่วงเวลาที่ผิวโลกที่ตั้งประเทศไทยเอียงเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ ประมาณวันที่ 27 เมษายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดีในเวลาเที่ยงวัน แสงอาทิตย์ส่องตั้งฉากกับพื้นดินทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ และถูกสะสมเอาไว้ในดินมาก ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอากาศร้อนอบอ้าวกว่าภาคอื่นๆ เพราะลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่ราบสูงห่างไกลจากทะเล ส่วนภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มอยู่ใกล้ทะเล ได้รับอิทธิพลจากลมทะเล อากาศจึงไม่ร้อนมากนัก ภาคใต้มีฝั่งทะเลทั้งสองด้านอากาศจึงไม่ร้อนเช่นเดียวกัน และอาจจะมีฝนตกบ้างไม่มากนัก ฝนจะเริ่มมากขึ้นตอนปลายฤดู ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเริ่มกลับมาในฤดูฝน ซึ่งจะวนเวียนเช่นนี้ต่อไปอีกในรอบปีใหม่

3.1.2 อุณหภูมิของประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นที่ของประเทศเกือบทั้งปี ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิสูงตลอดปีด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างฤดูหนาว และฤดูร้อนมีน้อย เดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุด คือเดือนเมษายน เพราะเป็นเดือนที่แสงอาทิตย์ส่องตรงประเทศไทยมากที่สุด วันที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากกับกรุงเทพฯ คือวันที่ 27 เมษายน เวลาเที่ยงวัน

ภาคที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างฤดูร้อน และฤดูหนาวน้อยที่สุด คือ ภาคใต้ เพราะได้รับอิทธิพลจากพื้นน้ำเนื่องจากมีลักษณะเป็นคาบสมุทรยื่นลงไปในทะเล ส่วนอุณหภูมิระหว่างฤดูร้อน และฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมาก

ประเทศไทยตอนบนประกอบด้วย ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางตอนเหนือ และภาคตะวันออก เป็นบริเวณที่ลึกลงไปในแผ่นดินทำให้มีอากาศร้อนและอากาศหนาว แต่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมากนัก อากาศจะหนาวจัดทางตอนบนภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เดือนมกราคมเป็นเดือนที่มีอากาศหนาวจัดในรอบปี

3.1.3 ปริมาณฝนของประเทศไทย

ประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยทั่วประเทศตลอดปีมีค่าประมาณ 1,650 มิลลิเมตร ฝนที่ตกส่วนใหญ่เป็นฝนตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ และจะเกิดในเวลาเย็นหรือเช้ามืด เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนกันยายน และเดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุด คือเดือนในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อนระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน แต่อย่างไรก็ตามการผันแปรของฝนอาจแบ่งได้ตามลักษณะภูมิประเทศเช่นเดียวกับอุณหภูมิ

ฤดูหนาวตอนบนของประเทศไทยอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง ไม่ค่อยมีฝนตก ในฤดูร้อนจะมีฝนตกประปราย และจะเริ่มมีฝนมากขึ้นตอนกลางเดือนพฤษภาคม และจะตกต่อเนื่องจนถึงเดือนตุลาคม ฝนจะมีปริมาณมากสุดในเดือนกันยายน โดยที่เดือนนี้จะมีพายุดีเปรสชัน (Depression) จากทะเลจีนใต้ พัดสู่ประเทศไทยเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำท่วมขึ้นได้

ภาคใต้จะมีฝนเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก จะอยู่ในช่วงระยะมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และจะปรากฏชัดทางฝั่งทะเลตะวันตกของภาค ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เต็มที่ ช่วงสอง จะอยู่ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จากเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ จะมีฝนอย่างมากทางฝั่งตะวันออกของภาค เป็นด้านที่รับลมโดยเฉพาะตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป

3.1.4 ทิศทางลมผิวพื้นของประเทศไทย

1) ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน ถึงกุมภาพันธ์) บริเวณตั้งแต่กั้นอำเภอไทยขึ้นไป ลมจะมาจากทิศเหนือ หรือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นทิศใต้ในเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนภาคใต้ ลมจะมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ หรือตะวันออก

2) ช่วงเปลี่ยนมรสุม (มีนาคม ถึงเมษายน) ซึ่งเป็นฤดูร้อน ส่วนใหญ่ลมจะมาจากทิศใต้ ในตอนบ่ายและเย็น ส่วนในตอนเช้าลมจะแปรปรวน ภาคใต้ลมมาจากทางทิศใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ แต่ในเดือนพฤษภาคม จะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้

3) ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม ถึงกันยายน) ลมประจำจะเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้เกือบทั่วไป ในบางคราวอาจเปลี่ยนเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้

4) ช่วงหลังมรสุม (ตุลาคม) เป็นเดือนที่ลมมรสุม เปลี่ยนจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็น ตะวันออกเฉียงเหนือ หลังเดือนตุลาคม มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีกำลังแรงขึ้นทำให้มรสุม ตะวันตกเฉียงใต้ถอยลงไปทางใต้ ลมส่วนมากจึงเป็นลมจากทิศเหนือ และตะวันออกเฉียง

3.2 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร

การออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ และสัมพันธ์กับสภาพ ภูมิอากาศ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับสถาปนิกในปัจจุบัน อันเป็นผลเนื่องมาจากความตื่นตัวของสังคม เกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคาร นอกจากที่หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้พยายามวางนโยบาย เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอาคารแล้ว สถาปนิกเองก็มีส่วนในขั้นตอนดังกล่าวตั้งแต่ เริ่มต้น

สิ่งสำคัญที่สถาปนิกควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรก ในการออกแบบอาคารทุกครั้ง คือ การศึกษาสภาพแวดล้อม และสภาพอากาศของที่ตั้งอาคาร เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการ วิเคราะห์แนวทางการออกแบบอาคารให้สัมพันธ์กัน อันจะนำไปสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพ และ ยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารนั้นๆ ด้วย

การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประกอบการ ออกแบบนั้น ควรจัดทำจากข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยในรอบ 10 ปี เป็นอย่างน้อย สำหรับ งานวิจัยนี้ ผู้เขียนได้จัดทำการวิเคราะห์สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร จากการเก็บข้อมูลของ กรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998) โดยประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ คือ

อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	Air temperature (Celsius)
อุณหภูมิผิวหญ้า (องศาเซลเซียส)	Grass temperature (Celsius)
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Water temperature (Celsius)
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	Relative humidity (%)
อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)	Soil temperature (Celsius)
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	Rainfall (mm)
ปริมาณการระเหยกลายเป็นไอ (มิลลิเมตร)	Evaporation (mm)
ทิศทางและความเร็วลม (เมตร / วินาที)	Wind (m/s)
ชั่วโมงแดด (ชั่วโมง)	Sunshine duration (hr)

ผู้เขียนได้ทำการวิเคราะห์สภาพอากาศตามขั้นตอนของ O.H. Koenigsberger เพื่อหาค่า อุณหภูมิ CET รายชั่วโมง จากนั้นจึงหาขอบเขตสภาวะสบาย ตามวิธีของ Auliciems และ S.V. Szokolay, 1981 เพื่อหาแนวทางการออกแบบอาคารต่อไป

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)

Station	BANGNA		Elevation of station above MSL	:	3.00 m.								
Latitude	13.6 N		Height of thermometer above ground	:	1.25 m.								
Longitude	100.6 E		Height of wind vane above ground	:	10.00 m.								
			Height of rain gauge	:	1.00 m.								
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
Air Temperature (celsius)													
Extreme maximum	35.8	37.0	37.6	40.0	39.2	37.5	36.8	36.6	35.6	35.2	35.5	35.1	40.0
Mean maximum	32.4	33.1	34.2	35.6	35.2	34.1	33.3	33.1	32.9	32.1	31.9	31.3	33.3
Mean	27.3	28.3	29.8	31.1	30.8	29.9	29.4	29.2	28.8	28.2	27.6	26.4	28.9
Mean minimum	22.1	23.5	25.4	26.6	26.3	25.7	25.4	25.2	24.7	24.3	23.3	21.5	24.5
Extreme minimum	14.0	16.1	19.6	21.4	22.0	22.2	22.3	21.6	22.2	18.3	18.0	13.7	13.7
Grass Minimum Temperature (celsius)													
Mean minimum	18.6	20.7	23.4	25.3	25.0	24.5	24.2	24.0	23.8	23.0	20.6	18.1	22.6
Extreme minimum	8.5	10.0	13.5	19.0	22.2	20.0	21.8	21.0	22.0	14.0	14.2	7.3	7.3
Water Temperature (celsius)													
Mean maximum	30.0	31.6	33.2	34.7	34.2	33.1	32.5	32.1	32.2	31.8	30.5	29.0	32.1
Mean	24.8	26.3	28.2	29.4	29.2	28.4	28.0	27.7	27.7	27.2	25.5	23.8	27.2
Mean minimum	19.6	21.0	23.1	24.1	24.2	23.7	23.5	23.3	23.2	22.5	20.4	18.5	22.3
Relative Humidity (%)													
Extreme maximum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mean maximum	91	91	91	90	91	89	90	90	93	91	86	87	90
Mean	68	69	71	70	72	72	74	74	75	74	68	67	71
Mean minimum	44	47	50	50	52	54	57	57	57	57	50	46	52
Extreme minimum	23	15	20	14	32	34	39	39	40	38	29	31	14
Soil Temperature (celsius)													
Mean at surface	28.6	29.8	31.6	32.7	31.9	31.0	30.2	29.5	29.0	28.6	28.4	28.0	29.9
Mean at 5 cm.	29.5	30.9	32.7	34.0	32.9	31.6	30.9	30.1	29.3	29.0	29.4	28.7	30.8
Mean at 10 cm.	29.1	30.5	32.4	33.6	32.7	31.4	30.7	30.1	29.5	29.1	29.1	28.3	30.5
Mean at 20 cm.	29.6	30.9	32.7	34.0	33.3	32.1	31.4	30.5	29.9	29.6	29.7	29.0	31.1
Mean at 50 cm.	29.5	28.1	-	-	-	-	36.1	-	-	-	-	-	31.2
Mean at 100 cm.	42.0	-	-	-	-	-	33.0	-	-	-	-	-	37.5
Rainfall (mm.)													
Total	17.7	11.9	33.8	64.3	188.1	157.9	166.0	230.6	353.9	251.7	28.7	2.4	1507
Number of rainy day	3.0	3.0	4.0	6.0	14.0	15.0	17.0	19.0	22.0	17.0	5.0	1.0	126.0
Greatest in 24 hr	64.1	36.0	62.3	66.5	185.9	128.4	79.2	82.3	126.2	126.3	84.1	7.6	185.9
Evaporation (mm.)													
Mean evaporation	4.1	4.7	5.5	5.9	5.4	4.8	4.5	4.3	4	4.1	4.3	4.5	4.7
Wind													
Prevailing direction	NE	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	
Mean speed (m/s)	0.8	1.3	1.6	1.5	1.0	1.1	1.1	1.0	0.7	0.9	1.1	1.1	
Sunshine duration (hr)													
Extreme maximum	9.9	10.5	10.8	11.2	11.6	11.7	11.5	11.0	10.3	10.5	10.4	9.8	11.7
Mean	7.9	8.9	8.7	9.0	7.0	5.8	5.3	4.6	4.7	5.8	7.5	8.2	7.0

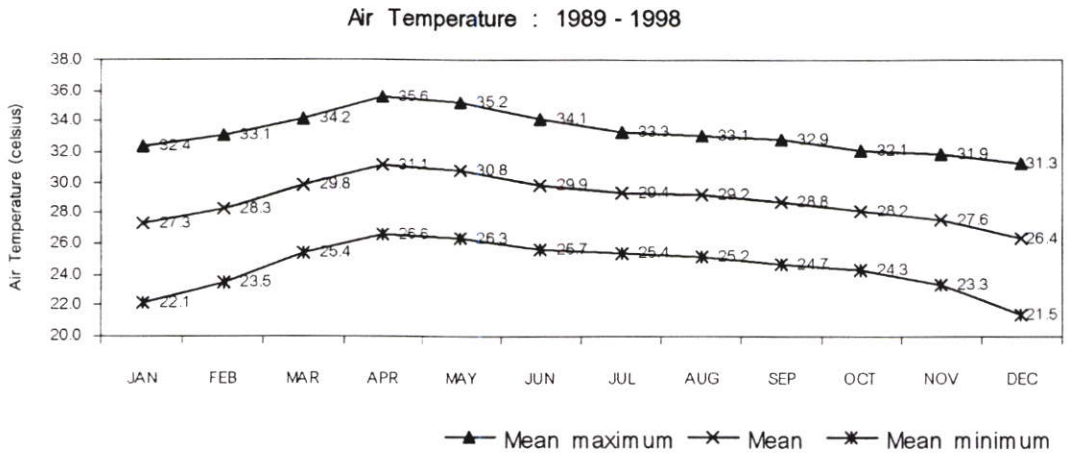
Remark : “_” indicate missing data

AGROMETEOROLOGICAL ANALYSIS SUB – DIVISION, AGROMETEOROLOGY DIVISION

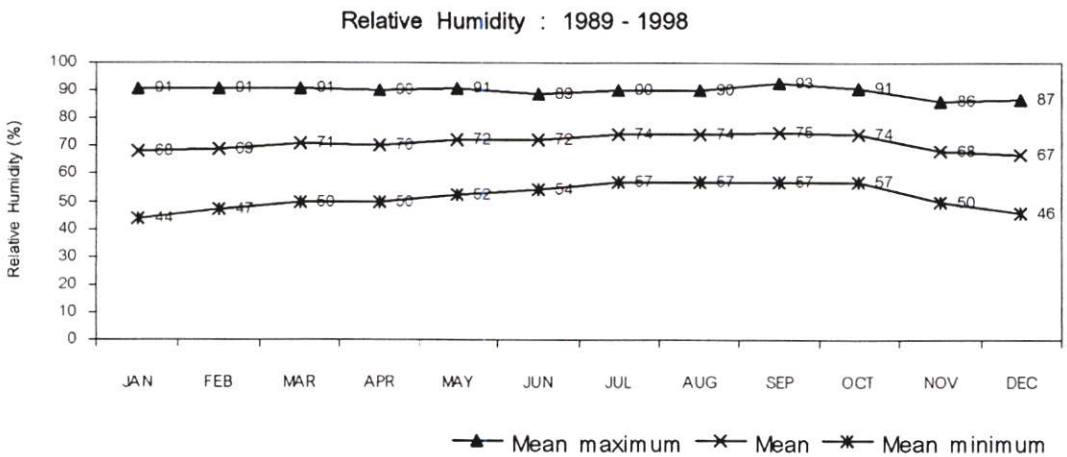
DATA PROCESSING SUB – DIVISION, CLIMATOLOGY DIVISION

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

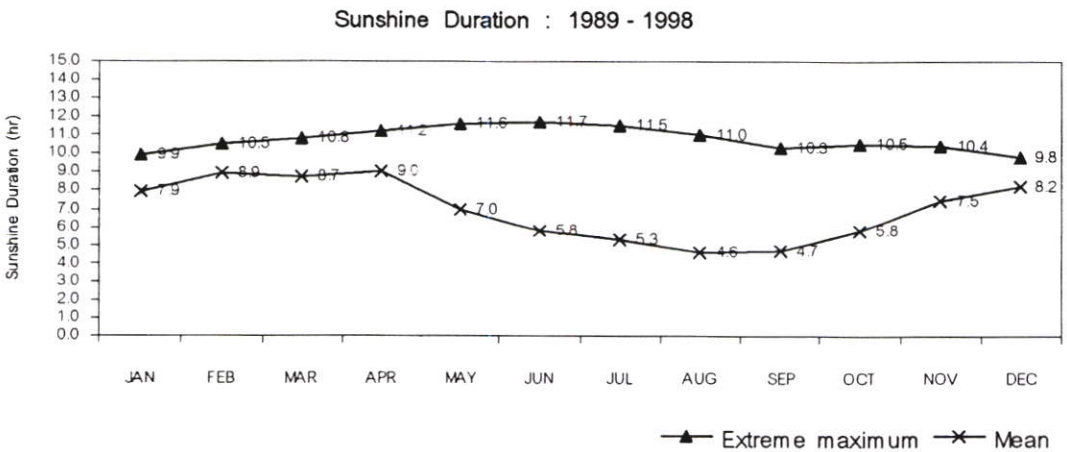
ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)



แผนภูมิที่ 3.1 อุณหภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

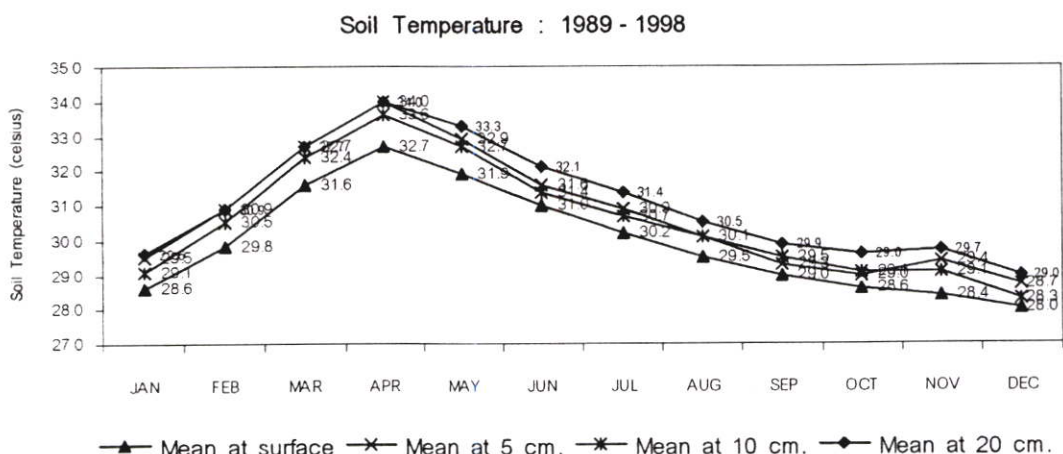


แผนภูมิที่ 3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

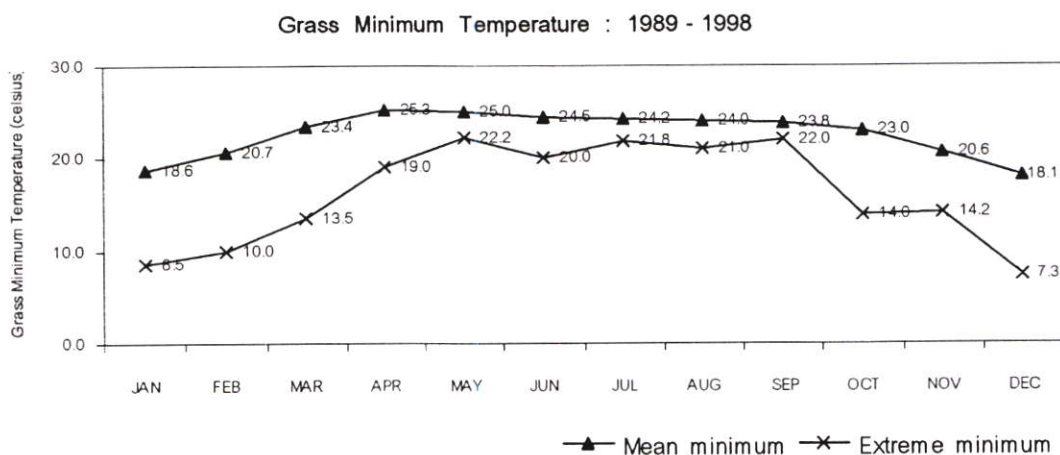


แผนภูมิที่ 3.3 ชั่วโมงแดด กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

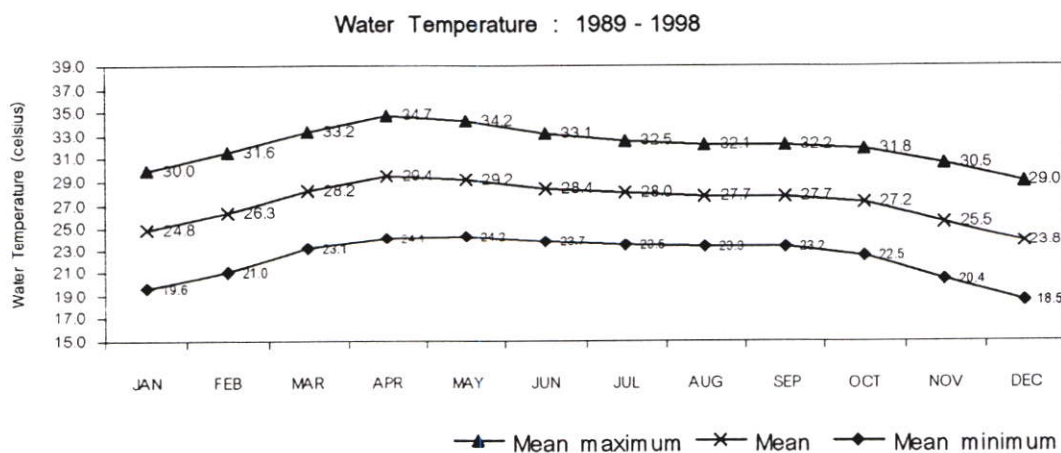
ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)



แผนภูมิที่ 3.4 อุณหภูมิดิน กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

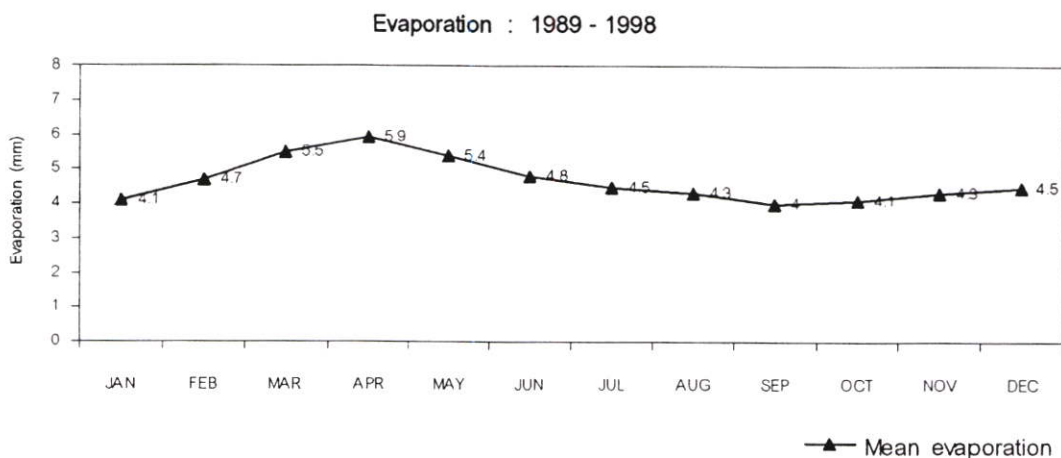


แผนภูมิที่ 3.5 อุณหภูมิหญ้า กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

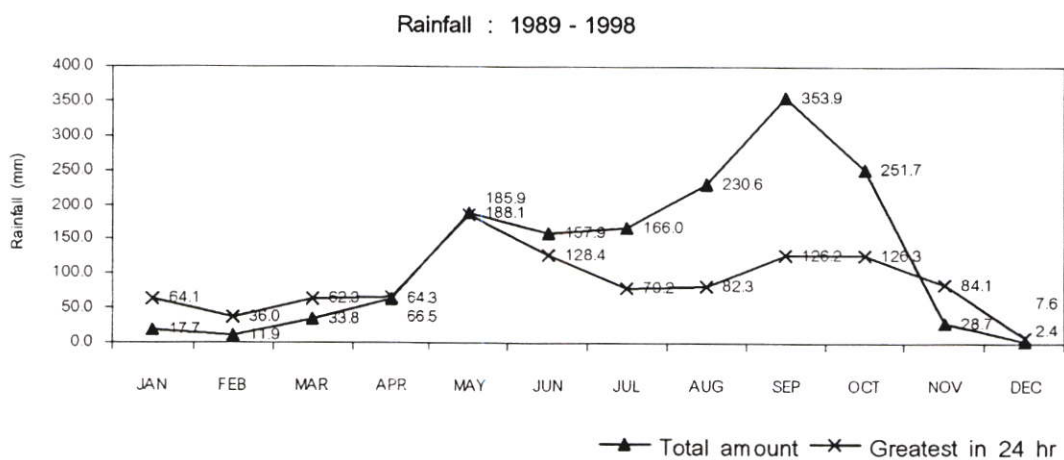


แผนภูมิที่ 3.6 อุณหภูมิน้ำ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

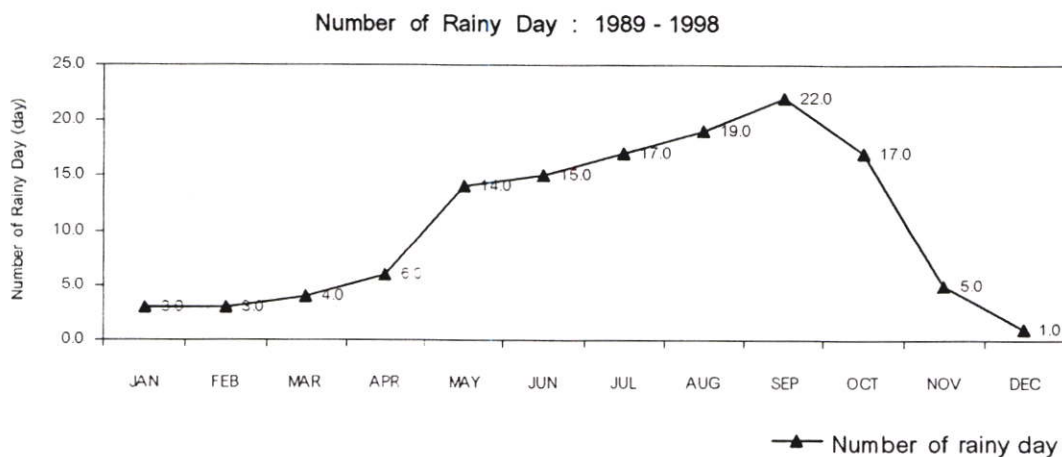
ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)



แผนภูมิที่ 3.7 ปริมาณการระเหยกลายเป็นไอ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

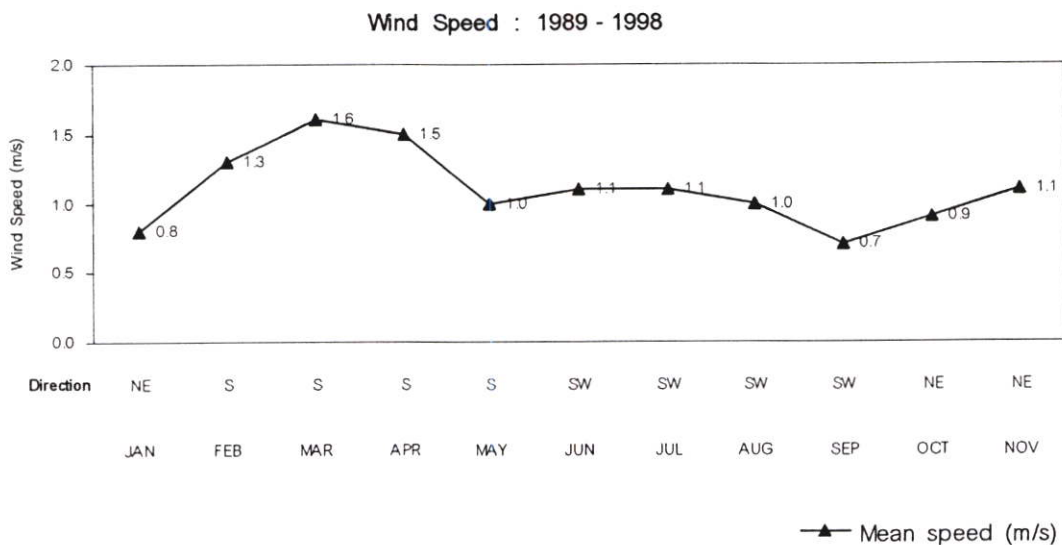


แผนภูมิที่ 3.8 ปริมาณฝน กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

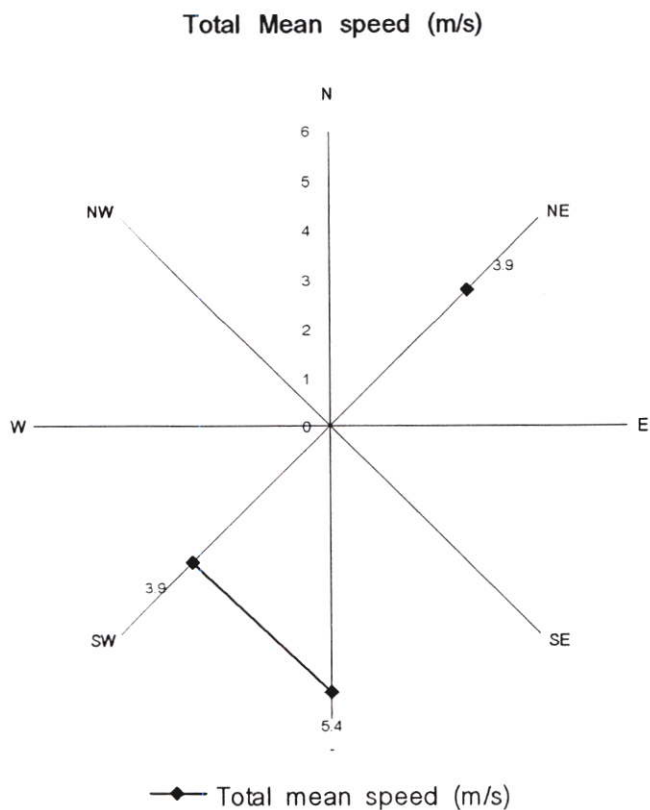


แผนภูมิที่ 3.9 จำนวนวันที่มีฝน กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

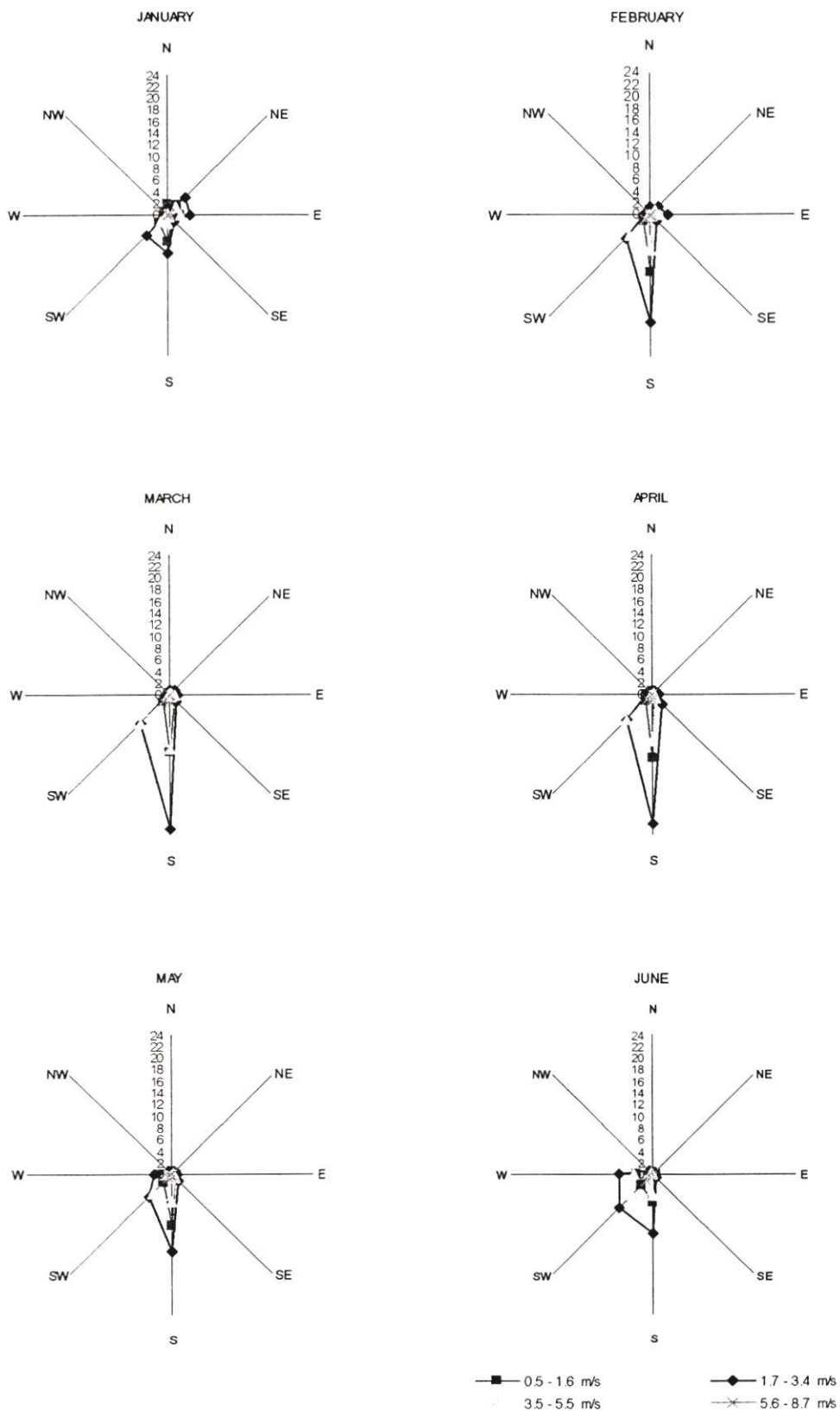
ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)



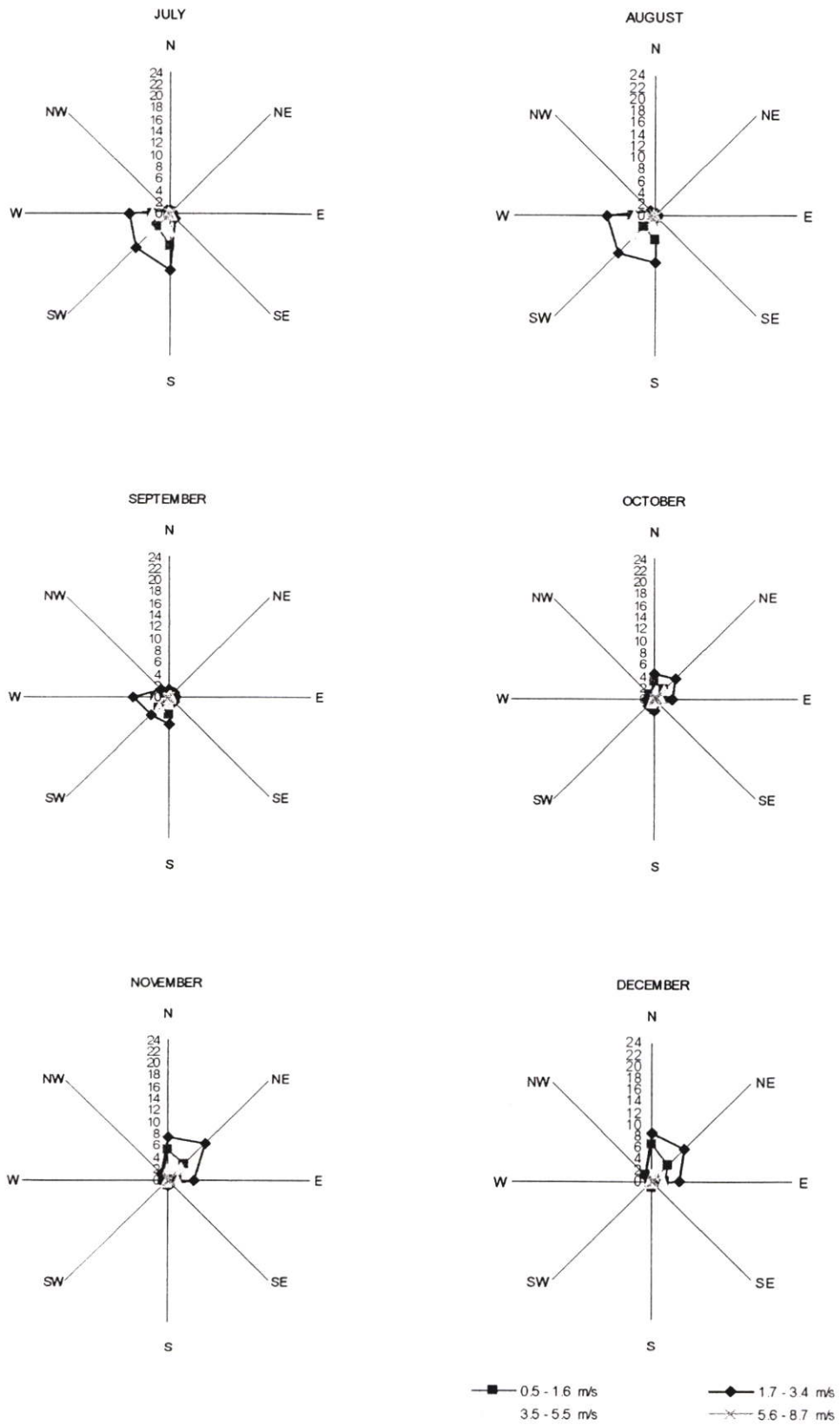
แผนภูมิที่ 3.10 ความเร็วลม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541



แผนภูมิที่ 3.11 ทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ย กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541



แผนภูมิที่ 3.12 (ก) แสดงทิศทาง ความถี่ และความเร็วมรายเดือนของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 - 2541 (เดือนมกราคม - มิถุนายน)



แผนภูมิที่ 3.12 (ข) แสดงทิศทาง ความถี่ และความเร็วมรายเดือนของกรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2532 - 2541 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม)

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิเฉลี่ยราย 2 ชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Data	Mean max. DBT (celsius)	32.4	33.1	34.2	35.6	35.2	34.1	33.3	33.1	32.9	32.1	31.9	31.3
	RH p.m. (%)	44	47	50	50	52	54	57	57	57	57	50	46
	WBT (celsius)	22.8	24.1	25.6	26.7	26.8	26.3	26.2	26.0	25.9	25.2	23.6	22.3
	ET max. (celsius)	26.9	27.7	28.7	29.7	29.5	29.1	28.8	28.6	28.5	27.9	27.2	26.3
Data	Mean min. DBT (celsius)	22.1	23.5	25.4	26.6	26.3	25.7	25.4	25.2	24.7	24.3	23.3	21.5
	RH a.m. (%)	91	91	91	90	91	89	90	90	93	91	86	87
	WBT (celsius)	21.0	22.3	24.2	25.3	25.1	24.2	24.1	23.9	23.7	23.1	21.5	20.0
	ET min. (celsius)	21.8	23.1	24.8	25.9	25.7	25.0	24.8	24.5	24.1	23.7	22.6	21.0

0.00	22.9	24.1	25.7	26.7	26.4	25.8	25.6	25.4	25.0	24.6	23.5	22.1
2.00	22.5	23.8	25.3	26.4	26.2	25.5	25.3	25.0	24.7	24.2	23.2	21.7
4.00	22.1	23.4	25.0	26.1	25.9	25.2	25.0	24.7	24.3	24.0	22.8	21.3
6.00	21.8	23.1	24.8	25.9	25.7	25.0	24.8	24.5	24.1	23.7	22.6	21.0
8.00	22.2	23.7	25.2	26.3	26.0	25.4	25.2	24.9	24.5	24.1	23.0	21.6
10.00	24.7	25.8	27.0	28.0	27.8	27.3	27.0	26.9	26.6	26.1	25.2	24.1
12.00	26.1	27.0	28.1	29.1	29.0	28.5	28.1	28.0	27.8	27.2	26.5	25.6
14.00	26.9	27.7	28.7	29.7	29.5	29.1	28.8	28.6	28.5	27.9	27.2	26.3
16.00	26.4	27.3	28.3	29.4	29.2	28.8	28.4	28.2	28.1	27.6	26.8	25.9
18.00	25.2	26.2	27.4	28.5	28.2	27.8	27.5	27.3	27.1	26.5	25.7	24.7
20.00	24.0	25.1	26.5	27.5	27.2	26.7	26.5	26.2	26.0	25.5	24.6	23.3
22.00	23.3	24.6	26.0	27.1	26.8	26.2	26.0	25.8	25.4	25.0	24.0	22.7

จากตารางที่ 3.3 เป็นการแสดงวิธีการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยราย 2 ชั่วโมง โดยนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิเกาะเปาะแห้งเฉลี่ยสูงสุด (Mean max. DBT) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำสุด (ตอนกลางวัน) (RH p.m.) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิเกาะเปาะแห้งเฉลี่ยต่ำสุด (Mean min. DBT) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด (ตอนเช้า) (RH a.m.) มาหาค่าอุณหภูมิเกาะเปาะเปียกเฉลี่ยสูงสุด และต่ำสุด จากนั้นจึงนำไปพล็อตในกราฟโนโมแกรม แล้วอ่านค่าอุณหภูมิ CET เมื่อมีความเร็วลม เท่ากับ 0.1 เมตร/วินาที เมื่อได้ผลอุณหภูมิ CET เฉลี่ยราย 2 ชั่วโมงแล้ว จึงนำไปเฉลี่ยหาค่าอุณหภูมิ CET รายชั่วโมงต่อไป

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

hour	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
0.00	22.9	24.1	25.7	26.7	26.4	25.8	25.6	25.4	25.0	24.6	23.5	22.1
1.00	22.7	24.0	25.5	26.6	26.3	25.7	25.5	25.2	24.9	24.4	23.4	21.9
2.00	22.5	23.8	25.3	26.4	26.2	25.5	25.3	25.0	24.7	24.2	23.2	21.7
3.00	22.3	23.6	25.2	26.3	26.1	25.4	25.2	24.9	24.5	24.1	23.0	21.5
4.00	22.1	23.4	25.0	26.1	25.9	25.2	25.0	24.7	24.3	24.0	22.8	21.3
5.00	22.0	23.3	24.9	26.0	25.8	25.1	24.9	24.6	24.2	23.9	22.7	21.2
6.00	21.8	23.1	24.8	25.9	25.7	25.0	24.8	24.5	24.1	23.7	22.6	21.0
7.00	22.0	23.4	25.0	26.1	25.9	25.2	25.0	24.7	24.3	23.9	22.8	21.3
8.00	22.2	23.7	25.2	26.3	26.0	25.4	25.2	24.9	24.5	24.1	23.0	21.6
9.00	23.5	24.8	26.1	27.2	26.9	26.4	26.1	25.9	25.6	25.1	24.1	22.9
10.00	24.7	25.8	27.0	28.0	27.8	27.3	27.0	26.9	26.6	26.1	25.2	24.1
11.00	25.4	26.4	27.6	28.6	28.4	27.9	27.6	27.5	27.2	26.7	25.9	24.9
12.00	26.1	27.0	28.1	29.1	29.0	28.5	28.1	28.0	27.8	27.2	26.5	25.6
13.00	26.5	27.4	28.4	29.4	29.3	28.8	28.5	28.3	28.2	27.6	26.9	26.0
14.00	26.9	27.7	28.7	29.7	29.5	29.1	28.8	28.6	28.5	27.9	27.2	26.3
15.00	26.7	27.5	28.5	29.6	29.4	29.0	28.6	28.4	28.3	27.8	27.0	26.1
16.00	26.4	27.3	28.3	29.4	29.2	28.8	28.4	28.2	28.1	27.6	26.8	25.9
17.00	25.8	26.8	27.9	29.0	28.7	28.3	28.0	27.8	27.6	27.1	26.3	25.3
18.00	25.2	26.2	27.4	28.5	28.2	27.8	27.5	27.3	27.1	26.5	25.7	24.7
19.00	24.6	25.7	27.0	28.0	27.7	27.3	27.0	26.8	26.6	26.0	25.2	24.0
20.00	24.0	25.1	26.5	27.5	27.2	26.7	26.5	26.2	26.0	25.5	24.6	23.3
21.00	23.7	24.9	26.3	27.3	27.0	26.5	26.3	26.0	25.7	25.3	24.3	23.0
22.00	23.3	24.6	26.0	27.1	26.8	26.2	26.0	25.8	25.4	25.0	24.0	22.7
23.00	23.1	24.4	25.9	26.9	26.6	26.0	25.8	25.6	25.2	24.8	23.8	22.4

3.3 การหาค่าสภาวะน่าสบาย

ในการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาทฤษฎีในการประเมินอุณหภูมิ ที่มีผลกระทบต่อความสบาย ผลจากการทดลองเป็นจำนวนมากจากห้องปฏิบัติการแสดงผลอย่างเด่นชัดของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของผิวกายและความรู้สึกสบาย จากผลการทดลองอันนี้ทำให้คิดได้ว่าค่าอุณหภูมิของผิวหนังที่วัดได้อาจใช้เป็นค่าชี้ภาวะความสบายได้

โดยที่ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้น การเคลื่อนไหวของอากาศ และการแผ่รังสี มีผลต่อความสบายของมนุษย์พร้อมๆ กัน และอิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบจะขึ้นอยู่กับระดับขององค์ประกอบอื่นๆ ได้มีความพยายามที่จะคิดค้นวิธีการที่จะรวมเอาองค์ประกอบทั้งสิ้นของสภาวะ

องค์ประกอบอื่นๆ ได้มีความพยายามที่จะคิดค้นวิธีการที่จะรวมเอาองค์ประกอบทั้งสี่ของสภาวะอากาศให้แสดงโดยตัวเลขเพียงค่าเดียว เพื่อมาตรฐานความสบาย จะเป็นผลรวมของปฏิภังการระหว่างตัวแปรทางภูมิอากาศ ในเวลาต่อมาได้มีการรวมเอาอัตราการเผาผลาญของร่างกาย และเสื้อผ้าที่สวมใส่มาคิดรวมไปด้วย ในการวัดและสังเกตการณ์ในห้องปฏิบัติการ ลักษณะของความสบายของมนุษย์ หรือเขตความสบายของมนุษย์ได้ถูกพิสูจน์ และเปรียบเทียบกับสภาวะภูมิอากาศ ทั้งนี้เพื่อพิสูจน์ความต้องการและชนิดของการควบคุมความร้อน

การทดลองเพื่อหาขอบเขตสภาวะสบายในระยะแรก เป็นการทดลองโดยสร้างห้องจำลองควบคุมตัวแปร แล้วให้ผู้ถูกทดลองซึ่งเป็นวัยหนุ่มสาว ชาวอเมริกัน และชาวยุโรป เข้าไปอยู่ แล้วเก็บข้อมูลชุดที่ดีที่สุด นำมาประมวลหาองค์ประกอบของสภาวะสบาย เพื่อใช้กับทุกพื้นที่ในโลก ดัชนีวัดความสบายดังกล่าวเป็นของ พี.โอ. แฟงเกอร์ (P.O. Fanger) เรียกว่า ดัชนี PMV (Predicted Mean Vote) อย่างไรก็ตาม ในการทดลองในระยะหลัง ผู้วิจัยหลายท่านที่ได้พยายามเก็บข้อมูลจากผู้ถูกทดลอง ซึ่งอยู่ในสถานการณ์จริง ในอาคารจริง และสภาพแวดล้อมจริง มากกว่าทำการทดลองในห้องทดลอง พบว่า ขอบเขตสภาวะสบายที่ได้มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ และภูมิประเทศ เป็นหลัก¹

3.3.1 Humphreys (1975)

จากการประมวลข้อมูลภาคสนาม ทั้งภายในภายนอกอาคารในช่วงเวลาประมาณ 1 เดือน พบความสัมพันธ์ทางสถิติที่แสดงว่า ค่ากลางของอุณหภูมิ (thermal neutralities : Tn) ที่มนุษย์รู้สึก สอดคล้องกับอุณหภูมิอากาศ หรือ อุณหภูมิโกลบ (air or globe temperature : Ti) ค่า Tn ที่เก็บได้อยู่ระหว่าง 17 – 30 องศาเซลเซียส

$$T_n = 2.56 + 0.83 \times T_i \quad (r = 0.96) \quad (3.1)$$

การวิเคราะห์ขั้นต่อมาของ Humphreys (1976) ทำการทดลองในอาคารไม่ปรับอากาศ พบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากลางของอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก (outdoor mean temperatures : Tm)

$$T_n = 11.9 + 0.534 \times T_m \quad (r = 0.97) \quad (3.2)$$

¹Michael Docherty and Steven V. Szokolay. Climate Analysis. Queensland : The University of Queensland Printery, 1999, p. 23.

3.3.2 Auliciems (1981)

Auliciems ได้พบความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันดังกล่าว ในการทดลองเช่นกัน ทั้งในอาคาร ปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศ ทำให้ได้ค่า T_n ตั้งแต่ 18–28 องศาเซลเซียส

$$T_n = 17.6 + 0.31 \times T_m \quad (r = 0.88) \quad (3.3)$$

(สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ ค่าความน่าเชื่อถือคือ $r = 0.95$)

3.3.3 Griffiths (1990)

จากการศึกษาของ Griffiths ในยุโรป สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ พบความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับผลของ Humphreys มาก

$$T_n = 12.1 + 0.534 \times T_m \quad (3.4)$$

3.3.4 Nicol และ Roaf (1996)

Nicol และ Roaf ได้ทำการศึกษาในประเทศปากีสถาน พบความสัมพันธ์ดังนี้

$$T_n = 17 + 0.38 \times T_m \quad (3.5)$$

ค่ากลางของอุณหภูมิ (T_n) ที่ได้เหล่านี้ เป็นค่าสำหรับคนที่นั่งทำงาน อยู่ในสภาพแวดล้อมปกติ และใส่เสื้อผ้าตามสบาย ค่า T_n ที่ได้อยู่ระหว่าง 18–30 องศาเซลเซียส แล้วจึงขยายขอบเขตของอุณหภูมิในสภาวะสบายเป็น $T_n \pm 2$ องศาเซลเซียส

วิธีการหาค่ากลางของสภาวะสบายเหล่านี้ ต่างได้มาจากการเก็บข้อมูลในสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศที่แตกต่างกัน สำหรับในประเทศไทยได้มีงานวิจัยหลายเล่มที่นิยมใช้วิธีของ Auliciems เพราะเป็นงานที่ทำในพื้นที่ร้อนชื้น ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทยมากที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขอบเขตสภาวะสบายตามวิธีการของ Auliciems เป็นหลัก

3.4 การหาค่าขอบเขตสภาวะสบายของกรุงเทพมหานคร

จากสูตรคำนวณขอบเขตสบายของ Auliciems

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

เมื่อ T_n คือ อุณหภูมิค่ากลางของขอบเขตสภาวะสบาย (องศาเซลเซียส)

T_m คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก (องศาเซลเซียส)

และสูตรคำนวณความชื้น (dT) ของเส้น ET^* (new effective temperature) ในแผนภูมิไซโครเมตริก

$$dT = 0.025 \times (T - 14) \times AH_r(50\%)$$

เมื่อ dT คือ ความชื้นของเส้น ET^*

AH คือ ค่าความชื้นสัมบูรณ์

T คือ ค่า $T_n \pm 2$

ขั้นตอนการหาขอบเขตสภาวะสบาย

- 1) นำค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ย (T_m) ของเดือนที่หนาวที่สุด มาแทนในสูตรหาค่า T_n
- 2) กำหนดตำแหน่ง T_n ที่ได้ ณ ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50% ในแผนภูมิไซโครเมตริก แล้วขยายขอบเขตสภาวะสบายที่ระดับ $T_n + 2$ และ $T_n - 2$ องศาเซลเซียส
- 3) เขียนเส้น ET^* ไปตามขอบเขตดังกล่าว เพื่อกำหนดขอบเขตสภาวะสบาย ความชันของเส้น ET^* ได้มาจากสูตร dT
- 4) เขียนเส้นขอบเขตบน และล่างของสภาวะสบาย ที่ระดับความชื้นสัมบูรณ์ 4 – 12 กรัม/กก. ก็จะได้ขอบเขตสภาวะสบายสำหรับฤดูหนาวโดยสมบูรณ์
- 5) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 4 เพื่อหาขอบเขตสภาวะสบายสำหรับฤดูร้อน
- 6) กำหนดเส้นสภาวะอากาศในแต่ละเดือนของพื้นที่ลงในแผนภูมิ โดยกำหนดจุด 2 จุด จุดแรกมีค่าอุณหภูมิสูงสุด ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดตอนบ่าย จุดที่สองมีค่าอุณหภูมิต่ำสุด ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดตอนเช้า แล้วลากเส้นตรงเชื่อมจุดทั้งสอง
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 6 สำหรับทั้ง 12 เดือน

ขอบเขตสภาวะสบายของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตสภาวะสบายของกรุงเทพมหานคร

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Tmax	32.4	33.1	34.2	35.6	35.2	34.1	33.3	33.1	32.9	32.1	32.9	31.3
sdMax	0.9	1.3	1.0	1.7	1.6	1.3	1.6	1.5	1.1	0.9	1.2	1.4
Tmin	22.1	23.5	25.4	26.6	26.3	25.7	25.4	25.2	24.7	24.3	23.3	21.5
sdMin	1.4	2.3	0.9	2.1	1.8	1.0	1.2	0.7	1.0	1.2	1.6	1.7
Tsd	1.0	1.5	0.8	1.6	1.4	1.0	1.2	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3
RH am	91	91	91	90	91	89	90	90	93	91	86	87
RH pm	44	47	50	50	52	54	57	57	57	57	50	46
Rain	18	12	34	64	188	158	166	231	354	252	29	2
Irad	4783	5525	6011	5583	4889	4592	4528	4094	3844	3750	3817	3800

ฤดูหนาว เดือนที่หนาวที่สุด คือ เดือนธันวาคม ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดเป็น 31.3 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำสุดเป็น 21.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเป็น 26.4 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 T_n &= 17.6 + (0.31 \times T_m) \\
 T_n &= 17.6 + (0.31 \times 26.4) \\
 &= 25.78 \pm 2 \\
 &= \underline{23.78 - 27.78} && \text{องศาเซลเซียส} \\
 \\
 dT &= 0.025 \times (T - 14) \times AH_T(50\%) \\
 dT \text{ for } ET^* \text{ Min} &= 0.025 \times (23.78 - 14) \times 9.30 \\
 &= \underline{2.27} \\
 \text{The axis intercept} &= 23.78 + 2.27 \\
 &= 26.05 && \text{องศาเซลเซียส} \\
 dT \text{ for } ET^* \text{ Max.} &= 0.025 \times (27.78 - 14) \times 11.89 \\
 &= \underline{4.09} \\
 \text{The axis intercept} &= 27.78 + 4.09 \\
 &= 31.87 && \text{องศาเซลเซียส}
 \end{aligned}$$

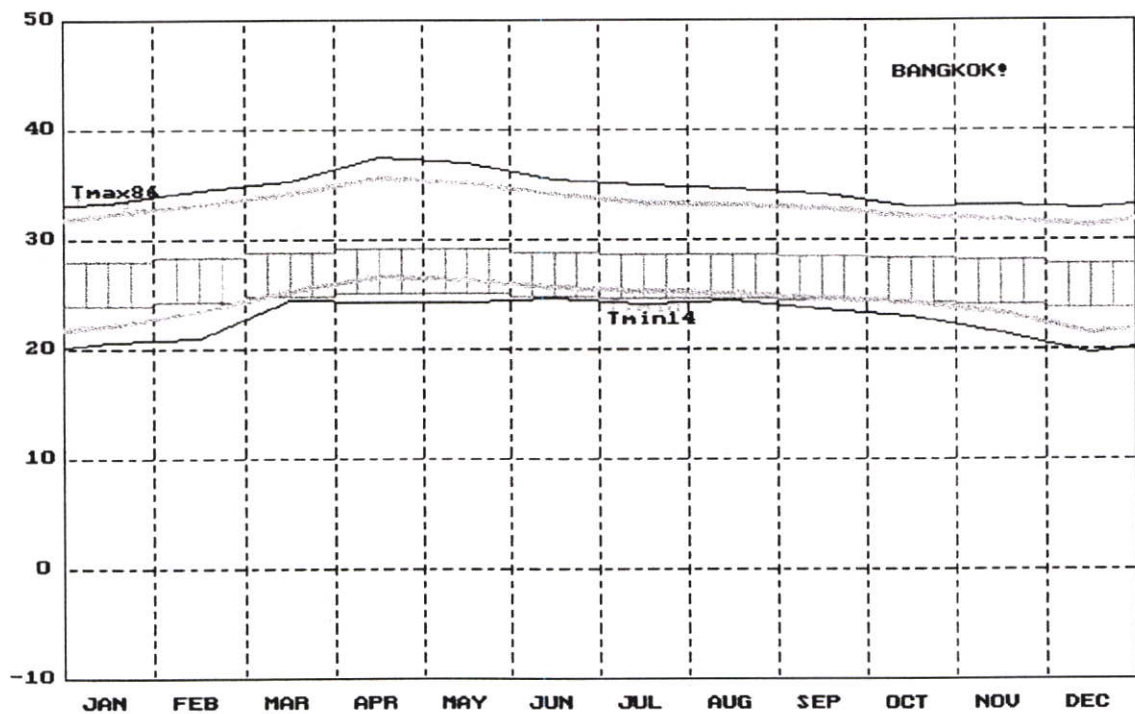
ฤดูร้อน เดือนที่ร้อนที่สุด คือ เดือนเมษายน ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดเป็น 35.6 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำสุดเป็น 26.6 องศาเซลเซียส ดังนั้นค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเป็น 31.1 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 T_n &= 17.6 + (0.31 \times T_m) \\
 T_n &= 17.6 + (0.31 \times 31.1) \\
 &= 27.24 \pm 2 \\
 &= \underline{25.24 - 29.24} && \text{องศาเซลเซียส} \\
 \\
 dT &= 0.025 \times (T - 14) \times AHT(50\%) \\
 dT \text{ for } ET^* \text{ Min} &= 0.025 \times (25.24 - 14) \times 10.18 \\
 &= \underline{2.86} \\
 \text{The axis intercept} &= 25.24 + 2.86 \\
 &= 28.10 && \text{องศาเซลเซียส} \\
 dT \text{ for } ET^* \text{ Max.} &= 0.025 \times (29.24 - 14) \times 12.98 \\
 &= \underline{4.94}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{The axis intercept} &= 29.24 + 4.94 \\ &= 34.18 \end{aligned} \quad \text{องศาเซลเซียส}$$

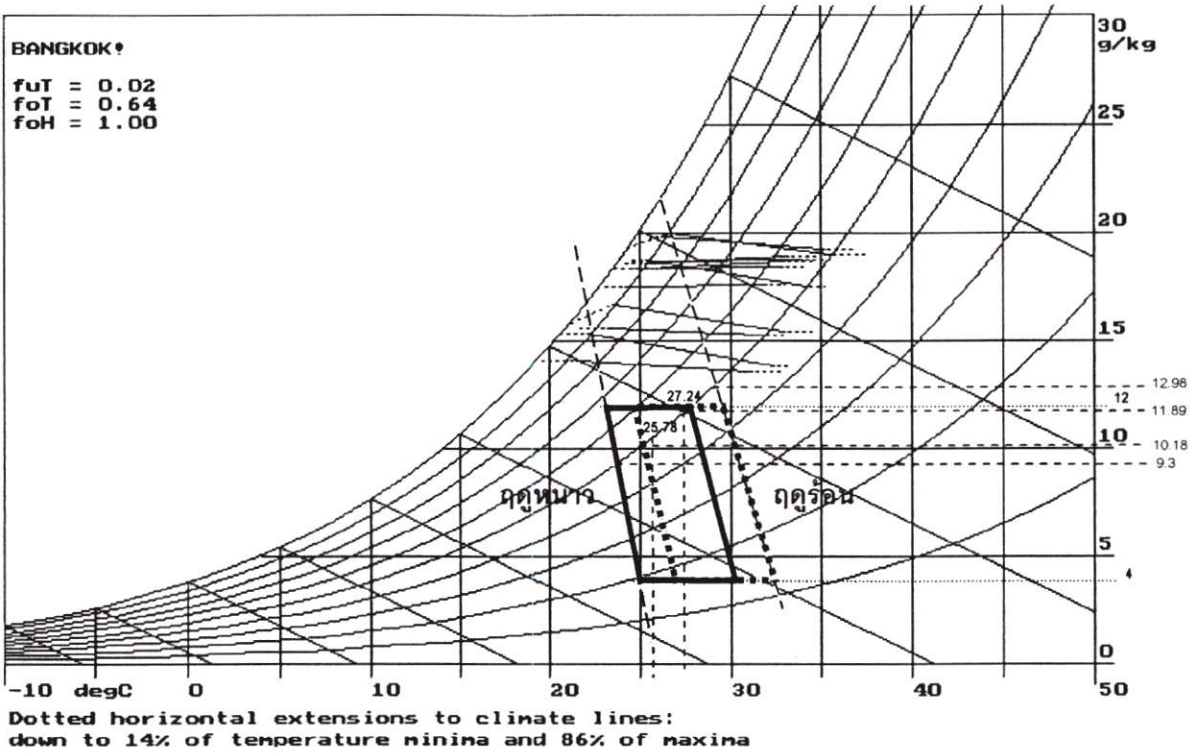
ขอบเขตสภาวะสบายของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 (1989 – 1998)		
ขอบเขตสภาวะสบายสำหรับฤดูหนาว	=	23.78 - 27.78 องศาเซลเซียส
ขอบเขตสภาวะสบายสำหรับฤดูร้อน	=	25.24 - 29.24 องศาเซลเซียส

การแสดงผลการคำนวณหาขอบเขตสภาวะสบายด้วยโปรแกรม ARCHIPAK

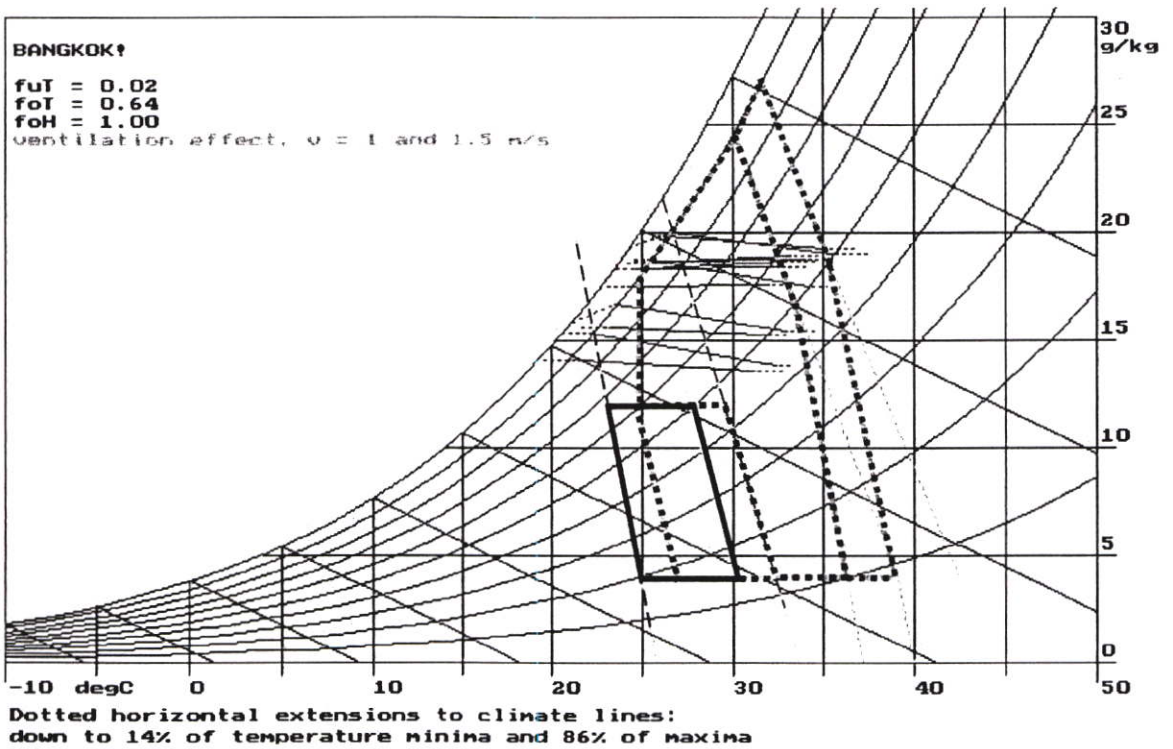


แผนภูมิที่ 3.13 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541
เปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิที่อยู่ในเขตสภาวะสบาย

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบ 10 ปี เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย (แถบสีชมพู) เดือนเมษายนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด และต่ำสุดในเดือนธันวาคม จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิเพียงตัวแปรเดียว (ไม่พิจารณาความชื้นสัมพัทธ์) จะเห็นว่า มีช่วงที่สบายอยู่ตลอดทั้งปี ยกเว้นเดือนเมษายนที่อุณหภูมิสูงกว่าขอบเขตสภาวะสบายมาก อย่างไรก็ตามหากพิจารณาพร้อมกับความชื้นสัมพัทธ์ พื้นที่ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบายอาจเปลี่ยนไป



แผนภูมิที่ 3.14 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกับขอบเขตสภาวะสบาย



แผนภูมิที่ 3.15 แผนภูมิไซโครเมตริก แสดงภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกับขอบเขตสภาวะสบาย และกลวิธีการเพิ่มขอบเขตสภาวะสบายด้วยการระบายอากาศ

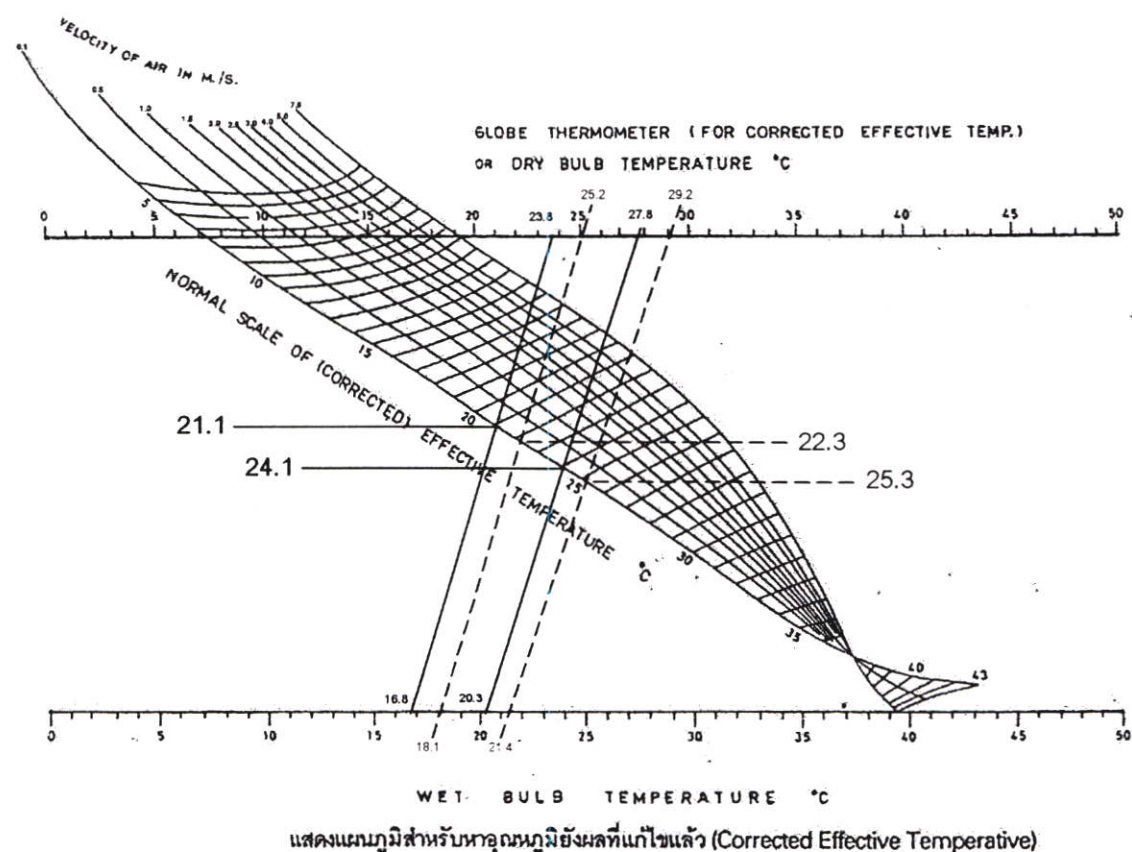
3.5 การหาขอบเขตสภาวะสบายเมื่อมีความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง (CET)

จากการคำนวณหาขอบเขตสภาวะสบายเบื้องต้น ยังไม่พิจารณาความเร็วลมร่วมด้วย จึงไม่ใช่สภาพอากาศที่มนุษย์รู้สึกจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แปลงค่าอุณหภูมิขอบเขตสภาวะสบายดังกล่าว เป็นอุณหภูมิ CET

ตารางที่ 3.6 สรุปค่าอุณหภูมิขอบเขตสภาวะสบายจากวิธีของ Aulicem

		อุณหภูมิภาวะแห้ง (DBT)	ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	อุณหภูมิภาวะเปียก (WBT)	ขอบเขตสภาวะสบาย แบบ CET
ฤดูหนาว	ขอบเขตบน	23.8 °C	50%	16.8 °C	21.1 °C
	ขอบเขตล่าง	27.8 °C	50%	21.0 °C	24.1 °C
ฤดูร้อน	ขอบเขตบน	25.2 °C	50%	20.2 °C	22.3 °C
	ขอบเขตล่าง	29.2 °C	50%	22.8 °C	25.3 °C

หมายเหตุ ผู้วิจัยหาค่าอุณหภูมิภาวะเปียกจากแผนภูมิไซโครเมตริก และหาค่าอุณหภูมิขอบเขตสภาวะสบายแบบ CET จากแผนภูมิที่ 3.15



แผนภูมิที่ 3.16 แผนภูมิแสดงการหาขอบเขตสภาวะสบายแบบ CET

จากนั้นจึงนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงที่คำนวณแล้วจากตารางที่ 3.4 มาเปรียบเทียบกับในกราฟโนโมแกรมเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่อกำหนดให้มีความเร็วลม 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที ตามลำดับ แล้วจึงเปรียบเทียบหาขอบเขตสภาวะสบายที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 เมื่อกำหนดความเร็วลม เท่ากับ 0.1 เมตร/วินาที

WIND VEL. = 0.1 m/s	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
0.00	22.9	24.1	25.7	26.7	26.4	25.8	25.6	25.4	25.0	24.8	23.5	22.1
1.00	22.7	24.0	25.5	26.6	26.3	25.7	25.5	25.2	24.9	24.4	23.4	21.9
2.00	22.5	23.8	25.4	26.4	26.2	25.5	25.3	25.0	24.7	24.2	23.2	21.7
3.00	22.3	23.6	25.3	26.3	26.1	25.4	25.2	24.9	24.5	24.1	23.0	21.5
4.00	22.1	23.4	25.2	26.1	25.9	25.3	25.1	24.8	24.4	24.0	22.8	21.3
5.00	22.0	23.3	25.1	26.0	25.8	25.2	25.0	24.7	24.3	23.9	22.7	21.2
6.00	21.8	23.1	25.0	25.9	25.7	25.1	24.9	24.6	24.2	23.8	22.6	21.0
7.00	22.0	23.4	25.1	26.1	25.9	25.3	25.1	24.8	24.4	23.9	22.8	21.3
8.00	22.2	23.7	25.2	26.3	26.0	25.4	25.2	24.9	24.5	24.1	23.0	21.6
9.00	23.5	24.9	26.1	27.2	26.9	26.4	26.1	25.9	25.6	25.1	24.0	22.9
10.00	24.7	25.8	27.0	28.0	27.8	27.3	27.0	26.9	26.6	26.1	25.0	23.9
11.00	25.4	26.4	27.6	28.6	28.4	27.9	27.6	27.5	27.2	26.7	25.9	24.7
12.00	26.1	27.0	28.1	29.1	29.0	28.5	28.1	28.0	27.8	27.2	26.5	25.6
13.00	26.5	27.4	28.4	29.4	29.3	28.8	28.5	28.3	28.2	27.6	26.9	26.0
14.00	26.9	27.7	28.7	29.7	29.5	29.1	28.8	28.6	28.5	27.9	27.2	26.3
15.00	26.7	27.5	28.5	29.6	29.4	29.0	28.6	28.4	28.3	27.8	27.0	26.1
16.00	26.4	27.3	28.3	29.4	29.2	28.8	28.4	28.2	28.1	27.6	26.8	25.9
17.00	25.8	26.8	27.9	29.0	28.7	28.3	28.0	27.8	27.6	27.1	26.3	25.4
18.00	25.1	26.2	27.4	28.5	28.2	27.8	27.5	27.3	27.1	26.5	25.7	24.8
19.00	24.4	25.7	27.0	28.0	27.7	27.3	27.0	26.8	26.6	26.0	25.2	24.3
20.00	24.0	25.3	26.5	27.5	27.2	26.7	26.5	26.2	26.0	25.5	24.7	23.8
21.00	23.7	25.0	26.3	27.3	27.0	26.5	26.3	26.0	25.7	25.2	24.4	23.5
22.00	23.4	24.7	26.0	27.1	26.8	26.2	26.0	25.8	25.4	24.9	24.1	23.2
23.00	23.1	24.4	25.9	26.9	26.6	26.0	25.8	25.6	25.2	24.7	23.8	22.9

BASE ON COMFORT EFFECTIVE TEMPERATURE

WINTER = 21.1 - 24.1 celsius

SUMMER = 22.3 - 25.3 celsius

ตารางที่ 3.8 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 - 2541 เมื่อกำหนด
ความเร็วลม เท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที

WIND VEL. = 0.5 m/s	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
0.00	21.9	23.3	24.8	26.0	25.8	24.6	24.6	24.6	24.6	24.0	22.8	21.1
1.00	21.7	23.1	24.6	25.9	25.7	24.5	24.5	24.5	24.2	23.5	22.6	20.9
2.00	21.4	22.9	24.4	25.8	25.5	24.6	24.5	24.2	24.0	23.6	22.4	20.7
3.00	21.2	22.7	24.2	25.6	25.3	24.4	24.3	24.1	23.8	23.5	22.2	20.5
4.00	21.0	22.5	24.0	25.4	25.1	24.2	24.1	24.0	23.6	23.3	22.0	20.2
5.00	20.9	22.3	23.9	25.2	24.9	24.1	24.0	23.9	23.5	23.2	21.9	20.1
6.00	20.7	22.1	23.8	25.0	24.6	24.0	23.9	23.7	23.3	23.0	21.7	19.9
7.00	21.0	22.4	24.0	25.4	25.1	24.2	24.2	23.9	23.6	23.3	22.0	20.2
8.00	21.2	22.7	24.2	25.6	25.3	24.4	24.4	24.1	23.8	23.5	22.2	20.4
9.00	22.6	24.0	25.4	26.6	26.3	25.6	25.5	25.5	25.5	24.6	23.4	21.8
10.00	24.0	25.4	26.5	27.6	27.3	26.7	26.5	26.2	26.1	25.6	24.6	23.2
11.00	25.4	25.9	27.2	28.2	28.0	27.4	27.1	26.9	26.8	26.3	25.3	23.9
12.00	25.6	26.6	27.8	28.8	28.6	28.0	27.7	27.5	27.4	26.9	26.0	24.6
13.00	26.1	27.0	28.1	29.1	28.9	28.4	28.1	27.9	27.8	27.2	26.4	25.5
14.00	26.5	27.4	28.4	29.3	29.2	28.7	28.4	28.2	28.1	27.5	26.7	25.9
15.00	26.3	27.2	28.2	29.2	29.1	28.5	28.2	28.0	28.0	27.3	26.5	25.6
16.00	26.0	27.0	28.0	29.0	28.9	28.2	28.0	27.8	27.8	27.1	26.2	25.3
17.00	25.4	26.4	27.5	28.5	28.4	27.7	27.5	27.3	27.2	26.6	25.7	24.7
18.00	24.8	25.8	27.0	28.0	27.8	27.2	27.0	26.8	26.6	26.1	25.2	24.3
19.00	23.9	24.9	26.4	27.5	27.3	26.6	26.5	26.2	26.0	25.6	24.7	23.7
20.00	23.1	24.1	25.8	27.0	26.8	26.0	25.9	25.6	25.4	25.0	23.9	22.4
21.00	22.8	23.8	25.5	26.7	26.5	25.7	25.6	25.3	25.1	24.7	23.6	22.0
22.00	22.4	23.4	25.1	26.4	26.2	25.4	25.3	25.0	24.8	24.4	23.3	21.6
23.00	22.2	23.2	24.9	26.2	26.0	25.2	25.1	24.8	24.6	24.2	23.1	21.4

BASE ON COMFORT EFFECTIVE TEMPERATURE

WINTER = 21.1 - 24.1 celsius

SUMMER = 22.3 - 25.3 celsius

ตารางที่ 3.9 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 เมื่อกำหนด
ความเร็วลม เท่ากับ 1.0 เมตร/วินาที

WIND VEL. = 1.0 m/s	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
0.00	21.0	22.4	23.5	24.5	25.3	25.9	26.2	26.5	23.5	23.1	22.0	20.1
1.00	20.8	22.2	23.0	23.9	24.6	24.9	24.7	23.9	23.4	23.0	21.8	19.9
2.00	20.5	22.0	23.9	24.9	24.6	24.0	23.9	23.7	23.2	22.9	21.6	19.6
3.00	20.3	21.8	23.7	24.6	24.4	23.8	23.7	23.5	23.0	22.7	21.4	19.4
4.00	20.0	21.5	23.5	24.4	24.2	23.6	23.6	23.3	22.8	22.5	21.1	19.1
5.00	19.8	21.4	23.4	24.3	24.1	23.5	23.4	23.2	22.7	22.3	21.0	19.0
6.00	19.6	21.2	23.2	24.2	24.0	23.3	23.2	23.0	22.5	22.1	20.8	18.8
7.00	19.9	21.5	23.5	24.5	24.3	23.6	23.5	23.3	22.8	22.4	21.1	19.1
8.00	20.2	21.8	23.7	24.7	24.5	23.8	23.8	23.5	23.0	22.7	21.3	19.3
9.00	21.8	23.1	24.5	25.8	25.7	26.2	26.1	25.9	25.5	23.9	22.7	21.0
10.00	23.3	24.6	26.0	26.9	26.8	26.2	26.0	25.8	25.5	24.1	22.6	22.6
11.00	24.7	26.0	26.6	27.5	27.4	26.9	26.6	26.4	26.2	25.7	23.5	23.5
12.00	26.1	26.0	27.2	28.1	28.0	27.6	27.2	27.0	26.9	26.3	25.6	23.1
13.00	25.6	26.5	27.6	28.5	28.4	28.0	27.6	27.4	27.3	26.7	26.0	23.1
14.00	26.1	26.9	28.0	28.9	28.8	28.3	28.0	27.7	27.6	27.1	26.3	25.4
15.00	25.8	26.6	27.8	28.7	28.6	28.1	27.8	27.5	27.4	26.9	26.2	24.1
16.00	25.5	26.2	27.6	28.5	28.4	27.9	27.5	27.3	27.2	26.7	26.0	24.1
17.00	24.8	25.6	27.0	27.9	27.8	27.4	27.0	26.8	26.6	26.2	25.4	23.1
18.00	24.0	25.0	26.4	27.3	27.2	26.8	26.5	26.2	26.0	25.6	24.1	23.2
19.00	23.2	24.1	25.8	26.7	26.6	26.1	25.9	25.6	25.4	24.9	23.9	22.4
20.00	22.3	23.7	25.0	26.1	26.0	25.4	24.9	24.6	24.4	23.9	23.2	21.6
21.00	21.9	23.4	24.5	25.9	25.8	25.2	24.7	24.4	24.2	23.7	22.9	21.2
22.00	21.5	23.0	24.0	25.6	25.5	24.9	24.4	24.1	23.9	23.7	22.5	20.8
23.00	21.3	22.7	23.8	25.4	25.3	24.7	24.2	23.9	23.8	23.4	22.3	20.5

BASE ON COMFORT EFFECTIVE TEMPERATURE

WINTER = 21.1 - 24.1 celsius

SUMMER = 22.3 - 25.3 celsius

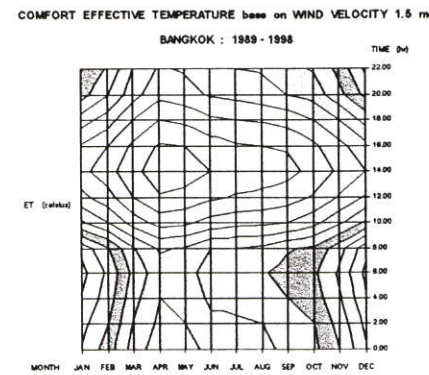
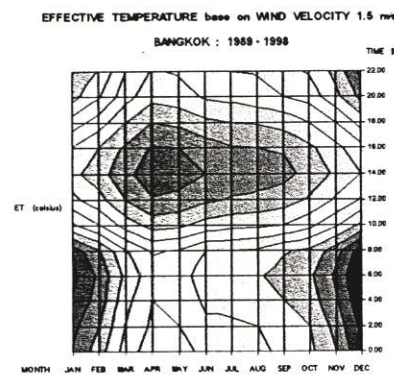
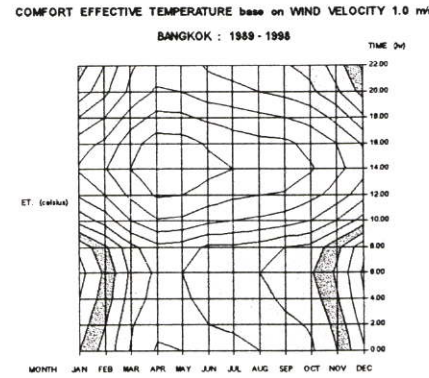
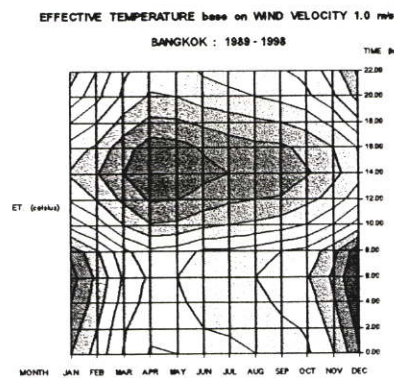
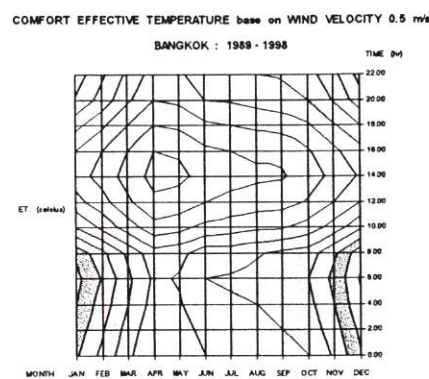
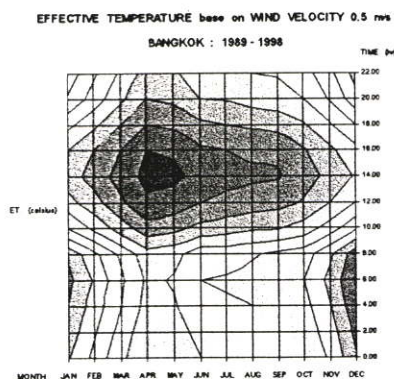
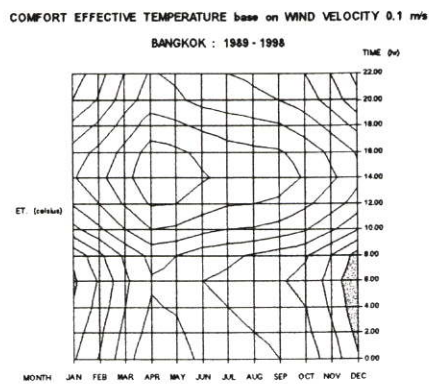
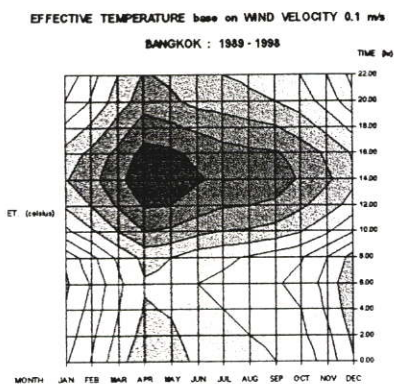
ตารางที่ 3.10 อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541 เมื่อกำหนด
ความเร็วลม เท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที

WIND VEL. = 1.5 m/s	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
0.00	20.1	21.5	23.5	24.0	24.0	23.7	23.6	23.2	22.8	22.2	21.0	19.1
1.00	19.9	21.3	23.3	23.8	23.8	23.5	23.4	23.1	22.6	22.1	20.8	18.9
2.00	19.7	21.0	23.1	23.6	23.6	23.2	23.1	23.0	22.3	22.0	20.6	18.7
3.00	19.4	20.8	22.9	23.4	23.4	23.0	23.0	22.8	22.2	21.8	20.4	18.4
4.00	19.1	20.5	22.7	23.2	23.2	22.8	22.8	22.5	22.0	21.5	20.1	18.1
5.00	18.9	20.4	22.5	23.0	23.0	22.7	22.6	22.3	21.8	21.4	20.0	17.9
6.00	18.7	20.2	22.3	22.8	22.8	22.5	22.4	22.1	21.6	21.2	19.8	17.7
7.00	19.0	20.6	22.6	23.1	23.1	22.8	22.7	22.5	21.9	21.5	20.1	18.1
8.00	19.3	20.9	22.9	23.4	23.4	23.0	23.0	22.8	22.1	21.8	20.4	18.4
9.00	21.1	22.4	24.2	24.7	24.7	24.4	24.2	24.0	23.0	23.1	21.8	20.1
10.00	22.8	23.9	25.4	26.4	26.2	25.6					23.2	21.8
11.00	23.6	24.6	26.2	27.2	27.0	26.4	26.1	26.0	25.8			22.9
12.00		25.6	27.0	27.9	27.7	27.2	26.9	26.8	26.5	25.9		23.9
13.00		26.1	27.4	28.3	28.1	27.6	27.3	27.1	26.9	26.3	25.4	24.5
14.00	25.7	26.6	27.7	28.6	28.5	28.0	27.6	27.4	27.3	26.7	25.8	
15.00	25.4	26.3	27.5	28.4	28.3	27.8	27.4	27.2	27.1	26.5	25.6	24.7
16.00		26.0	27.2	28.1	28.0	27.5	27.1	27.0	26.9	26.2		25.3
17.00			26.6	27.6	27.4	26.9	26.6	26.5	26.3	25.6		23.5
18.00	23.5		26.0	27.0	26.8	26.2	26.0	25.9	25.6			22.6
19.00	22.6	23.7		26.4	26.1	25.6	25.4				23.2	21.7
20.00	21.6	22.9	24.0	25.7	25.4			23.1	23.0	23.6	22.3	20.7
21.00	21.3	22.5	23.8	25.4		24.6	24.5	23.2	23.1	23.3	22.0	20.3
22.00	20.9	22.1	23.0		24.5	24.4	23.5	23.0	23.3	22.9	21.7	19.8
23.00	20.5	21.8	23.8	24.7	24.7	24.1	23.8	23.6	23.1	22.6	21.4	19.5

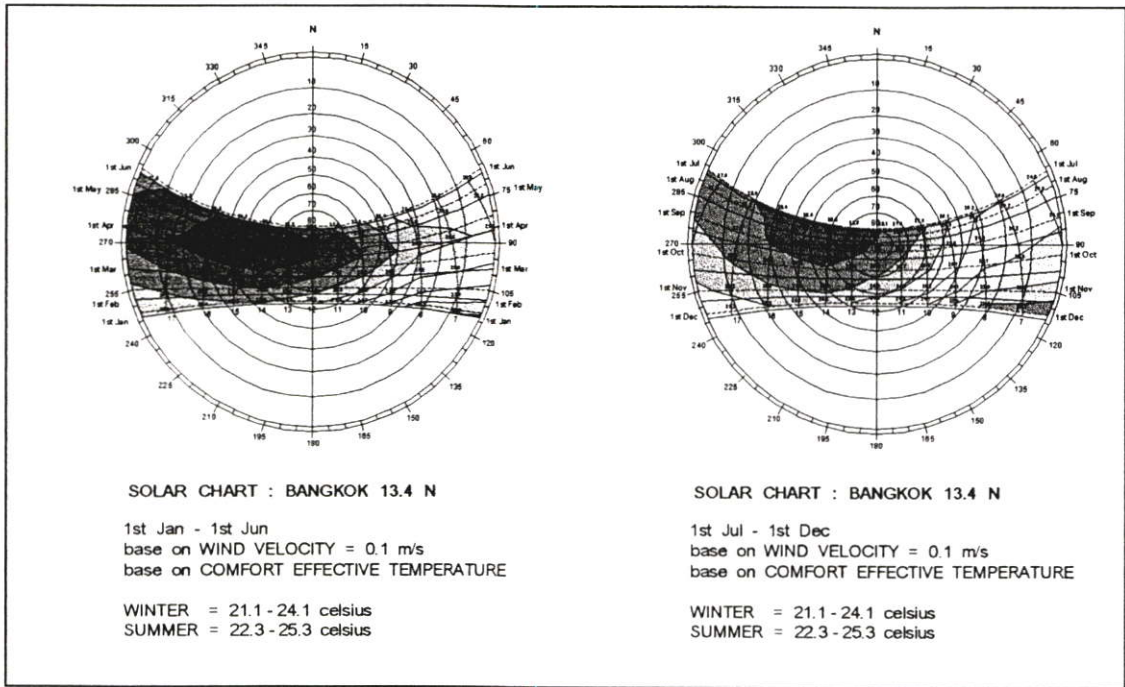
BASE ON COMFORT EFFECTIVE TEMPERATURE

WINTER = 21.1 - 24.1 celsius

SUMMER = 22.3 - 25.3 celsius



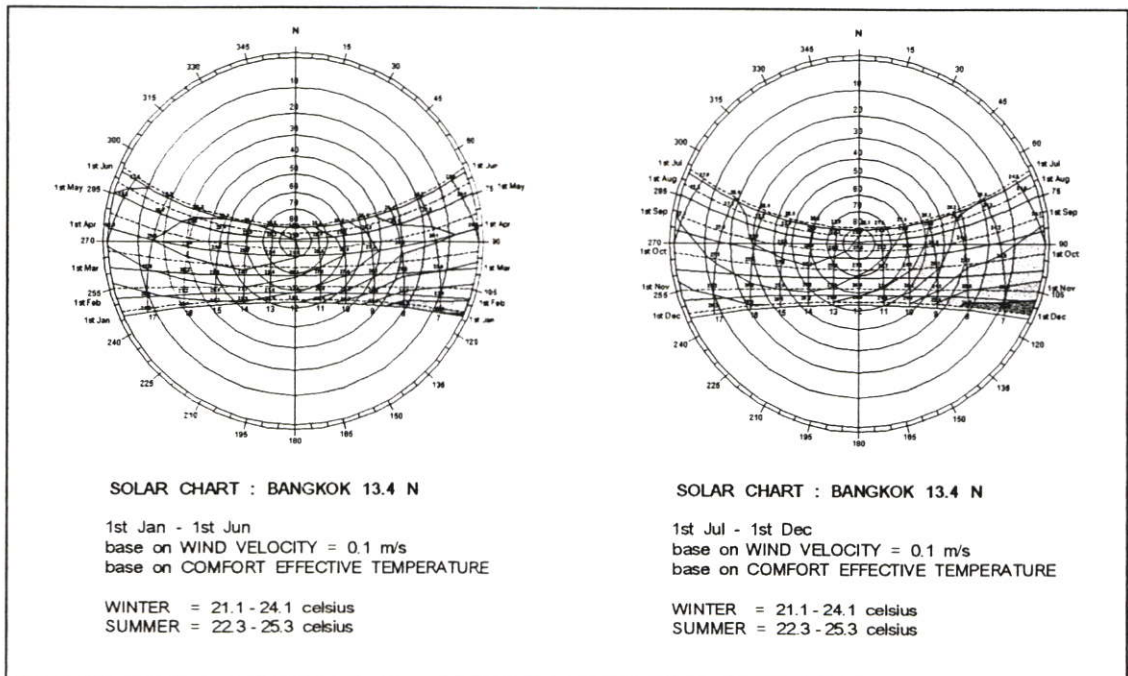
แผนภูมิที่ 3.17 แผนภูมิระดับแสดงอุณหภูมิ CET และขอบเขตสภาวะสบายเมื่อมีความเร็วลม 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 3.18 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก

เดือนม.ค. - มิ.ย. (ชาย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค. (ขวา)

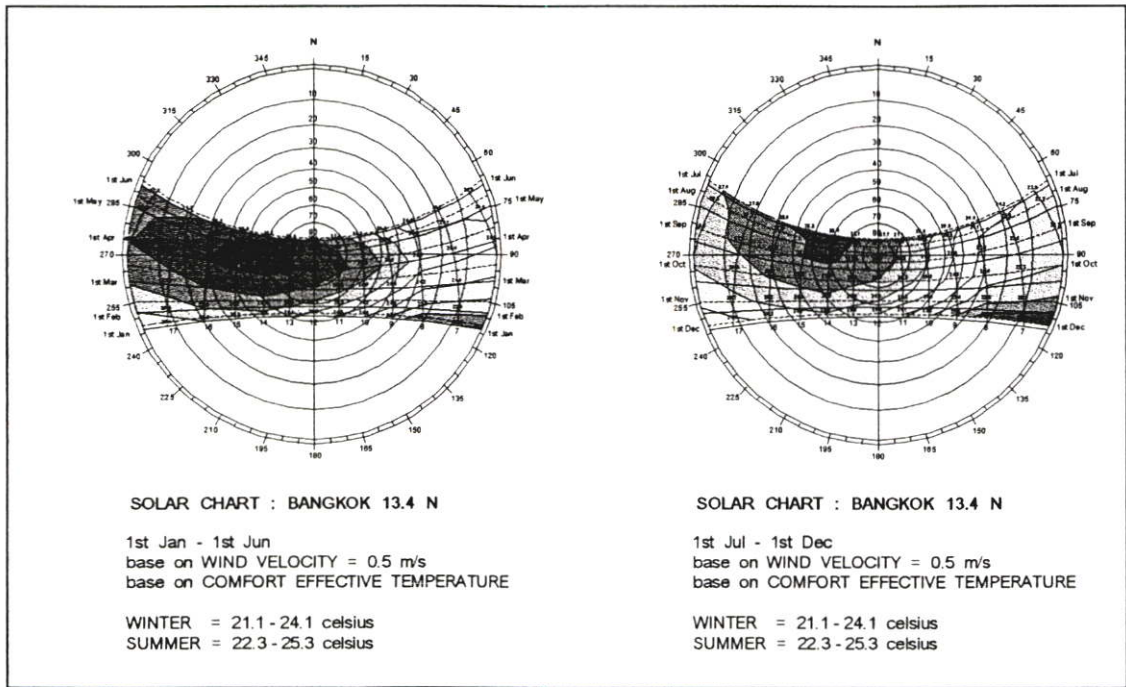
เมื่อความเร็วลมเป็น 0.1 เมตร/วินาที



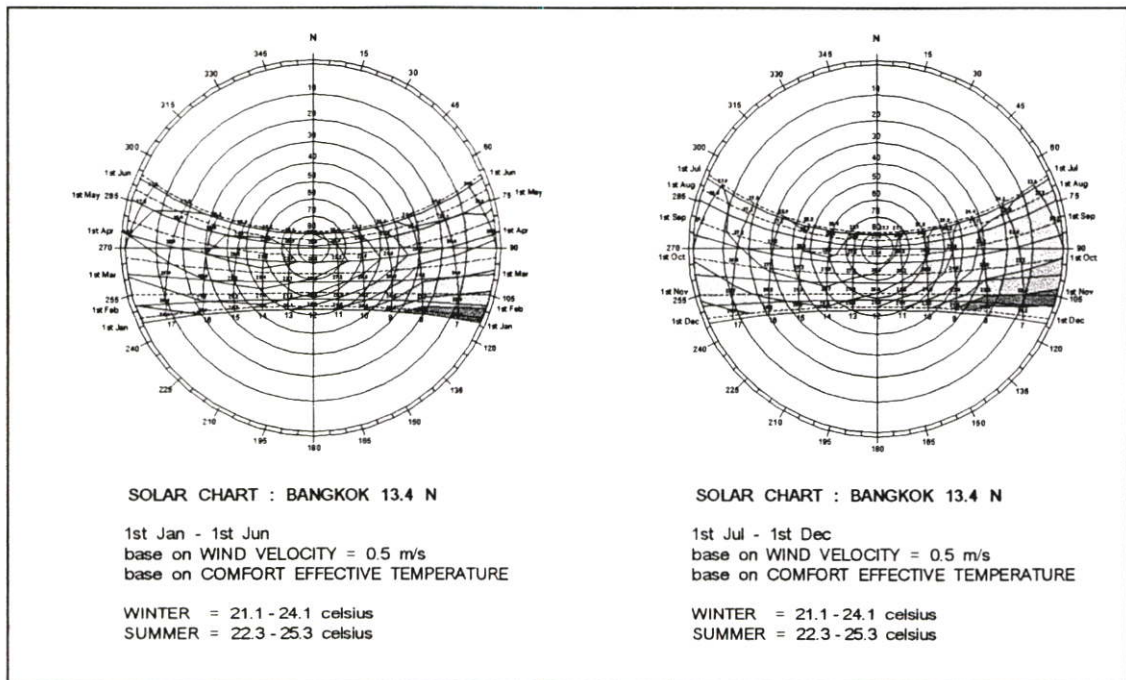
แผนภูมิที่ 3.19 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย

แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือนม.ค. - มิ.ย. (ชาย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค.

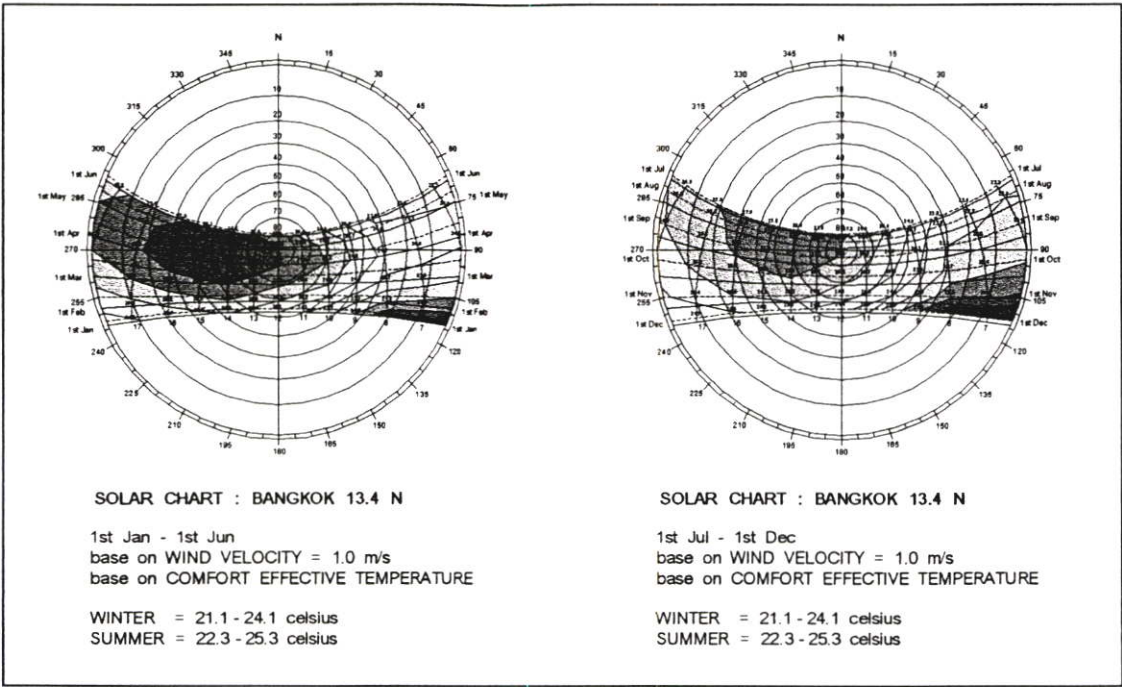
(ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.1 เมตร/วินาที



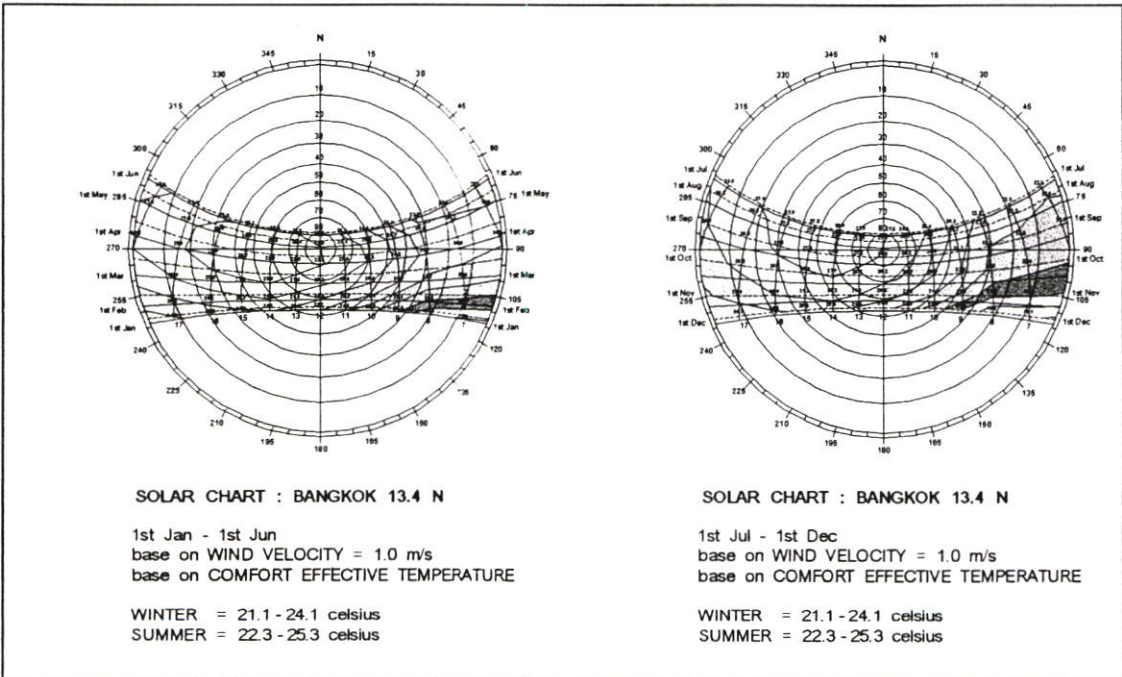
แผนภูมิที่ 3.20 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก
 เดือนม.ค. - มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค. (ขวา)
 เมื่อความเร็วลมเป็น 0.5 เมตร/วินาที



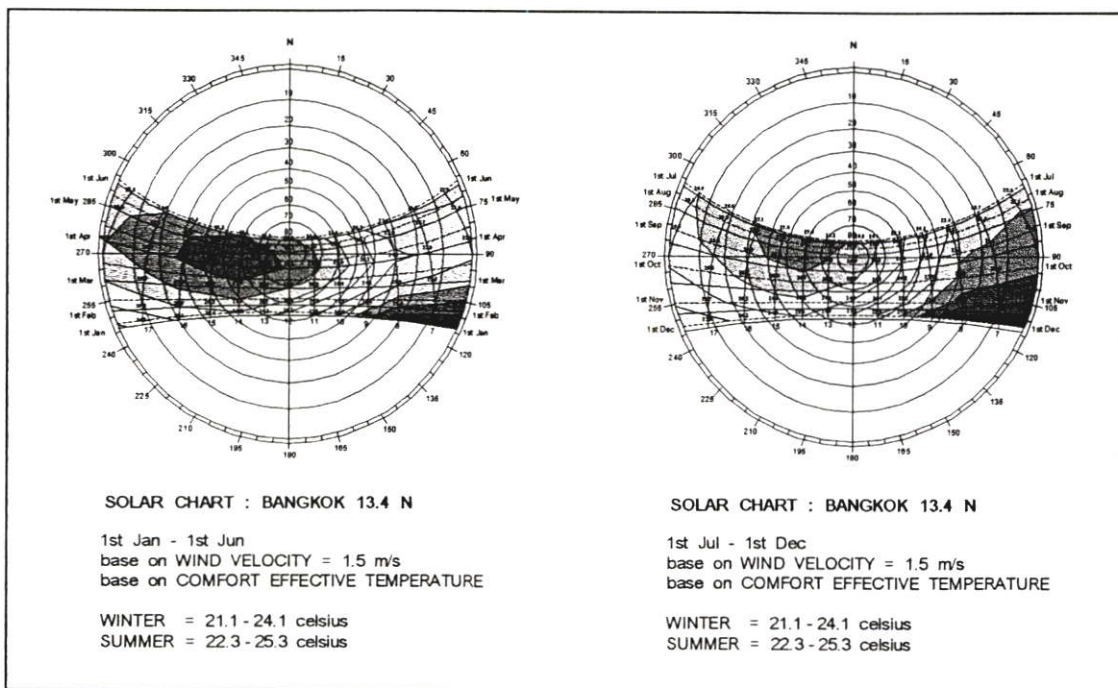
แผนภูมิที่ 3.21 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย
 แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือนม.ค. - มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค.
 (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 0.5 เมตร/วินาที



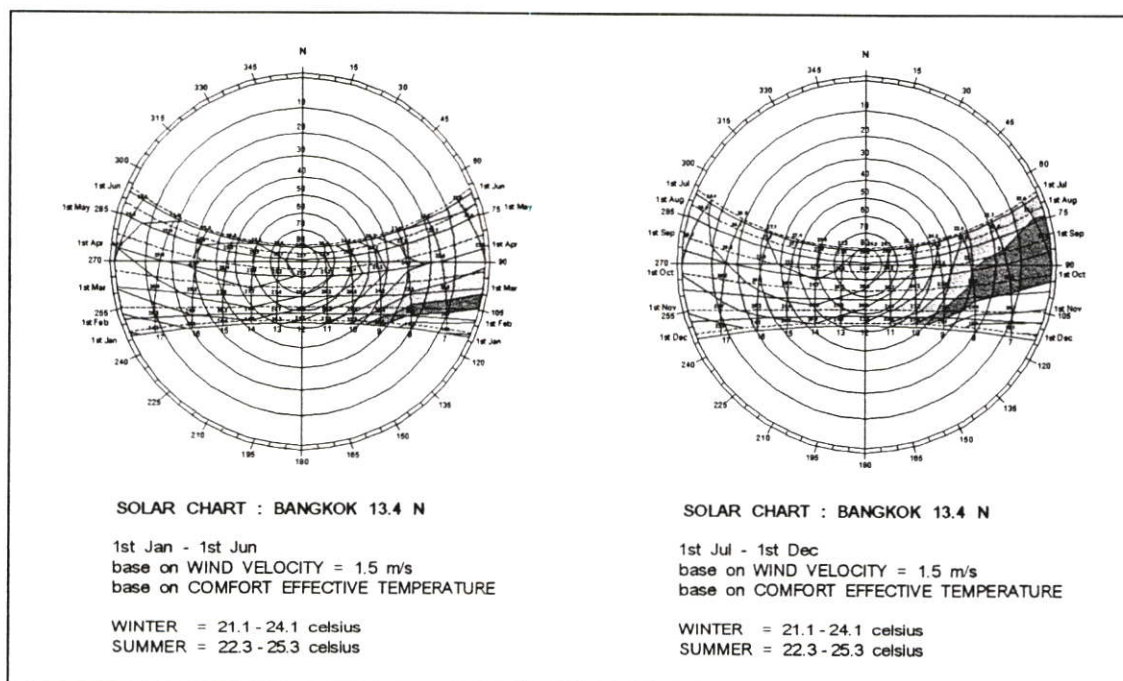
แผนภูมิที่ 3.22 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก
 เดือนม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. – ธ.ค. (ขวา)
 เมื่อความเร็วลมเป็น 1.0 เมตร/วินาที



แผนภูมิที่ 3.23 แผนภูมิตวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย
 แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือนม.ค. – มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. – ธ.ค.
 (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.0 เมตร/วินาที



แผนภูมิที่ 3.24 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือนม.ค. - มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.5 เมตร/วินาที



แผนภูมิที่ 3.25 แผนภูมิดวงอาทิตย์แสดงอุณหภูมิ CET ที่อยู่ในขอบเขตสภาวะสบาย แบ่งเป็นครึ่งปีแรก เดือนม.ค. - มิ.ย. (ซ้าย) และครึ่งปีหลัง เดือนก.ค. - ธ.ค. (ขวา) เมื่อความเร็วลมเป็น 1.5 เมตร/วินาที

3.6 สรุปสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร และอิทธิพลของความเร็วลม

จากแผนภูมิที่ 3.15 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร สูงเกินขอบเขตสภาวะสบายเกือบตลอดทั้งปี เทคนิควิธีธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาให้เหมาะสมกับสภาพดังกล่าวได้คือ การใช้แรงลมเข้ามาช่วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศจะช่วยพัดพาความชื้นออกไป และช่วยเร่งกระบวนการระเหยของเหงื่อ ทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็น สบายตัวขึ้นด้วย

อิทธิพลของแรงลมที่มีผลต่อสภาพอากาศจากแผนภูมิที่ 3.16 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีแรงลม 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที เข้ามาช่วย จะทำให้ขอบเขตสภาวะสบายขยายขึ้นทางแนวตั้ง และทางขวา จึงครอบคลุมสภาพอากาศของกรุงเทพฯ ได้เกือบหมด

เมื่อพิจารณาแผนภูมิที่ 3.18 - 3.26 ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิ CET ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าส่วนที่อยู่ในสภาวะสบายจะมากขึ้น เมื่อความเร็วลมแรงขึ้น แต่ถ้านำมาพิจารณาใช้ในอาคาร ความเร็วลมที่นำเข้ามาจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่รบกวนการทำงาน อย่างไรก็ตาม นอกจากอิทธิพลจากลมแล้ว ยังมีตัวแปรอื่นๆ อีกที่มีผลต่อสภาวะสบายในอาคาร เช่น รังสีดวงอาทิตย์ พื้นผิวของสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่ออุณหภูมิของลมที่พัดพาเข้ามา ซึ่งผู้ออกแบบเองจะต้องพิจารณาไปพร้อมๆ กัน

บทที่ 4

ตึกแถว ลักษณะทางกายภาพ และปัญหา

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงตึกแถวที่มีอยู่ทั่วไปในกรุงเทพมหานครในหัวข้อต่างๆ โดยสังเขป เพื่อให้เข้าใจถึงที่มา ลักษณะทางกายภาพ ประเภท และประโยชน์ใช้สอยของตึกแถว ตลอดจนปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม และการระบายอากาศของตึกแถวในกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงหลักการระบายอากาศในอาคารพักอาศัยในตอนท้ายด้วย

4.1 ที่มา

“ตึกแถว” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างติดต่อกันเป็นแถวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไป มีผนังร่วมแบ่งอาคารเป็นคูหา และประกอบด้วยวัสดุทนไฟเป็นส่วนใหญ่ (จากข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ.2544 หมวด 1 ข้อ 5 (22)) ในปัจจุบันเราสามารถแบ่งประเภทตึกแถวตามลักษณะการใช้สอยออกเป็น 3 ประเภท (อัน นิมมานเหมินท์ 2524) ได้แก่

- 4.1.1 อาคารแถวแบบพักอาศัยอย่างเดียว เช่น ทาวน์เฮ้าส์ แฟลต อพาร์ทเมนต์
- 4.1.2 อาคารพาณิชย์ หรือร้านค้าอย่างเดียว เช่น สำนักงาน ตู้ซุ้มรถ โรงงานขนาดเล็ก
- 4.1.3 อาคารกึ่งพักอาศัย กึ่งพาณิชย์ หรือตึกแถว (Shop house)

ในที่นี้จะกล่าวถึงตึกแถวตามข้อ 4.1.3 เป็นหลัก

อาคารกึ่งพักอาศัย กึ่งอาคารพาณิชย์ หรือตึกแถว

ตึกแถว เป็นอาคารที่พบได้ในทุกชาติทุกภาษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง และที่ดินมีราคาแพง การปลูกสร้างอาคารแถวหลายช่วงเสาก็เพื่อประหยัดพื้นที่ และลดค่าก่อสร้าง การมีผนัง คาน เสา ฐานราก ร่วมกัน ช่วยประหยัดวัสดุและแรงงานได้มาก สำหรับตึกแถวในประเทศไทยที่เราพบเห็นในปัจจุบันนี้เป็นอาคารที่ได้รับอิทธิพล และแบบอย่างจากประเทศจีนมากกว่า 100 ปีแล้ว โดยแต่เดิมมีลักษณะเป็นอาคารร้านค้า สูง 2-3 ชั้น ชั้นล่างเป็นร้านค้า ชั้นบนเป็นที่พักอาศัย

คนจีนได้เข้ามาสร้างตึกแถวในประเทศไทย ในสมัยรัชกาลที่ 4-5 ดังปรากฏว่ายังมีตึกแถวบางหลังที่สำเพ็ง และบางรัก ต่อมาในสมัยรัชกาลที่ 5-6 ก็ได้มีการสร้างตึกแถวให้เข้าเป็นจำนวนมากในเขตเมืองเก่าในกรุงเทพฯ ตึกแถวเหล่านี้มีลักษณะคล้ายคลึงตึกแถวใน

สิงคโปร์ กล่าวคือเป็นแบบก่ออิฐถือปูน ผนังรับน้ำหนัก แบ่งเป็นคานาแคบๆ แต่ไม่ใช่แบบอาเขต ตึกแถวกลายเป็นแบบอาคารร้านค้าส่วนใหญ่ในประเทศไทย ต่อมาก็ได้มีการสร้างตึกแถว ค.ส.ล. ร้านค้าชั้นล่างมีบานเพี้ยมไม้เปิดโล่งตั้งแต่เสาถึงเสา เป็นแบบอย่างของตึกแถวที่สร้างในยุคต่อๆ มา ตึกแถวในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นแบบหน้าแคบเพียง 3.5 – 4 เมตร ลึกตั้งแต่ 12 – 16 เมตร ทำให้ผู้อยู่อาศัยขาดสุขลักษณะที่ดี ไม่ได้รับแสงสว่างธรรมชาติ หรือการระบายอากาศอย่างพอเพียง จึงไม่อาจเป็นร้านค้า หรือที่พักอาศัยที่ดี ไม่มีพื้นที่สำหรับปลูกต้นไม้ หรือช่องแสงสว่าง มีเพียงทางเดินหลังอาคารกว้าง 2 – 3 เมตร ทำให้ตึกแถวปลูกสร้างอย่างใกล้ชิดติดกัน ห่างเพียง 4 เมตร ผู้อยู่อาศัยไม่มีความเป็นส่วนตัว และเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยมาก นอกจากนี้ตึกแถวส่วนใหญ่ยังสร้างติดถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ผู้อยู่อาศัยในตึกแถวต้องประสบปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น เสียงหนวกหู อากาศเสีย ควันพิษจากยานยนต์ ทำให้สุขภาพของผู้อยู่อาศัยเสื่อมโทรม (อัน นิมมานเหมินท์ 2524)

4.2 ประโยชน์ใช้สอย และพฤติกรรมการใช้งานภายในตึกแถว

อาคารตึกแถวส่วนใหญ่ที่พบในกรุงเทพมหานคร ใช้เป็นสถานที่ประกอบการค้าร่วมกับการพักอาศัยของครอบครัว โดยมากมักจะประกอบธุรกิจการค้าย่อย จำนวนสมาชิกที่อยู่ในตึกแถวประเภทนี้สามารถประมาณได้จากค่าสถิติที่สำรวจพบ¹ คือ

ผู้อยู่อาศัยในตึกแถวในเขตชั้นในของกรุงเทพฯ	เฉลี่ยเท่ากับ 7.4	คน
ผู้อยู่อาศัยในตึกแถวในเขตชั้นกลางของกรุงเทพฯ	เฉลี่ยเท่ากับ 5.8	คน
ผู้อยู่อาศัยในตึกแถวในเขตชั้นนอกของกรุงเทพฯ	เฉลี่ยเท่ากับ 4.6	คน

สำหรับในงานวิจัยนี้กำหนดกรณีศึกษาไว้ในเขตชั้นกลางของกรุงเทพฯ (เขตห้วยขวาง) จึงถือเอาค่าเฉลี่ยของผู้อยู่อาศัยในตึกแถว เป็น 5 - 6 คน โดยประมาณ จำนวนสมาชิกดังกล่าว ผู้วิจัยจะถือว่ามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- พ่อ
- แม่
- บุตร 2 - 3 คน
- ลูกจ้าง 1 คน

สำหรับอาคารประเภทนี้ จะมีการแบ่งพื้นที่ใช้สอยเป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) พื้นที่เพื่อการพักอาศัย ประกอบด้วย

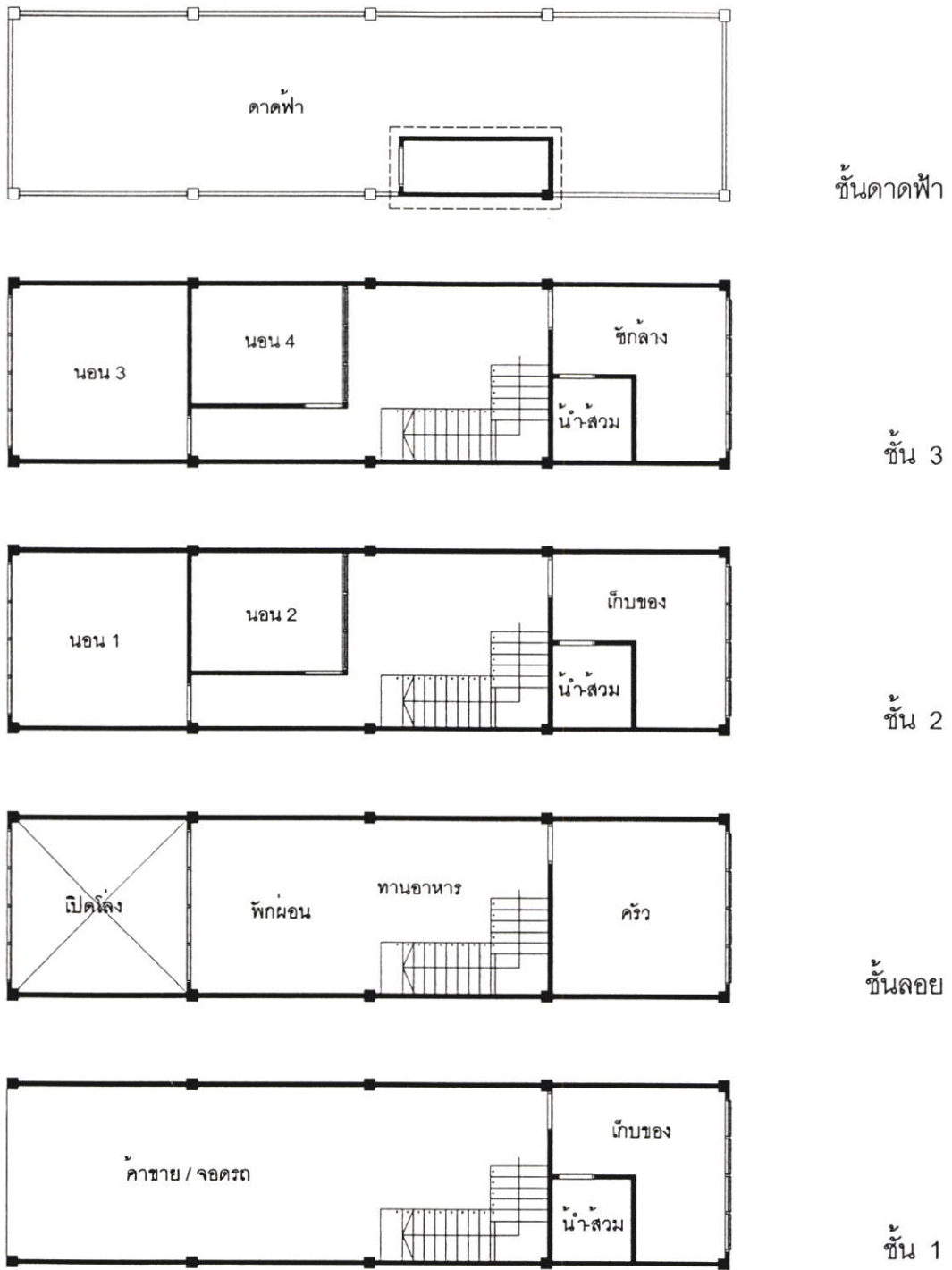
¹เพ็ญศรี จันทรวงศ์, “แนวทางการเปลี่ยนแปลงของตึกแถวในกรุงเทพมหานคร”, (วิทยานิพนธ์) ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529), หน้า 61

- พื้นที่ส่วนนอนพ่อ แม่
 - พื้นที่ส่วนนอนลูก
 - พื้นที่ส่วนนอนลูกจ้าง
 - พื้นที่ครัว
 - พื้นที่ทานอาหาร
 - พื้นที่พักผ่อนของครอบครัว
 - พื้นที่ซักล้าง ตากผ้า รีดผ้า
 - ห้องน้ำ – ส้วม
 - พื้นที่เก็บของ
 - พื้นที่จอดรถ
- 2) พื้นที่เพื่อการค้า ประกอบด้วย
- พื้นที่ประกอบการค้า
 - พื้นที่เก็บของ

การจัดพื้นที่ใช้สอยในตึกแถวสามารถจัดได้หลายแบบ ซึ่งผู้วิจัยจึงขอนำตัวอย่างการจัดพื้นที่ในตึกแถวจากกรณีศึกษามาเป็นต้นแบบในการทดลองครั้งนี้



ภาพที่ 4.1 รูปตัดอาคารตึกแถว



ภาพที่ 4.2 ผังอาคารตึกแถว

พฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร "ตึกแถวลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัย" นี้ ผู้วิจัยได้กำหนด ขึ้นโดยอ้างอิงจากรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และประสบการณ์ของผู้ทำวิจัยเอง โดยสามารถ สรุปลักษณะพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารโดยสังเขปได้² ดังตารางที่ 4.1

²ผู้เขียน

ตารางที่ 4.1 แสดงพฤติกรรม และการใช้งานของผู้อยู่อาศัยในตึกแถวลักษณะกึ่งพักอาศัย กึ่งพาณิชย์

พื้นที่ใช้สอย	จำนวน (หน่วย)	ชั้น	ปริมาณการใช้พื้นที่รายชั่วโมง (%)																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
พื้นที่เพื่อการพักอาศัย																											
ห้องนอน	3-4	3,4	100	100	100	100	100	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100	100	100	100	100
ครัว	1	1,2	0	0	0	50	100	100	0	0	100	100	50	0	0	50	100	100	100	100	100	50	0	0	0	0	0
ทานอาหาร	1	1,2	0	0	0	50	100	100	0	0	100	100	50	0	0	50	100	100	100	100	100	50	0	0	0	0	0
พักผ่อน	1	1,2	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ซักล้าง	1	1,2	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ห้องน้ำ	2-4	1-4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
เก็บของ	1	1,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
จอดรถ	1	1	100	100	100	100	100	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100	100	100	100	100	100
พื้นที่เพื่อการค้า																											
พื้นที่เพื่อการค้า	1	1	0	0	0	0	0	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
พื้นที่เก็บของ	1	1,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

หมายเหตุ x หมายถึง ส่วนที่มีเวลาการใช้งานไม่แน่นอน

4.3 ระบบการระบายอากาศในอาคารพักอาศัย

4.3.1 วัตถุประสงค์

ความต้องการการระบายอากาศในอาคารพักอาศัย มีวัตถุประสงค์ในการสร้างสุขลักษณะที่ดีภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากการลดมลภาวะทางอากาศภายใน และป้องกันมลภาวะภายนอก หรือที่เกิดขึ้นภายในอาคารอันเกิดจากกิจกรรม และการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ การออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับอาคารพักอาศัย มีหลักการการนำอากาศเข้า และจ่ายอากาศออกดังนี้

- 1) ระบบนำเข้า และจ่ายออกด้วยวิธีธรรมชาติ
- 2) ระบบนำเข้าด้วยวิธีธรรมชาติ จ่ายออกด้วยวิธีกล
- 3) ระบบนำเข้าด้วยวิธีกล จ่ายออกด้วยวิธีธรรมชาติ
- 4) ระบบนำเข้า และจ่ายออกด้วยวิธีกล

ในทางปฏิบัตินั้น มาตรฐานการออกแบบระบบระบายอากาศจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ แต่ในหลายๆ ประเทศที่ไม่นิยมการใช้วิธีกล การผลัดเปลี่ยนอากาศจะขึ้นอยู่กับอัตราการรั่วซึมของอากาศทั้งแบบตั้งใจ และไม่ตั้งใจ รวมไปถึงการใช้ประตู หน้าต่าง ซึ่งผู้อยู่อาศัยเป็นผู้กำหนด โดยพิจารณาสภาพอากาศภายนอกเป็นหลัก

สำหรับระบบระบายอากาศด้วยวิธีกลนั้น ไม่มีความหลากหลายมากนัก ส่วนใหญ่จะนำอากาศเข้าทางห้องนอน แล้วจ่ายอากาศออกทางห้องครัว หรือห้องน้ำ – ส้วม

4.3.2 การวัดระดับมลภาวะทางอากาศ

มลภาวะทางอากาศในอาคารพักอาศัยสามารถแบ่งตามแหล่งที่มา ได้เป็น

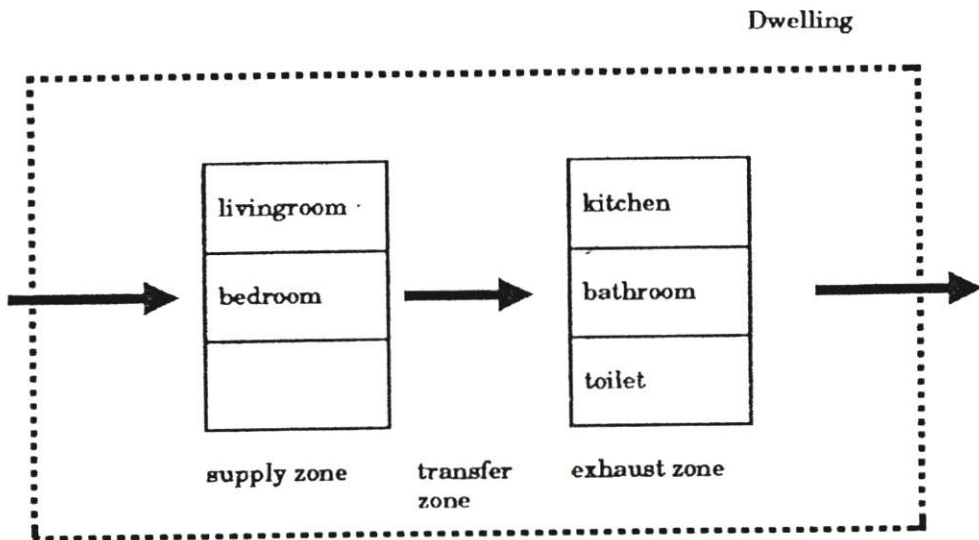
- 1) ผู้อยู่อาศัย และกิจกรรมที่ทำให้เกิดมลภาวะ ได้แก่ มลภาวะที่เกิดจากร่างกายมนุษย์โดยตรง ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และกิจกรรมที่ทำ ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ นอกจากนี้พฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมบางอย่างก็เป็นผลให้ระดับมลภาวะสูงขึ้น เช่น การตากผ้าใกล้เตาไฟ การปลูกต้นไม้มากเกินไป การสูบบุหรี่ เป็นต้น
- 2) อาคาร และดินที่ทำให้เกิดมลภาวะ ได้แก่ มลภาวะที่เกิดจากสารระเหยของวัสดุก่อสร้าง (ฟอร์มัลดีไฮด์) ผลผลิตจากการเผาไหม้ การรั่วซึมของน้ำ สี หรือน้ำยาในเนื้อไม้ และเรดอนที่ระเหยจากดิน เป็นต้น สำหรับมลภาวะเหล่านี้จะต้องควบคุมที่แหล่งกำเนิดมลภาวะเป็นหลัก ซึ่งหมายถึงการเลือกใช้วัสดุ และการออกแบบที่เหมาะสม มลภาวะเหล่านี้มักจะมีอัตราการแพร่กระจายที่คงที่เป็นระยะเวลานาน จึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่พอเพียง

- 3) มลภาวะจากอากาศภายนอก ได้แก่ มลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม การจราจร และอื่นๆ ซึ่งสามารถลดได้ด้วยการกรองอากาศที่จะนำเข้ามา และติดตั้งอุปกรณ์นำอากาศเข้าในตำแหน่งที่มีมลภาวะน้อยที่สุด

4.3.3 หลักการระบายอากาศ

หลักการระบายอากาศสำหรับอาคารพักอาศัยสามารถออกแบบได้เป็นหลายระบบ ทั้งแบบวิธีธรรมชาติ วิธีกล หรือผสมผสานทั้งสองวิธี ในทางปฏิบัติเราสามารถแบ่งห้องต่างๆ ในอาคารพักอาศัยได้เป็น

- 1) ห้องที่ต้องการการระบายอากาศออก คือ ห้องที่มีความชื้น และกลิ่น อันเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การปรุงอาหาร การใช้ห้องน้ำ เป็นต้น ห้องเหล่านี้ ได้แก่ ห้องน้ำ-ส้วม และห้องครัว
- 2) ห้องที่ต้องการการนำอากาศเข้า คือ ห้องที่มีผู้อยู่อาศัยอยู่ ได้แก่ ห้องนอน และห้องนั่งเล่น



ภาพที่ 4.3 แสดงการแบ่งประเภทห้องในอาคารพักอาศัยตามหลักการระบายอากาศ

4.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาการระบายอากาศภายในตึกแถว

4.4.1 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาปัญหาการระบายอากาศภายในตึกแถวต้นแบบ กว้าง 4 เมตร ยาว 16 เมตร สูง 4 ชั้น (รวมชั้นลอย) ชั้นละ 3 เมตร (พื้น-พื้น) เป็นการทดลองอาคารต้นแบบเดี่ยวๆ ยังไม่พิจารณาสภาพแวดล้อมรอบอาคารประกอบ กำหนดการเปิดช่องเปิดตามลักษณะการใช้งานปกติในตอนกลางวัน คือ

ชั้น 1 เปิดประตูด้านหน้า และหน้าต่างด้านหลัง

ชั้น 2 เปิดหน้าต่างชั้นลอยด้านหน้า และหน้าต่างด้านหลัง

ชั้น 3 ปิดประตูและหน้าต่างห้องนอนทั้งหมด เปิดหน้าต่างด้านหลัง

ชั้น 4 ปิดประตูและหน้าต่างห้องนอนทั้งหมด เปิดหน้าต่างด้านหลัง

และ ปิดประตูห้องน้ำทุกห้อง

โดยกำหนดให้ทิศทางลมพัดตั้งฉากเข้ามาทางด้านหน้าอาคาร

วัดความเร็วลมทุกพื้นที่ 1 ตร.ม. ที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ

(เป็นระดับที่มีการใช้งาน : นอน นั่ง และยืน)

4.4.2 วิธีการทดลอง

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ มาตรฐาน 1:20 ทดลองในอุโมงค์ลม ขนาด กว้าง 2.05 เมตร สูง 1.15 เมตร ลึก 9.40 เมตร (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 5% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

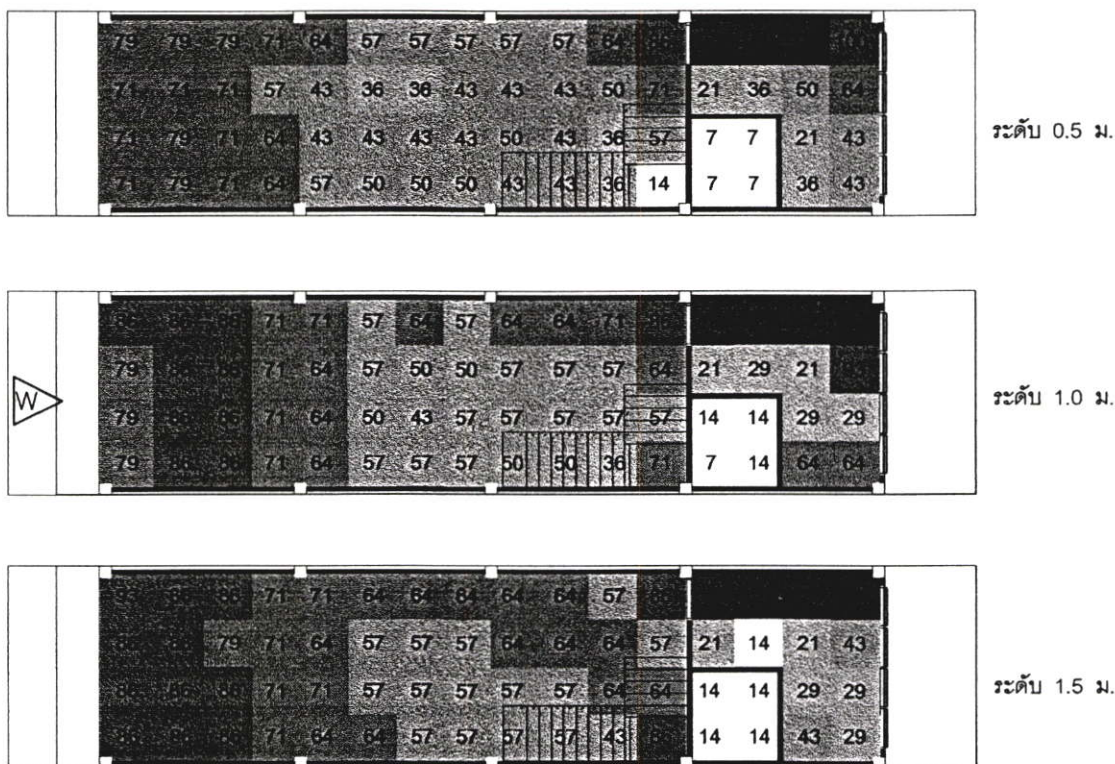
วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามหากต้องการทราบปริมาณความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริง ต้องนำไปเทียบกับผลความเร็วลมหน้าตึกแถวที่มีสภาพแวดล้อมประกอบ

4.4.3 ผลจากการทดลอง

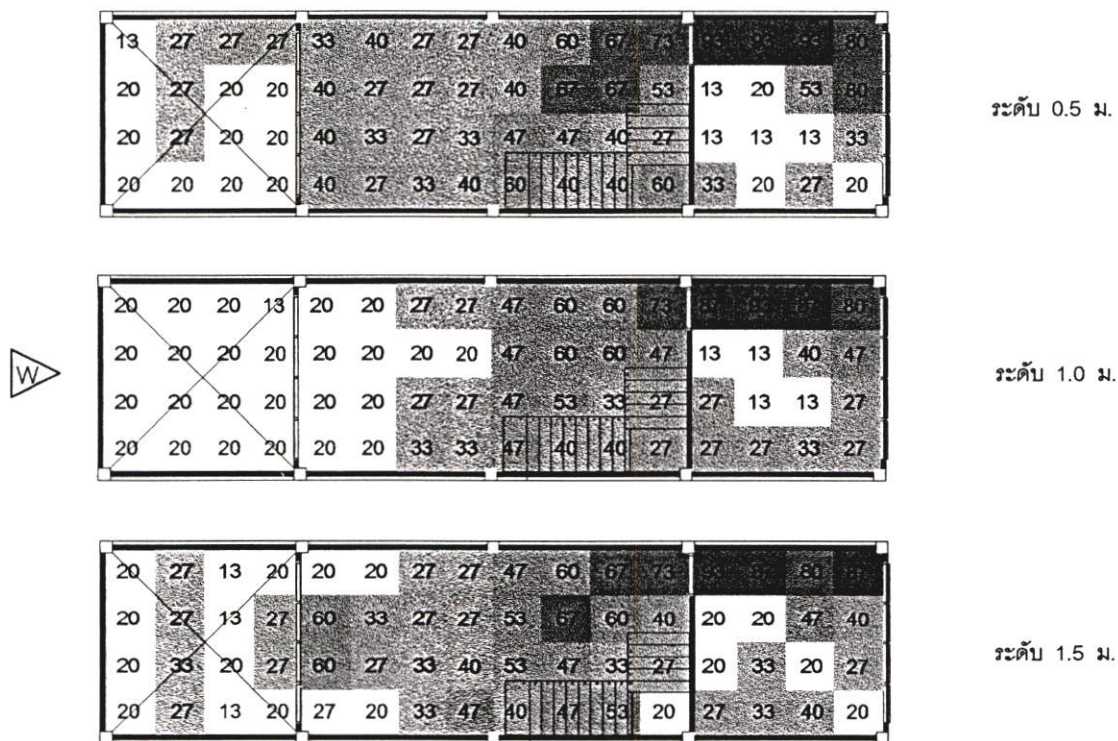
ชั้นที่ 1 อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้ามาภายในได้พอสมควร เนื่องจากมีช่องเปิดด้านหน้า และด้านหลัง และไม่มีผนังกั้นระหว่างกลางมากนัก ยกเว้นห้องน้ำซึ่งเป็นห้องปิดที่ทั้ง 4 ด้าน

ชั้นที่ 2 บริเวณช่วงเสาแรกเป็นพื้นที่เปิดโล่ง มีความเร็วลมต่ำเนื่องจากไม่มีช่องเปิด แต่มีอากาศเคลื่อนที่เข้ามาจากประตูหน้าของชั้นล่างไหลผ่านช่องเปิดเข้ามา ในช่วงที่ช่องทางเดินอากาศแคบความเร็วลมจะสูงขึ้นมาก ความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้แต่ละระดับไม่แตกต่างกัน

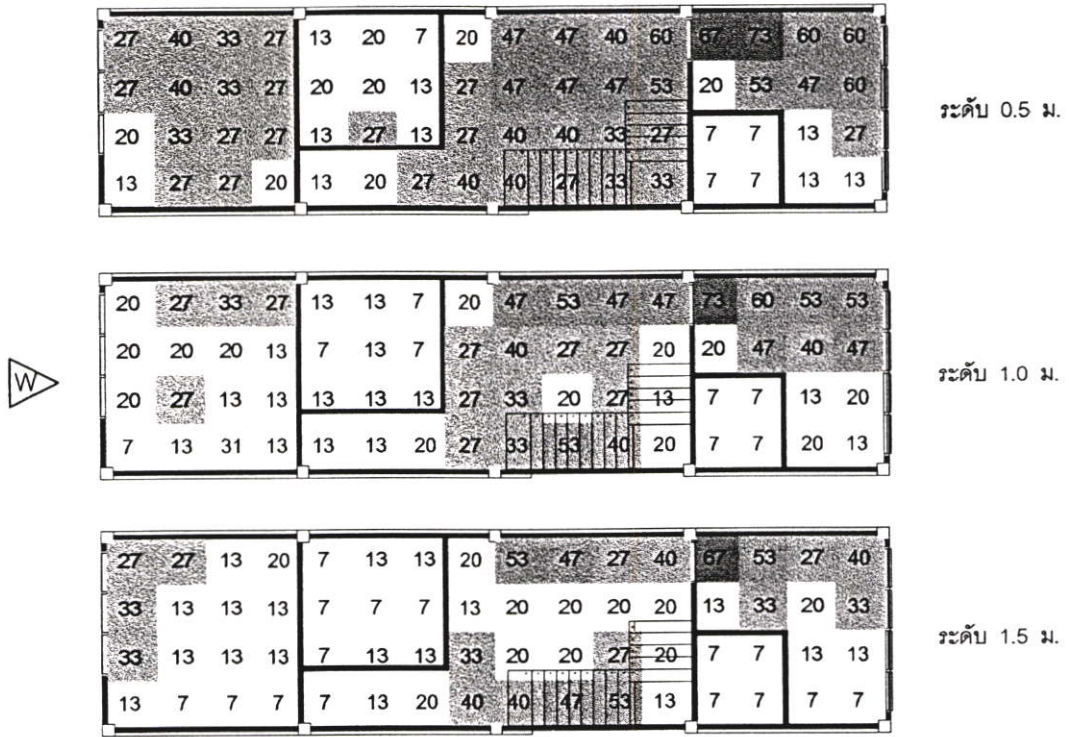
ชั้นที่ 3-4 มีผนังกั้นระหว่างกลาง ถึงแม้มีช่องเปิดด้านหน้า แต่อากาศก็เข้ามาไม่ได้มากนัก ห้องนอนทั้ง 2 ห้องด้านหน้าอาจได้รับลมจากการรั่วซึมผ่านช่องผนังเข้ามา อย่างไรก็ตามภายในช่วงเสาที่ 3 และ 4 ยังพอมีความเร็วลมบ้างเนื่องจากอากาศเคลื่อนที่ผ่านช่องบันไดเข้ามาทางด้านล่าง



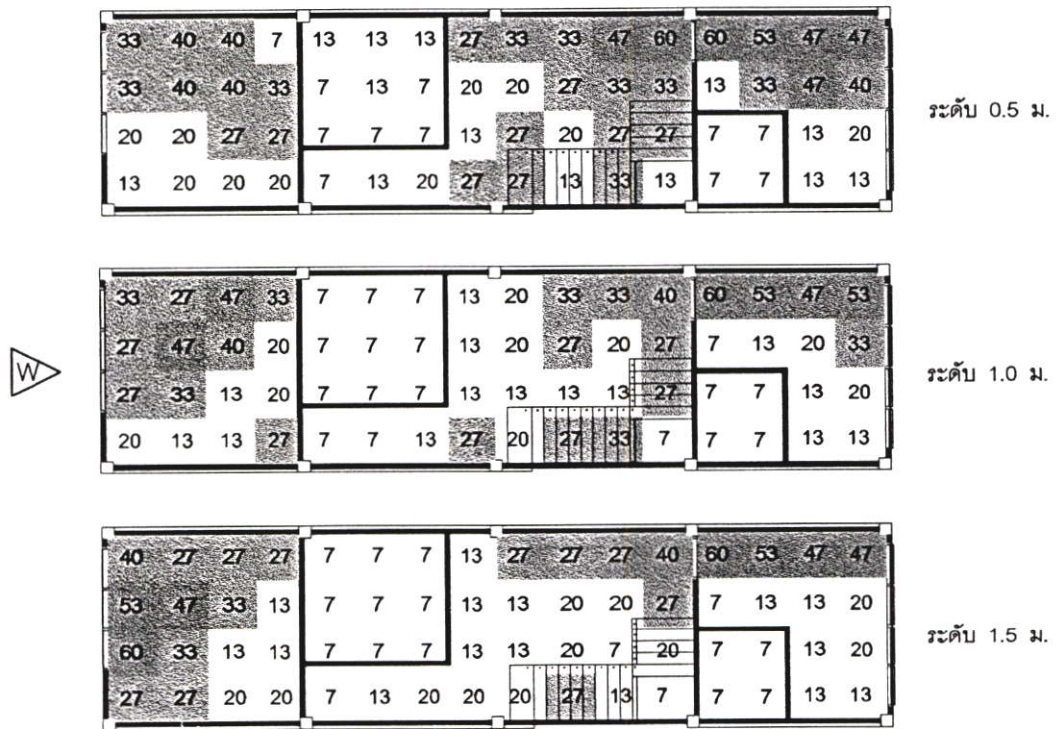
ภาพที่ 4.4 ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้น 1



ภาพที่ 4.5 ผังแสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้น 2



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้น



ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดลอง ปริมาณความเร็วลม (%) ของตึกแถวชั้น 4

ความเร็วลมที่วัดได้ในตึกแถว ขึ้นอยู่กับขนาดช่องลมเข้า และช่องลมออกเป็นหลัก รวมทั้งการวางผนังภายใน ช่วงที่ช่องทางเดินอากาศแคบ จะทำให้ความเร็วลมที่ผ่านเข้าไปมี ความเร็วลมสูงขึ้นมาก ความเร็วลมทั้ง 3 ระดับไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4.2 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารตึกแถวที่วัดได้จากการทดลอง

	ความเร็วลมเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)		
	ระดับ 0.5 เมตร	ระดับ 1.0 เมตร	ระดับ 1.5 เมตร
ชั้น 1	55%	63%	64%
ชั้น 2	37%	33%	37%
ชั้น 3	31%	25%	21%
ชั้น 4	24%	21%	21%

4.4.4 สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากลักษณะรูปร่างของตึกแถวส่วนใหญ่มีลักษณะแคบยาว ทำให้สามารถเปิดช่องเปิดออกสู่ภายนอกได้น้อย เพียง 2 ด้าน โดยทั่วไปสามารถเปิดช่องเปิดได้เป็นพื้นที่เพียง 6 – 8% ของพื้นที่รอบรูปเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีปัญหาการแบ่งพื้นที่ภายในซึ่ง จำเป็นต้องกันผนังยาวตลอดความกว้าง อากาศจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่หากสามารถเจาะช่องลมระหว่างห้องให้อากาศมีทางผ่านไปได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบาย อากาศมากขึ้น โดยทั่วไป การเจาะช่องลมด้านบนเป็นที่นิยมทำกันมากแต่อากาศก็จะไม่ผ่านในระดับตัวคน แต่การเจาะช่องลมด้านล่างก็เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีเครื่องเรือนขวาง อยู่ การพยายามแก้ปัญหาดังกล่าว อาจต้องเพิ่มช่องทางจ่ายลมเข้าระหว่างความยาวของ อาคาร ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำไปเป็นแนวทางในการศึกษา ทดลองต่อไป

บทที่ 5

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการวางผังกลุ่มอาคารตึกแถว และการเคลื่อนที่ของลมภายนอกอาคาร

5.1 การพิจารณาเลือกรูปแบบการวางผังกลุ่มอาคารตึกแถวที่นำมาทดลอง

ลักษณะการวางผังตึกแถวในประเทศไทยมีมากมายหลายแบบ ซึ่งผู้วิจัยขอยกตัวอย่างมาใช้ในการทดลอง 4 แบบหลักๆ โดยแต่ละแบบจะเป็นกลุ่มตึกแถวที่สร้างติดต่อกัน 10 คูหา หรือมีความยาวรวมกัน 40 เมตร ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 16 เมตร และมีพื้นที่ว่างระหว่างแถว ด้านข้างของกลุ่มตึกแถวนั้น 4 เมตร

5.1.1 การวางผังแบบคูขนาน

5.1.2 การวางผังรูปตัวที (T)

5.1.3 การวางผังรูปกากบาท

5.1.4 การวางผังสี่เหลี่ยม

5.2 ขอบเขตการศึกษา

เป็นการศึกษารูปแบบการวางผังกลุ่มอาคารตึกแถวที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกอาคาร เมื่อกำหนดให้ทิศทางลมเป็น 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา แต่ละแบบแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ตามความกว้างของถนน สำหรับการวางผังแบบคูขนาน กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 6, 9 และ 12 เมตร ส่วนอีก 3 แบบ กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 6 และ 12 เมตร ความกว้างถนนที่กำหนดขึ้นนี้พิจารณาจากจำนวนช่องทางเดินรถในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง

ความกว้างถนน 6 ม. ช่องทางเดินรถทางเดียว 4 ม. และทางเท้าด้านละ 1 ม.

ความกว้างถนน 9 ม. ช่องทางเดินรถสองทาง 7 ม. และทางเท้าด้านละ 1 ม.

หรือ ช่องทางเดินรถทางเดียว 4 ม. ที่จอดรถข้างทาง 3 ม. และทางเท้าด้านละ 1 ม.

ความกว้างถนน 12 ม. ช่องทางเดินรถสองทาง 7 ม. ที่จอดรถข้างทาง 3 ม. และทางเท้าด้านละ 1 ม.

5.3 วิธีการทดลอง

สำหรับรูปแบบการวางผังทั้ง 4 แบบ ได้จัดทำหุ่นจำลอง 2 มิติ เพื่อศึกษา

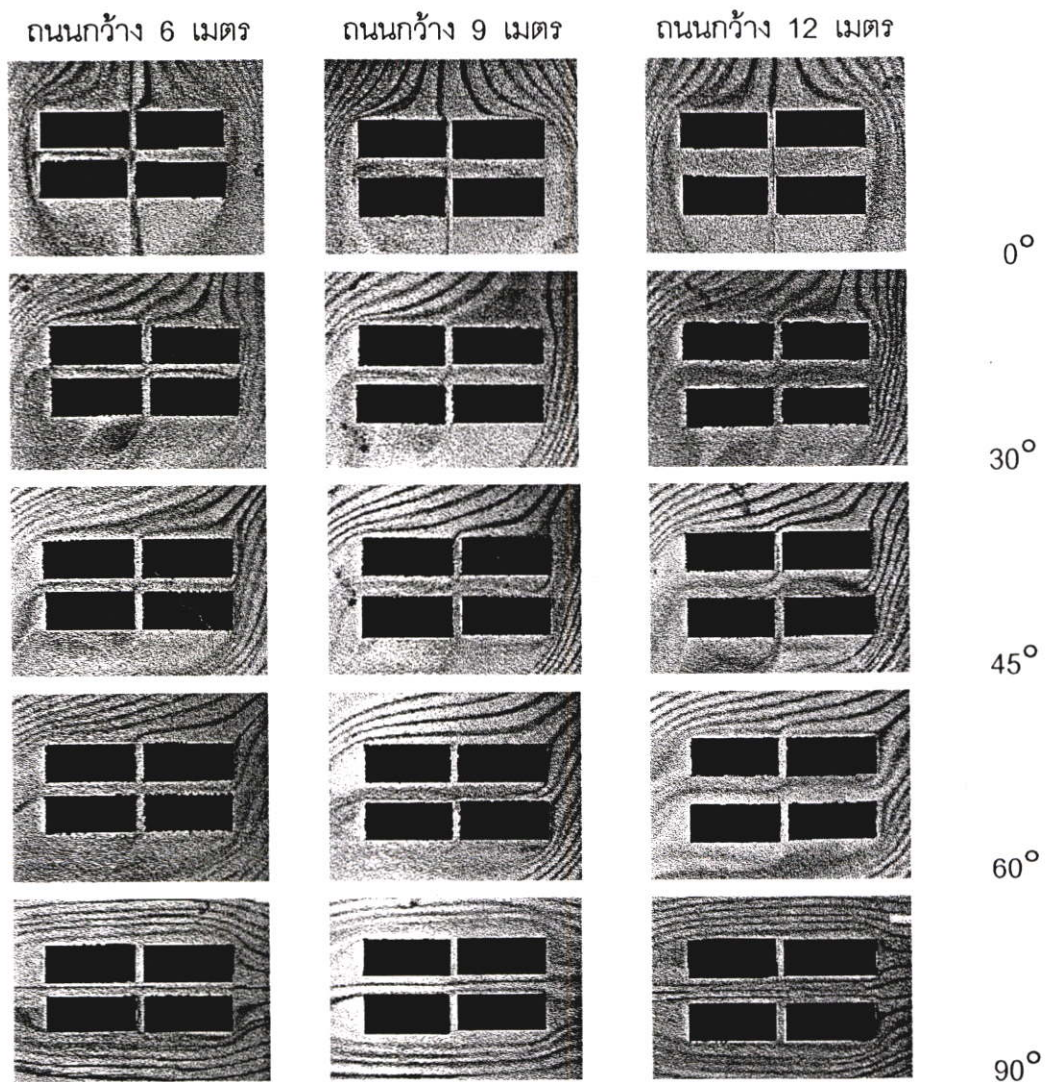
5.3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของลมรอบอาคาร ด้วยไต้ะน้ำ

5.3.2 เฉพาะรูปแบบการวางผังแบบคู่ขนาน ได้จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ เพื่อศึกษาความเร็วลมระหว่างอาคาร ในมาตราส่วน 1:50 (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 13% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) ทดลองในอุโมงค์ลม ขนาด กว้าง 2.05 เมตร สูง 1.15 เมตร ลึก 9.40 เมตร วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิจำลองและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

ทำการวัดความเร็วลม 4 ระดับ คือ 1, 4, 7 และ 10 เมตร ซึ่งเป็นความสูงระดับหน้าต่างต่างของตึกแถวทั้ง 4 ชั้น วัดความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

5.4 ผลการทดลอง

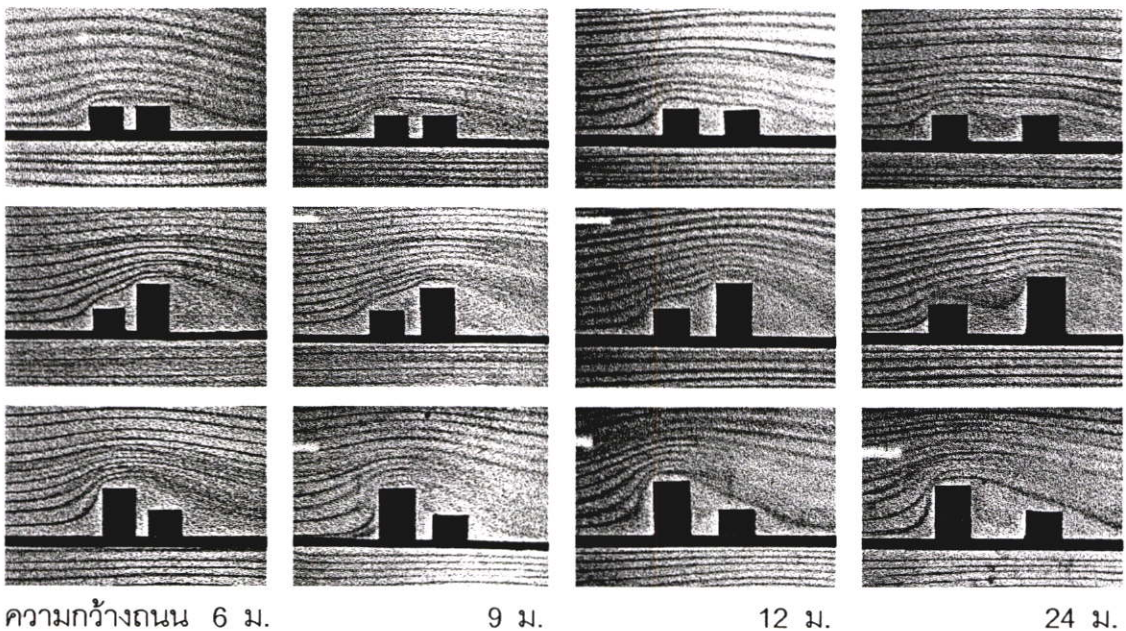
5.4.1 ผังแบบคู่ขนาน



ภาพที่ 5.1 ผังแสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมเมื่อความกว้างถนน และทิศทางลมเปลี่ยนไป

จากผลการทดลองด้วยโต๊ะน้ำ ดังภาพที่ 5.1 พบว่า ทั้งความกว้าง และทิศทางลม มีผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมระหว่างอาคารตามทฤษฎีของ จีโวนี (Givoni, B.) คือ การวางอาคารตั้งฉากกับทิศทางลม (0 องศา) จะทำให้ลมบนถนนระหว่างอาคารมีน้อย ส่วนลมในช่องว่าง 4 เมตร จะแรงกว่า ดึกแถวห้องที่อยู่ตรงกลางเกือบจะไม่ได้รับลมเลย

เมื่อค่อยๆ เปลี่ยนทิศทางลมไปเป็น 30, 45, 60 และ 90 องศา ลมสามารถเคลื่อนที่ผ่านถนนได้ดีขึ้น แต่ความเร็วลมระหว่างสองฟากของถนนอาจแรงไม่เท่ากัน เนื่องจากความยาวของถนน ทำให้ลมเกิดการบิดตัว ยิ่งถนนมีความกว้างมาก ยิ่งเกิดการบิดตัวมาก การเคลื่อนที่ของลมบนถนนจะดีที่สุดเมื่อทิศทางลมขนานกับทิศทางถนน (90 องศา)

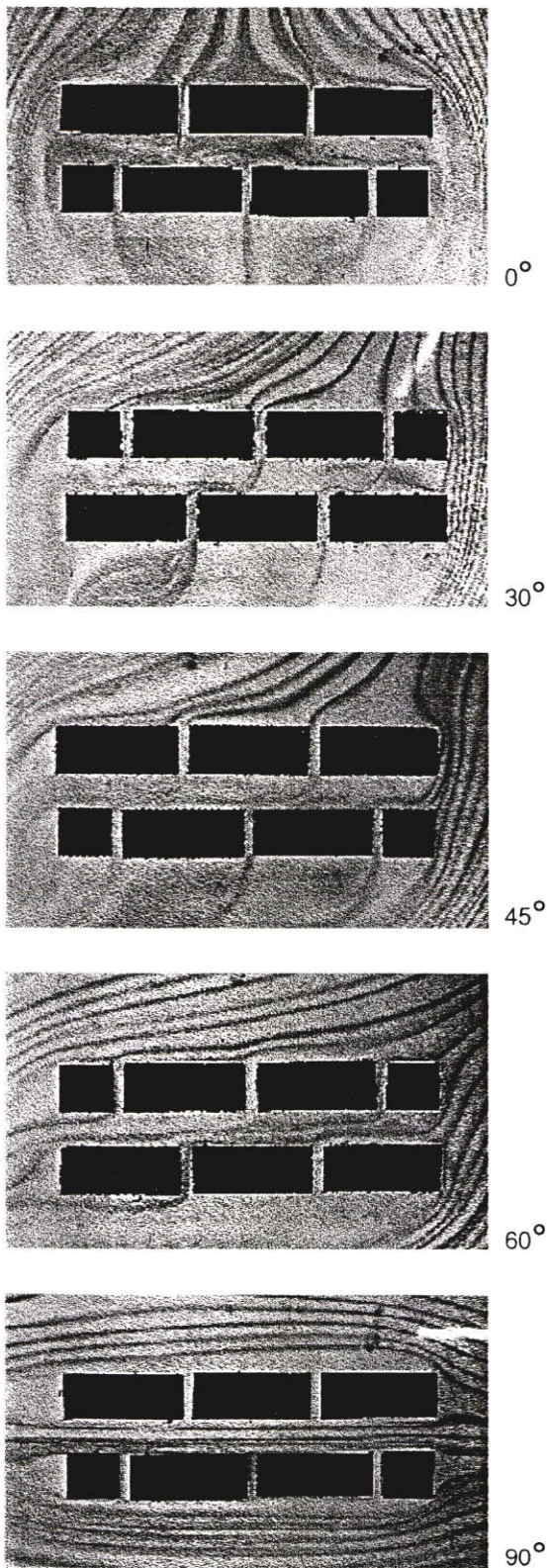


ภาพที่ 5.2 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของลมเมื่อความกว้าง และความสูงของอาคารเปลี่ยนไป

จากภาพที่ 5.2 เปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของลม เมื่อความกว้าง และความสูงของอาคารด้านหน้า และด้านหลังเปลี่ยนไป

เมื่ออาคารทั้งสองสูงเท่ากัน ความกว้างของถนนระหว่างอาคารทั้งสองจะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ลมสามารถพัดเข้ามาภายในถนนได้ จากทฤษฎีที่ว่า เงามลมจะมีระยะประมาณ 2 เท่าของความสูงอาคาร และความเร็วลมจะกลับมาเท่าเดิมที่ระยะ 7 เท่าของความสูงอาคาร ดังนั้น ยิ่งความกว้างถนนมากก็ยิ่งมีโอกาสที่ลมจะพัดต่ำลงสู่ถนนมากขึ้นด้วย

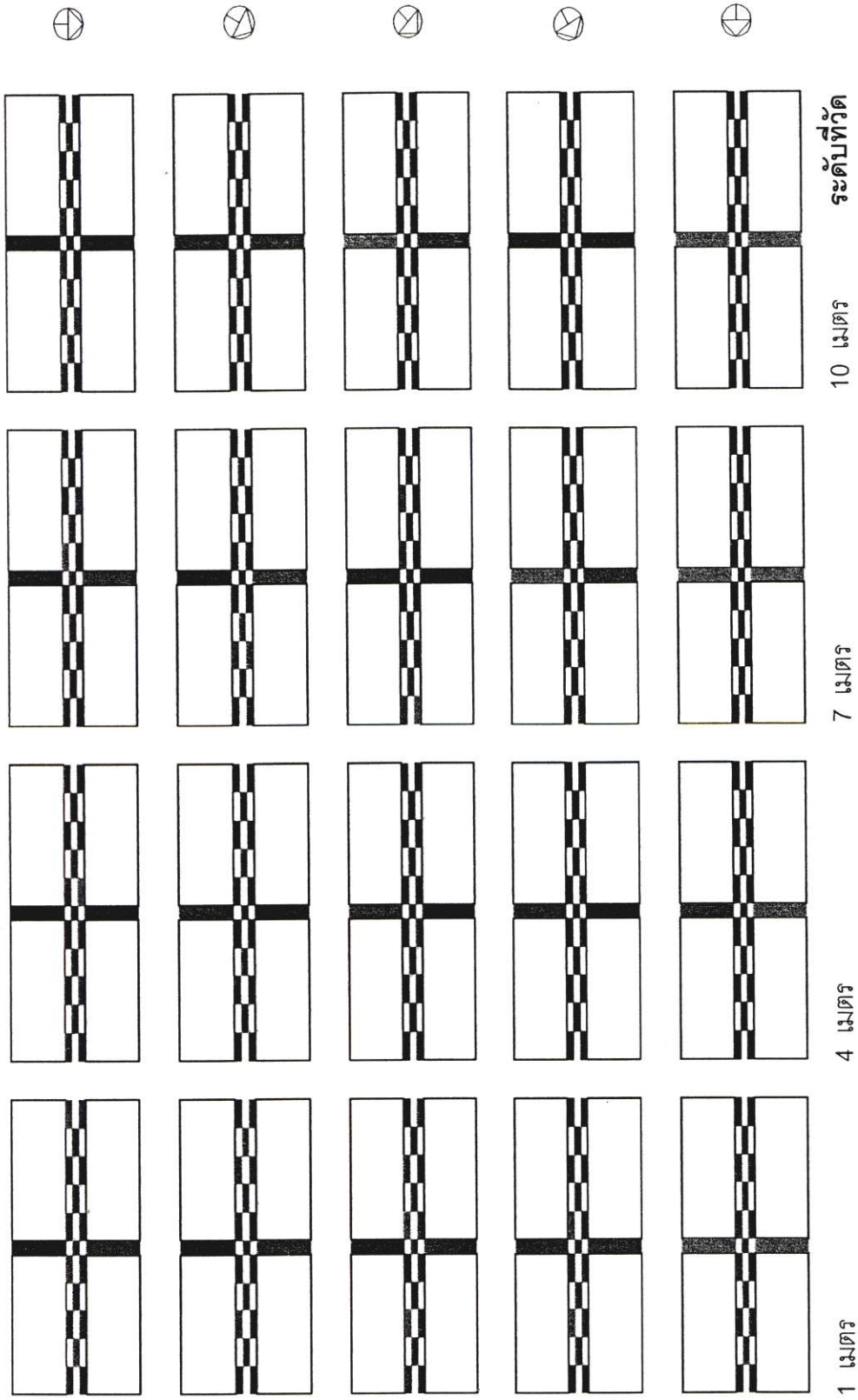
สำหรับอาคารที่สูงไม่เท่ากัน ถ้าด้านหน้าลมเป็นอาคารเตี้ย ด้านหลังเป็นอาคารสูง โอกาสที่อาคารสูงจะทำหน้าที่ดักลมให้เกิดลมหมุนภายในระหว่างสองอาคารจะมีมากกว่ากรณีนี้ที่ด้านหน้าลมเป็นอาคารสูง สำหรับกรณีหลัง จะทำให้เกิดเงาลมกว้างขึ้น ทำให้ลมพัดเข้ามาภายในถนนได้ยากขึ้น



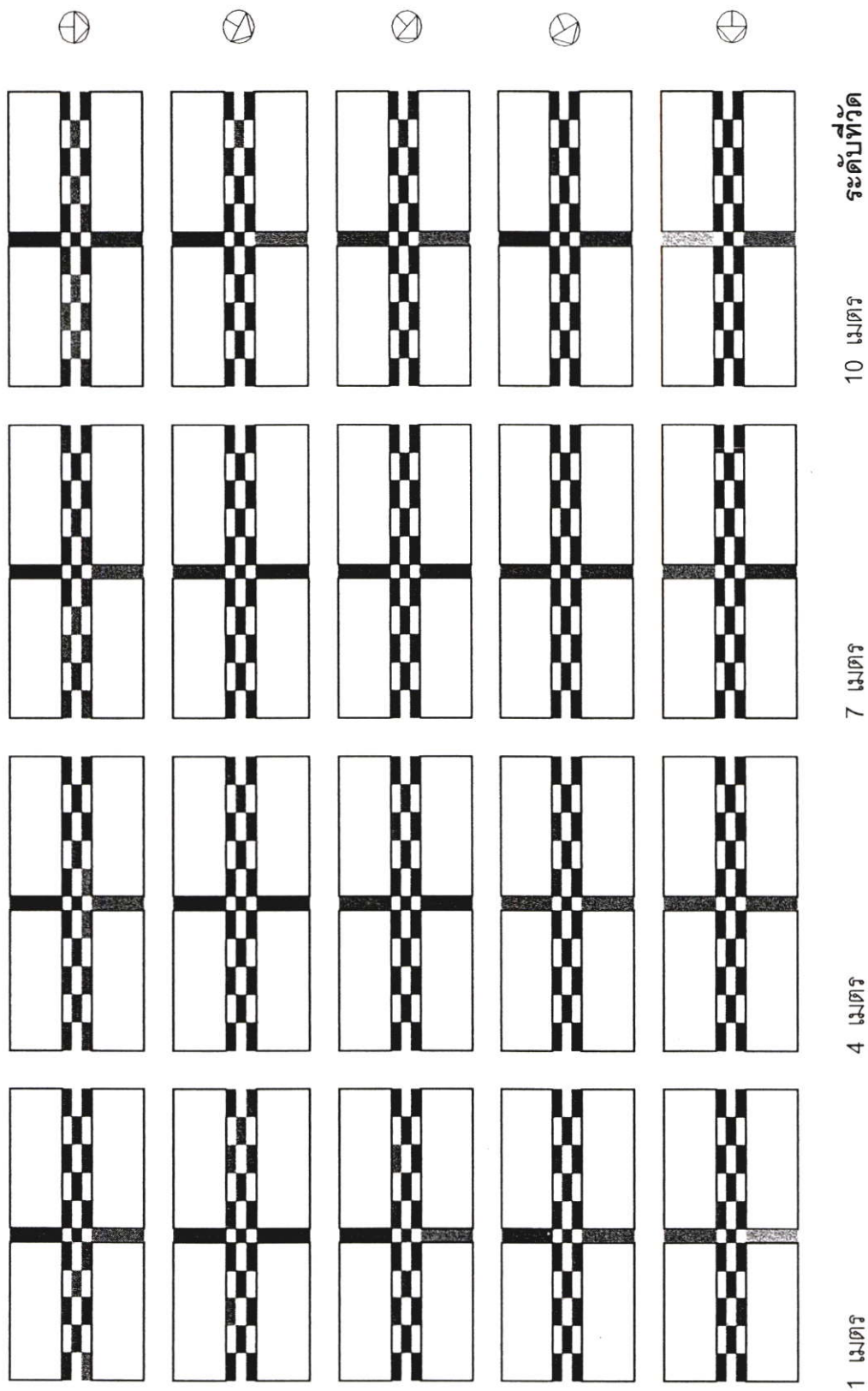
ภาพที่ 5.3 แสดงการวางผังกลุ่มอาคารตึกแถวแบบเหลื่อมกันเพื่อให้มีการไหลเวียนอากาศภายในถนนได้ดีขึ้น

สำหรับการวางผังกลุ่มตึกแถวแบบขนานกัน หากไม่สามารถปรับทิศทางอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางลมได้ อาจสามารถจัดวางอาคารและที่ว่างให้เหลื่อมกันเพื่อดักลมให้เข้ามาไหลเวียนภายในอาคารได้บ้าง

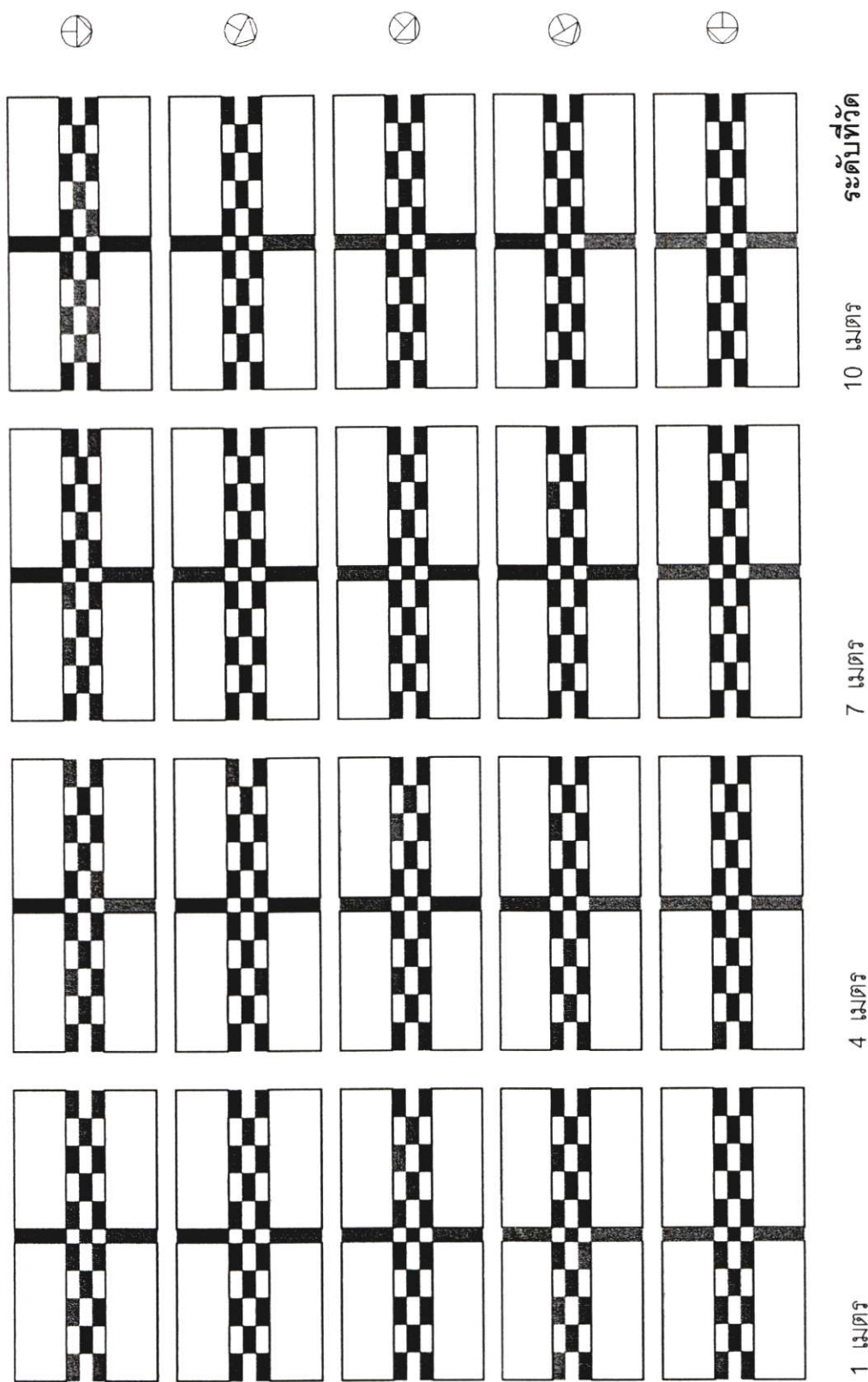
ขั้นต่อมา ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อศึกษาความเร็วลม ณ ระดับต่างๆ โดยทำการทดลองเฉพาะกับกลุ่มตึกแถวที่มีความสูงเท่ากัน (4 ชั้น) โดยแบ่งเป็น 3 กรณีหลัก คือ ความกว้างถนน 6, 9 และ 12 เมตร แต่ละกรณีวัดความเร็วลมที่ระดับ 1, 4, 7, และ 10 เมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 5.4 ผู้สังเกตปริมาณขอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 6 เมตร



ภาพที่ 5.5 แสดงปริมาณกลมรอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 9 เมตร

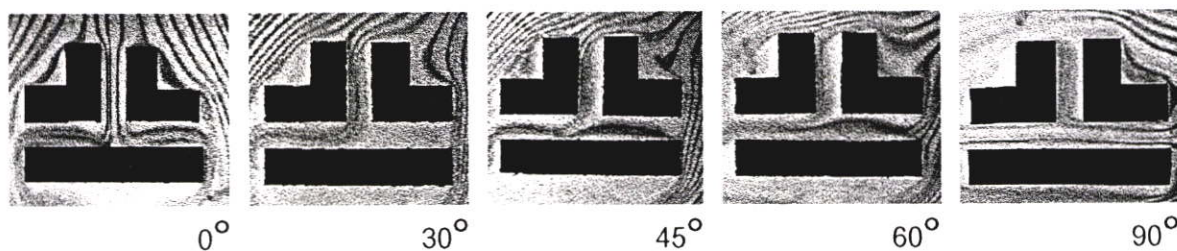


ภาพที่ 5.6 ผังแสดงปริมาณลมรอบอาคาร ณ ระดับต่างๆ เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป กำหนดให้ความกว้างถนนเป็น 12 เมตร

จากผลการทดลอง พบว่า ในทุกกรณี ความเร็วลมที่วัดได้จะสูงขึ้น ตามระดับความสูงที่วัด แม้จะไม่มากนัก ซึ่งอาจเนื่องมาจากมาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ทดลองเล็กเกินไป จึงไม่เห็นผลที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาเรื่องความกว้างถนน พบว่า ความกว้างถนนที่แตกต่างกัน ไม่ค่อยมีผลต่อความเร็วลมเฉลี่ยมากนัก แต่มีผลต่อการบิดตัวของลม ที่ทำให้ความเร็วลมทั้งสองด้านริมอาคารไม่เท่ากัน

ตัวแปรที่มีผลต่อความเร็วลมระหว่างอาคารมากที่สุด คือ ทิศทางกระแสลม ยิ่งทิศทางลมใกล้เคียงกับทิศขนานกับถนนมากเท่าใด ยิ่งมีโอกาสที่ลมจะพัดเข้าสู่ถนนมากขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะในสวนปากทางที่ลมเข้า ลมจะถูกบีบอัดเข้าสู่ช่องแคบ ทำให้มีความเร็วลมสูงมากกว่าความเร็วลมต้นกำเนิด

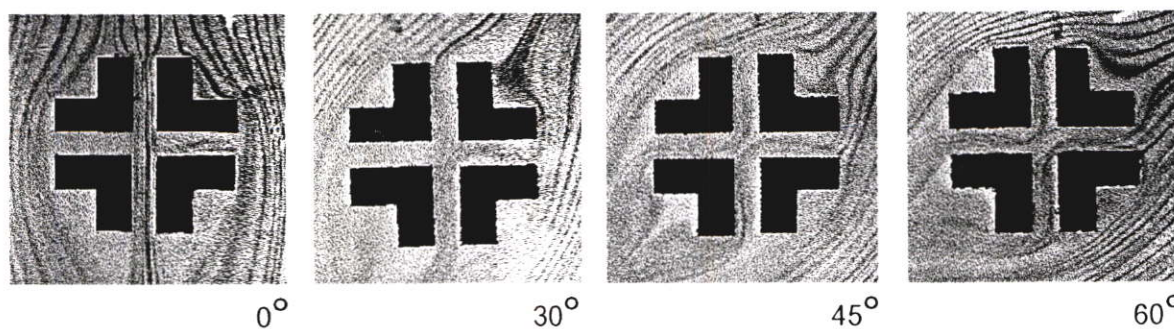
5.4.2 ผังรูปตัวที (T)



ภาพที่ 5.7 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปตัวทีที่ความกว้างถนน 12 เมตร

จากภาพจะเห็นว่าเมื่อทิศทางลมทำมุม 0 องศา อากาศสามารถเคลื่อนที่ภายในถนนได้ดี เนื่องจากมีอาคารดักลมอยู่ เมื่อทิศทางลมเป็น 30 และ 60 องศา ลมมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ในแนวถนนที่ใกล้เคียงกับทิศทางลมมากกว่า เมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา ลมสามารถเคลื่อนที่ภายในถนนทั้งสองแนวได้ดี แต่ไม่สม่ำเสมอ และลมจะมีการบิดตัวมากกว่าแบบ 0 องศา สำหรับกรณีที่ทิศทางลมเป็น 90 องศา ลมจะเคลื่อนที่ผ่านถนนเส้นหลัก ที่ขนานกับทิศทางลมเพียงทางเดียว

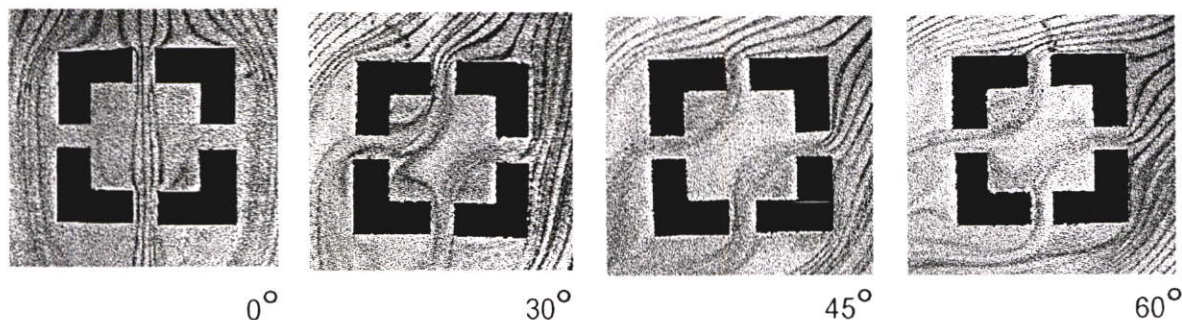
5.4.3 ผังรูปกากบาท



ภาพที่ 5.8 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปกากบาท ความกว้างถนน 12 เมตร

จากภาพเมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา ลมจะเคลื่อนที่ผ่านถนนหลักที่ขนานกับทิศลมเพียงทางเดียว และเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนเป็น 30 และ 60 องศา ลมมีแนวโน้มจะเคลื่อนที่เข้าสู่ถนนที่มีทิศใกล้เคียงกับทิศลมมากกว่า กรณีที่ทิศลมเป็น 45 องศา รูปแบบการเคลื่อนที่ของลมจะสมมาตรมากขึ้น แต่แรงลมก็จะลดลงตามระยะทางด้วย

5.4.4 ผังสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 5.9 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมสำหรับผังรูปสี่เหลี่ยม ความกว้างถนน 12 เมตร

จากภาพมีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีผังรูปกากบาท เนื่องจากลักษณะการวางผังเป็นแบบสมมาตรเหมือนกัน สำหรับผังสี่เหลี่ยม ถ้าทิศลมเป็น 0 องศา ลมจะเคลื่อนที่แรงผ่านออกไปอย่างรวดเร็ว แต่หากทิศทางลมทำมุมกับทิศอาคาร ไม่ขนานกับทิศถนน ลมจะเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ภายในได้ดีกว่า

5.5 สรุปผลการทดลอง

หากผังกลุ่มอาคารเป็นแบบขนาน มีถนนหลักทางเดียว ควรวางอาคารให้ลมสามารถพัดขนานกับทิศถนนให้มากที่สุด หรืออย่างน้อยควรให้ลมทำมุมกับทิศถนน เพื่อไม่ให้เกิดช่วงอับลมตรงกลาง

สำหรับการวางผังกลุ่มอาคารที่มีถนนสายหลัก 2 สาย ควรให้ทิศทางลมทำมุมกับทิศถนนทั้งสอง เพื่อกระจายการเคลื่อนที่ของลมได้อย่างทั่วถึง

บทที่ 6

การศึกษาประสิทธิภาพของที่ดักลมเพื่อให้เกิดการระบาย อากาศแบบดาวนด์กราฟต์ในอาคารตึกแถว

6.1 การพิจารณาเลือกรูปร่างที่ดักลมมาใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 พบว่า รูปร่างของที่ดักลมที่นำมาใช้ให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ มี 3 รูปแบบหลัก คือ

6.1.1 แบบแยกปล่องลมเข้า – ลมออก

6.1.2 แบบรวมปล่องลมเข้า – ลมออก

6.1.3 แบบปล่องลมเข้าเดี่ยว (จ่ายลมออกทางหน้าต่าง)

ที่ดักลมทั้ง 3 แบบ จะแบ่งย่อยออกเป็น 2 กรณี คือ แบบหลังคาแบน และแบบหลังคาเอียง 45° ดังนั้นจึงมีรูปแบบที่ดักลมในการทดลองขั้นต้น 6 แบบ จากนั้นจะได้เลือกแบบที่ดักลมที่มีประสิทธิภาพดี นำไปพัฒนาและทดลองตัวแปรอื่นๆ ต่อไป

6.2 ขอบเขตการศึกษา

ในขั้นแรก ผู้วิจัยจะทำการทดลองแบบหน่วยทดลองเดี่ยว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นของที่ดักลมแต่ละแบบ จากนั้นจึงเพิ่ม และเปลี่ยนตัวแปรที่ต้องการศึกษาต่อไป ตัวแปรทั้งหมดที่ต้องการศึกษา คือ

6.2.1 รูปแบบที่ดักลม

6.2.2 สัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดลมออก

6.2.3 ระยะเวลาเฉลี่ยของหน่วยทดลอง

6.2.4 การกระจายลมภายในหน่วยทดลองหลายชั้น

วัดความเร็วลมทุกพื้นที่ 1 ตร.ม. ที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ

6.3 การทดลองครั้งที่ 1 : รูปแบบที่ดักลม

- | | | |
|--------------|---|----------------------------------------------------------------------|
| ตัวแปรควบคุม | - | ทิศทางลม 0, 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ |
| | - | ขนาดช่องลมเข้า เท่ากับช่องลมออก |
| | - | ขนาดหน่วยทดลอง 1 หน่วย |
| ตัวแปรศึกษา | - | รูปแบบ ตำแหน่งที่ดักลมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลอง |

6.3.1 วิธีการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยไต้ะน้ำ

จัดทำหุ่นจำลอง 2 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบต่างๆ 6 แบบ ทดลองด้วยไต้ะน้ำ เพื่อศึกษาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลมภายในหน่วยทดลอง

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

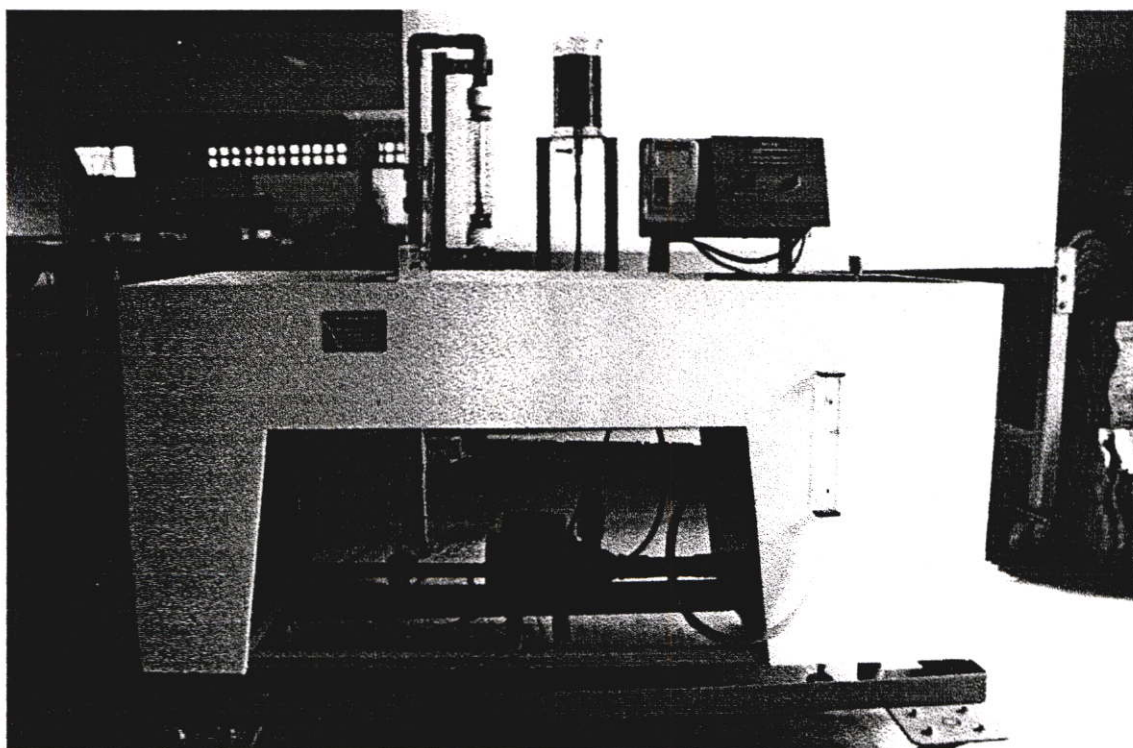
สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบต่างๆ 6 แบบในคอมพิวเตอร์ กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที

ขั้นที่สาม : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบต่างๆ 6 แบบ มาตราส่วน 1:10 ขนาด 40 x 40 สูง 30 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม ขนาด กว้าง 2.05 เมตร สูง 1.15 เมตร ลึก 9.40 เมตร (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 5% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) ในขั้นนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดช่องเปิดเพียง 1 ใน 2 ของความกว้างของหุ่นจำลอง

วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลม เป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

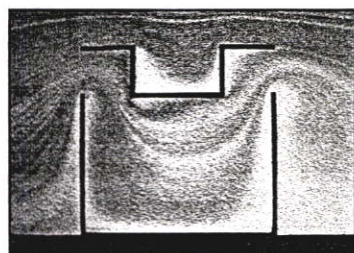
วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์



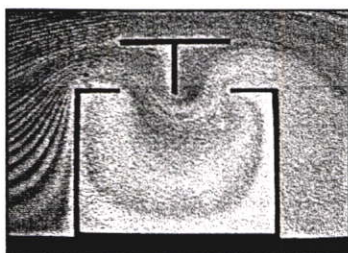
ภาพที่ 6.1 เครื่อง Flow Visualization Table (ไต้ะน้ำ) ที่ใช้ในการทดสอบ

6.3.2 ผลการทดลอง

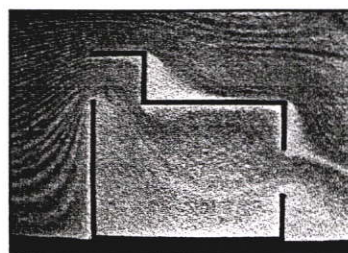
ขั้นที่หนึ่ง : ผลจากการทดลองด้วยโต๊ะน้ำ



แบบที่ 1



แบบที่ 2

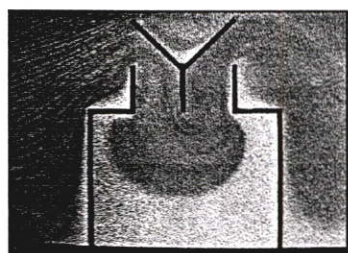


แบบที่ 3

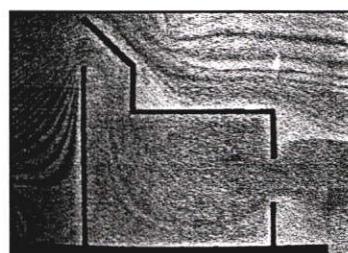
ภาพที่ 6.2 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาแบน



แบบที่ 4



แบบที่ 5



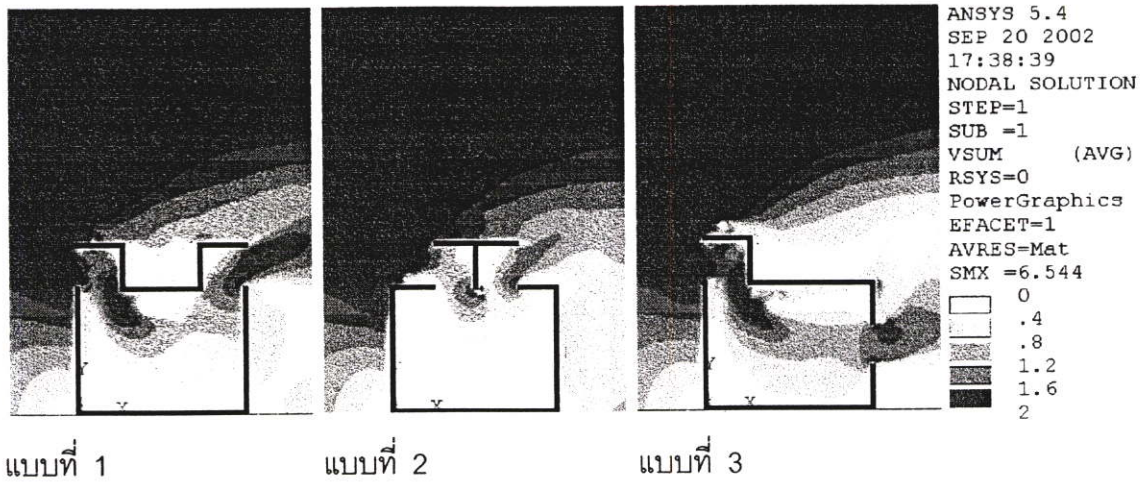
แบบที่ 6

ภาพที่ 6.3 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาเอียง

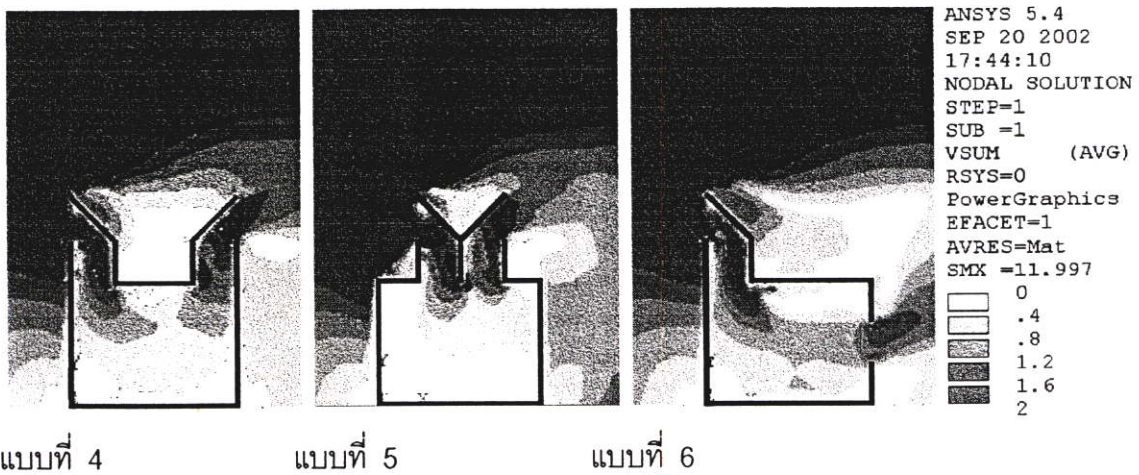
จากภาพที่ 6.2 และ 6.3 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมภายในหน่วยทดลอง 2 มิติ จะเห็นว่าที่ดักลมทั้งแบบหลังคาแบน และหลังคาเอียง มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศไม่แตกต่างกันมากนัก โดยแบบหลังคาเอียงจะช่วยลดแรงปะทะของลม ทำให้อากาศมีแรงส่งเคลื่อนที่ภายในได้ดีกว่าเล็กน้อย สังเกตจากที่ดักลมแบบที่ 3 ซึ่งเส้นแถบลมของแบบหลังคาเอียง เคลื่อนลงมาได้ดีกว่าแบบหลังคาแบน เมื่อเปรียบเทียบที่ดักลมทั้ง 3 แบบ แบบที่ 1 และ 3 มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมใกล้เคียงกัน คือ สามารถเคลื่อนที่ลงมาได้ดีถึงระดับผู้ใช้งานได้มากกว่า ส่วนแบบที่ 2 ลมจะเข้าและออกไปอย่างรวดเร็ว แต่หากลดผนังตรงกลางให้ต่ำลงมาจะช่วยให้ลมเคลื่อนที่ลงต่ำได้มากขึ้น

ข้อเสียของการทดลองด้วยโต๊ะน้ำ ซึ่งนอกจากจะเป็นแบบ 2 มิติแล้ว ผลที่ได้เป็นเพียงรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมในอุดมคติเท่านั้น เนื่องจากน้ำในโต๊ะทดสอบเคลื่อนที่ด้วยแรงจากมอเตอร์ จึงมีความสม่ำเสมอเท่ากันตลอด แต่ในความเป็นจริง ลมที่เข้ามาในอาคารจะต้องมีการสูญเสียแรงจากการเสียดทานด้วย

ขั้นที่สอง : ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 6.4 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาแบน

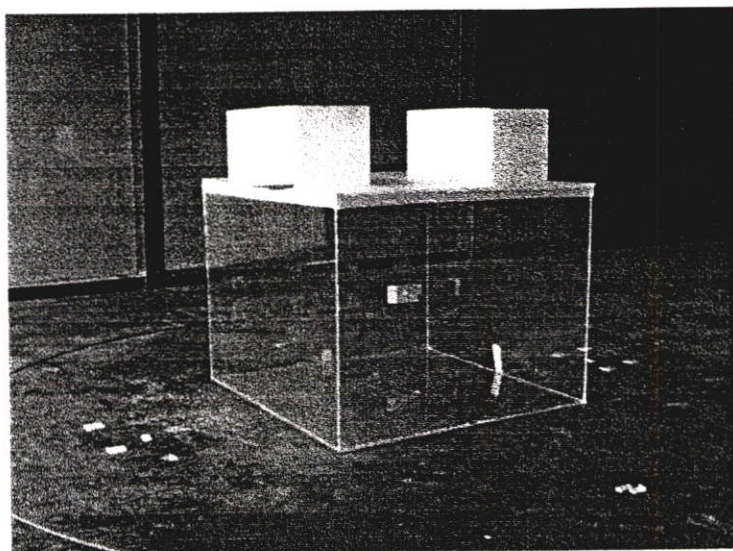


ภาพที่ 6.5 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาเอียง

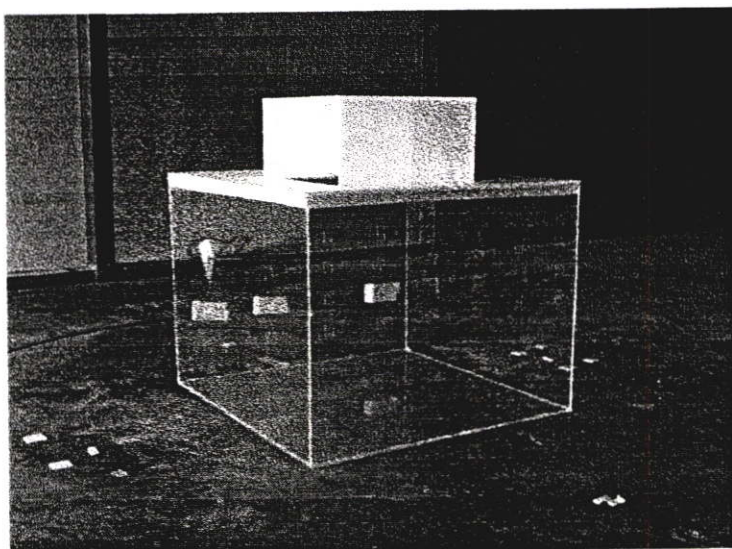
ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใกล้เคียงกับผลจากการทดลองด้วยใ้ระน้ำมาก โดยอากาศภายในจะเคลื่อนที่ดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อปรับหลังคาให้เอียง ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมด้วยแถบสีแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับที่ 1	0 – 20	เปอร์เซ็นต์
ระดับที่ 2	21 – 40	เปอร์เซ็นต์
ระดับที่ 3	41 – 60	เปอร์เซ็นต์
ระดับที่ 4	61 – 80	เปอร์เซ็นต์
และ ระดับที่ 5	81 – 100	เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

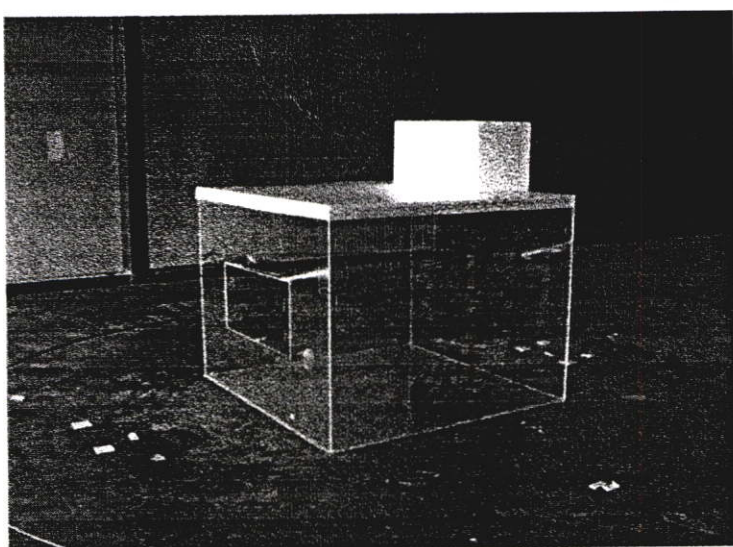
ขั้นที่สาม : ผลจากการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม



ภาพที่ 6.6 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 1 หลังคาแบน

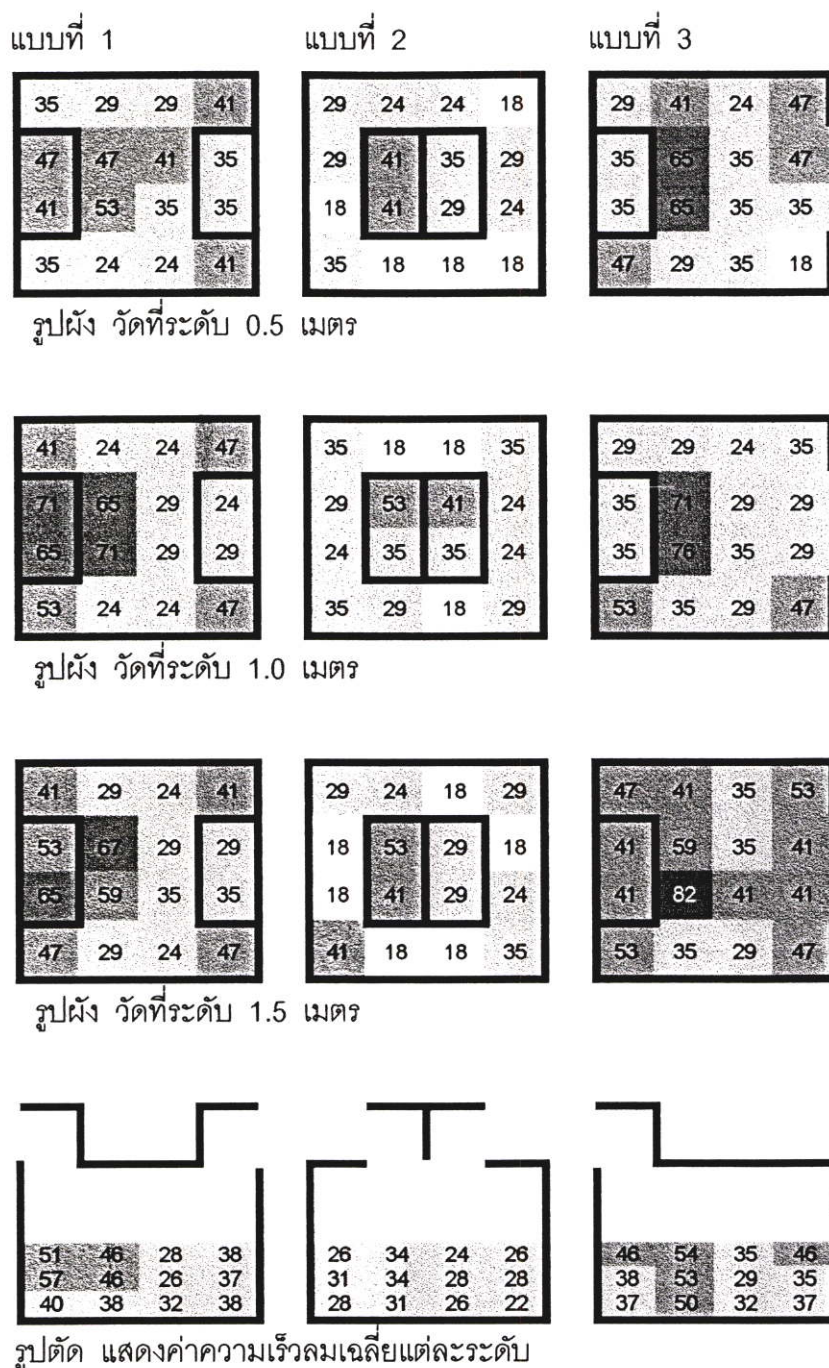


ภาพที่ 6.7 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 2 หลังคาแบน



ภาพที่ 6.8 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 3 หลังคาแบน

แบบหลังคาแบน

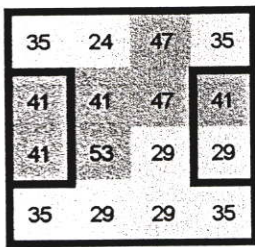


ภาพที่ 6.9 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา

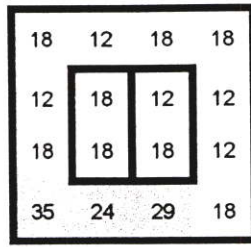
ที่ดักลมแบบที่ 1 และ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยสม่ำเสมอมากกว่าแบบที่ 2 โดยแบบที่ 1 ความเร็วลมจะสูงบริเวณช่องลมเข้า ส่วนแบบที่สามความเร็วลมสูงจะอยู่บริเวณแถวที่ 2 สำหรับความเร็วลมในแบบที่ 2 ระดับความสูงที่วัดมีผลต่อความเร็วลมที่วัดได้ เนื่องจากอากาศส่วนใหญ่เคลื่อนที่อยู่ด้านบนของหน่วยทดลองเท่านั้น

แบบหลังคาแบน (ต่อ)

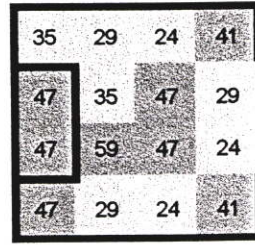
แบบที่ 1



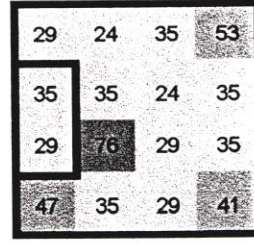
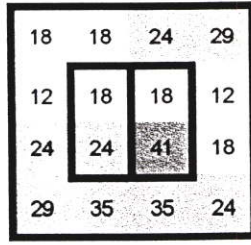
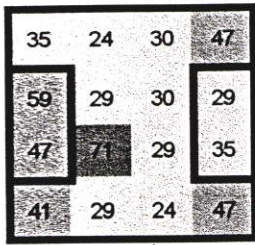
แบบที่ 2



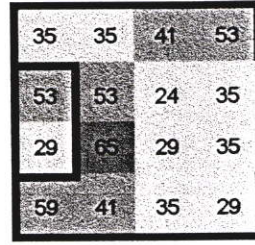
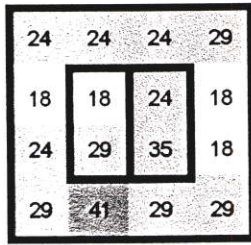
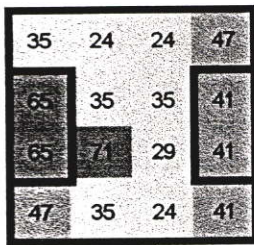
แบบที่ 3



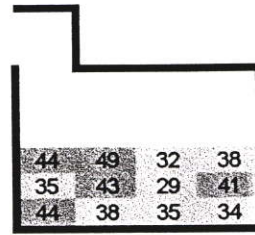
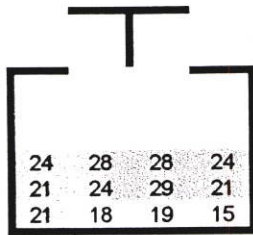
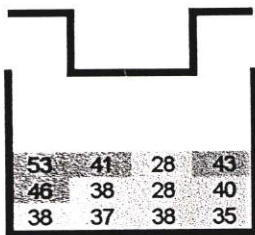
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



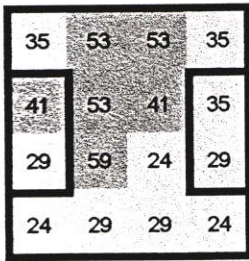
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.10 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบน เมื่อทิศทางลมเป็น 30 องศา

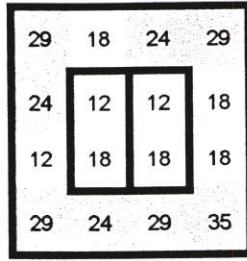
เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนเป็น 30 องศา การกระจายของลมภายในไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่มีแนวโน้มว่าบริเวณผนังด้านที่ได้รับลมจะมีความเร็วสูงกว่าอีกด้านหนึ่ง ความเร็วลมของแบบที่ 1 และ 2 ยังคงใกล้เคียงกัน

แบบหลังคาแบน (ต่อ)

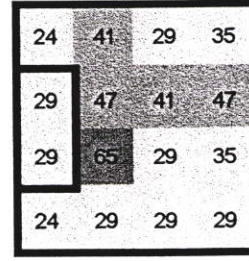
แบบที่ 1



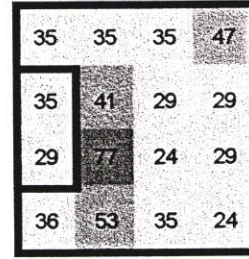
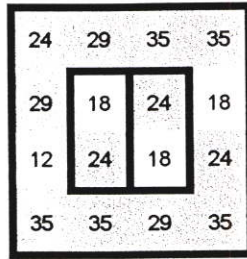
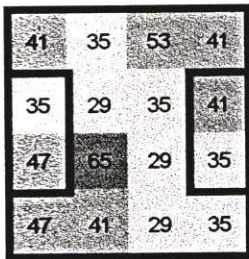
แบบที่ 2



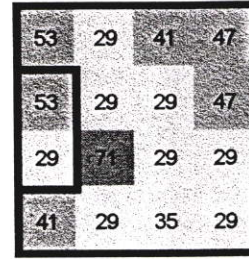
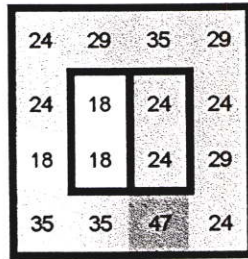
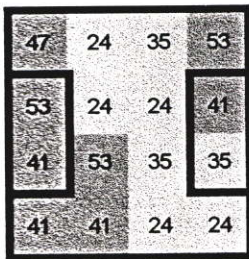
แบบที่ 3



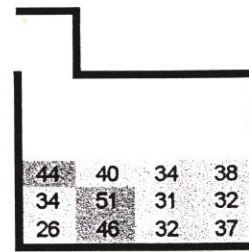
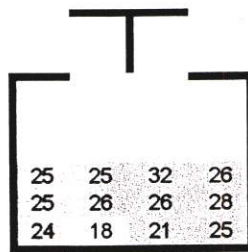
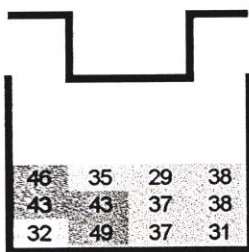
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

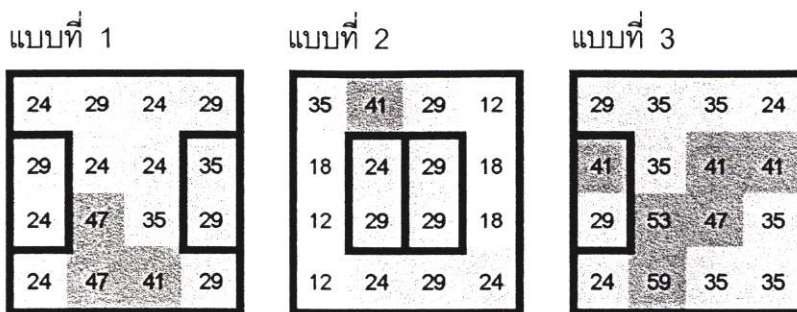


รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

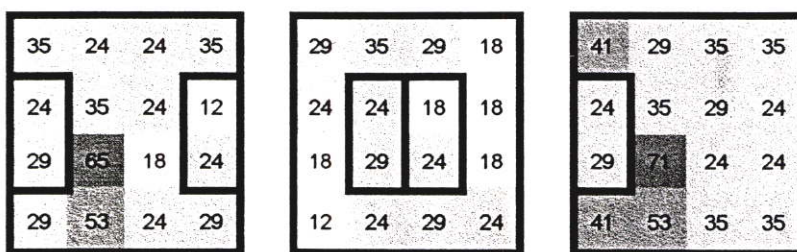
ภาพที่ 6.11 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบนเมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา

เมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา การกระจายลมภายในของแบบที่ 1 ค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าแบบอื่น ความเร็วลมภายในทั้งสามแบบลดลง

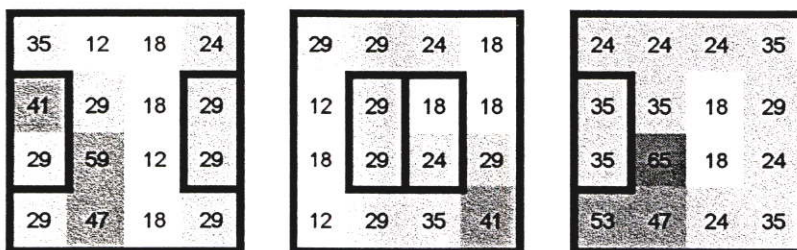
แบบหลังคาแบน (ต่อ)



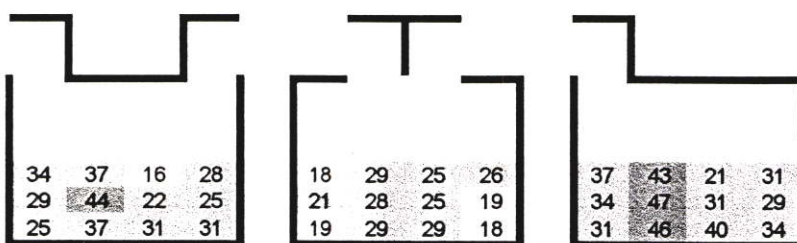
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

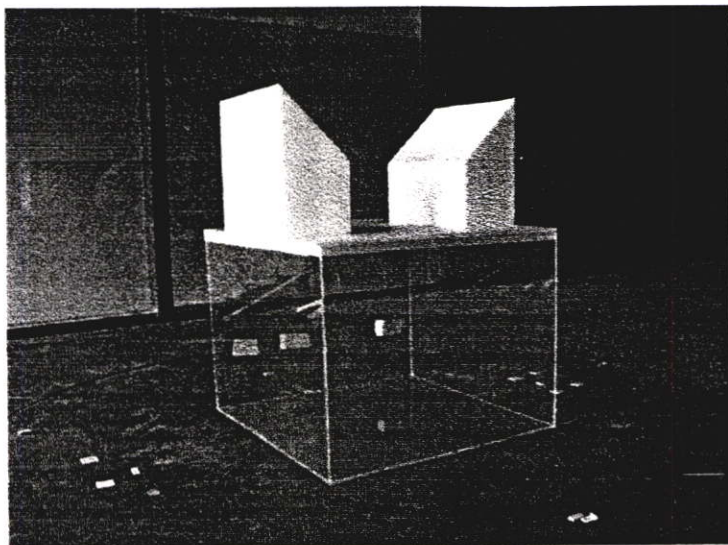


รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

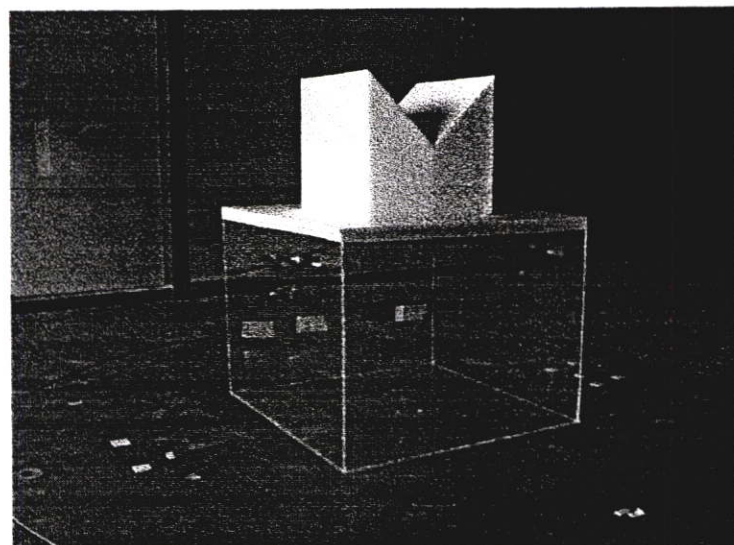
ภาพที่ 6.12 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาแบนเมื่อทิศทางลมเป็น 60 องศา

เมื่อทิศทางลมเป็น 60 องศา ความเร็วลมภายในลดลงอย่างเห็นได้ชัด ความเร็วลมสูงสุดมักอยู่บริเวณช่องลมเข้า

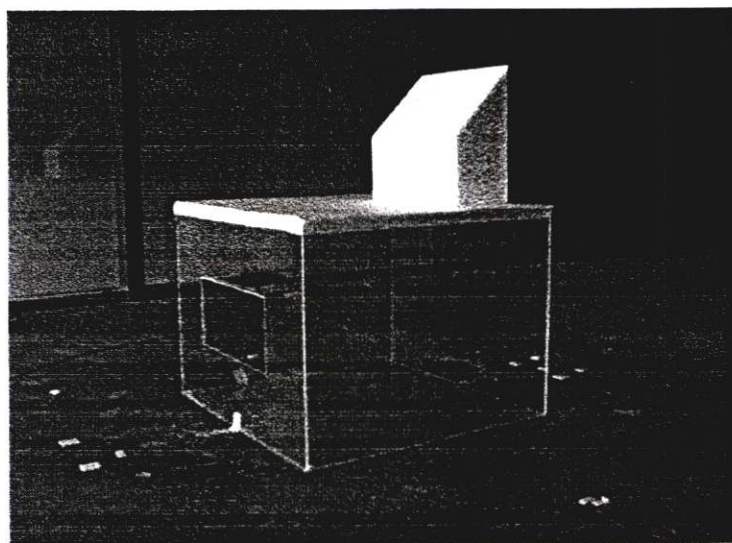
ภาพการทดลองหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม แบบหลังคาเอียง



ภาพที่ 6.13 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 4 หลังคาเอียง



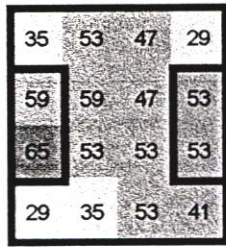
ภาพที่ 6.14 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 5 หลังคาเอียง



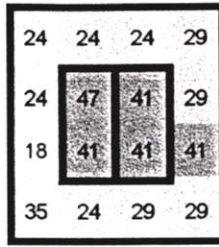
ภาพที่ 6.15 หุ่นจำลองที่ดัก
ลมแบบที่ 6 หลังคาเอียง

แบบหลังคาเอียง

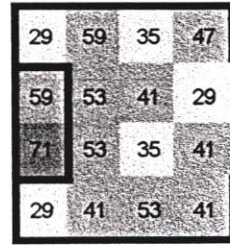
แบบที่ 4



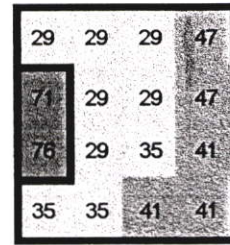
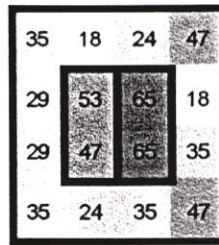
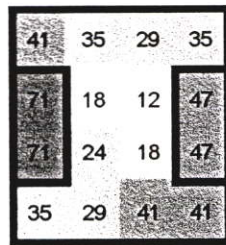
แบบที่ 5



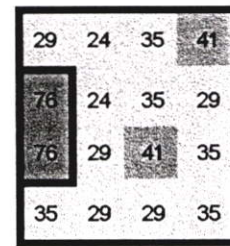
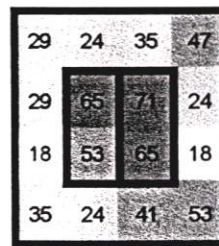
แบบที่ 6



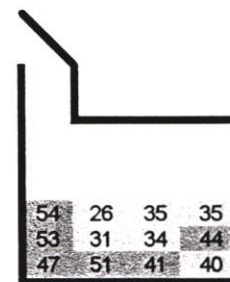
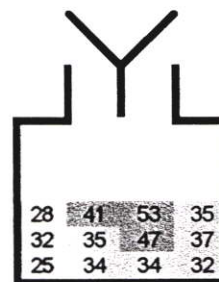
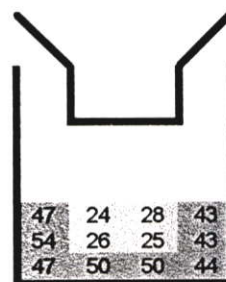
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



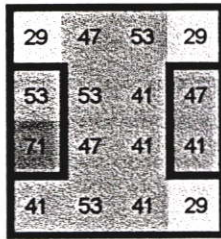
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.16 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียงเมื่อทิศทางลมเป็น 0 องศา

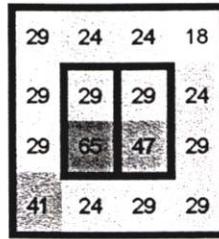
ที่ดักลมแบบหลังคาเอียงทั้ง 3 แบบ มีความเร็วลมบริเวณด้านล่างดีขึ้น รูปแบบการกระจายลมภายในยังคงเหมือนเดิม ณ ระดับความสูง 0.5 เมตร มีความเร็วลมสม่ำเสมอดีที่สุด

แบบหลังคาเอียง (ต่อ)

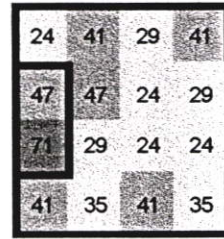
แบบที่ 4



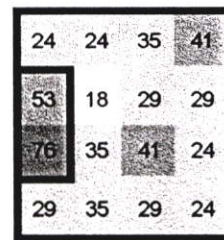
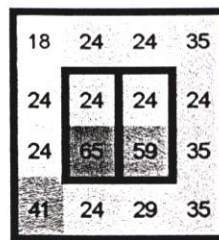
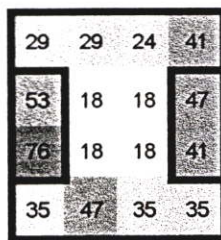
แบบที่ 5



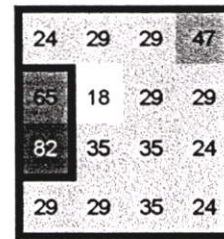
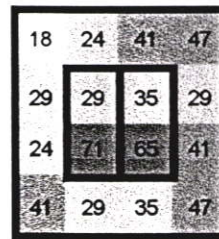
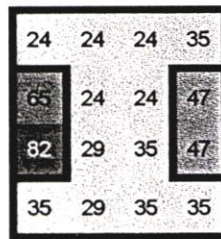
แบบที่ 6



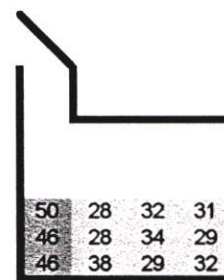
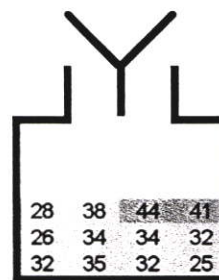
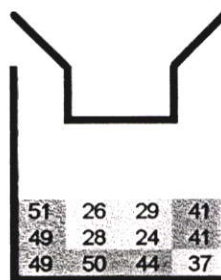
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



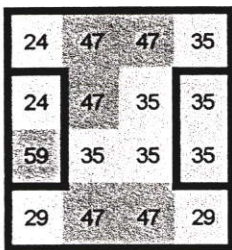
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.17 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียงเมื่อทิศทางลมเป็น 30 องศา

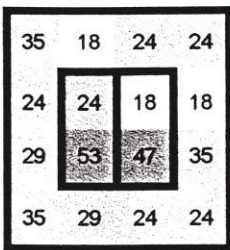
ความเร็วลมบริเวณด้านล่างสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ในระดับ 1.0 และ 1.5 เมตร มีลักษณะการเคลื่อนที่ของลมภายในใกล้เคียงกับแบบหลังคาแบน ที่ดักลมแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่การกระจายลมยังไม่ทั่วถึง

แบบหลังคาเอียง (ต่อ)

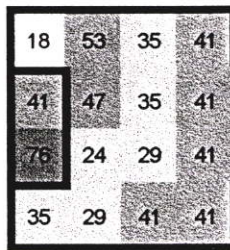
แบบที่ 4



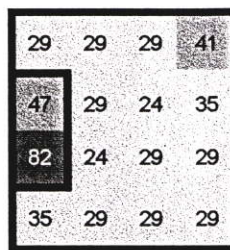
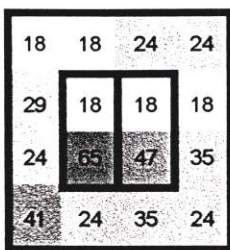
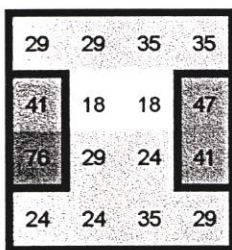
แบบที่ 5



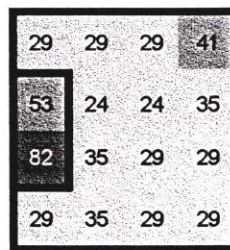
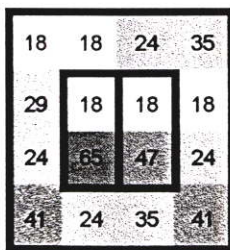
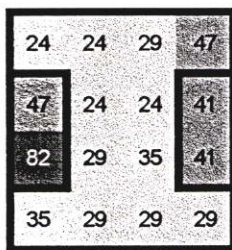
แบบที่ 6



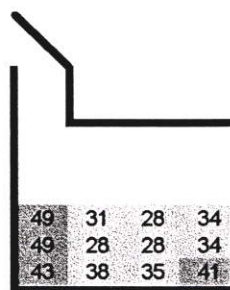
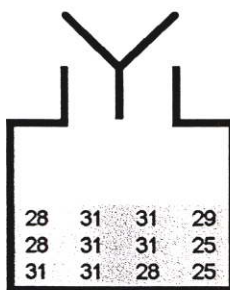
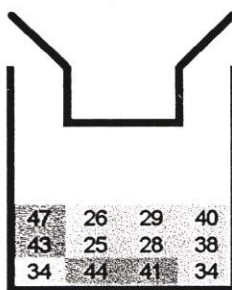
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



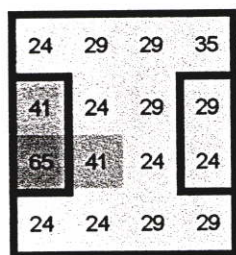
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.18 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียงเมื่อทิศทางลมเป็น 45 องศา

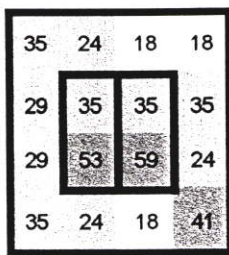
รูปแบบการเคลื่อนที่ของลมภายในไม่แตกต่างจากแบบหลังคาแบนมากนัก แต่ความเร็วลมสูงสุด สูงขึ้นมาก ที่ดักลมแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพดีขึ้น

แบบหลังคาเอียง (ต่อ)

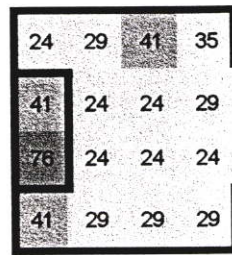
แบบที่ 4



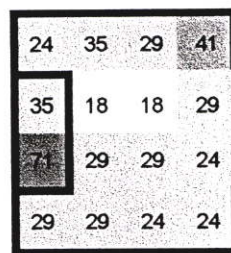
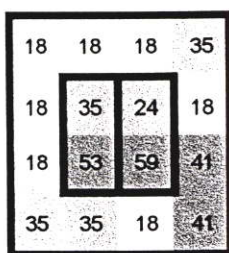
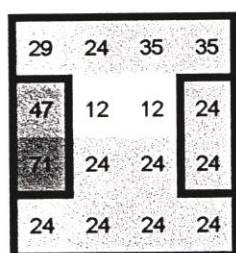
แบบที่ 5



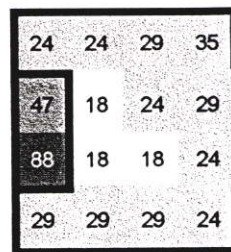
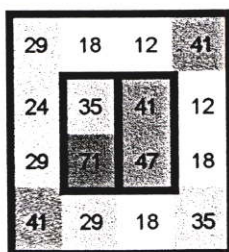
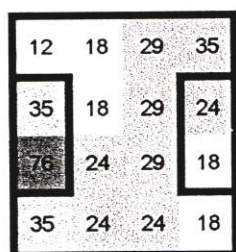
แบบที่ 6



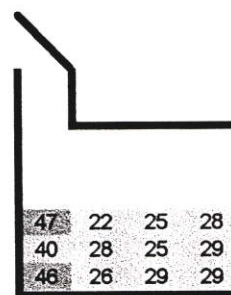
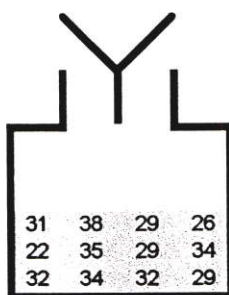
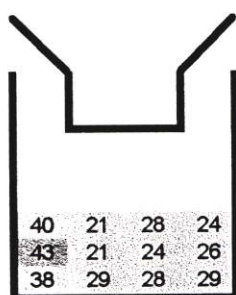
รูปผัง วัตที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัตที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัตที่ระดับ 1.5 เมตร



รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ







ภาพที่ 6.19 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองแบบหลังคาเอียงเมื่อทิศทางลมเป็น 60 องศา

ประสิทธิภาพของที่ดักลมทั้ง 3 แบบ ดีขึ้นโดยเฉพาะระดับ 0.5 เมตร มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจากหลังคาเอียงสามารถเหนี่ยวนำลมได้มากกว่า

6.3.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง สามารถสรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของที่ดักลมแบบต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ของที่ดักลมแต่ละแบบ

ที่ดักลม	ระดับที่วัด (เมตร)	ความเร็วลมเฉลี่ย (%) เมื่อทิศทางลมเป็น				
		0°	30°	45°	60°	
1 	0.5	37	37	37	31	
	1.0	42	38	40	30	
	1.5	41	41	37	29	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	40	39	38	30	37
2 	0.5	27	18	22	24	
	1.0	30	24	27	23	
	1.5	28	26	27	25	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	28	23	25	24	25
3 	0.5	39	38	35	38	
	1.0	39	37	37	35	
	1.5	45	41	39	33	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	41	39	37	35	38
4 	0.5	48	45	38	31	
	1.0	37	35	34	28	
	1.5	35	37	36	28	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	40	39	36	29	36
5 	0.5	31	31	29	32	
	1.0	38	32	29	30	
	1.5	39	38	30	31	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	36	34	29	31	33
6 	0.5	45	36	39	33	
	1.0	40	34	35	31	
	1.5	38	35	35	31	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	41	35	36	32	36

จากตาราง ที่ดักลมที่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกัน เมื่อหันที่ดักลมตั้งฉากกับทิศทางลม คือ แบบที่ 3 และแบบที่ 6 ส่วนที่ดักลมที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด คือ แบบที่ 2

เนื่องจากลมเคลื่อนที่เข้า – ออกเร็ว จึงไม่สามารถกระจายลมได้ทั่วถึง เมื่อเปรียบเทียบที่ดักลมแบบหลังคาแบน และแบบหลังคาเอียง จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่หากนำไปประยุกต์ใช้ แบบหลังคาเอียงจะเหมาะสมกว่าในเรื่องของการลดความร้อน และการระบายน้ำฝน

6.4 การทดลองครั้งที่ 2 : สัดส่วนช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดลมออก

- ตัวแปรควบคุม
- ทิศทางลม 0 องศา
 - รูปแบบที่ดักลม โดยเลือกที่ดักลมแบบที่ 6 มาทดลองเพื่อพัฒนาต่อ
 - ขนาดหน่วยทดลอง 1 หน่วย
- ตัวแปรศึกษา
- สัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมออก

6.4.1 วิธีการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองต่อจากนี้ผู้วิจัยได้ตัดการทดลองด้วยโต๊ะน้ำออกไป เนื่องจากให้ผลเหมือนกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี ดังนี้

ตารางที่ 6.2 แสดงแผนการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องสัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดลมออก

ตัวแปรที่ศึกษา	สัดส่วนช่องลมเข้า	สัดส่วนปล่อง	สัดส่วนช่องลมออก
กรณีที่ 1 ขนาดช่องลมเข้า	3/4	1	1
	2/4	1	1
	1/4	1	1
กรณีที่ 2 ขนาดปล่อง	3/4	3/4	1
	2/4	2/4	1
	1/4	1/4	1
กรณีที่ 3 ขนาดช่องลมออก	1	1	3/4
	1	1	2/4
	1	1	1/4

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 แบ่งการทดลองเป็นกรณีต่างๆ ตามตารางที่ 6.2 ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:10 ขนาด 40 x 40 สูง 30 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 5% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดช่องเปิดยาวตลอดความกว้างของหุ่นจำลอง

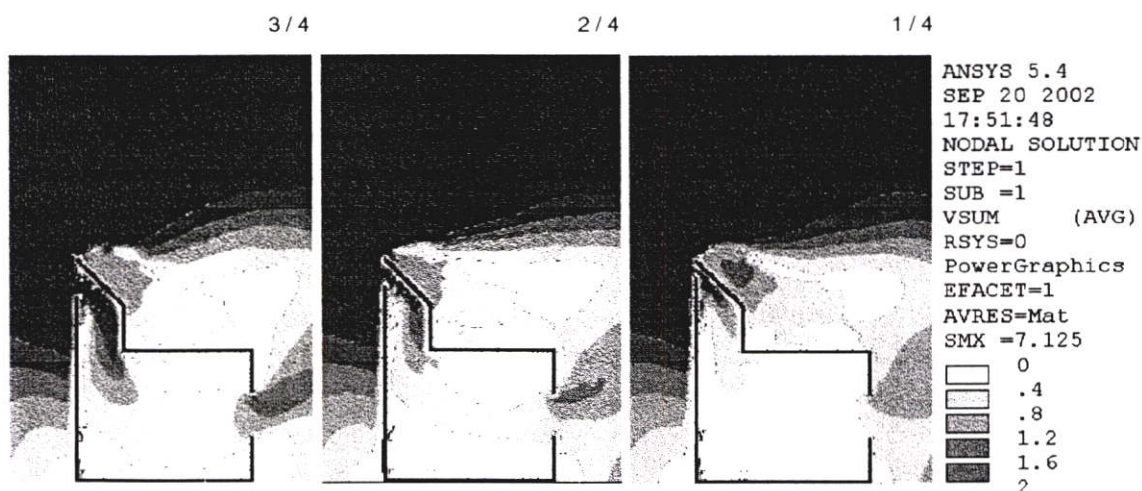
วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

6.4.2 ผลการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

กรณีที่ 1 : ขนาดช่องลมเข้า



ภาพที่ 6.20 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้าเล็กลง

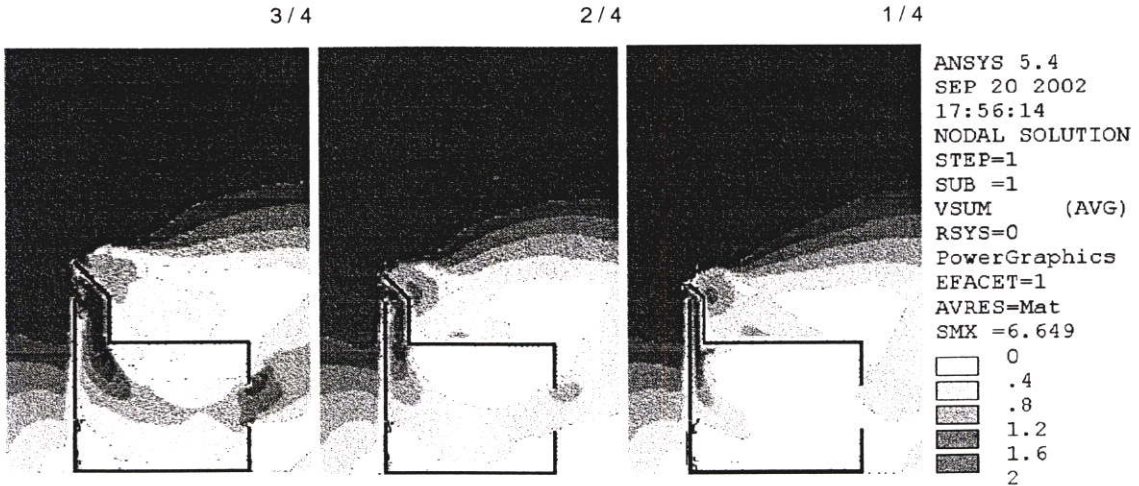
จากภาพ ปริมาณลมที่เข้าจะลดลงเมื่อขนาดช่องลมเข้าเล็กลง ทั้งนี้เป็นไปตามทฤษฎีของ Givoni, B. ว่าปริมาณลมที่เข้าจะขึ้นอยู่กับขนาดช่องลมที่เล็กกว่าเป็นหลัก ในกรณีนี้ ความเร็วลมที่เข้ามาจะลดลงด้วย

เมื่อช่องเปิดลมเข้ามีขนาด 3/4 ความเร็วลมภายในเป็น 20 – 40%

เมื่อช่องเปิดลมเข้ามีขนาด 2/4 ความเร็วลมภายในเป็น 10 – 30%

เมื่อช่องเปิดลมเข้ามีขนาด 1/4 ความเร็วลมภายในลดลงเหลือเพียง 0 – 20%

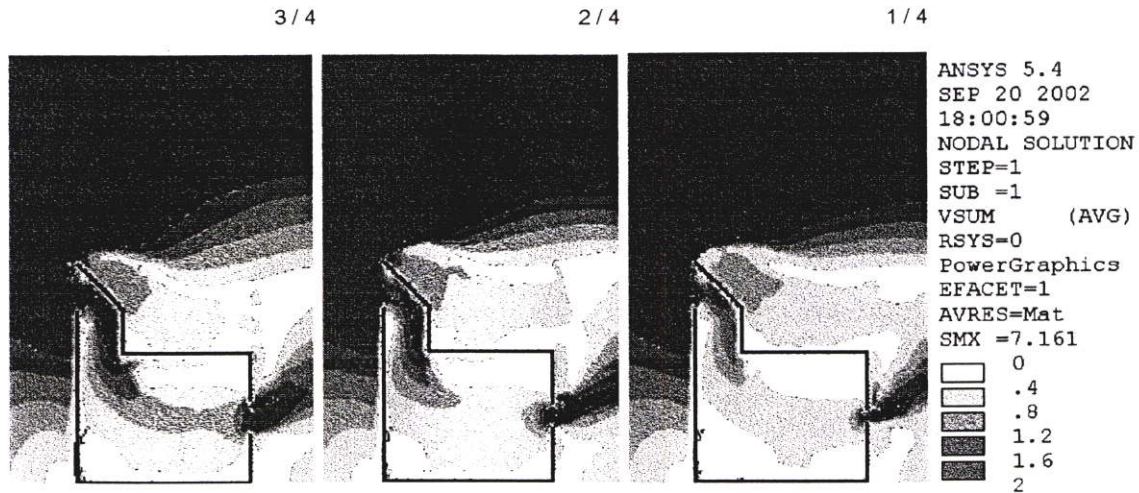
กรณีที่ 2 : ขนาดปล่อง



ภาพที่ 6.21 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง

จากภาพ ผลการทดลองเพื่อศึกษาความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 คือ เมื่อปล่องมีขนาดเล็กลง ปริมาณ และความเร็วลมภายในก็ลดลงด้วย ข้อสังเกต คือ บริเวณปล่องจะมีความเร็วลมสูงมาก เนื่องจากลมภายนอกถูกบีบอัดผ่านช่องแคบ จึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น

กรณีที่ 3 : ขนาดช่องลมออก

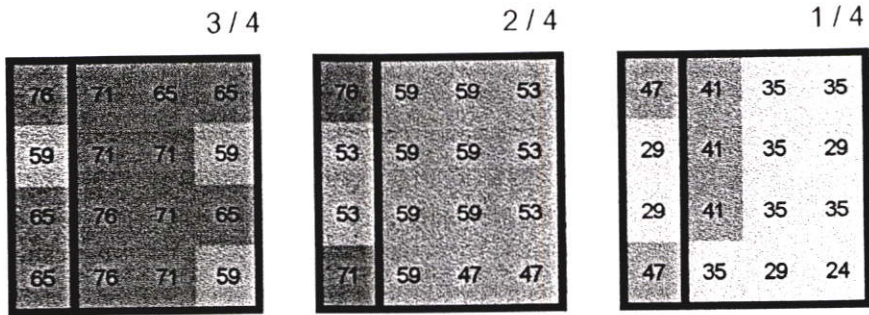


ภาพที่ 6.22 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมออกเล็กลง

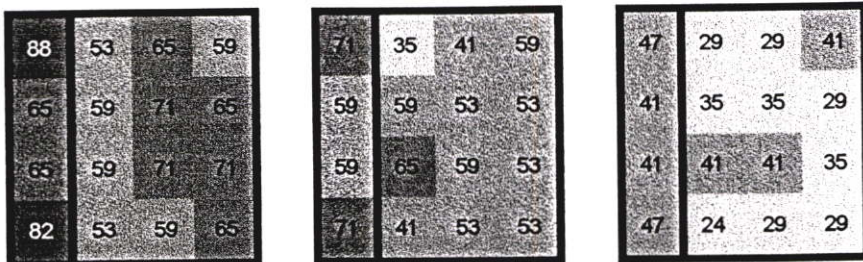
จากภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อลดขนาดช่องลมออกลง ปริมาณและความเร็วลมก็ลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 จะเห็นว่าการลดขนาดช่องลมออกมีผลต่อความเร็วลมภายในน้อยกว่ากรณีที่ลดขนาดช่องลมเข้า ข้อสังเกต คือ ลมที่ออกจากหน่วยทดลองมีความเร็วสูงมากขึ้น เมื่อลดขนาดช่องลมออกลง เนื่องจากลมถูกบีบอัดผ่านช่องแคบ จึงเคลื่อนที่เร็วขึ้นเช่นกัน

ชั้นที่สอง : ผลจากการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

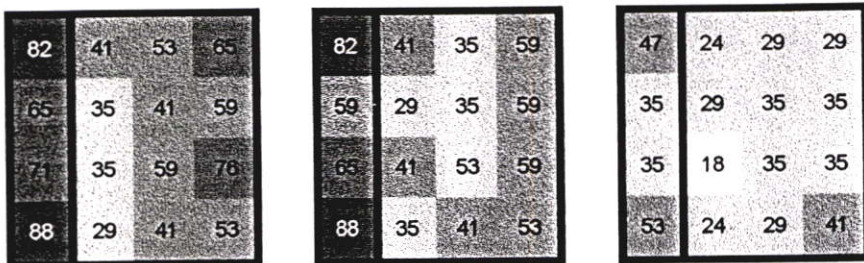
กรณีที่ 1 : ขนาดช่องลมเข้า



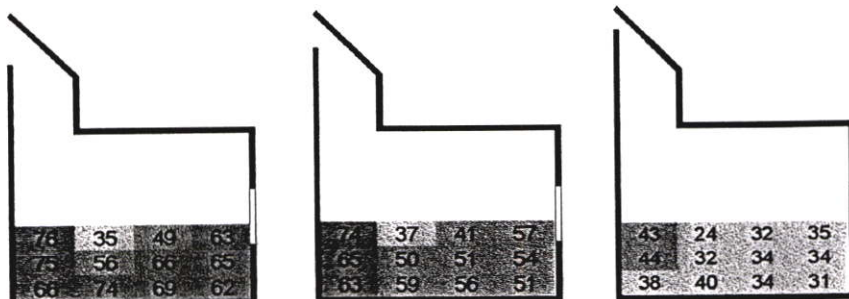
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



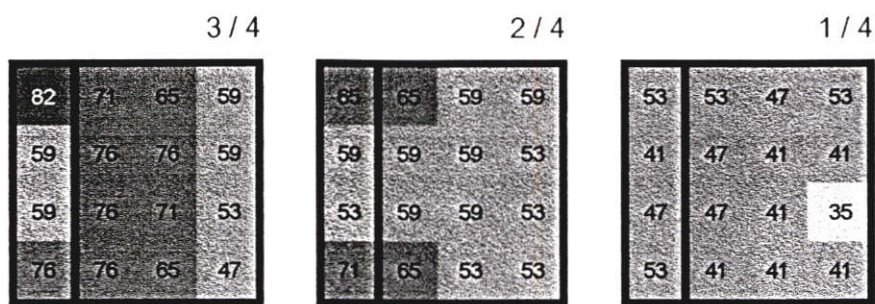
รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



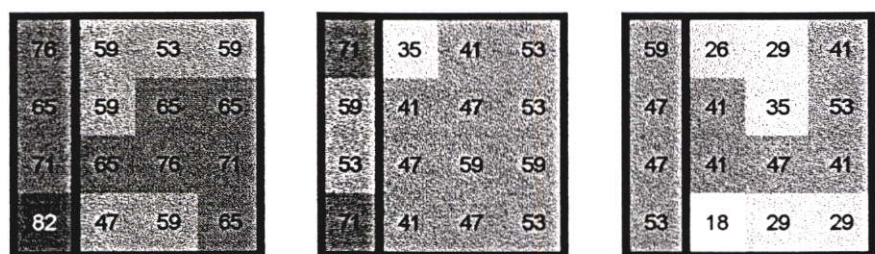
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.23 แสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้าเล็กลง

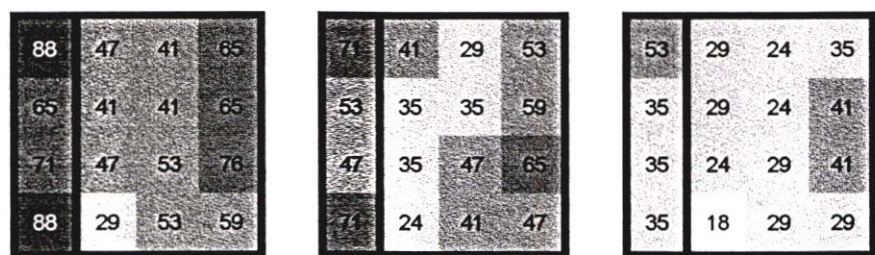
กรณีศึกษาที่ 2 : ขนาดปล่อง



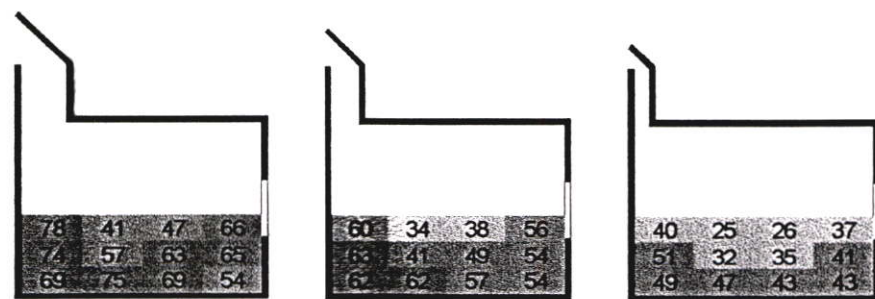
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



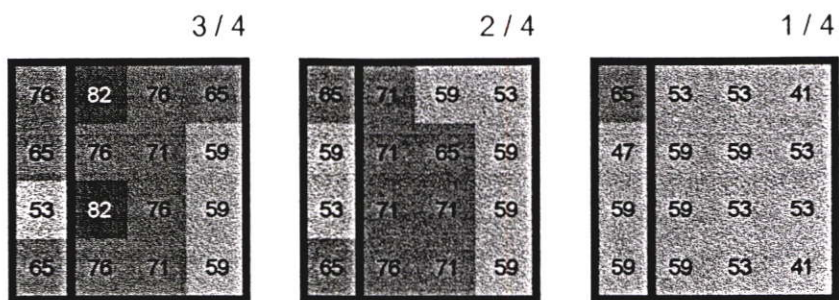
รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



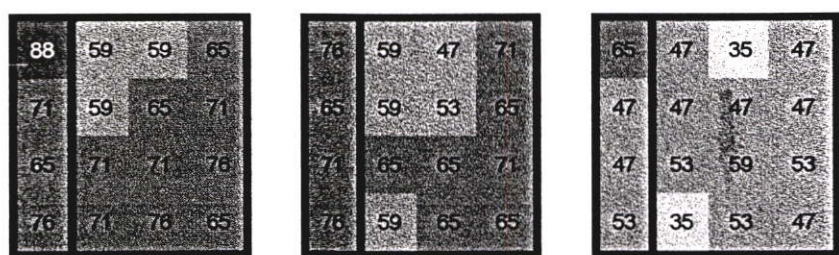
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.24 แสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง

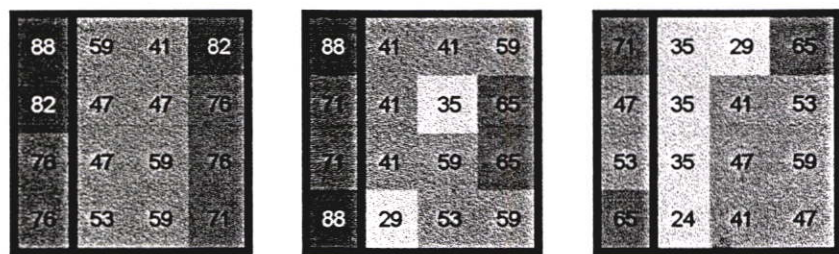
กรณี 3 : ขนาดช่องลมออก



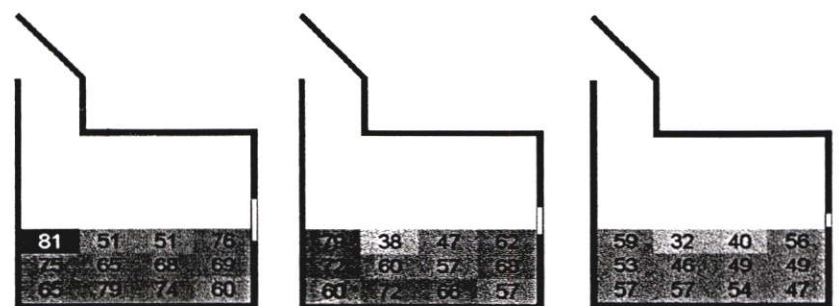
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



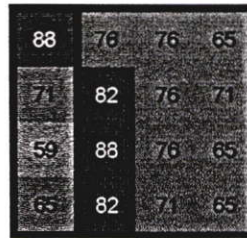
รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร



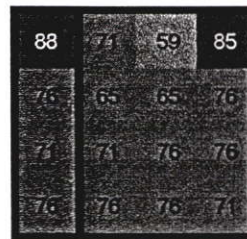
รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.25 แสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมออกเล็กน้อย

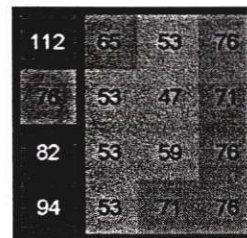
จากภาพ 6.23 – 6.25 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลม สอดคล้องกับผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ คือ การลดขนาดของช่องเปิด หรือเส้นทางการเคลื่อนที่ของลม มีผลให้ปริมาณ และความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลดลง โดยการลดขนาดช่องลมเข้าจะมีผลมากที่สุด ส่วนการลดขนาดช่องลมออกจะมีผลน้อยกว่า จากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มอีกหนึ่งกรณีเป็นกรณีที่ 4 (ภาพที่ 6.26) คือ ให้ขนาดช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และช่องเปิดลมออกมีขนาด 1 หน่วยเท่ากัน เพื่อเป็นกรณีต้นแบบ พบว่าความเร็วลมที่ได้จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีที่ 1–3



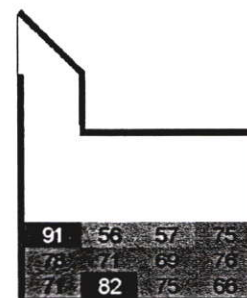
รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร



รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร












รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละระดับ

ภาพที่ 6.26 แสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้า ขนาดปล่อง และช่องลมออกเป็น 1 หน่วยเท่ากัน

6.4.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม สามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของช่องเปิดลมเข้า ปล่องลม และช่องเปิดลมออก ได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 6.3 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) เมื่อสัดส่วนขนาดช่องเปิดลมเข้า ปล่องลม และช่องลมออกเปลี่ยนไป

กรณีศึกษา	ลักษณะหุ่นจำลอง	ความเร็วลมเฉลี่ย (%)			
		ระดับ 0.5 ม	ระดับ 1.0 ม	ระดับ 1.5 ม	เฉลี่ย 3 ระดับ
กรณีที่ 1 ขนาดช่องลมเข้า	 3 / 4	68	66	56	63
	 2 / 4	57	55	52	55
	 1 / 4	35	36	33	35
กรณีที่ 2 ขนาดปล่อง	 3 / 4	67	65	58	63
	 2 / 4	59	52	47	53
	 1 / 4	45	40	32	39
กรณีที่ 3 ขนาดช่องลมออก	 3 / 4	69	69	65	68
	 2 / 4	64	65	57	62
	 1 / 4	54	49	47	50
กรณีที่ 4 กรณีต้นแบบ	ช่องเปิดลมเข้า ขนาดปล่อง และช่องเปิดลมออก มีขนาด 1 หน่วย	74	74	70	72

6.5 การทดลองครั้งที่ 3 : ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง

- | | | |
|--------------|---|---------------------------------------------------------------|
| ตัวแปรควบคุม | - | ทิศทางลม 0 องศา |
| | - | รูปแบบที่ดักลม โดยเลือกที่ดักลมแบบที่ 6 มาทดลอง เพื่อพัฒนาต่อ |
| | - | ขนาดช่องลมเข้า เท่ากับช่องลมออก |
| ตัวแปรศึกษา | - | ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง แบ่งเป็น 2, 3 และ 4 หน่วย ตามลำดับ |

6.5.1 วิธีการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด โดยกำหนดระยะเวลาลิกของหน่วยทดลองเป็น 3 ระยะ คือ ลิก 2, 3 และ 4 หน่วย ตามลำดับ

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

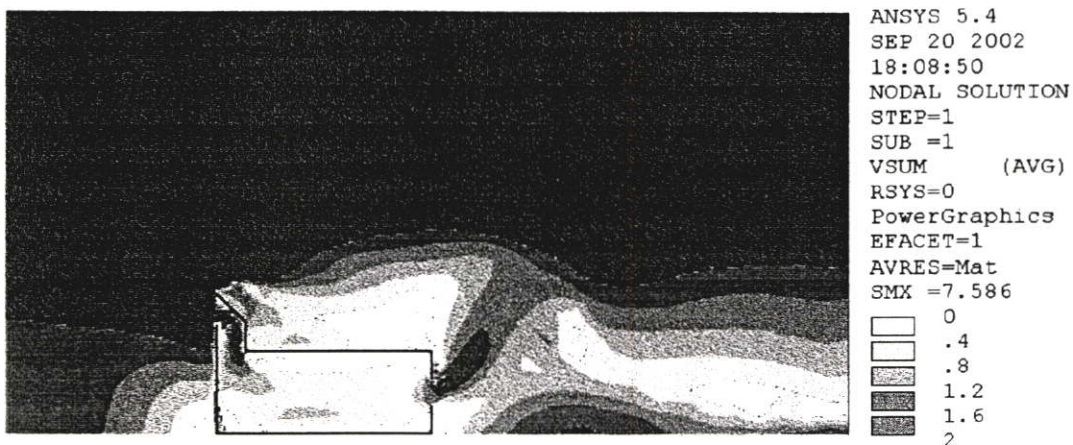
จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:10 ขนาดกว้าง 40 ซม. สูง 30 ซม. ความลิกแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 80, 120 และ 160 ซม. ตามลำดับ ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 5% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดช่องเปิดยาวตลอดความกว้างของหุ่นจำลอง

วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

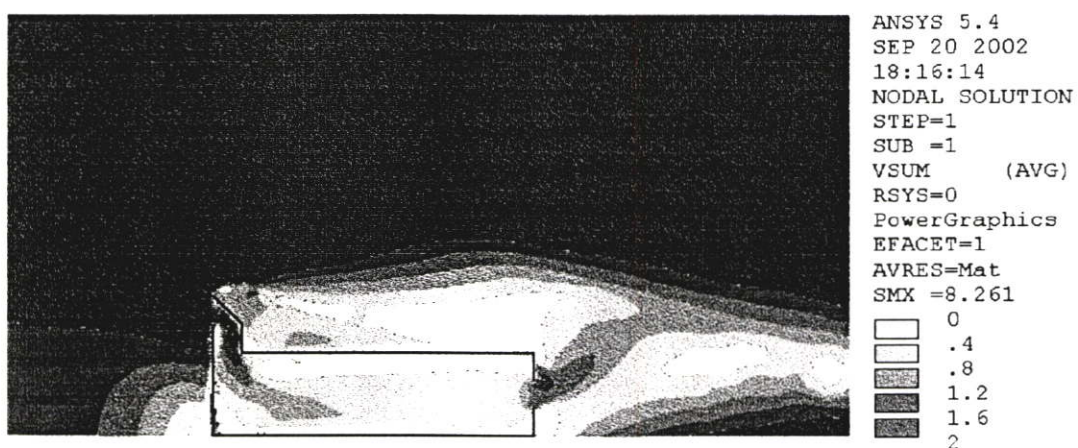
วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซนต์

6.5.2 ผลการทดลอง

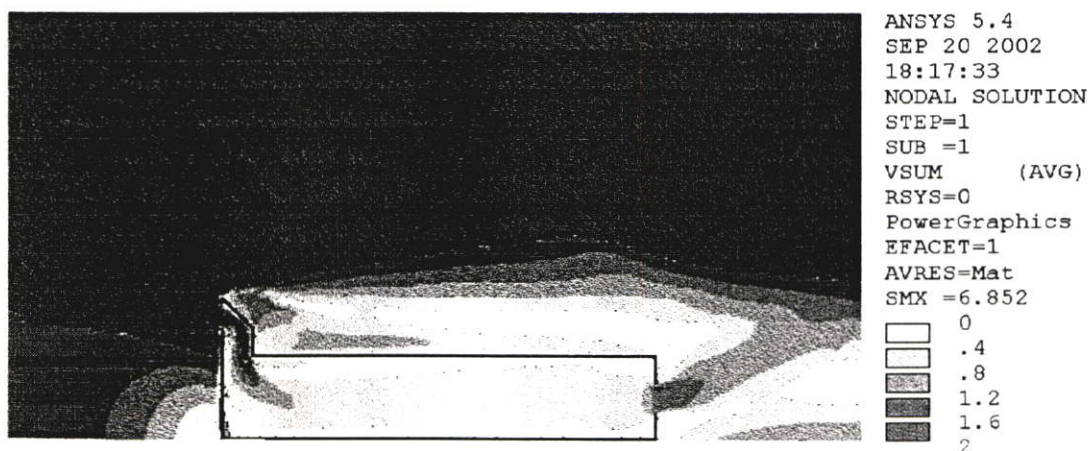
- | | | |
|---------------------|---|-------------------------------------------------|
| <u>ขั้นที่หนึ่ง</u> | : | ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ |
| กรณีที่ 1 | : | ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง 2 หน่วย ดังภาพที่ 6.27 |
| กรณีที่ 2 | : | ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง 3 หน่วย ดังภาพที่ 6.28 |
| กรณีที่ 3 | : | ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง 4 หน่วย ดังภาพที่ 6.29 |



ภาพที่ 6.27 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองเล็ก 2 หน่วย



ภาพที่ 6.28 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองเล็ก 3 หน่วย



ภาพที่ 6.29 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองเล็ก 4 หน่วย

จากภาพที่ 6.27 – 6.29 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ความเร็วลมภายในหน่วยทดลองจะอ่อนแรงลงไปตามระยะทางที่เคลื่อนที่ เนื่องจากถูกแรงเสียดทานจากผิวผนังภายในอาคารนั่นเอง

ชั้นที่สอง : ผลจากการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม
 กรณีที่ 1 : ระยะเวลาลิกของหน่วยทดลอง 2 หน่วย

76	82	71	59	53	59	47	47
53	76	65	65	65	65	53	53
53	71	71	65	65	65	53	53
71	76	71	59	59	59	47	41

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

88	65	59	59	41	41	53	47
71	65	65	53	47	47	53	53
71	65	59	65	65	53	53	53
82	59	65	59	53	47	53	41

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

94	35	35	35	35	41	41	53
76	29	29	47	41	53	47	47
76	41	35	53	47	53	47	47
88	35	35	41	41	53	35	41

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

84	35	34	44	41	50	43	47
78	63	62	59	51	47	53	49
63	76	69	62	60	62	50	49

รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ย แต่ละระดับ

ภาพที่ 6.30 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลอง ลีกร 2 หน่วย

กรณีที่ 2 : ระยะความลึกของหน่วยทดลอง 3 หน่วย

71	71	65	65	59	59	53	47	47	41	35	35
59	71	71	76	65	71	59	53	59	53	41	35
59	71	71	65	65	59	65	59	47	53	41	35
65	71	71	65	59	59	53	53	53	47	41	35

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

82	53	59	53	47	53	47	47	41	41	35	41
65	53	59	53	41	59	59	53	47	47	47	41
65	53	53	65	59	53	47	53	47	41	47	41
82	53	53	59	47	47	47	47	47	41	47	41

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

94	41	41	47	47	41	41	35	35	41	47	47
82	35	47	53	41	47	41	35	47	53	41	47
76	41	41	47	53	53	47	41	47	41	35	47
88	41	41	41	47	41	47	35	41	41	41	41

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

85	40	43	47	47	46	44	37	43	44	41	46
74	53	56	57	49	53	50	50	46	43	44	41
63	71	69	68	62	62	57	53	51	49	40	35

รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ย แต่ละระดับ

ภาพที่ 6.31 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึก 3 หน่วย

กรณีศึกษาที่ 3 : ระยะความลึกของหน่วยทดลอง 4 หน่วย

71	59	71	65	53	47	41	41	47	35	35	29	24	29	29	29
35	71	71	65	65	59	53	47	47	41	41	29	35	29	29	29
35	71	59	65	53	53	47	47	47	35	29	29	35	29	29	29
65	65	65	59	53	47	41	41	41	41	35	29	29	29	35	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

71	47	47	53	41	41	29	35	35	35	35	24	29	29	29	35
47	41	65	53	47	47	41	35	35	41	41	41	35	29	29	35
53	41	59	59	53	35	35	41	29	35	35	35	29	29	29	35
71	35	47	41	41	47	35	24	24	41	29	24	29	24	24	35

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

82	29	35	35	29	29	29	24	41	35	24	29	29	29	29	35
65	24	29	41	41	41	41	35	41	29	35	29	35	24	29	35
71	24	29	35	24	35	35	35	35	35	29	35	29	29	29	35
82	24	29	29	29	35	24	29	18	24	24	29	24	29	29	35

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

75	25	31	35	31	35	32	31	34	31	28	31	29	28	29	35
61	41	55	52	46	43	35	34	31	38	35	31	31	28	28	35
52	67	67	64	56	52	46	44	46	38	35	29	31	29	31	29

รูปตัด แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ย แต่ละระดับ

ภาพที่ 6.32 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองลึก 4 หน่วย

จากภาพที่ 6.30 – 6.32 แสดงความเร็วลมภายในหน่วยทดลองด้วยอุโมงค์ลม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ มีความสอดคล้องกัน คือ ความเร็วลมลดลงเมื่ออาคารมีความลึกมากขึ้น โดยความเร็วลมจะมีความสม่ำเสมอในระยะความลึก 2 หน่วย จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง

6.5.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม สามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะความลึกของหน่วยทดลองเป็น 3 ระยะ ได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 6.4 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ภายในหน่วยทดลองที่มีระยะลึกต่างกัน

กรณีศึกษา	ระดับที่วัด	หน่วยที่ 1	หน่วยที่ 2	หน่วยที่ 3	หน่วยที่ 4	
กรณีศึกษา 2 หน่วย	0.5 ม	68	55			
	1.0 ม	66	50			
	1.5 ม	49	45			
	เฉลี่ย 3 ระดับ	61	50			56
กรณีศึกษา 3 หน่วย	0.5 ม	68	59	44		
	1.0 ม	60	50	43		
	1.5 ม	54	43	43		
	เฉลี่ย 3 ระดับ	61	51	43		52
กรณีศึกษา 4 หน่วย	0.5 ม	62	49	37	30	
	1.0 ม	52	39	34	30	
	1.5 ม	41	32	31	30	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	52	40	34	30	39

6.6 การทดลองครั้งที่ 4 : การกระจายลมภายในหน่วยทดลองหลายชั้น

ตัวแปรควบคุม

- ทิศทางลม 0 องศา
- รูปแบบที่ดักลม โดยเลือกที่ดักลมแบบที่ 6 มาทดลอง เพื่อพัฒนาต่อ
- ความสูงหน่วยทดลองกำหนดเป็น 4 ชั้น
- ระยะความลึกของหน่วยทดลองกำหนดเป็น 4 หน่วย
- ช่องลมเข้าจากภายนอก เท่ากับช่องลมออก

- ตัวแปรศึกษา - เทคนิคการกระจายลมภายในหน่วยทดลองแต่ละชั้น โดยกำหนดสัดส่วนช่องลมเข้าจากปล่องภายในแต่ละชั้นเป็นกรณีต่างๆ

6.6.1 วิธีการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด แบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง
 กรณีที่ 2 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง
 กรณีที่ 3 : ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของหน่วยทดลองที่มีที่ดักลมแบบที่ 6 แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:20 ขนาด 20 x 80 ซม. สูง 4 ชั้น ชั้นละ 15 ซม. รวมเป็น 60 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 5% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม) ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขนาดช่องเปิดยาวตลอดความกว้างของหุ่นจำลอง

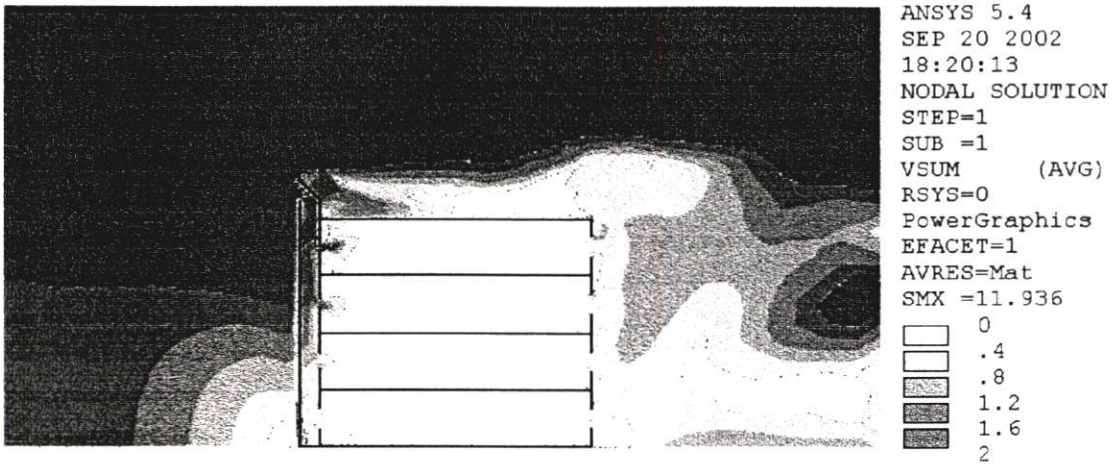
วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

6.6.2 ผลการทดลอง

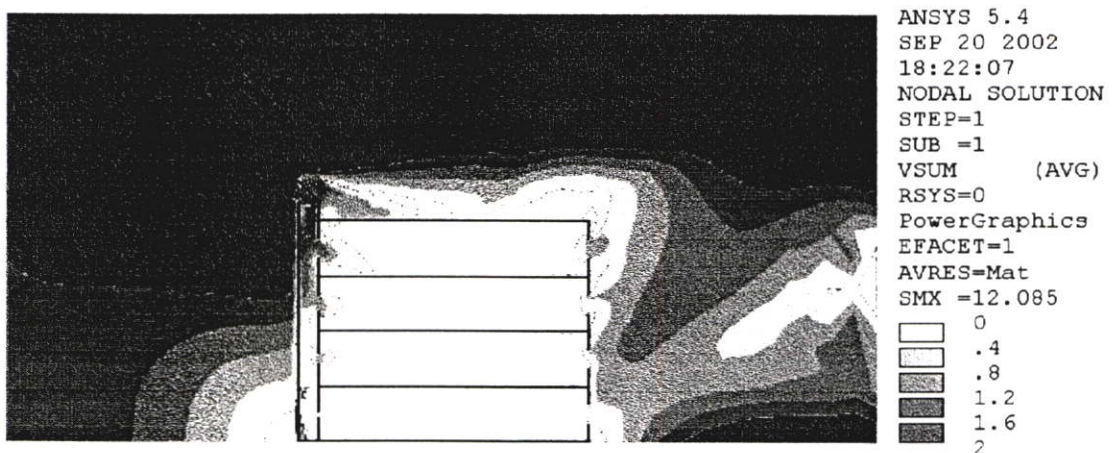
ขั้นที่หนึ่ง : ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

- กรณีที่ 1 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง
 กรณีที่ 2 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง
 กรณีที่ 3 : ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน



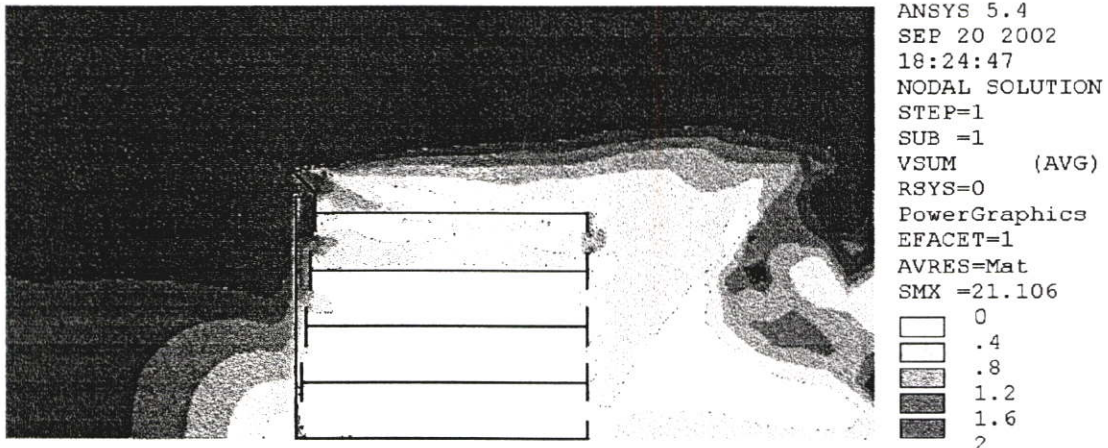
ภาพที่ 6.33 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง

จากภาพที่ 6.33 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลอง 4 ชั้น พบว่า แบบที่ 1 ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง มีความเร็วลมภายในไม่สูงนัก ประมาณ 0 – 15% ของลมต้น แต่มีความสม่ำเสมอหมดทั้ง 4 ชั้น เนื่องจากปริมาณลมต้น 100% ได้ถูกแบ่งจ่ายเข้าแต่ละชั้นตามขนาดช่องเปิดภายใน เมื่อชั้นบนมีขนาดช่องเปิดภายในเล็กที่สุด (1/4) ปริมาณลมที่ถูกแบ่งจึงไม่มาก ปริมาณลมที่เหลือก็ได้ถูกจ่ายไปยังชั้นถัดลงมา ซึ่งมีขนาดช่องเปิดภายในใหญ่ขึ้น (2/4, 3/4 และ 4/4) ตามลำดับ ช่องเปิดที่ใหญ่ขึ้นในชั้นล่างๆ ไม่ได้ทำให้ปริมาณลมเคลื่อนที่เข้ามามากกว่าชั้นบน เนื่องจากลมสูญเสียแรงขณะเคลื่อนที่ผ่านปล่องอยู่แล้ว ทำให้แรงลมในปล่องชั้นล่างๆ ต่ำลง การเปิดช่องเปิดใหญ่เป็นการสร้างความสมดุล จึงทำให้ปริมาณลมเฉลี่ยแต่ละชั้นมีความสม่ำเสมอ



ภาพที่ 6.34 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

แบบที่ 2 (ภาพที่ 6.34) ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง มีความเร็วลมภายในทั้ง 4 ชั้น ไม่สม่ำเสมอ โดยชั้นบนมีปริมาณ และความเร็วลมมากที่สุด และน้อยลงในชั้นถัดลงมา เนื่องจากหลักการเดียวกัน คือ ปริมาณลมต้น 100% ได้ถูกแบ่งจ่ายเข้าชั้นบนมากกว่า เพราะมีขนาดช่องเปิดใหญ่ที่สุด (4/4) ปริมาณลมต้นที่เหลือน้อยลงก็ถูกจ่ายไปยังชั้นถัดลงมา ปริมาณ และความเร็วลมภายในแต่ละชั้นจึงน้อยลงเรื่อยๆ



ภาพที่ 6.35 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

แบบที่ 3 (ภาพที่ 6.35) ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง แต่ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากันทั้ง 4 ชั้น ผลการทดลองมีลักษณะเดียวกับแบบที่ 2 เนื่องจากเส้นทางเดินลม หรือปล่องมีขนาดเล็กลง เป็นผลให้ชั้น 4 มีความเร็วลมมากที่สุด หากเปรียบเทียบกับแบบที่ 2 จะเห็นว่า การลดขนาดปล่องให้เล็กลง มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในมากกว่าการลดขนาดช่องเปิดภายใน

จากผลการทดลองทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติมในคอมพิวเตอร์ กรณีที่ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากันทั้ง 4 ชั้น เป็นกรณีที่ 4 และทำการทดลองการแยกชั้นนำลมเข้าภายใน เป็นกรณีย่อยอีก 6 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 4 : ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากภายในปล่องเท่ากันทุกชั้น (เปิดทุกชั้น)

กรณีที่ 4.1 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 1

กรณีที่ 4.2 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 2

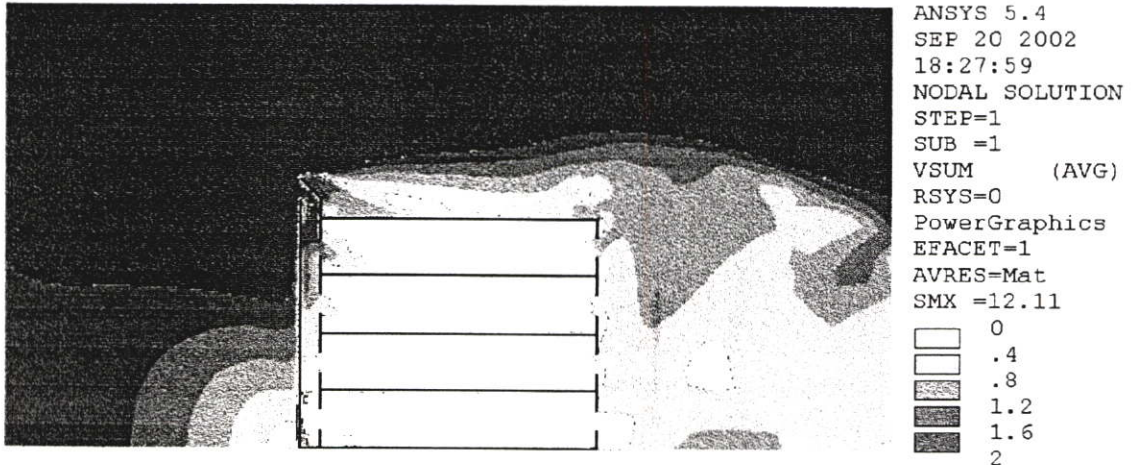
กรณีที่ 4.3 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 3

กรณีที่ 4.4 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 4

กรณีที่ 4.5 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 1 และ 2

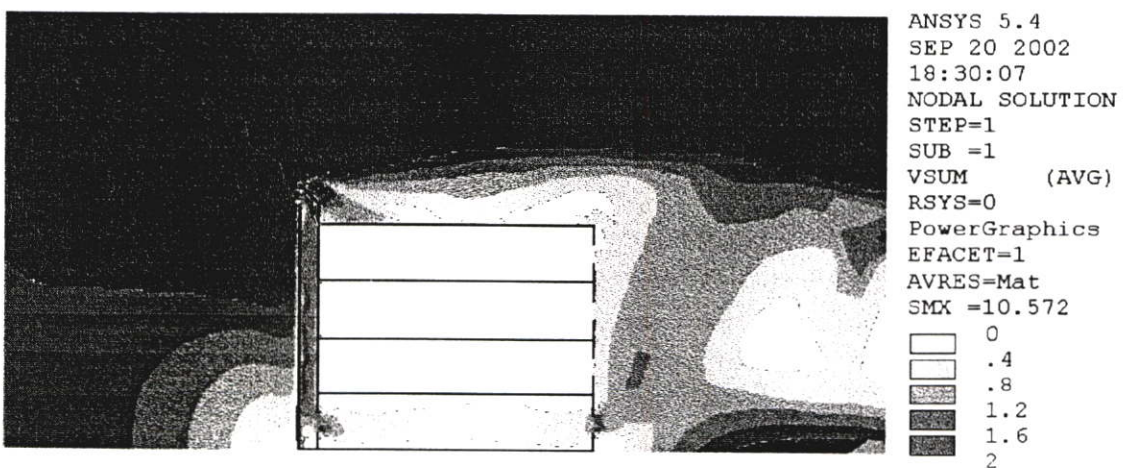
กรณีที่ 4.6 เปิดช่องลมเข้าจากภายใน เฉพาะชั้นที่ 3 และ 4

ได้ผลการทดลองดังนี้

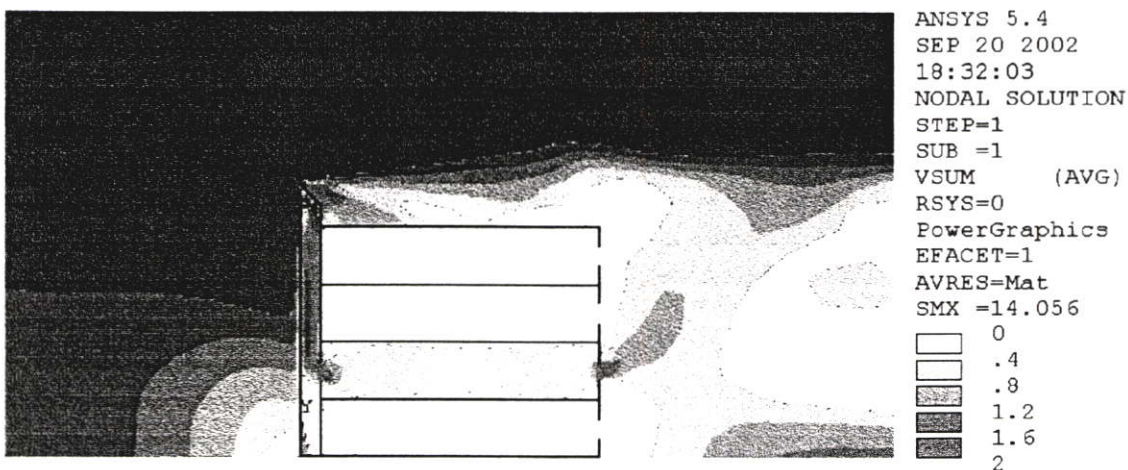


ภาพที่ 6.36 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากปล่องเท่ากันทุกชั้น (เปิดทุกชั้น)

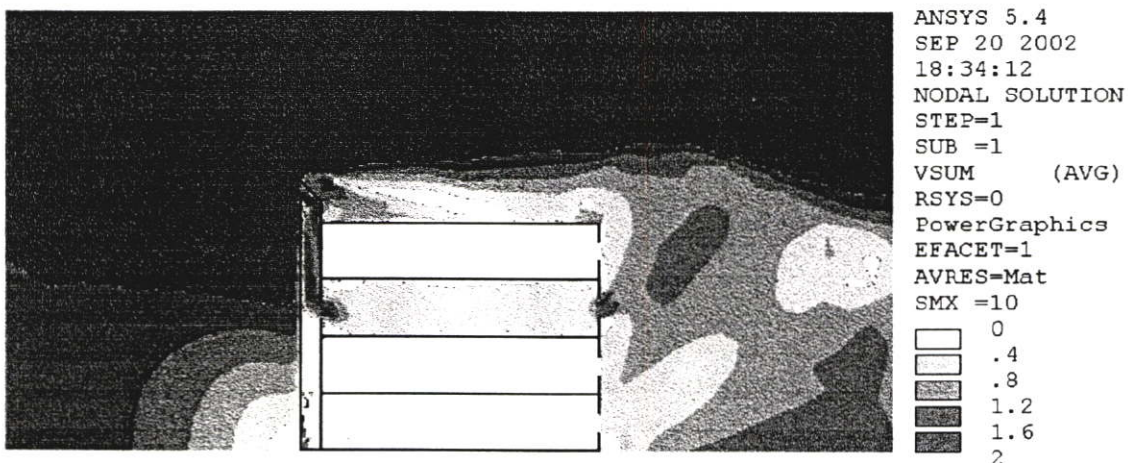
จากภาพที่ 6.36 แสดงผลการเคลื่อนที่ของลมภายใน มีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ 2 มาก คือ ปริมาณลมในชั้นที่สูงกว่า จะมากกว่าในชั้นถัดลงมา



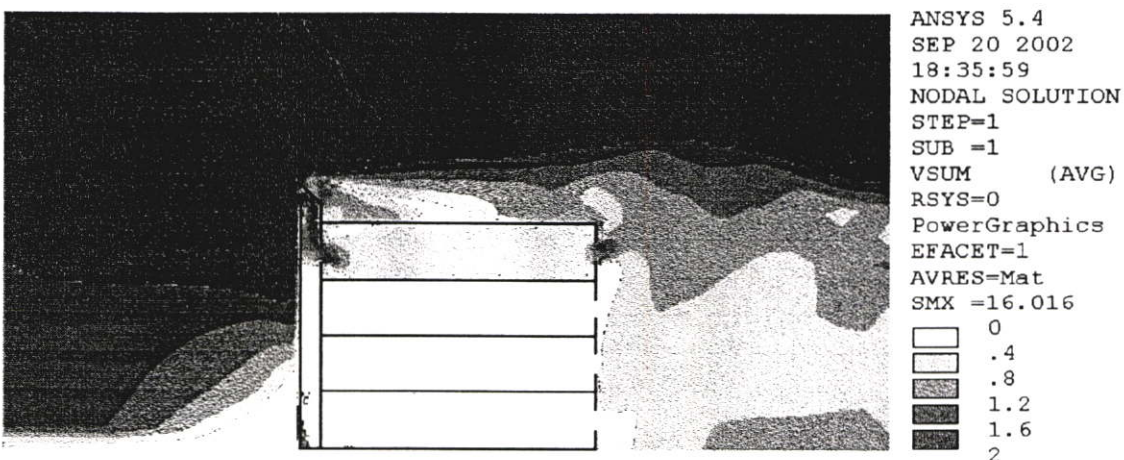
ภาพที่ 6.37 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1



ภาพที่ 6.38 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้า จากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 2

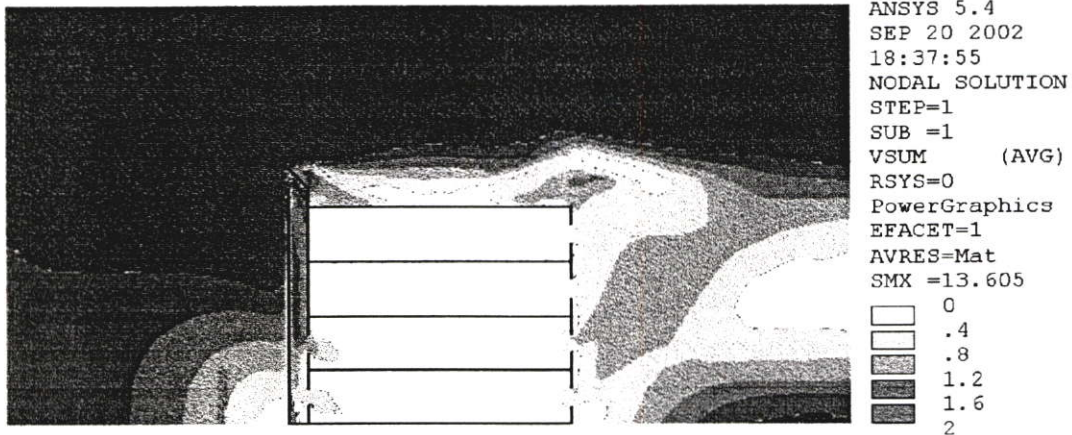


ภาพที่ 6.39 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้า จากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3

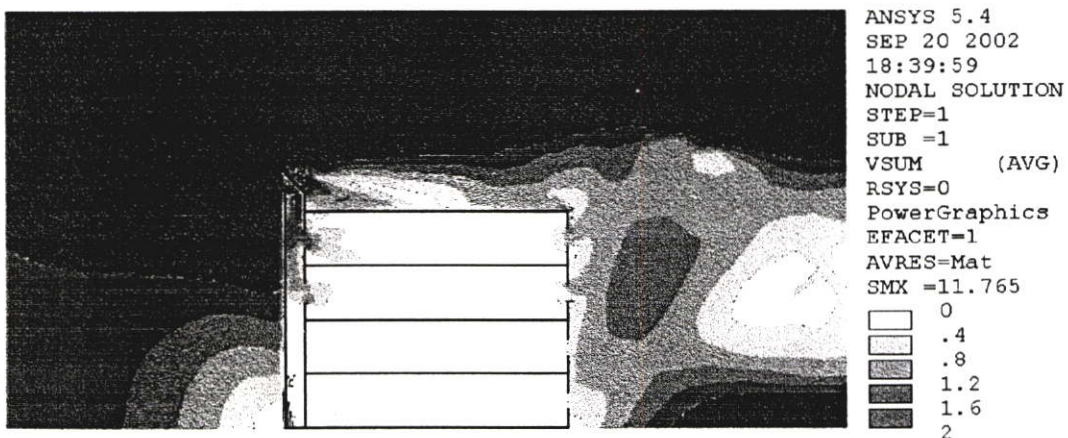


ภาพที่ 6.40 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้า จากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 4

จากภาพที่ 6.37 – 6.40 แสดงผลการเคลื่อนที่ของลมภายใน เมื่อมีการแยกเปิดช่องลมภายในแต่ละชั้น พบว่า ชั้นที่เปิดช่องเปิดมีความเร็วลมภายในสูงขึ้น เนื่องจากได้รับปริมาณลมทั้งหมดจากปล่อง หากเปรียบเทียบกันทั้ง 4 ชั้น พบว่ามีความเร็วลมใกล้เคียงกัน โดยในชั้นที่สูงกว่ามีความเร็วลมสูงกว่าเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของลมสั้นกว่า จึงสูญเสียแรงอันเกิดจากแรงเสียดทานของปล่องน้อยกว่า



ภาพที่ 6.41 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2



ภาพที่ 6.42 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่อง และขนาดช่องลมเข้าจากปล่องเท่ากันทุกชั้น กรณีเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4

จากภาพที่ 6.41 – 6.42 แสดงผลการเคลื่อนที่ของลมภายใน เมื่อกำหนดให้เปิดช่องเปิดภายในที่ละ 2 ชั้น ผลเป็นไปตามทฤษฎี คือ ปริมาณลมต้น 100% ถูกแบ่งเป็นสองส่วน ทำให้ความเร็วลมภายในสูงกว่ากรณีที่เปิดช่องเปิดภายในทั้ง 4 ชั้น แต่ต่ำกว่ากรณีที่แยกเปิดทีละชั้น เมื่อเปรียบเทียบการเปิดช่องเปิด 2 ชั้นบน กับ 2 ชั้นล่าง ชั้นบนจะมีความเร็วลมมากกว่า เนื่องจากมีระยะทางการเคลื่อนที่ และแรงเสียดทานน้อยกว่าเช่นกัน

ชั้นที่สอง : ผลจากการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม
 กรณีที่ 1 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง

53	29	53	47	47	41	41	41	35	35	35	29	29	29	29	24
35	35	47	47	53	47	41	47	41	41	35	29	29	29	29	24
29	29	47	53	53	47	47	41	41	41	35	35	29	29	29	29
35	29	53	47	47	41	47	41	41	41	35	29	29	29	29	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

41	47	47	41	35	35	41	35	35	35	24	29	35	29	29	29
29	65	41	41	41	35	41	35	35	29	24	29	29	24	29	29
29	59	53	47	41	47	35	41	35	35	29	24	29	29	29	29
41	53	53	47	41	35	35	41	35	35	29	29	35	29	29	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

59	53	24	29	24	29	29	35	35	29	29	24	29	29	24	29
35	53	35	35	24	29	29	24	24	24	24	24	29	24	24	29
35	53	47	35	29	35	29	29	29	24	29	24	29	24	24	29
47	53	47	41	29	29	29	29	35	35	29	24	29	29	24	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.43 ผังชั้น 1 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง

65	35	47	47	53	53	41	41	35	29	29	29	18	24	18	18
47	35	53	53	53	53	47	47	35	35	35	24	24	24	18	24
41	35	47	53	53	53	47	41	35	35	35	24	18	24	12	18
59	29	47	47	41	53	47	41	41	35	29	18	24	24	24	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

65	59	35	35	35	41	35	35	35	35	29	29	24	18	18	24
53	65	41	29	41	41	29	35	35	29	35	29	24	24	18	18
47	59	41	35	35	35	35	35	29	29	29	29	18	24	18	18
59	59	35	35	35	41	35	35	35	35	35	29	24	18	18	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

59	41	24	24	24	29	29	35	35	29	24	29	24	24	18	18
53	41	24	24	24	24	24	35	24	24	24	24	18	24	24	24
53	53	24	24	24	24	29	24	29	24	18	29	24	24	24	24
65	35	18	18	24	24	35	35	29	29	29	24	24	24	18	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.44 ผังชั้น 2 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง

71	18	41	41	41	41	35	29	12	24	12	6	6	6	12	12
53	24	41	41	41	41	35	24	18	6	6	6	6	6	6	6
59	24	35	47	41	41	35	29	12	6	6	6	6	6	6	6
65	24	35	35	35	41	29	24	18	12	6	6	6	6	6	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

71	53	35	24	24	29	35	29	24	24	24	12	18	18	12	18
53	59	24	29	24	29	29	29	24	24	12	6	12	12	12	12
53	47	29	24	29	29	24	24	24	18	6	6	6	6	6	6
59	59	29	24	18	18	29	29	24	12	12	6	12	6	6	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

71	18	24	24	24	18	24	24	24	24	24	12	18	18	18	18
59	18	18	24	12	18	24	24	18	24	12	18	12	18	12	12
65	24	18	18	12	18	24	24	24	18	12	12	6	12	6	18
71	18	18	18	18	24	24	24	24	18	6	18	6	6	6	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.45 ผังชั้น 3 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่อง
ภายในใหญ่ขึ้นจากชั้นบนลงล่าง

82	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
65	6	6	6	6	6	6	6	12	6	6	6	6	6	12	6
65	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	12	6	6	6	6
88	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

82	12	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
71	6	6	6	6	6	6	6	12	12	6	6	6	6	6	12
71	12	18	6	6	6	12	6	6	6	6	6	12	12	6	12
82	12	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

59	18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
53	24	6	6	6	6	12	6	12	12	12	6	6	6	12	12
65	35	24	12	6	12	12	6	12	6	12	12	12	6	12	12
82	35	18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.46 ผังชั้น 4 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่อง
ภายในใหญ่ขึ้น จากชั้นบนลงล่าง

66	28	14	8	6	8	9	6	9	8	9	8	8	6	9	9
77	11	12	6	6	6	8	6	8	8	6	6	8	8	6	9
75	6	6	6	6	6	6	6	8	6	6	8	6	6	8	6
67	20	20	21	17	20	24	24	23	21	14	18	9	14	11	15
59	55	29	25	24	26	29	28	24	20	14	8	12	11	9	12
62	23	38	41	40	41	34	27	15	12	8	6	6	6	8	8
58	43	23	23	24	25	29	32	29	27	24	27	23	24	21	23
56	61	38	34	37	40	34	35	34	32	32	29	23	21	18	20
53	34	49	50	50	53	46	43	37	34	32	24	21	24	18	18
44	53	38	35	27	31	29	29	31	28	28	24	29	27	24	29
36	56	49	44	40	38	38	38	35	34	27	28	32	28	29	29
38	31	50	49	50	44	44	43	40	40	35	31	29	29	29	25

ภาพที่ 6.47 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในใหญ่ขึ้นจากชั้นบนลงล่าง

จากภาพที่ 6.43 – 6.47 แสดงผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลม พบว่าไม่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ คือ ในแต่ละชั้นความเร็วลมไม่สม่ำเสมอ ชั้นบน ซึ่งมีช่องเปิดภายในเล็กกว่า จะมีความเร็วลมต่ำกว่าชั้นล่าง ซึ่งมีช่องเปิดภายในใหญ่กว่า ทั้งนี้ เป็นไปได้ว่า สัดส่วนระหว่างขนาดช่องเปิดในชั้นบน กับความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกัน ลมที่แรงจะเคลื่อนที่ไปยังช่องทางที่ง่ายกว่า คือ ชั้นล่าง นอกจากนี้ บริเวณปากช่องเปิดชั้นบน อาจเกิดการส้าลักอากาศ คือ ลมไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปภายในได้ทัน จึงส้าลักออกมา อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ D Robinson, et.al ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิด และแตกต่างของความกดดันอากาศในชั้นต่างๆ กับความกดดันอากาศภายนอก

D Robinson, et.al สรุปว่า สำหรับอาคารหลายชั้น ชั้นล่างจะมีความกดดันอากาศต่ำสุด เมื่อเทียบกับความกดดันอากาศภายนอก จึงมีความแตกต่างกันมากที่สุด เป็นผลให้อากาศมีแรงเคลื่อนที่ไปยังชั้นล่างได้มากกว่าชั้นบน ดังนั้น สัดส่วนของช่องเปิดที่แนะนำ คือ เปิดช่องเปิดชั้นล่างให้เล็กกว่าชั้นบน เพื่อสร้างความสมดุล ในการเคลื่อนที่ของอากาศภายในทั้ง 4 ชั้น ทั้งนี้ ผู้วิจัยเชื่อว่า ผลจากการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์นั้น ยังละเอียดตัวแปร หรือความเป็นไปได้ บางอย่างออกไป ทำให้ผลที่ได้ไม่ตรงกับผลการทดลองแบบ 3 มิติในอุโมงค์ลม

กรณี 2 : ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

29	41	35	41	35	35	29	18	18	12	12	18	6	12	12	12
41	24	35	41	35	35	35	18	18	24	12	18	12	12	12	12
24	29	24	41	35	35	29	29	24	18	18	18	12	18	18	12
29	18	35	29	35	35	29	29	24	18	24	18	18	18	18	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

35	35	41	35	29	24	24	24	18	12	24	12	18	12	12	18
24	24	47	41	24	29	24	24	24	18	24	18	18	12	12	18
29	24	47	47	29	29	35	29	24	18	18	18	24	18	12	18
24	18	47	41	35	35	29	24	29	24	18	18	18	18	18	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

48	59	35	29	24	24	18	18	18	18	18	12	12	12	12	18
29	71	41	41	24	18	18	24	24	18	12	18	18	12	18	18
18	65	47	47	35	24	24	24	18	18	18	18	18	18	12	24
29	65	47	41	35	29	29	24	18	24	18	18	18	18	18	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.48 ผังชั้น 1 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

59	29	47	6	41	47	47	41	41	35	41	29	29	18	29	24
41	35	53	47	47	47	47	41	41	29	35	29	24	24	24	18
35	35	53	53	41	47	41	35	29	35	35	29	24	18	24	18
47	24	53	47	47	41	41	41	35	35	35	29	29	29	29	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

59	59	47	35	41	35	35	35	35	35	35	29	35	18	24	24
35	59	53	47	41	35	35	35	29	29	29	29	29	18	24	24
35	65	47	41	35	41	29	35	35	35	35	29	29	18	24	24
47	65	59	35	41	41	29	29	35	41	35	29	24	24	35	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

65	65	29	24	29	29	29	24	35	29	29	29	29	18	24	
47	65	53	24	24	29	29	18	29	24	35	24	29	18	29	29
53	65	35	24	24	24	24	24	24	29	29	24	24	18	24	29
53	53	35	29	29	24	18	24	29	35	29	35	24	29	24	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.49 ผังชั้น 2 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

76	29	53	53	53	53	47	41	47	41	35	35	24	29	29	18
59	29	59	47	47	53	47	41	41	35	29	29	24	12	18	29
65	29	59	53	47	47	47	41	35	41	29	24	24	18	24	12
71	29	59	47	53	47	47	41	41	41	35	29	29	18	24	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

76	71	35	41	35	41	35	35	47	41	35	35	24	29	24	29
53	71	47	24	35	35	35	35	35	35	35	24	29	24	24	35
59	71	41	29	35	29	35	41	41	35	24	24	29	24	24	24
71	71	35	29	35	41	35	35	41	35	29	29	29	29	24	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

71	29	24	24	24	29	35	24	35	35	35	35	29	29	29	
59	29	24	24	24	24	29	29	29	29	29	24	24	24	24	24
53	35	29	29	24	29	29	24	35	24	18	24	24	24	18	29
71	29	29	24	18	29	29	29	29	29	29	29	29	24	24	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.50 ผังชั้น 3 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่อง
ภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

88	47	41	35	29	29	24	24	6	6	6	6	12	12	6	12
65	41	35	35	35	29	18	12	6	6	12	6	6	6	6	6
76	47	41	35	41	29	18	12	12	6	12	6	6	6	6	6
88	53	41	35	35	29	24	12	12	12	6	6	6	6	6	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

88	35	24	29	29	29	29	24	18	12	12	6	6	6	6	12
59	65	24	24	29	29	24	12	6	6	6	6	6	12	6	12
65	53	24	24	29	18	18	18	6	6	12	6	6	12	12	12
76	29	18	18	29	24	18	12	6	6	6	12	12	12	6	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

94	24	29	24	29	24	18	24	29	12	12	12	6	18	6	12
65	24	24	24	24	24	18	12	6	6	6	6	12	12	12	12
65	24	24	24	24	35	18	12	12	6	6	6	6	12	12	12
82	24	29	24	29	24	24	12	24	12	12	6	12	12	12	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.51 ผังชั้น 4 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่อง
ภายในเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง

77	24	27	24	27	27	20	15	18	9	9	8	9	14	11	14
72	46	23	24	29	25	22	17	9	8	9	8	8	11	8	14
79	47	40	35	35	29	21	15	9	8	9	6	8	8	6	9
64	31	27	25	23	28	31	27	32	29	28	28	28	25	24	28
65	71	40	31	35	37	35	37	41	37	31	28	28	27	24	28
68	29	58	50	50	50	47	41	41	40	32	29	25	19	24	21
55	62	38	25	27	27	25	23	29	29	31	28	27	24	24	28
44	62	52	40	40	38	32	34	34	35	34	29	29	20	27	24
46	31	52	38	44	46	44	40	37	34	37	29	27	22	27	20
31	65	43	40	30	24	22	23	20	20	17	17	17	15	15	21
28	25	46	41	29	29	28	25	24	18	21	17	20	15	14	20
31	28	32	38	35	35	31	24	21	18	17	18	12	15	15	14

ภาพที่ 6.52 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายใน เล็กลงจากชั้นบนลงล่าง

จากภาพที่ 6.48 – 6.52 แสดงผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลม พบว่า ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมใน 3 ชั้นล่าง มีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แต่ในชั้นที่ 4 ยังคงมีปริมาณลมน้อยกว่าชั้นอื่นๆ อยู่ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเป็นเพราะความแตกต่างระหว่างความกดดันอากาศภายนอก กับภายในชั้นที่ 4 น้อยกว่าชั้นอื่นๆ ทำให้มีแรงในการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยกว่าด้วย

หากเปรียบเทียบผลการทดลองกรณีนี้ กับกรณีที่ 1 จะเห็นว่า ในภาพรวม ผลการเคลื่อนที่ของอากาศภายในโดยเฉลี่ยของกรณีที่ 2 ดีกว่ากรณีที่ 1 เล็กน้อย โดยเฉพาะชั้น 3 และ 4

สำหรับการทดลองชั้นต้นนี้ ชี้ให้เห็นว่า ชั้นที่มีปัญหาในการนำลมเข้ามา คือ ชั้นบนสุด กับชั้นล่างสุด ซึ่งควรนำมาพิจารณาในการออกแบบเป็นสำคัญ

กรณี 3 : ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่อง
ภายในมีขนาดเท่ากัน

35	35	29	29	29	29	24	24	12	18	18	12	12	12	12
41	35	29	29	29	29	24	24	12	18	18	12	12	12	12
41	35	35	35	29	29	24	24	12	12	18	12	12	12	12
41	35	29	29	35	35	29	29	18	18	18	18	18	12	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

41	24	24	24	24	29	24	18	18	18	18	12	18	18	18
35	24	24	18	29	24	24	18	24	18	24	12	18	12	18
41	29	24	29	24	24	18	18	18	18	18	24	18	12	18
41	29	18	24	24	29	29	24	24	24	24	18	18	12	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

47	12	12	12	18	18	18	18	18	18	18	18	12	12	12	24
47	18	18	18	24	12	18	18	18	12	18	18	12	12	12	18
47	18	12	12	18	18	12	24	18	24	18	18	12	18	18	18
47	12	12	18	24	18	18	18	24	24	18	18	18	18	18	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.53 ผังชั้น 1 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบน
ลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

53	47	35	41	41	47	41	35	29	41	29	29	18	24	18	12
47	47	41	41	41	47	35	41	29	29	24	29	18	18	18	12
53	47	41	41	41	41	41	35	35	29	29	29	18	18	18	18
53	41	41	35	41	35	41	35	41	29	35	29	24	18	18	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

59	18	24	18	18	29	35	35	29	35	24	24	24	24	18	18
53	29	18	18	29	35	29	29	24	35	24	24	29	18	18	24
47	29	29	29	29	35	34	29	29	29	24	24	24	18	18	18
59	18	24	24	24	29	29	35	29	35	29	29	24	18	24	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

71	18	12	18	18	18	24	29	24	24	29	24	24	24	18	24
59	18	24	18	12	12	18	24	24	24	29	18	29	24	12	24
53	24	18	18	18	24	18	29	18	29	29	24	24	18	18	24
59	18	18	18	18	18	24	29	24	29	29	29	24	24	18	24

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.54 ผังชั้น 2 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบน
ลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

76	59	53	53	53	59	53	47	47	47	35	29	35	29	29	18
59	53	59	53	53	53	47	41	41	35	35	29	24	18	29	18
59	59	59	47	47	53	53	47	35	29	35	24	29	18	18	18
65	53	47	47	53	53	47	47	47	41	35	35	29	29	18	18

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

76	41	29	29	41	41	41	47	41	35	41	29	35	35	35	35
59	47	35	29	35	41	35	41	35	29	35	29	24	29	24	35
53	47	35	35	41	35	41	35	41	29	35	35	29	24	24	29
71	35	29	29	41	41	41	41	41	35	35	29	24	24	29	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

82	24	24	24	29	29	29	35	35	29	35	29	35	35	24	35
65	18	24	24	18	24	24	35	35	24	24	24	18	29	29	29
65	18	24	29	24	24	24	35	29	24	18	29	18	24	24	24
76	18	18	18	29	24	29	29	35	29	24	29	35	29	35	29

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.55 ผังชั้น 3 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

88	41	41	47	41	29	18	24	12	12	12	12	6	6	12	6
76	47	47	41	41	18	18	18	12	12	12	6	6	6	6	12
76	47	41	47	47	24	24	18	12	12	6	8	6	6	6	6
88	41	35	35	35	29	18	12	12	6	6	6	6	6	6	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 0.5 เมตร

100	24	24	18	29	35	24	24	18	12	12	12	6	12	12	18
94	24	18	18	35	24	24	18	12	12	6	6	6	6	12	12
82	24	18	24	29	18	18	12	12	12	6	6	6	6	6	12
100	35	24	29	29	24	18	12	12	12	6	6	6	6	12	6

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.0 เมตร

100	29	24	29	24	24	18	18	18	18	12	12	6	12	6	12
76	29	29	29	35	18	24	18	12	12	12	12	12	12	6	12
71	29	18	24	29	18	18	12	12	6	12	6	6	6	6	12
82	29	29	35	24	24	24	12	12	12	6	12	6	12	12	12

รูปผัง วัดที่ระดับ 1.5 เมตร

ภาพที่ 6.56 ผังชั้น 4 แสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

29	25	29	28	21	21	15	14	12	11	11	8	11	8	12
27	21	22	31	25	21	17	14	12	8	8	6	8	11	12
44	41	43	41	25	20	18	12	11	9	8	6	6	8	8
20	23	24	25	25	27	34	34	27	25	28	27	29	28	29
43	32	31	40	40	40	41	40	32	37	31	28	28	28	32
56	55	50	52	55	50	46	43	38	35	29	29	24	24	18
20	18	18	17	18	21	28	23	27	29	24	25	23	17	24
24	24	22	25	32	32	32	28	34	25	25	25	20	20	21
46	40	40	41	43	40	37	34	32	29	29	20	20	18	14
47	15	14	15	21	17	17	20	20	18	18	14	15	15	20
40	27	23	24	25	27	24	20	21	20	21	17	18	14	15
40	35	31	31	31	31	25	25	14	17	18	14	14	12	14

ภาพที่ 6.57 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายใน เมื่อกำหนดให้ขนาดปล่องเล็กลง จากชั้นบนลงล่าง ส่วนขนาดช่องลมเข้าจากปล่องภายในมีขนาดเท่ากัน

จากภาพที่ 6.53 – 6.57 แสดงผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลม ในกรณีที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ จะไม่สอดคล้องกัน คือ ความเร็วลมทั้ง 4 ชั้น ไม่มีรูปแบบชัดเจนเหมือนกับผลจากคอมพิวเตอร์ แต่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลมในกรณีที่ 2 มากกว่า คือ ความเร็วลมต่ำในชั้นบนสุด กับชั้นล่างสุด ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่ามาจากสาเหตุเดียวกัน คือ ความแตกต่างของความกดดันอากาศระหว่างภายใน กับภายนอก นอกจากนี้ ลักษณะปล่องที่แคบลงมากในชั้นที่ 1 อาจเป็นผลให้อากาศเคลื่อนที่ไม่สะดวก จึงเคลื่อนที่ออกทางช่องทางที่ง่ายกว่า ทั้งนี้ การลดขนาดปล่องมีผลต่อการเคลื่อนที่ของลมมากกว่าการลดขนาดช่องเปิด ข้อสังเกต คือ ความเร็วลมในปล่องชั้นบนจะสูงกว่าชั้นล่าง และสูงกว่ากรณีที่ 1 และ 2 เล็กน้อย เนื่องจากปริมาณลมที่เท่าเดิม ถูกบีบอัดให้ผ่านช่องทางที่แคบลงนั่นเอง

6.6.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม สามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคการกระจายลมภายในหน่วยทดลองแต่ละชั้น โดยกำหนดสัดส่วนช่องลมเข้าจากปล่องภายในแต่ละชั้นเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 6.5 สรุปผลความเร็วลมเฉลี่ย (%) ภายในหน่วยทดลองหลายชั้นที่มีเทคนิคการกระจายลมภายในแตกต่างกัน

กรณีศึกษา	ระดับที่วัด	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	
กรณีที่ 1 ช่องเปิดใหญ่ขึ้น จากบนลงล่าง	0.5 ม	38	35	21	6	
	1.0 ม	36	32	22	7	
	1.5 ม	31	26	18	9	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	35	31	20	8	24
กรณีที่ 2 ช่องเปิดเล็กลง จากบนลงล่าง	0.5 ม	23	35	37	19	
	1.0 ม	25	35	35	17	
	1.5 ม	26	30	27	17	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	25	33	33	18	27
กรณีที่ 3 ปล่องเล็กลง จากบนลงล่าง	0.5 ม	21	32	40	20	
	1.0 ม	21	26	35	16	
	1.5 ม	17	22	27	17	
	เฉลี่ย 3 ระดับ	20	27	34	18	25

จากตารางที่ 6.5 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการกระจายลมแต่ละแบบ ให้ผลความเร็วลมเฉลี่ยทุกชั้นใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของลมในแต่ละชั้น กรณีที่ 2 จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

6.7 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด แสดงให้เห็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร

การออกแบบอาคารให้สามารถรับลมได้ ก่อนอื่นต้องคำนึงถึงที่ตั้งอาคาร ให้สัมพันธ์กับทิศทางลม จากผลการทดลองข้อ 6.3 นอกจากจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของที่ดักลมรูปแบบต่างๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ตำแหน่ง และเทคนิคในการนำลมเข้า – ออกเป็นหลักแล้ว ยังมีการเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไปด้วย ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ถึงแม้อาคารจะไม่ได้วางตั้งฉากกับทิศทางลม ก็มีโอกาที่จะรับลมได้ โดยสามารถวางอาคารเบี่ยงเบนจากทิศทางลมได้ถึง 60 องศา อย่างไรก็ตาม การวางอาคารตั้งฉากกับทิศทางลมย่อมได้ผลดีที่สุด

ส่วนรูปแบบของที่ดักลมที่มีประสิทธิภาพดี ควรจะเป็นวิธีที่สามารถดูดอากาศให้เข้าถึงตัวผู้ใช้งานได้ และมีการกระจายอากาศภายในได้ดีที่สุด

ในการทดลองที่ 6.4 เรื่องสัดส่วนช่องเปิดลมเข้า – ออก จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดขนาดช่องลมเข้า และขนาดปล่อง มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในมากกว่าการลดขนาดช่องลมออก อย่างไรก็ตาม การเปิดช่องลมเข้าใหญ่เท่ากับช่องลมออก จะสามารถรับลมได้ดีที่สุด (จากตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดลองครั้งที่ 2)

การทดลองที่ 6.5 เรื่องระยะความลึกของหน่วยทดลอง เป็นที่แน่นอนว่า ยิ่งอาคารที่มีความลึกมาก ก็ยิ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในต่ำกว่าอาคารที่มีความลึกน้อยกว่า ในกรณีที่อาคารมีความลึกมาก ควรมีการเว้นที่ว่างระหว่างกลาง เพื่อเพิ่มช่องเปิดในการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามา และเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศภายในตึกแถวให้ดียิ่งขึ้น

ส่วนการทดลองที่ 6.6 เป็นการศึกษาด้านเทคนิคในการกระจายลมภายในหน่วยทดลองหลายชั้น สำหรับการทดลองนี้ ได้ผลไม่สอดคล้องกันระหว่างการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ และอุโมงค์ลม ผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลมชี้ให้เห็นว่า นอกจากช่องเปิดลมเข้า – ออกภายนอกแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและความเร็วลมที่เข้ามาในส่วนใช้งาน คือ ขนาดช่องเปิดจากปล่องภายใน ทั้งนี้ การรักษาสมดุลของแรงลมที่เข้ามาภายในอาคารควรพิจารณาความแตกต่างของความกดดันอากาศภายในและภายนอก และระยะทางที่ลมเคลื่อนที่เข้ามาด้วย

ในบทต่อไป ผู้วิจัยจะได้นำเสนอแบบทางเลือกสำหรับอาคารตึกแถว ที่มีการประยุกต์ใช้ที่ดักลม เพื่อให้เกิดการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ ซึ่งได้นำผลการวิเคราะห์ในบทนี้ไปใช้ อ้างอิงข้อมูลสภาพอากาศ (ปริมาณ และความเร็วลม) จากกรมอุตุนิยมวิทยามาใช้

บทที่ 7

ภาคออกแบบ

7.1 การสำรวจปริมาณ และความเร็วลม ณ ที่ตั้ง

ที่ตั้งที่กำหนดให้เป็นกรณีศึกษาในการออกแบบทางเลือก คือ ย่านพักอาศัยในเขตห้วยขวาง ซึ่งมีความหนาแน่นของอาคารสูง และประกอบด้วยกลุ่มอาคารตึกแถวเป็นส่วนใหญ่

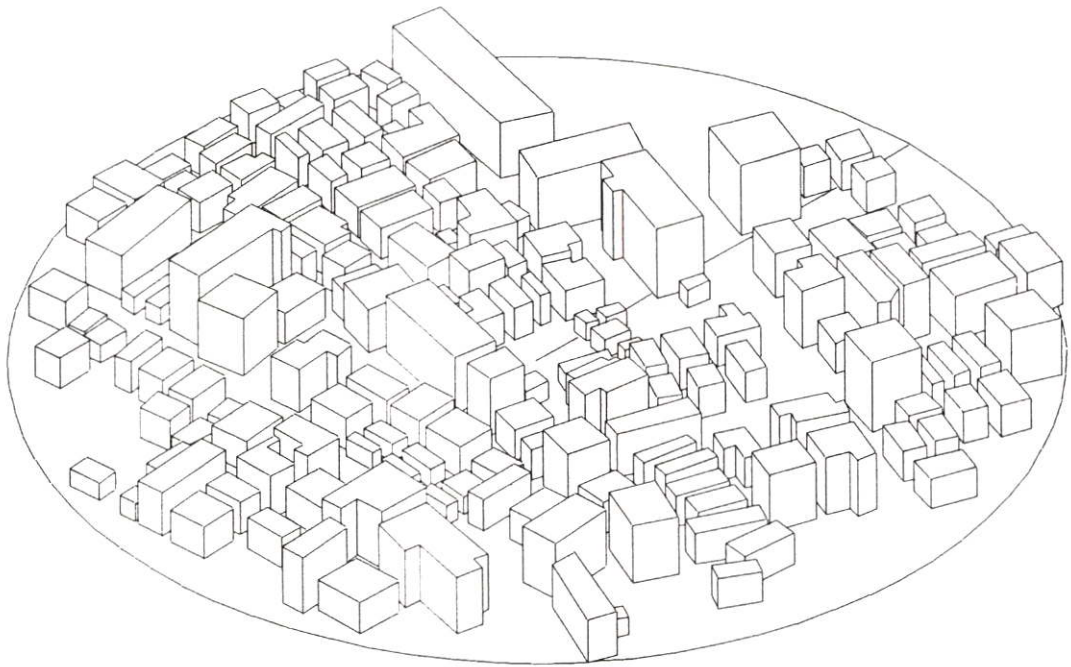
นอกจากผู้วิจัยจะได้อ้างอิงข้อมูลปริมาณ และความเร็วลมจากกรมอุตุนิยมวิทยาแล้ว ยังได้ทำการทดลองวัดความเร็วลมบริเวณพื้นผิว (Gradient wind) ณ บริเวณที่ตั้งด้วย โดยการทำหุ่นจำลองทดลองในอุโมงค์ลม มาตรฐาน 1:100 (มาตรฐานที่แนะนำ) ครอบคลุมพื้นที่ในรัศมี 100 เมตร จากจุดที่ตั้ง ทำการวัดโดยยึดเอาทิศลมเด่น คือ ลมจากทิศใต้ในการทดลอง

ในการทดลอง ได้ยึดเอาหลักวิธีการทดลองวัดความเร็วลมสำหรับที่ตั้ง ในอุโมงค์ลมขนาดเล็กมาใช้ โดยได้จัดทำกล่องลูกบาศก์ วางกระจายบริเวณหน้าหุ่นจำลองที่ตั้ง เป็นตัวแทนความหนาแน่นของกลุ่มอาคาร ตลอดจนความยาวของอุโมงค์ลม และใช้ครีปไม้สามเหลี่ยมวางด้านหน้าพัดลม เพื่อให้เกิดแรงต้านทานบริเวณใกล้พื้นผิว ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลมธรรมชาติมากที่สุด

7.1.1 ลักษณะที่ตั้ง

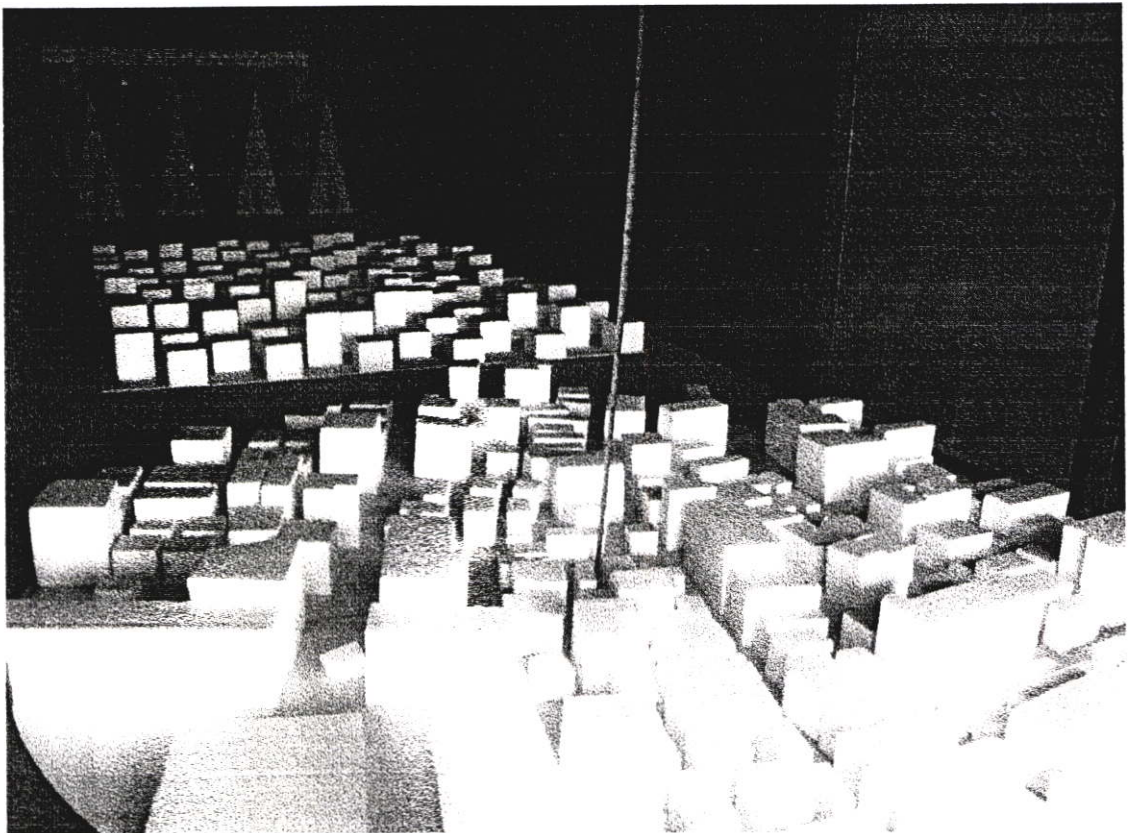


ภาพที่ 7.1 ผังบริเวณที่ตั้ง, กรณีศึกษา : เขตห้วยขวาง



ภาพที่ 7.2 ทศนิยมภาพที่ตั้ง, กรณีสีกษา : เขตหน่วยวาง

7.1.2 วิธีการทดลอง



ภาพที่ 7.3 แสดงการวัดความเร็วลม ณ ที่ตั้ง

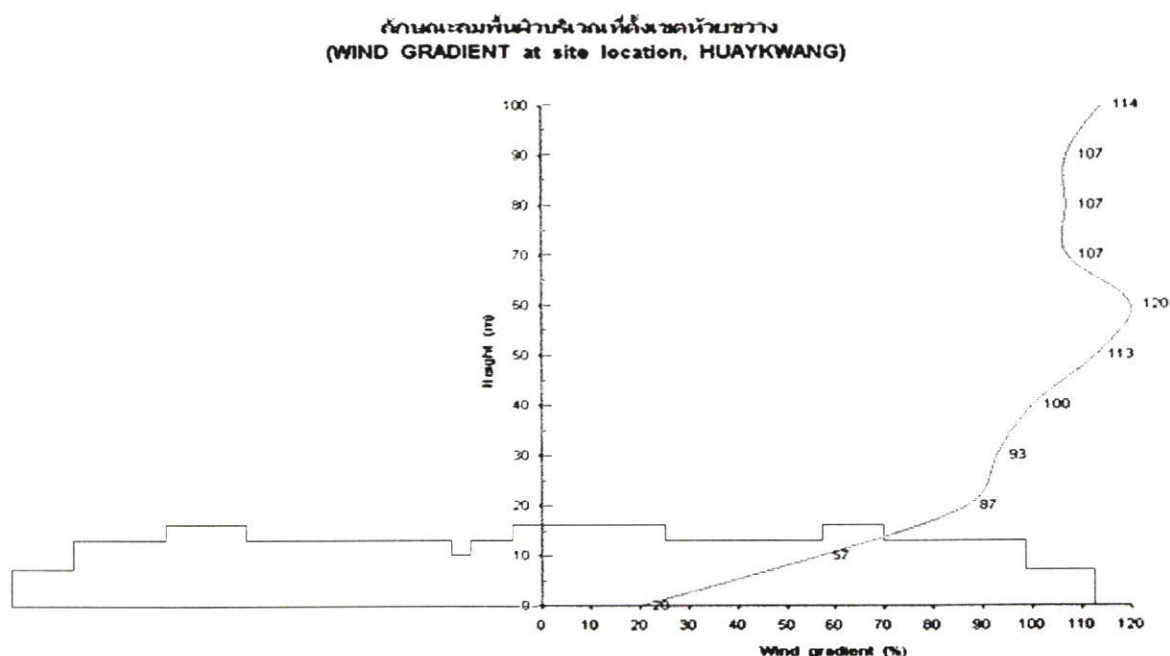
จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ บริเวณที่ตั้งในรัศมี 100 เมตร มาตรฐาน 1:100 ทดลองในอุโมงค์ลม ขนาด กว้าง 2.05 เมตร สูง 1.15 เมตร ลีท 9.40 วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิจากความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซนต์

7.1.3 ผลการทดลอง

ผลการวัดความเร็วลม ณ ที่ตั้ง ที่ความสูงทุก 10 เมตร แสดงให้เห็นว่า สภาพแวดล้อมความหนาแน่น และความสูงของกลุ่มอาคาร มีผลต่อความเร็วลมโดยรอบ

จากแผนภูมิที่ 7.1 ความเร็วลมบริเวณใกล้พื้นดินจะค่อนข้างต่ำ ต่อเมื่อพ้นระดับความสูงของกลุ่มอาคารโดยรอบไปแล้ว ลมจึงมีความเร็วสูงขึ้น



แผนภูมิที่ 7.1 แสดงลักษณะลมพื้นผิวบริเวณที่ตั้งเขตห้วยขวาง

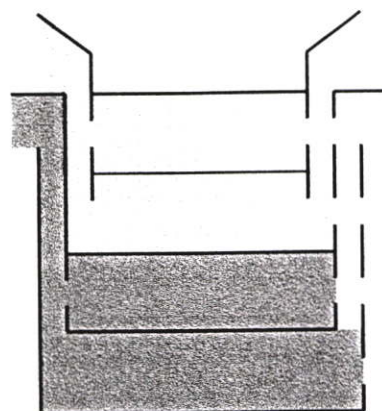
จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีกลุ่มอาคารหนาแน่น และมีความสูงเฉลี่ยเท่าๆกัน เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของลมในระดับต่างๆ ในบางกรณี ถึงแม้ว่าได้มีการเปิดช่องเปิดอาคารเต็มที่แล้วก็ตาม ก็ไม่สามารถรับลมได้ นอกจากนี้รูปแบบถนน และอาคารสภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยส่งเสริม หรือเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของลมได้

7.2 หลักการออกแบบทางเลือก

จากกระบวนการทดลองเกี่ยวกับที่ดักลมที่ผ่านมา สามารถนำมาสรุปเป็นหลักในการออกแบบทางเลือกได้ 3 แบบ คือ

แบบที่ 1

ใช้ที่ดักลมแบบนำอากาศเข้าด้านบน แล้วจ่ายอากาศออกทางหน้าต่าง จำนวน 2 ตัว แยกปล่องจ่ายเข้าปล่องละ 2 ชั้น

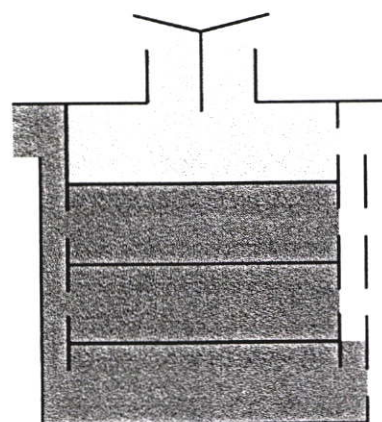


ภาพที่ 7.4 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 1

แบบที่ 2

ใช้ที่ดักลมแบบปล่องตรงกลาง นำอากาศเข้าและออกทางปล่อง หรือออกทางหน้าต่างสำหรับชั้นบน

ใช้ที่ดักลมอีกตัว นำอากาศเข้าด้านบน แล้วจ่ายอากาศออกทางหน้าต่าง สำหรับ 3 ชั้นล่าง

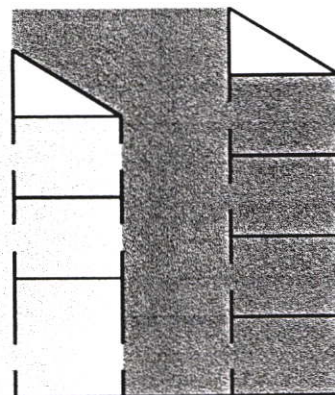


ภาพที่ 7.5 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 2

แบบที่ 3

ใช้ส่วนหลังคาเป็นที่ดักลม โดยเจาะช่องเปิดตรงกลางอาคารเพื่อให้มีพื้นที่ช่องเปิด และส่วนดักลมเพิ่มขึ้น

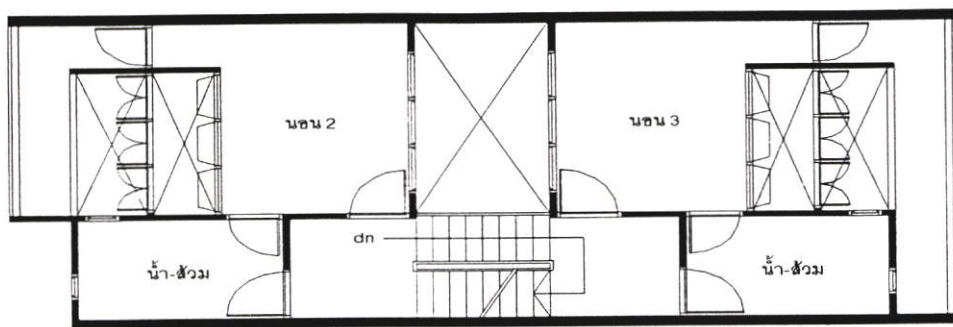
หลังคาจะดักลมเข้าทางหน้าต่างด้านหน้า และจ่ายออกทางหน้าต่างด้านหลัง



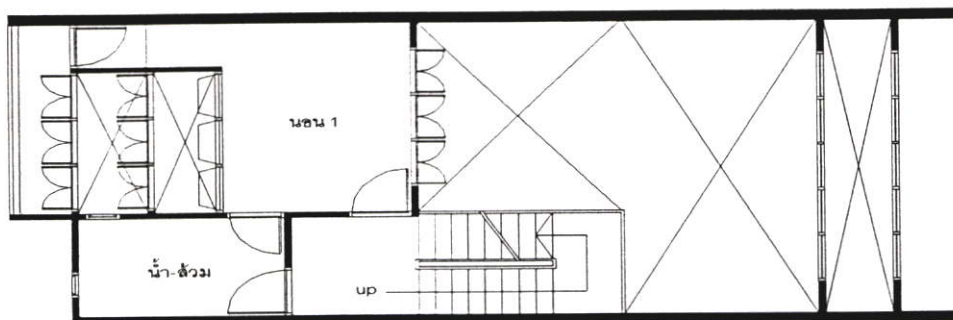
ภาพที่ 7.6 หลักการออกแบบทางเลือกที่ 3

แบบทางเลือกทั้ง 3 ที่นำมาทดลองมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 3 ชั้นครึ่ง ยกเว้นแบบทางเลือกที่ 3 ยาว 14 เมตร

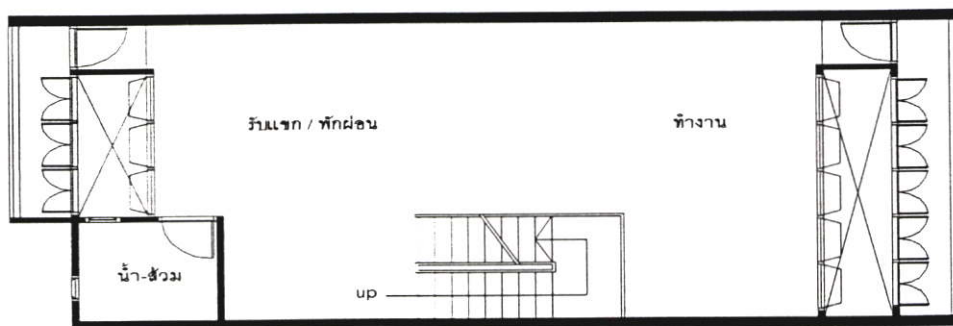
7.3 แบบทางเลือกที่ 1



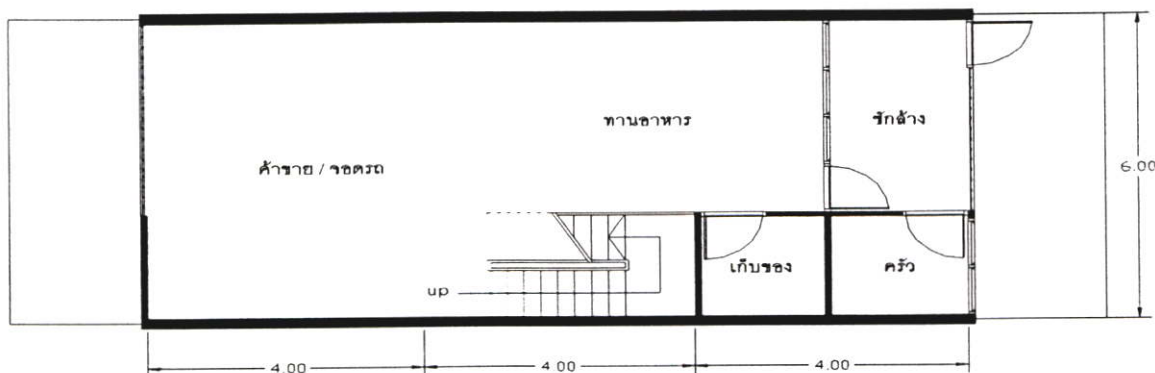
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3

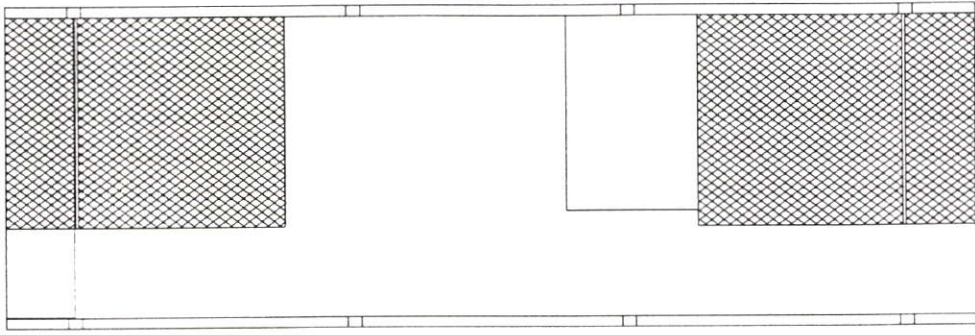


ผังพื้นที่ 2

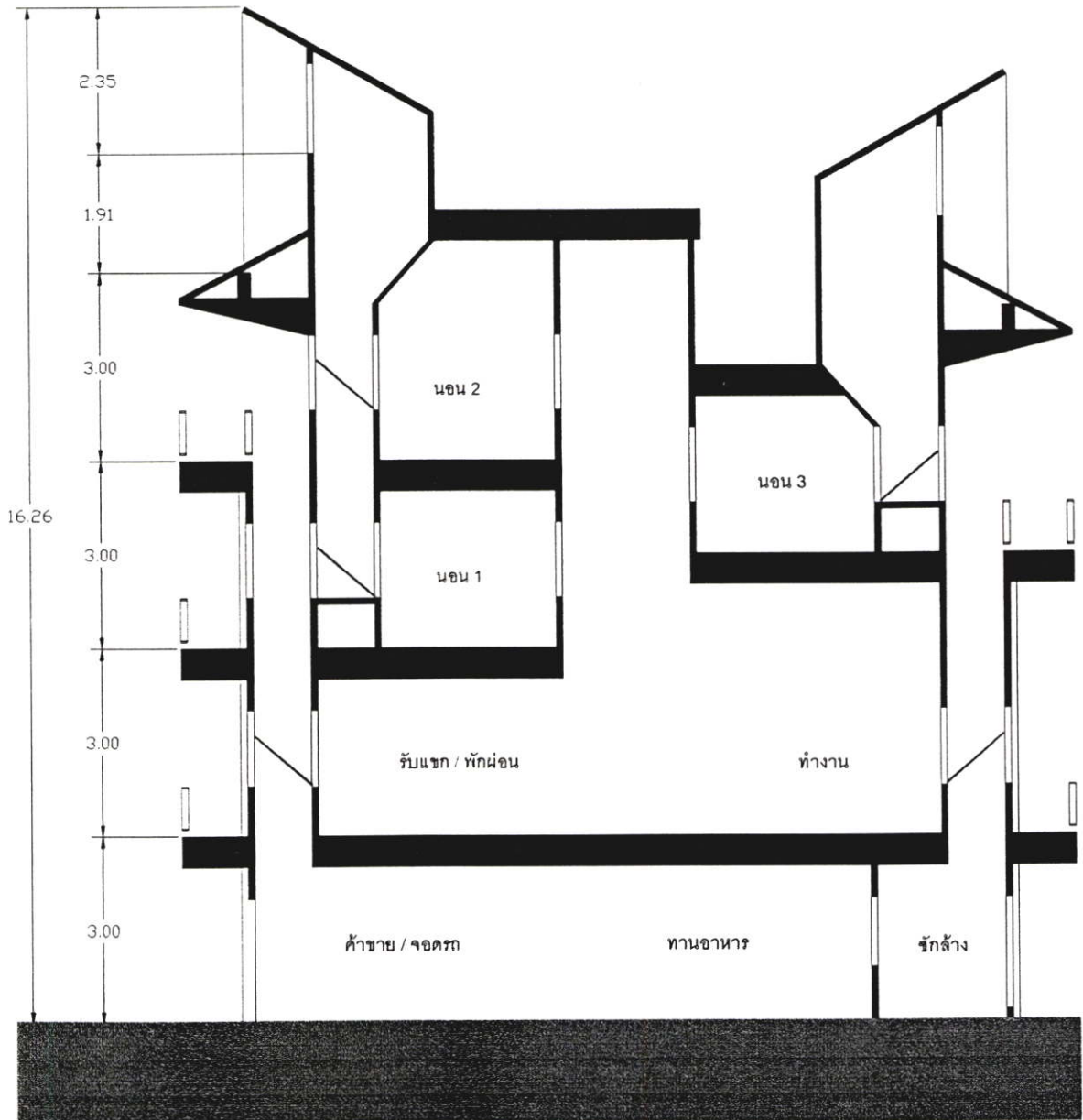


ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.7 ผังพื้นที่อาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1



ภาพที่ 7.8 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1



ภาพที่ 7.9 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1



ภาพที่ 7.10 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1

แบบทางเลือกที่ 1 เป็นอาคารตึกแถว กว้าง 6 เมตร ลึก 12 เมตร สูง 3 ชั้นครึ่ง ลักษณะที่ดักลมที่ใช้มี 2 ชุด เป็นแบบสมมาตร เพื่อให้ดักลมได้ทั้งสองทิศทาง โดยดักลมเข้าทางปล่อง ออกทางหน้าต่าง ที่ดักลมแต่ละชุด จ่ายลมให้ภายในอาคาร 2 ชั้น เท่าๆ กัน การจัดพื้นที่ใช้สอยภายใน แบ่งตามช่วงเวลาที่มีการใช้งานเพื่อให้สามารถแยกระยะเวลาการเปิด - ปิด ช่องเปิดในแต่ละชั้นได้

7.3.1 วิธีการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของแบบอาคารตึกแถว ทางเลือกที่ 1 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด แบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4

กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของแบบอาคารตึกแถวทางเลือกที่ 1 แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:20 ขนาด 30 x 60 ซม. สูง 4 ชั้น ชั้นละ 15 ซม. รวมเป็น 60 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 8% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม)

วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลม เป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7.11 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 1

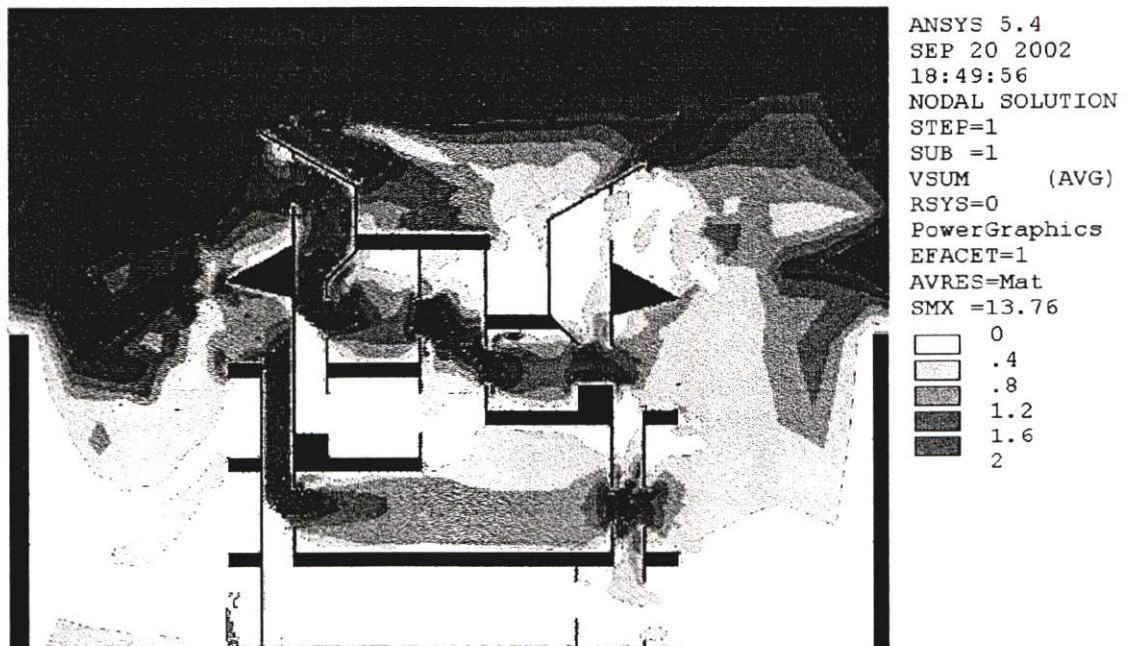
7.3.2 ผลการทดลอง

- ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์
 กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น



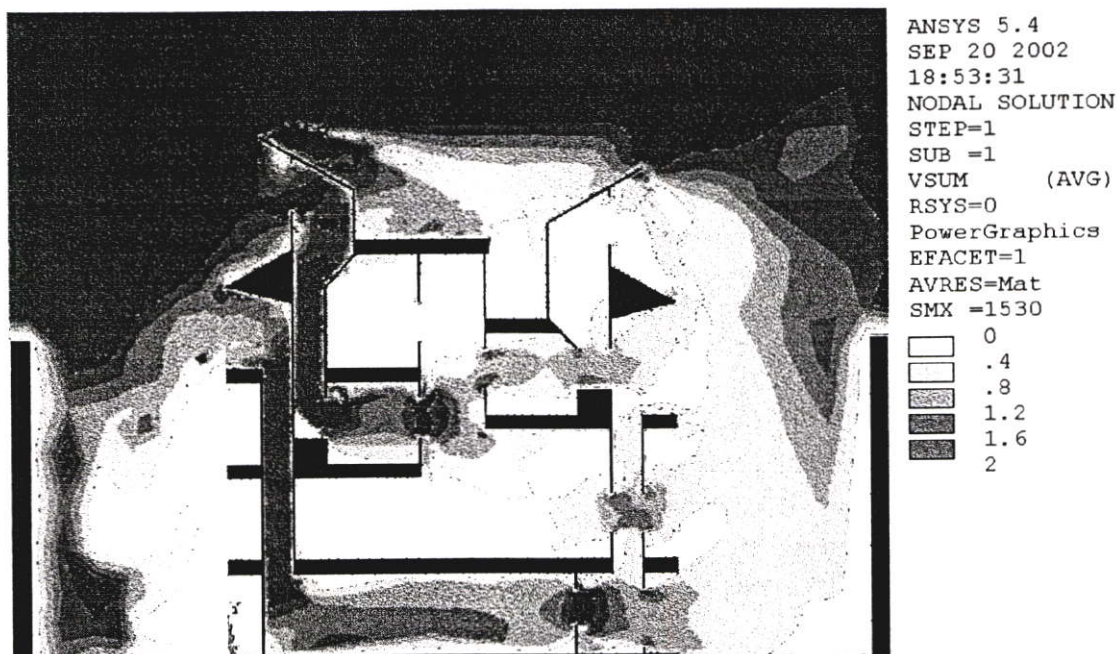
ภาพที่ 7.12 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 1

- กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4



ภาพที่ 7.13 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 2

กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3



ภาพที่ 7.14 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 3

จากภาพที่ 7.12 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ที่ดักลมแบบที่ 1 กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น สามารถดักลมเข้าสู่ตัวอาคารได้ บริเวณปล่องจะเป็นส่วนรีดลม ทำให้ลมที่เข้ามามีความเร็วสูงมากเกิน 100% แล้วจ่ายเข้าอาคารแต่ละชั้น โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 40 – 50% ของความเร็วลมเริ่มต้น ความเร็วลมในชั้นบนจะค่อนข้างสูงกว่าชั้นล่าง เนื่องจากมีความสูงเหนืออาคารใกล้เคียงมากกว่า จึงสามารถดักลมได้เต็มที่ นอกจากนี้ระยะความลึกของปล่องยังสั้นกว่าปล่องชั้นล่างด้วย

จากภาพที่ 7.13 – 7.14 การทดลองสำหรับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ที่มีการแยกเปิดช่องเปิดภายในปล่องทีละชั้น โดยใช้บานเปิดแบบผลักออก เพื่อให้มีลักษณะเป็นที่ดักลมภายในอีกชั้นหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าปริมาณลมที่เข้ามาในแต่ละชั้นมีมากขึ้น ความเร็วลมสูงขึ้น โดยเฉพาะในชั้นที่ 2 ที่จากเดิมมีความเร็วลมประมาณ 30 – 40% ก็เพิ่มขึ้นเป็น 50 – 60% เนื่องจากปริมาณลมทั้งหมดที่ดักได้ ถูกจ่ายเข้ามาในชั้นอาคารที่เปิดช่องเปิดไว้เต็มที่ ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การวางตำแหน่งช่องลมออกให้สะดวกต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน คือ ระดับที่มีการใช้งานปกติ ในกรณีนี้ อาคารมีผนังปล่องกันสองชั้น จึงจำเป็นต้องเจาะช่องเปิดที่ผนังทั้งสองส่วนปล่องที่สร้างขึ้นให้มีลักษณะสมมาตรกันทั้งสองด้าน ก็เพื่อให้สามารถดักลมได้สองทิศทาง

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

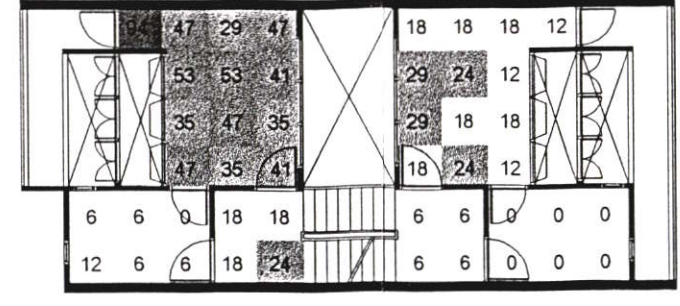
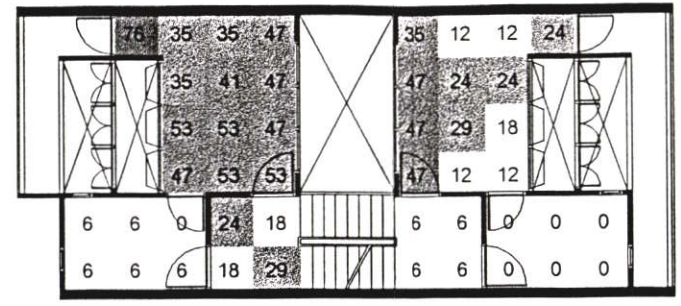
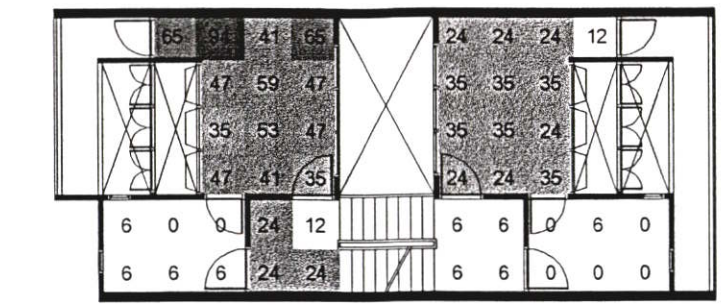
กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

ระดับที่วัด

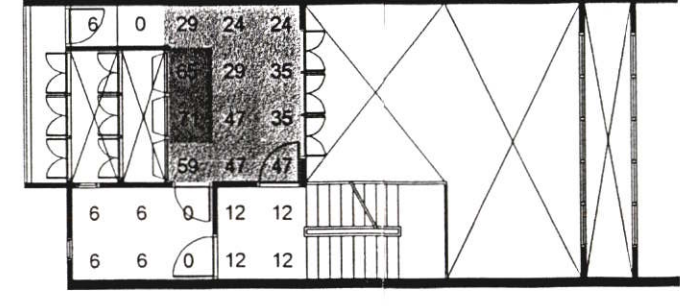
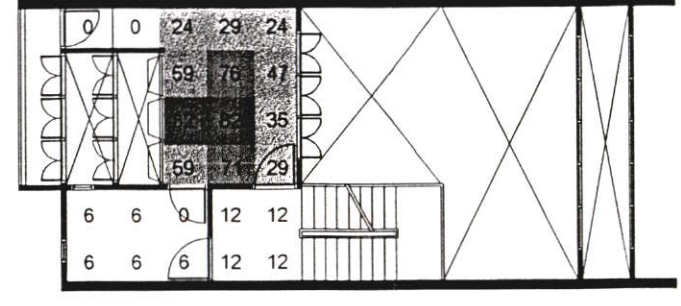
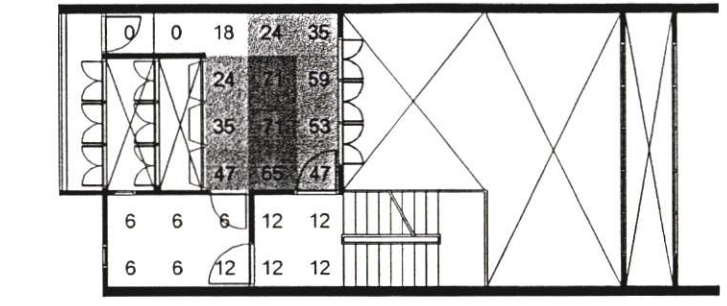
0.5 เมตร

1.0 เมตร

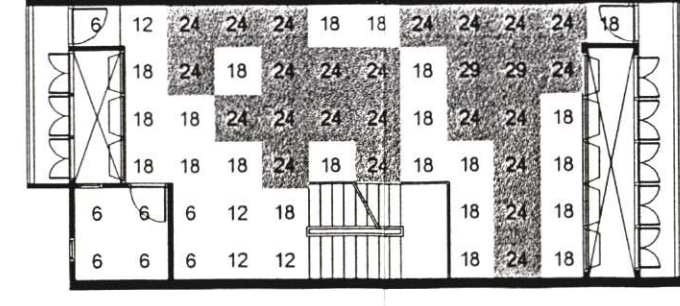
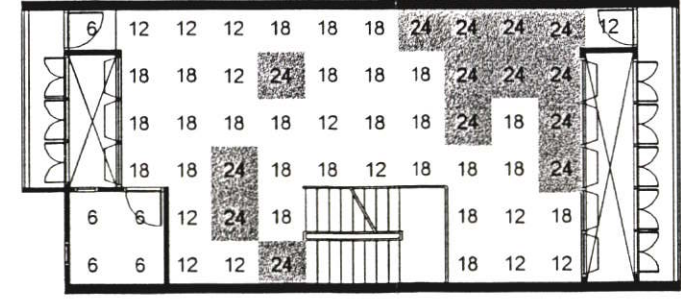
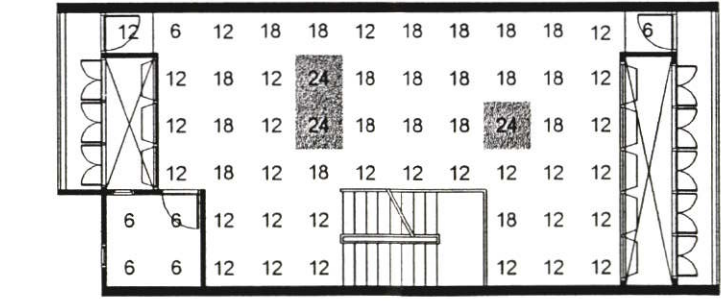
1.5 เมตร



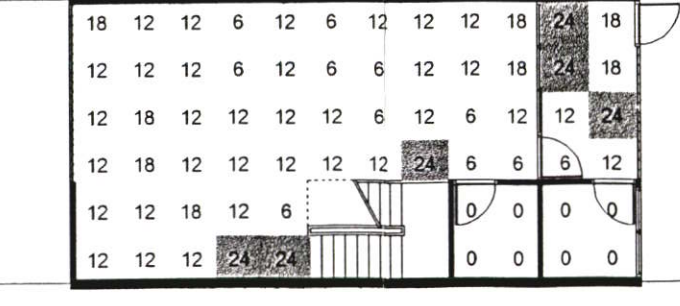
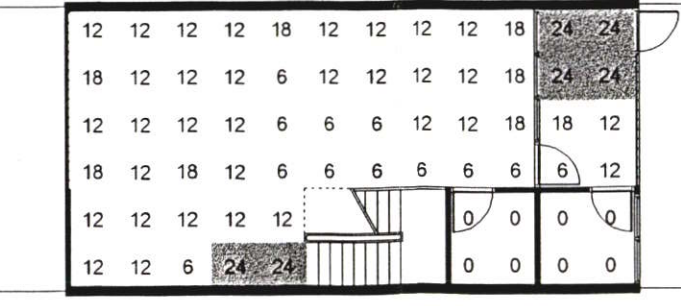
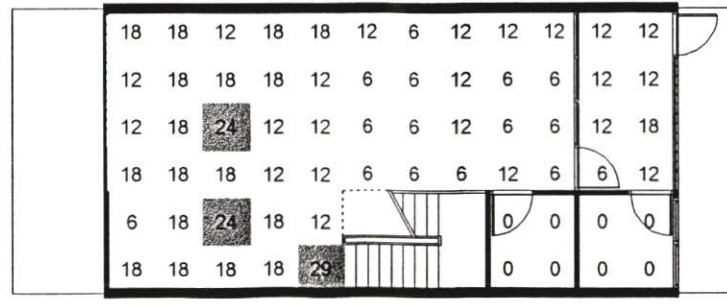
ผังพื้นชั้น 4



ผังพื้นชั้น 3



ผังพื้นชั้น 2



ผังพื้นชั้น 1

ภาพที่ 7.15 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

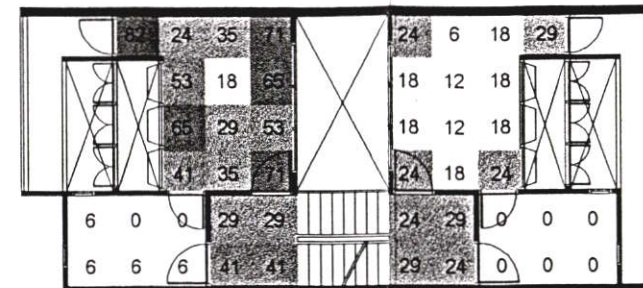
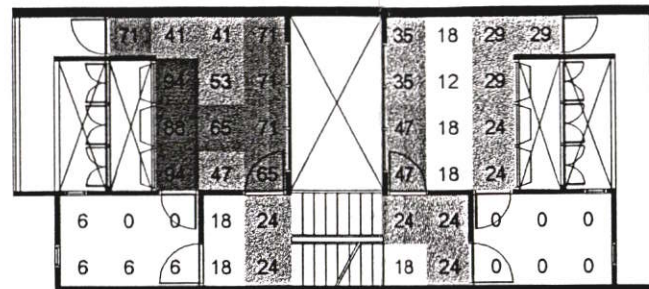
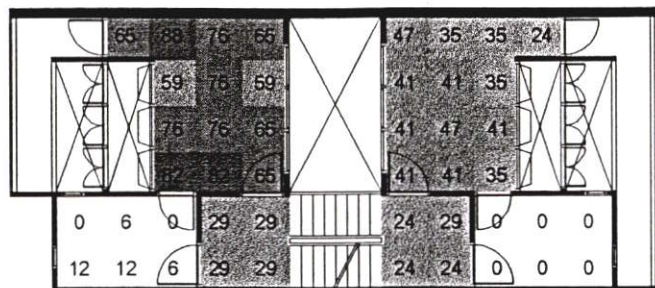
กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4

ระดับที่วัด

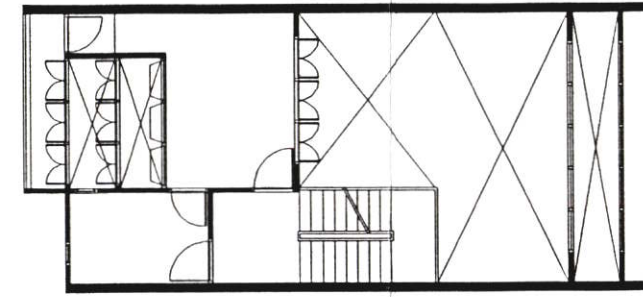
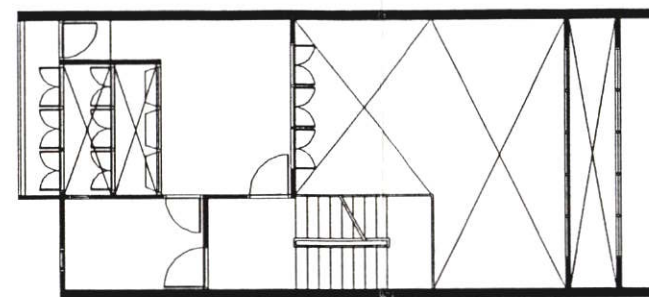
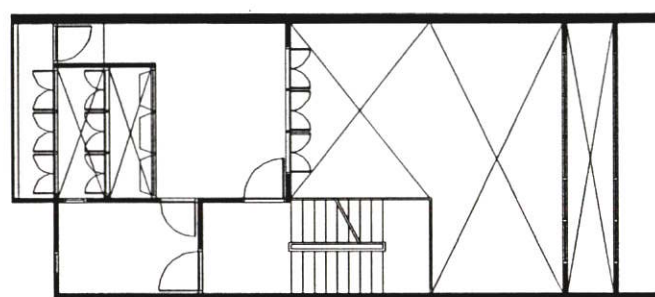
0.5 เมตร

1.0 เมตร

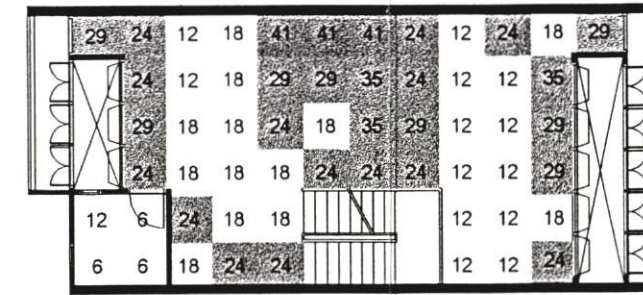
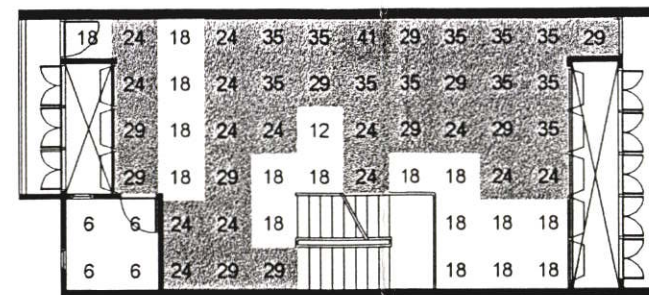
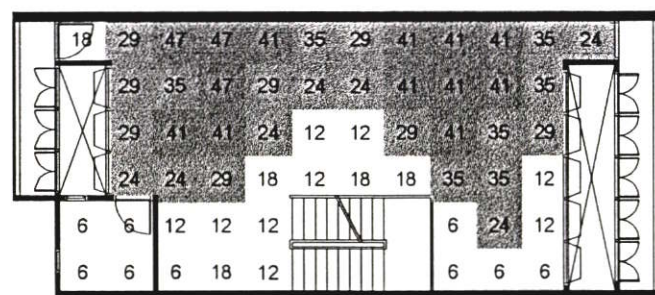
1.5 เมตร



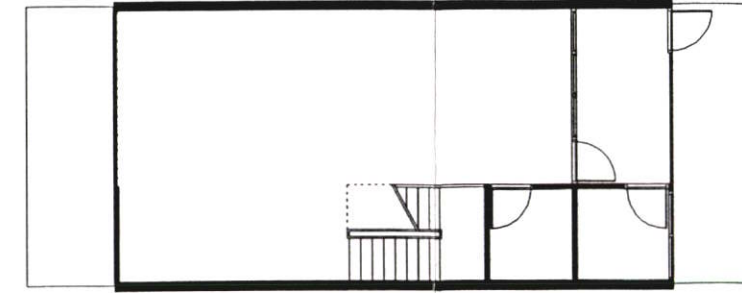
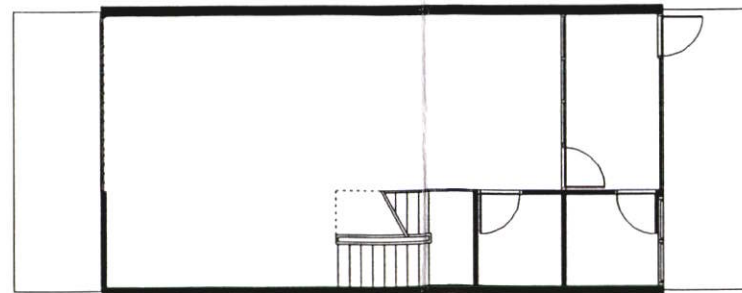
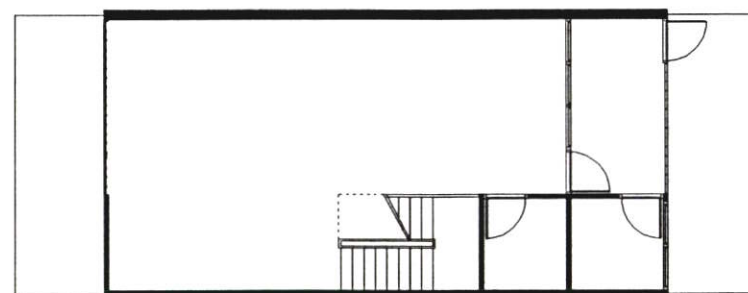
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3



ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.16 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4

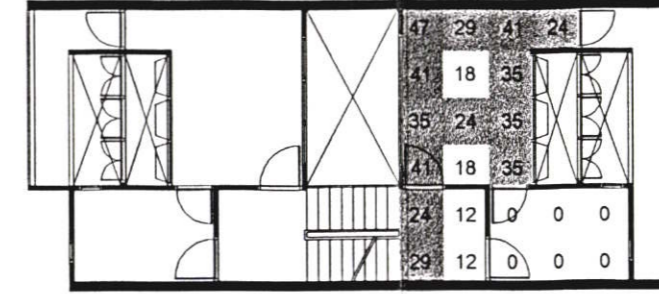
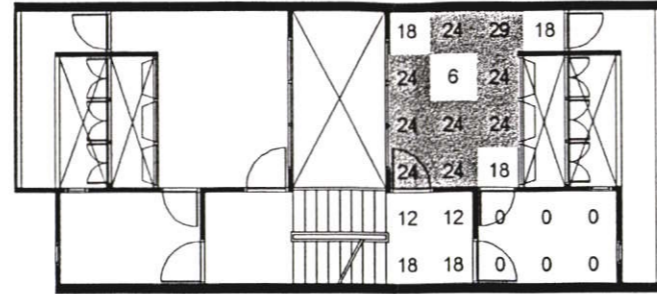
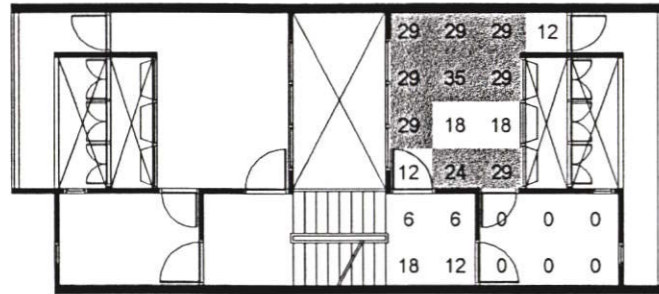
กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3

ระดับที่วัด

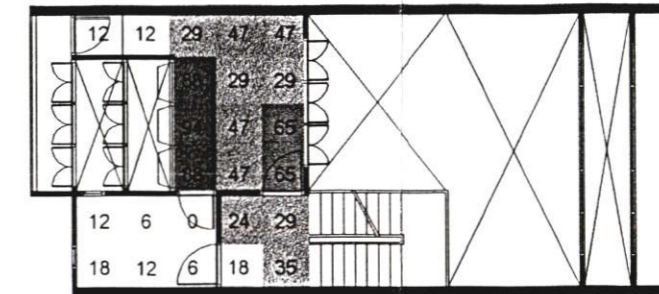
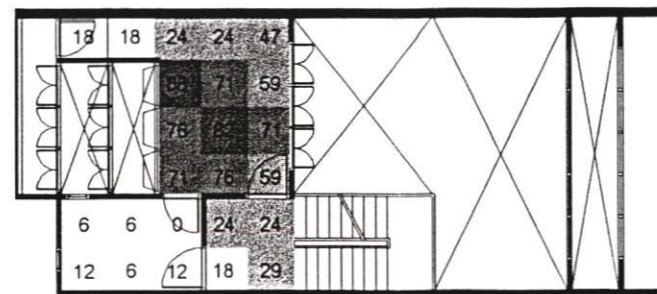
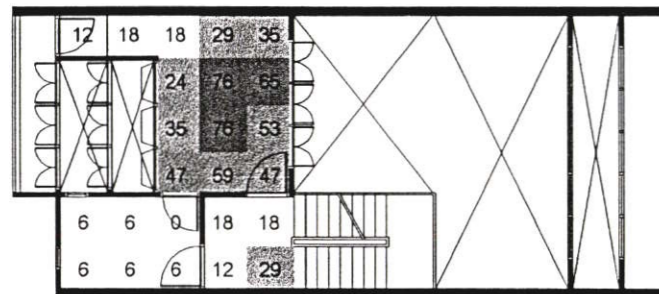
0.5 เมตร

1.0 เมตร

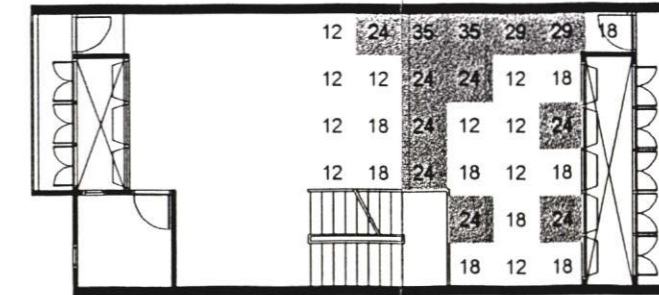
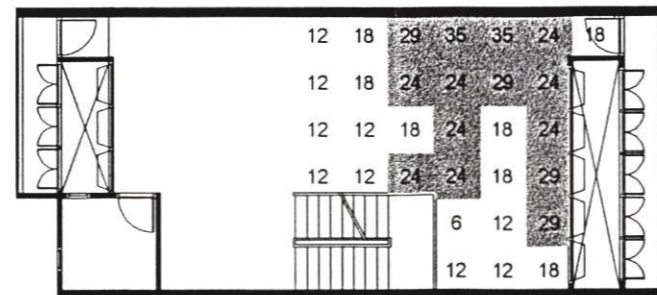
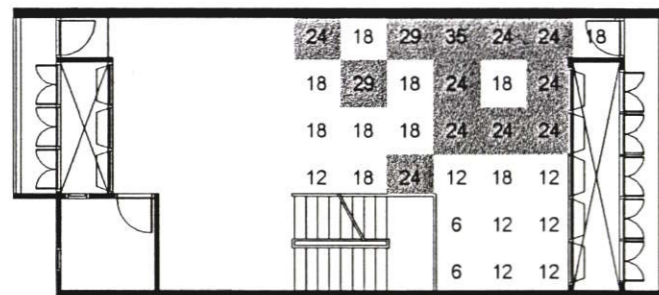
1.5 เมตร



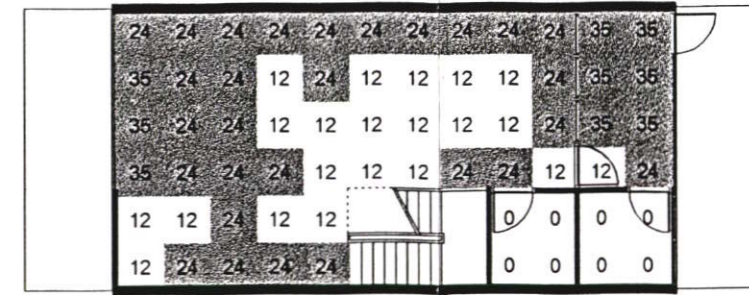
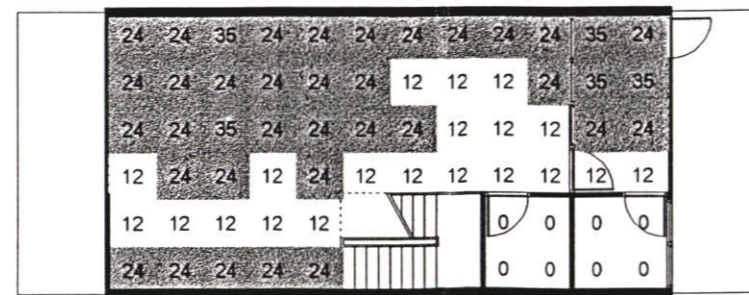
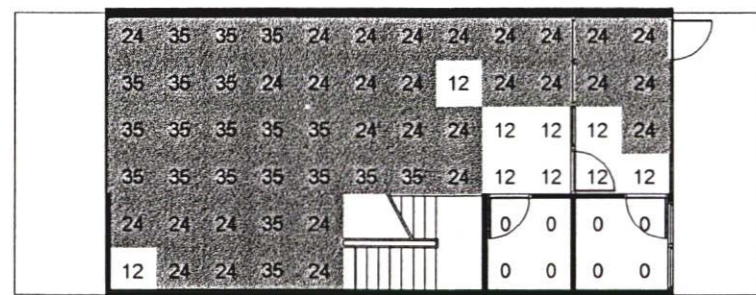
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3

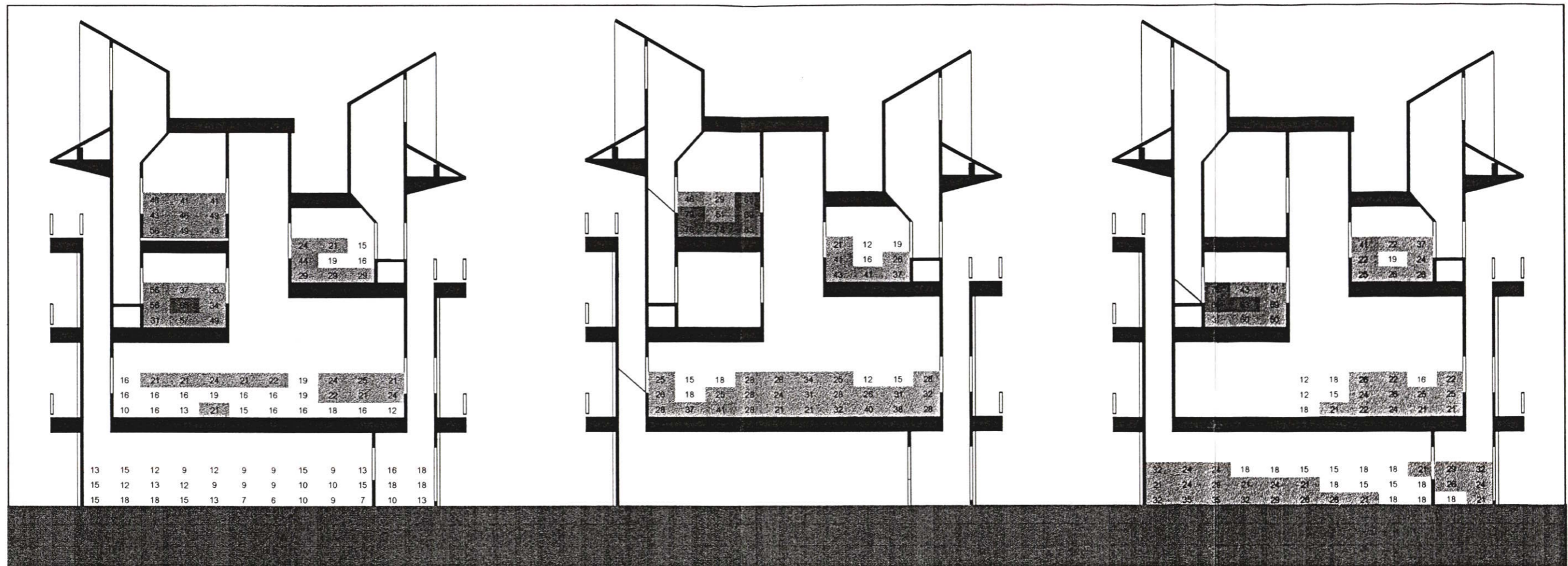


ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.17 ผังพื้นที่แบบทางเลือกที่ 1 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3



กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

กรณีที่ 2 เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4

กรณีที่ 3 เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3

ภาพที่ 7.18 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 1 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3

จากภาพที่ 7.15–7.17 ผังแสดงความเร็วลมภายในอาคารที่ใช้ที่ดักลมแบบที่ 1 กรณีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และภาพที่ 7.18 รูปตัดแสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร กรณีที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นความเร็วลมที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นอาคาร สำหรับกรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุด ประมาณ 10–20%

ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 20%

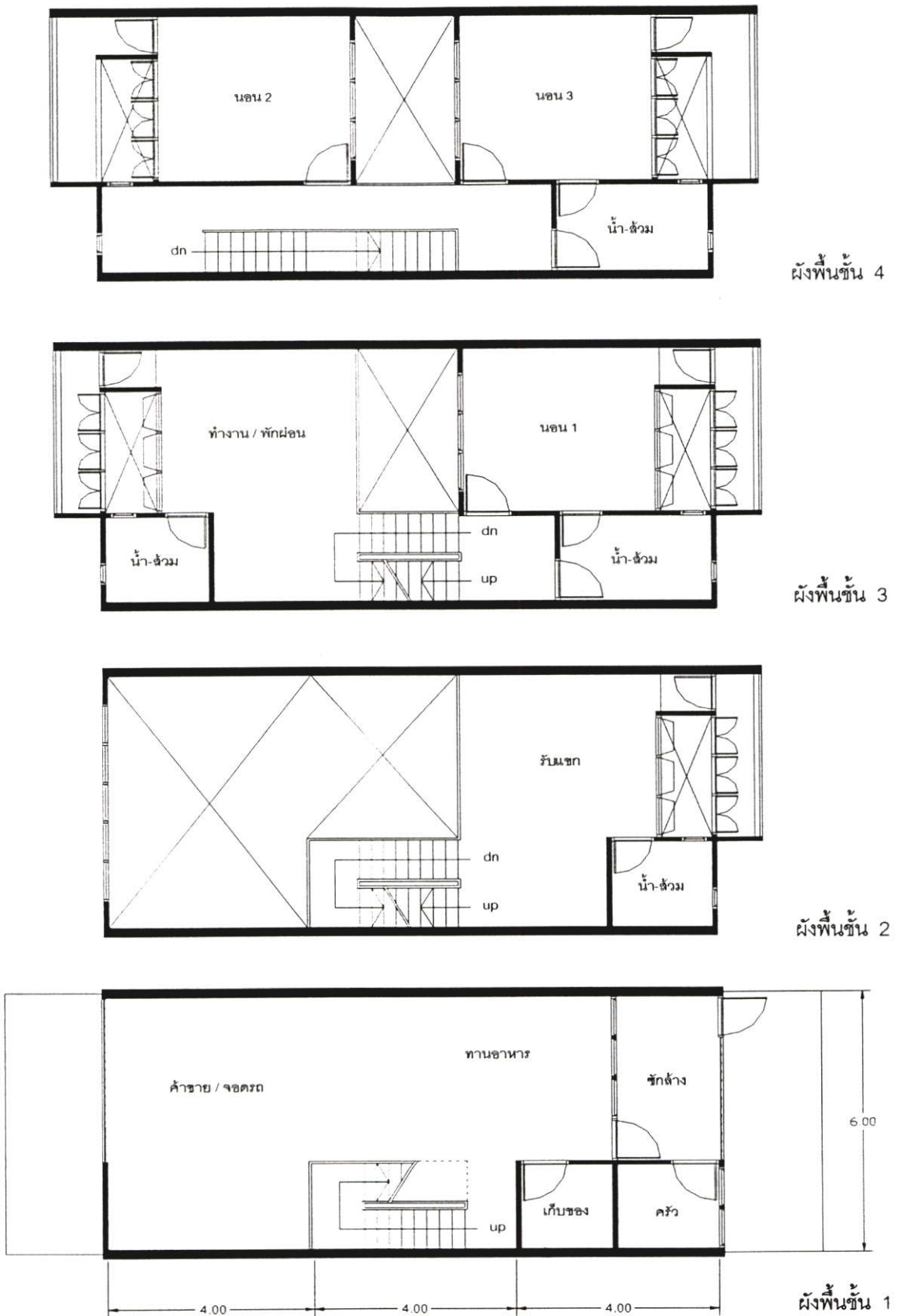
ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 30–40%

และ ชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด ประมาณ 40–50%

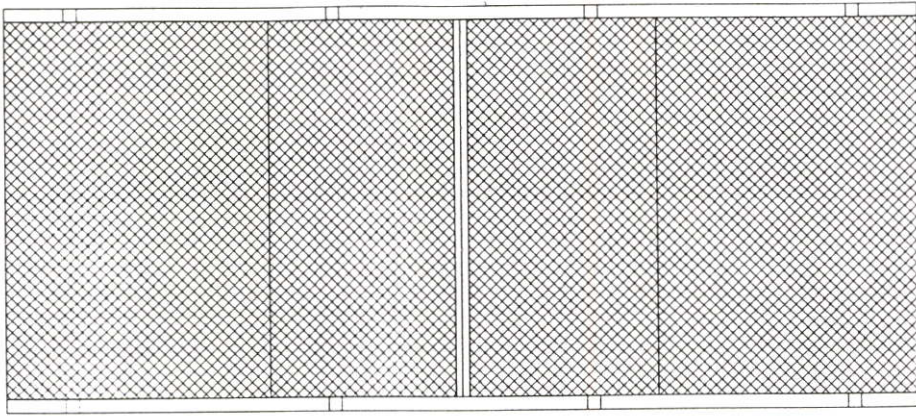
ความเร็วลมภายในอาคารจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความสูงอาคาร เนื่องจากมีระยะปล่องที่สั้นกว่า และที่ดักลมชั้นบนดักลมได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในอุโมงค์ลมกับ ผลที่คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์ พบว่า ผลจากอุโมงค์ลมมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 10–20% โดยเฉพาะในชั้นที่ 1 ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก

สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 และ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องแบบแยกชั้น จะได้ค่าความเร็วลมสูงกว่ากรณีที่ 1 ประมาณ 10% แต่ค่าที่ได้ต่ำกว่าผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่าเป็นเพราะการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการทดลองแบบ 2 มิติ ซึ่งคำนวณผลเฉพาะส่วนอาคารที่ถูกตัด (รูปตัด) ปริมาณลมทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ เคลื่อนที่เข้าสู่อาคารแบบจำลอง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองแบบ 3 มิติ ในอุโมงค์ลม ปริมาณลมที่ใช้ในการทดลองเคลื่อนที่เข้าสู่อาคาร และเคลื่อนที่ออกทางด้านข้างของหุ่นจำลองด้วย ดังนั้น ปริมาณลมดังกล่าวจึงถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วน ทำให้ความเร็วลมจริงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า

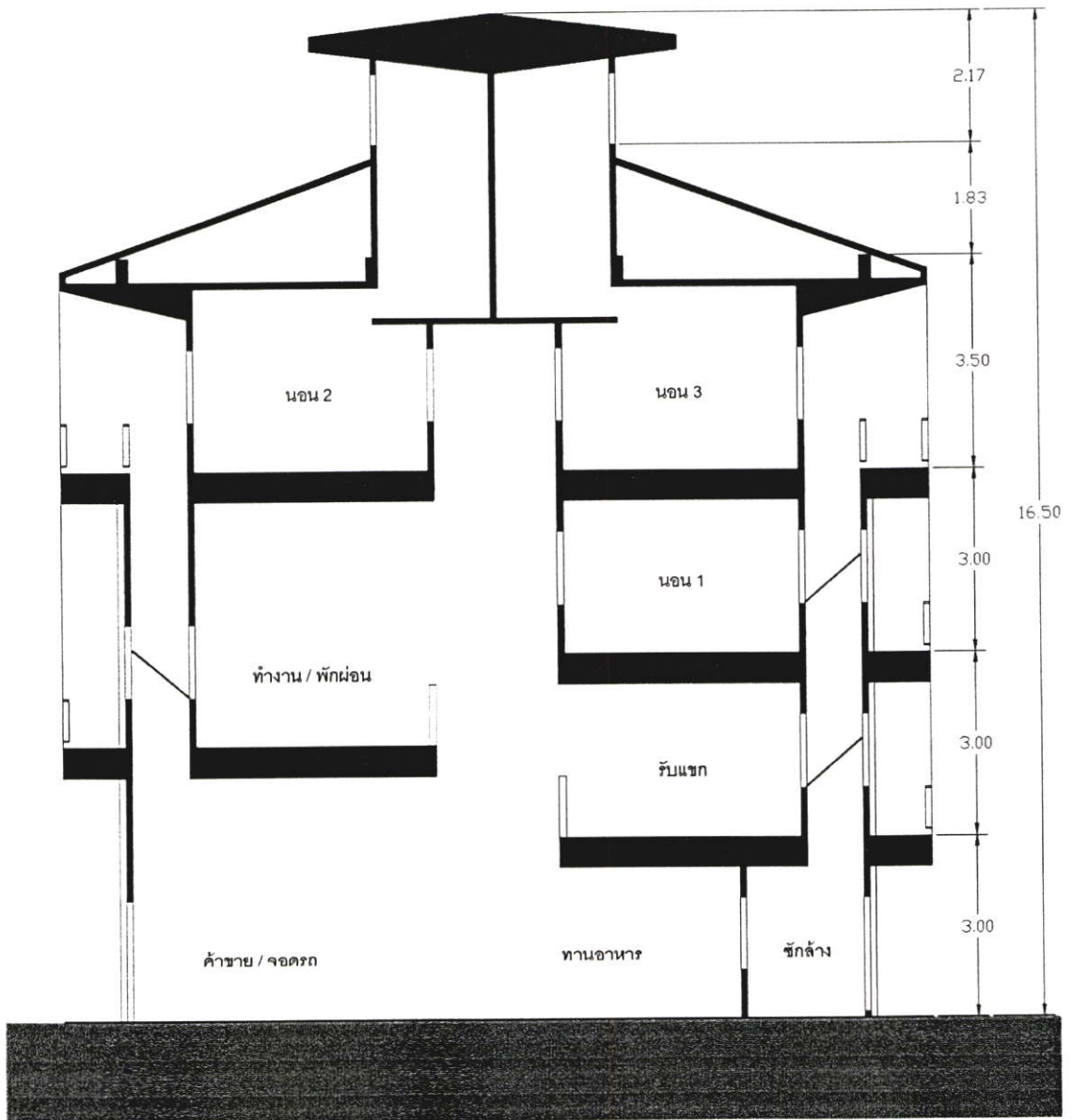
7.4 แบบทางเลือกที่ 2



ภาพที่ 7.19 ผังพื้นที่อาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2



ภาพที่ 7.20 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2



ภาพที่ 7.21 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2



ภาพที่ 7.22 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2

แบบทางเลือกที่ 2 เป็นอาคารตึกแถว กว้าง 6 เมตร ลึก 12 เมตร สูง 3 ชั้นครึ่ง ลักษณะที่ดัดกลมที่ใช้ มี 2 ชุด เป็นแบบสมมาตร เพื่อให้ดัดกลมได้ทั้งสองทิศทาง ที่ดัดกลมชุดที่ 1 ดัดกลมเข้าทางปล่องตรงกลาง แล้วออกทางหน้าต่าง ส่วนที่ดัดกลมชุดที่ 2 ดัดกลมเข้าทางปล่องริม นอกอาคาร จำหน่ายอาคาร 3 ชั้นล่าง แล้วออกทางหน้าต่าง การจัดพื้นที่ใช้สอยภายใน แบ่งตาม ช่วงเวลาที่มีการใช้งานเพื่อให้สามารถแยกระยะเวลาการเปิด - ปิด ช่องเปิดในแต่ละชั้นได้

7.4.1 วิธีการทดลอง

ชั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของแบบอาคารตึกแถว ทางเลือกที่ 2 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด แบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2

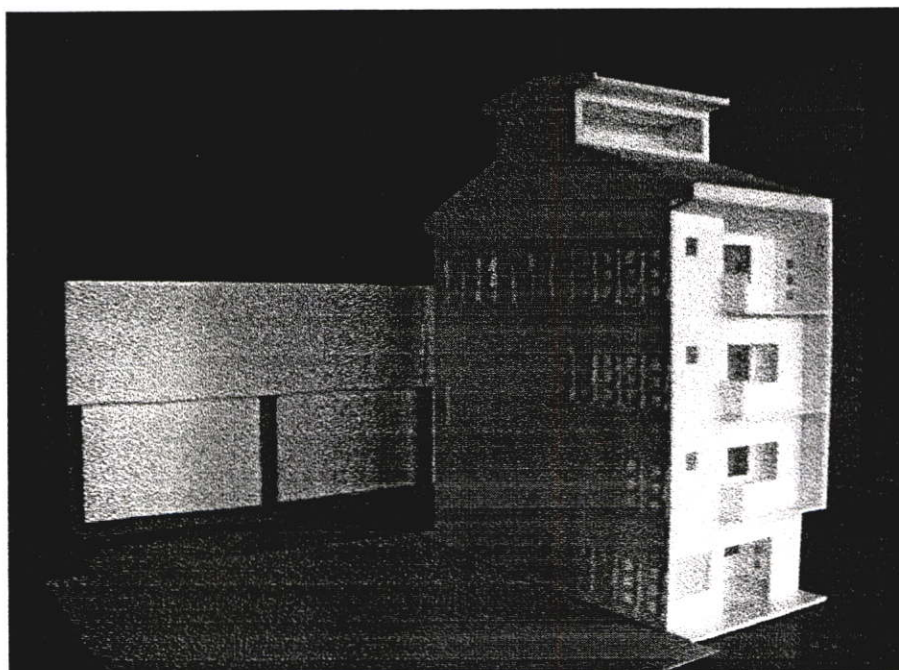
กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1

ชั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของแบบอาคารตึกแถวทางเลือกที่ 2 แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:20 ขนาด 30 x 60 ซม. สูง 4 ชั้น ชั้นละ 15 ซม. รวมเป็น 60 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 8% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม)

วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลม เป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

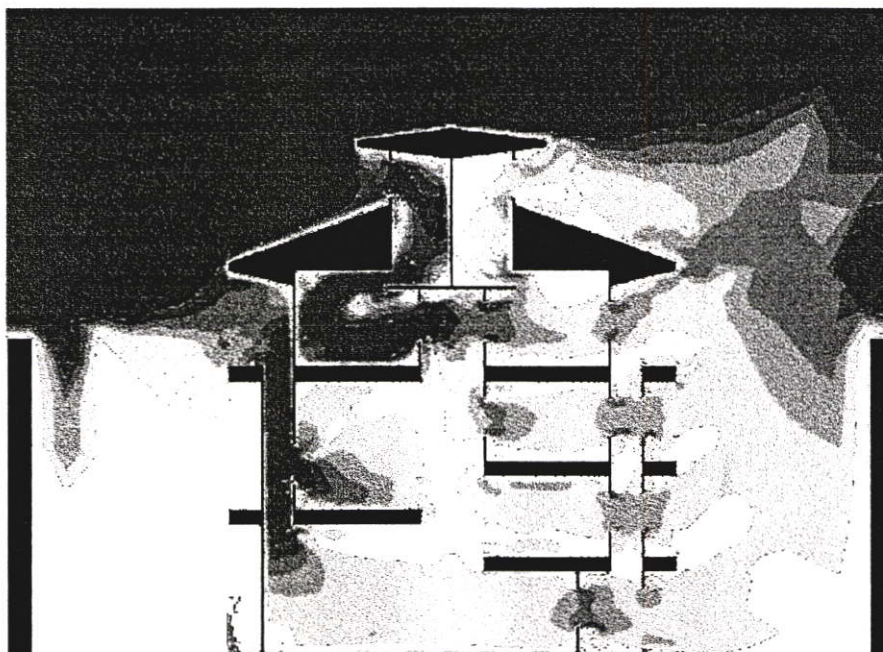
วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7.23 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 2

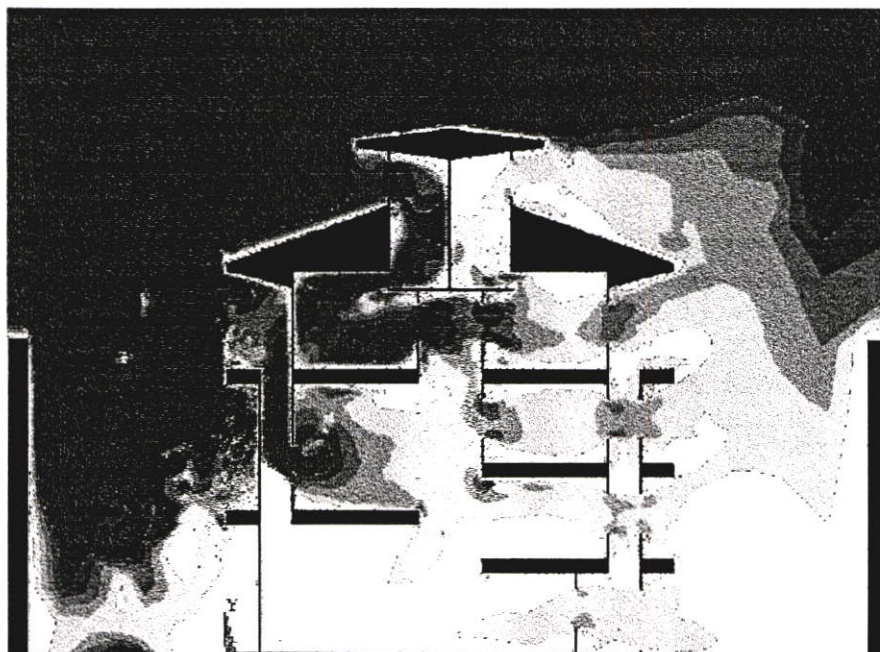
7.4.2 ผลการทดลอง

- ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์
 กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น



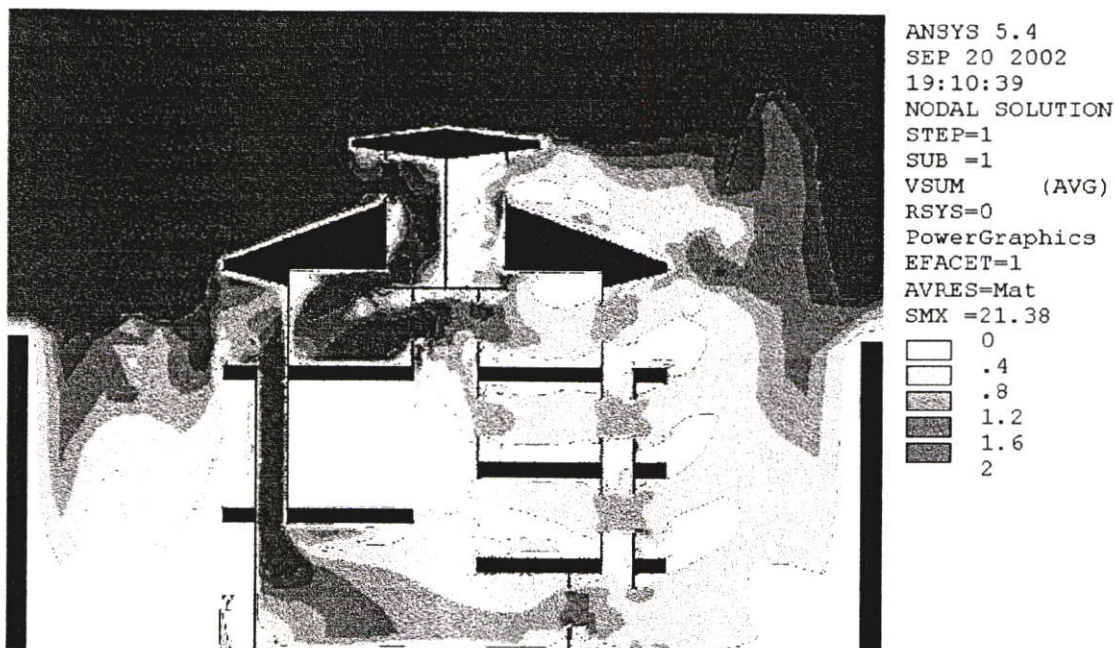
ภาพที่ 7.24 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 1

- กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2



ภาพที่ 7.25 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 2

กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1



ภาพที่ 7.26 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 3

จากภาพที่ 7.24 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ที่ดักลมแบบที่ 2 กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น สามารถดักลมเข้าสู่ตัวอาคารได้ ที่ดักลมแบบที่ 2 นี้เป็นแบบแยกปล่องจ่ายเป็น 2 ปล่อง ปล่องแรกสำหรับชั้น 4 เท่านั้น ส่วนปล่องที่ 2 สำหรับ 3 ชั้นล่าง ดังนั้น ผลปรากฏว่าชั้นที่ 4 จะได้รับลมปริมาณมาก และความเร็วสูง โดยเฉพาะห้องส่วนหน้าที่มีความเร็วลมสูงเกิน 100% ของความเร็วเริ่มต้น ส่วนใน 3 ชั้นล่างความเร็วลมจะต่ำกว่า โดยเฉพาะส่วนห้องด้านหลัง ความเร็วลมจะต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด ความเร็วลมภายในทั้งอาคารยกเว้นชั้น 4 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 – 40%

จากภาพที่ 7.25 – 7.26 การทดลองสำหรับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ที่มีการแยกเปิดช่องเปิดภายในปล่องทีละชั้น สำหรับ 3 ชั้นล่าง พบว่า ความเร็วลมในส่วนห้องด้านหน้าจะสูงขึ้นอีกประมาณ 10 – 20% แต่ความเร็วลมในส่วนห้องด้านหลังกลับลดลง ซึ่งอาจสรุปได้ว่า เป็นเพราะการแยกเปิดช่องเปิดภายในทีละชั้น ทำให้พื้นที่รวมของช่องเปิดลมเข้ามีขนาดเล็กลง ในขณะที่พื้นที่รวมของช่องเปิดลมออกมีขนาดเท่าเดิม ความเร็วลมแรกเข้าที่ผ่านเข้ามาจึงสูงขึ้น แต่ในส่วนห้องด้านหลัง ลมถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วนความเร็วลมจึงลดลง อย่างไรก็ตามในทุกกรณี แม้ว่าช่องเปิดด้านหน้าจะถูกปิดเป็นบางชั้น แต่ส่วนห้องด้านหลัง ยังมีการเคลื่อนที่ของอากาศเสมอ

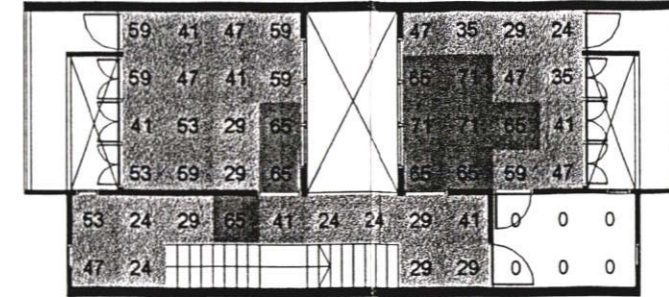
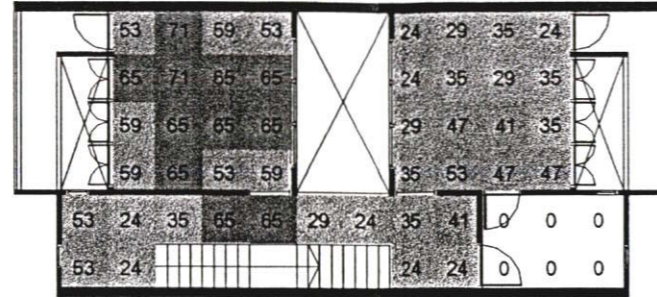
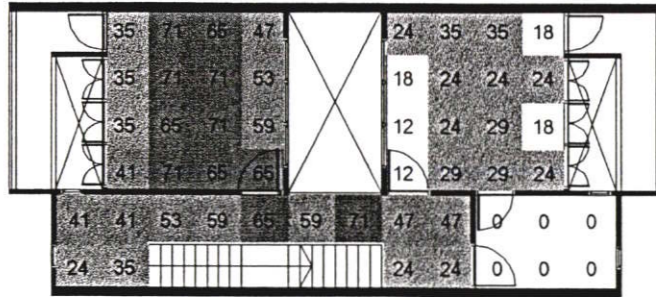
ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

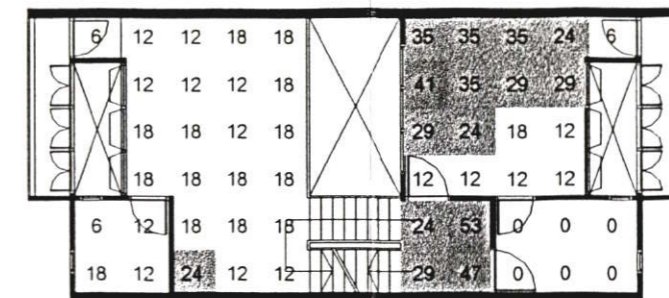
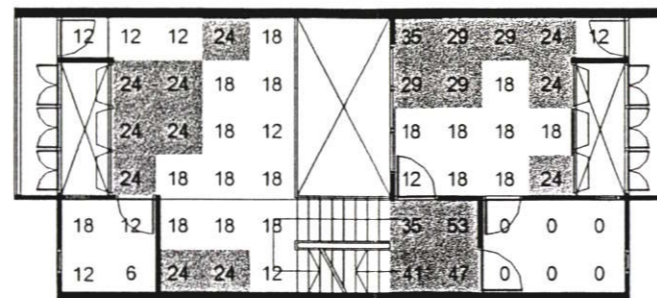
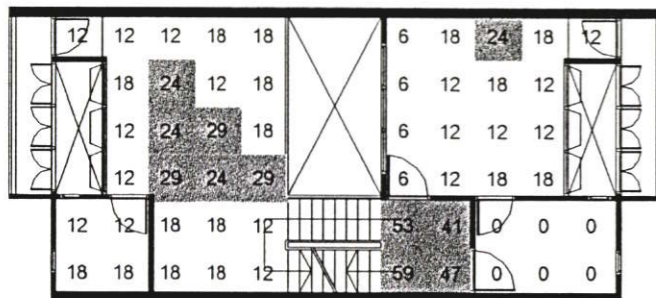
ระดับที่วัด 0.5 เมตร

1.0 เมตร

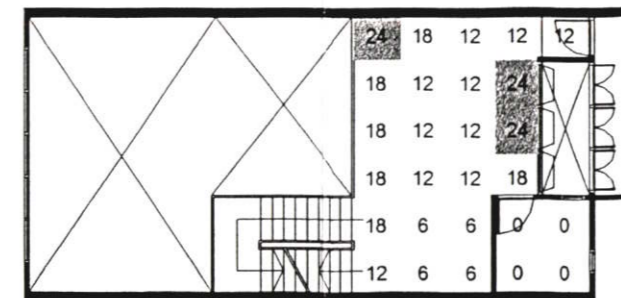
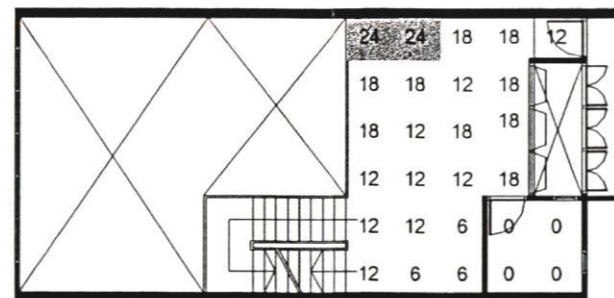
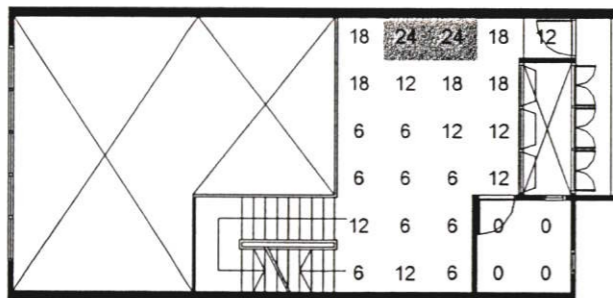
1.5 เมตร



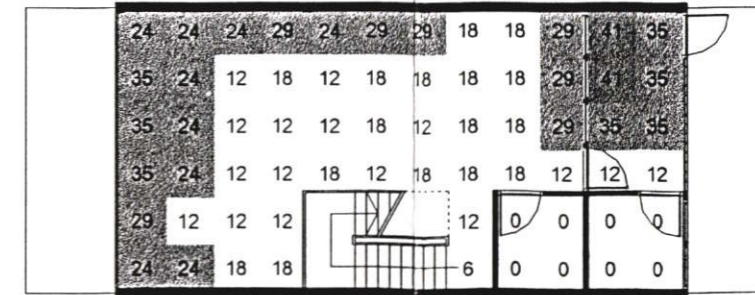
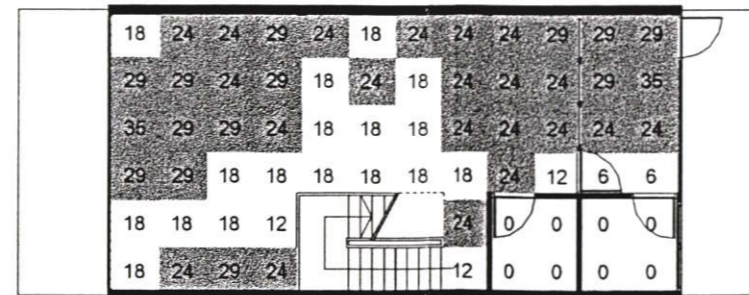
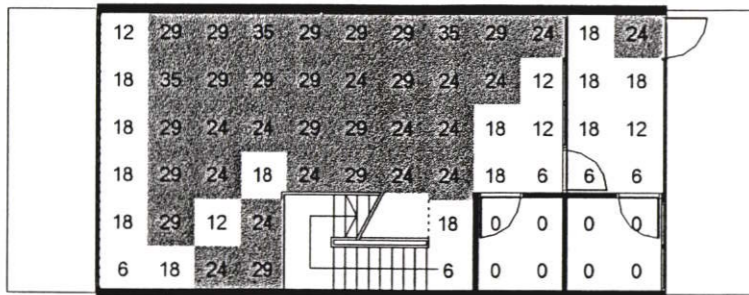
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3



ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.27 ผังพื้นที่แบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

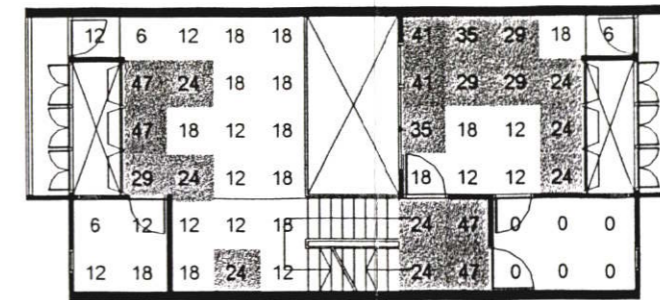
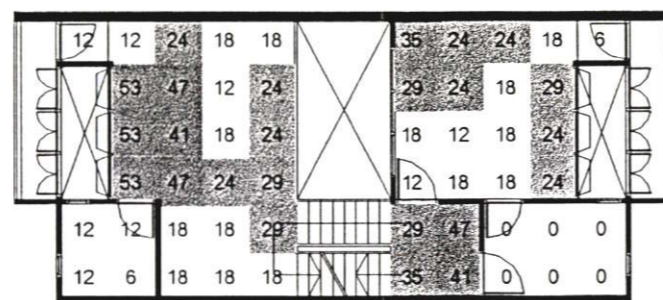
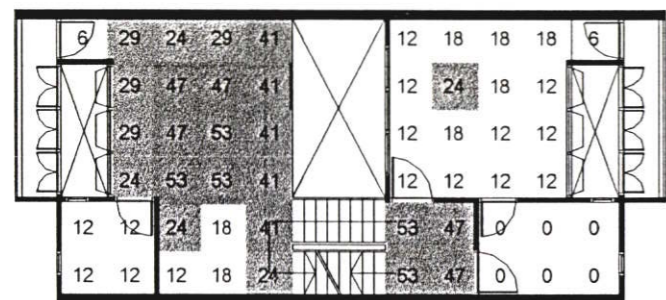
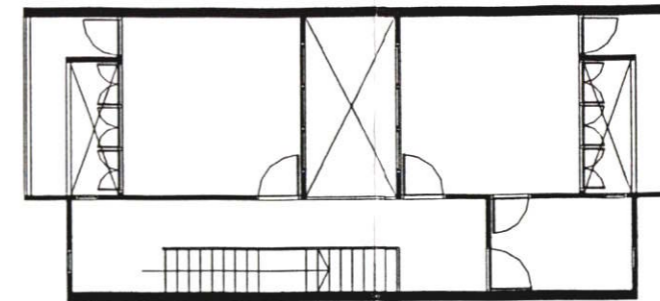
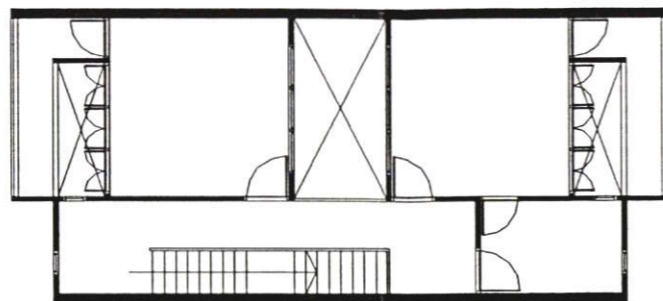
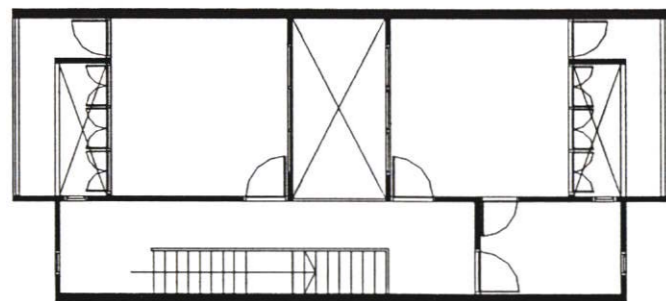
กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2

ระดับที่วัด

0.5 เมตร

1.0 เมตร

1.5 เมตร



ผังพื้นที่ 4

ผังพื้นที่ 3

ผังพื้นที่ 2

ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.28 ผังพื้นที่แบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2

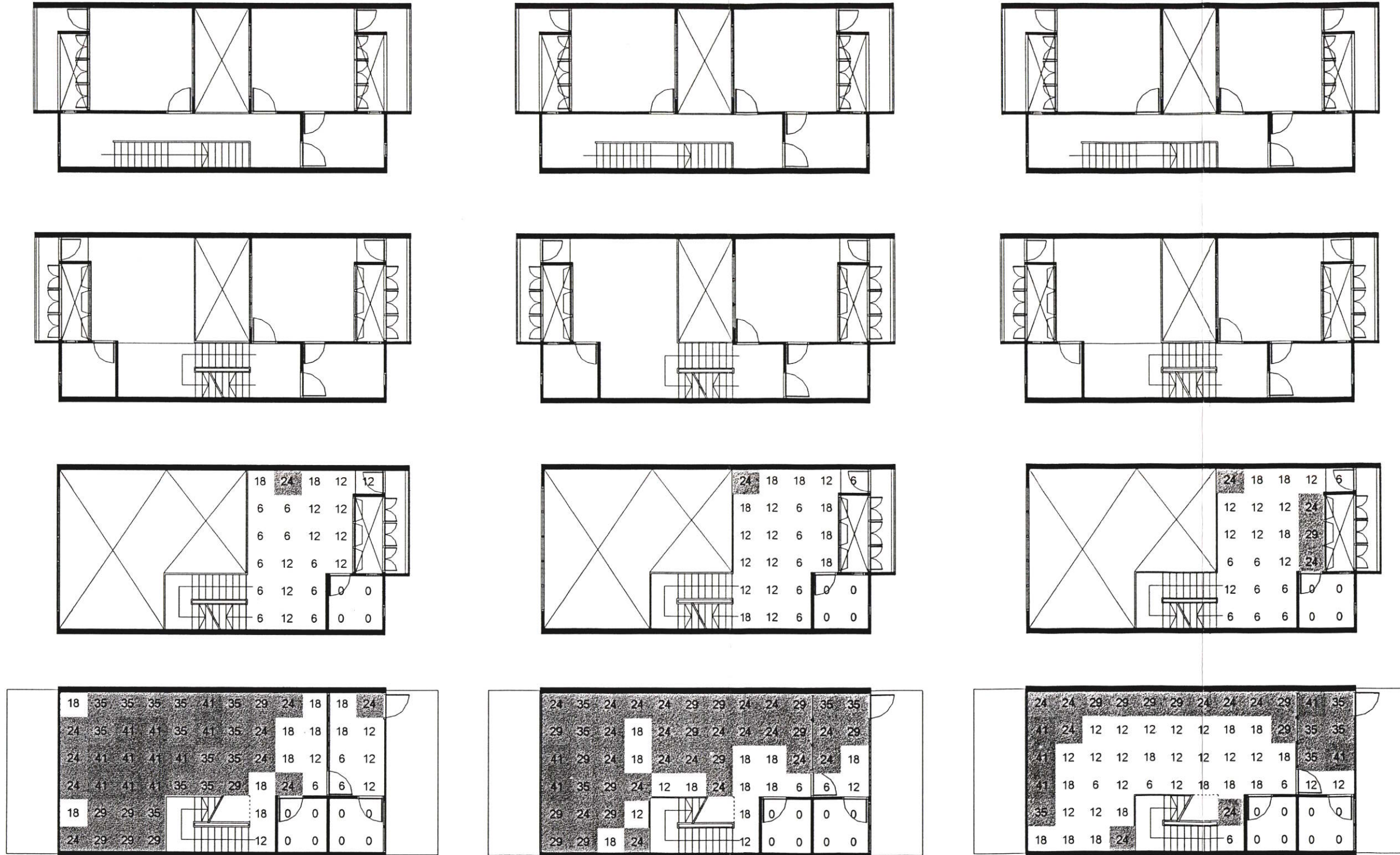
กรณีศึกษาที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1

ระดับที่วัด

0.5 เมตร

1.0 เมตร

1.5 เมตร



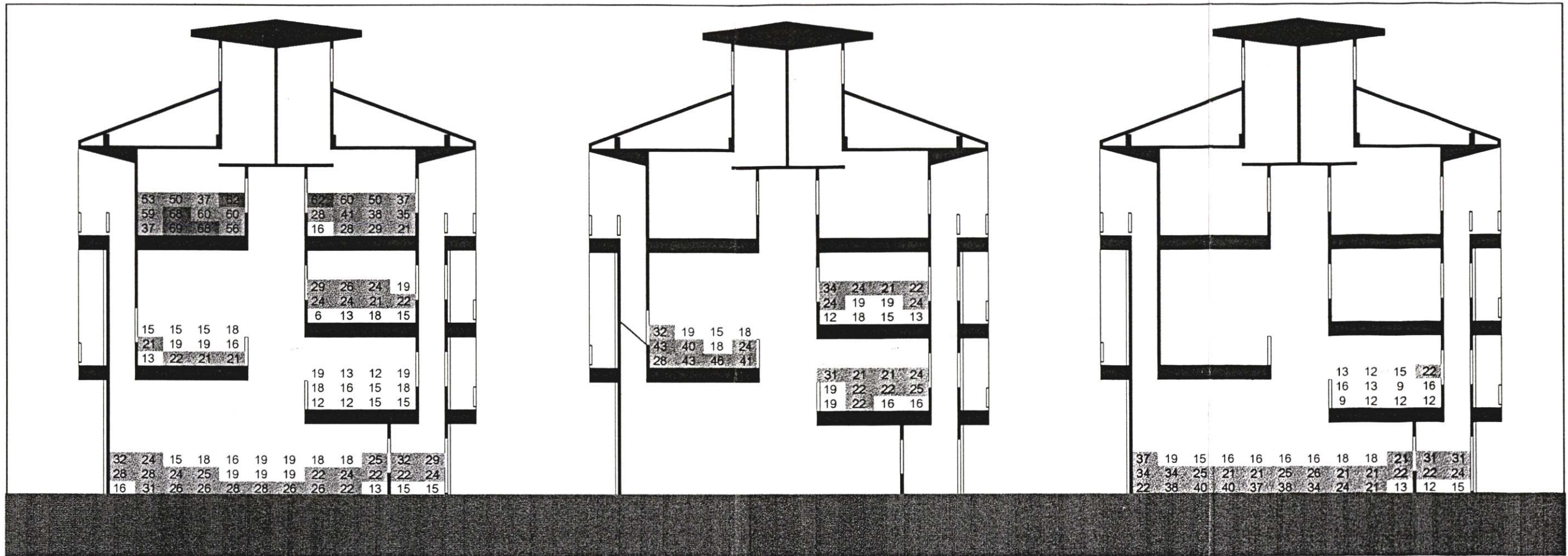
ผังพื้นชั้น 4

ผังพื้นชั้น 3

ผังพื้นชั้น 2

ผังพื้นชั้น 1

ภาพที่ 7.29 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 2 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1



กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

กรณีที่ 2 เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2

กรณีที่ 3 เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1

ภาพที่ 7.30 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 2 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3

จากภาพที่ 7.27 – 7.29 ผังแสดงความเร็วลมภายในอาคารที่ใช้ที่ดักลมแบบที่ 2 กรณีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และภาพที่ 7.30 รูปตัดแสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร กรณีที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นความเร็วลมที่ต่างกันในแต่ละชั้นอาคาร สำหรับกรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 20%

ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 10 - 20%

ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 20%

และ ชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 40 – 50%

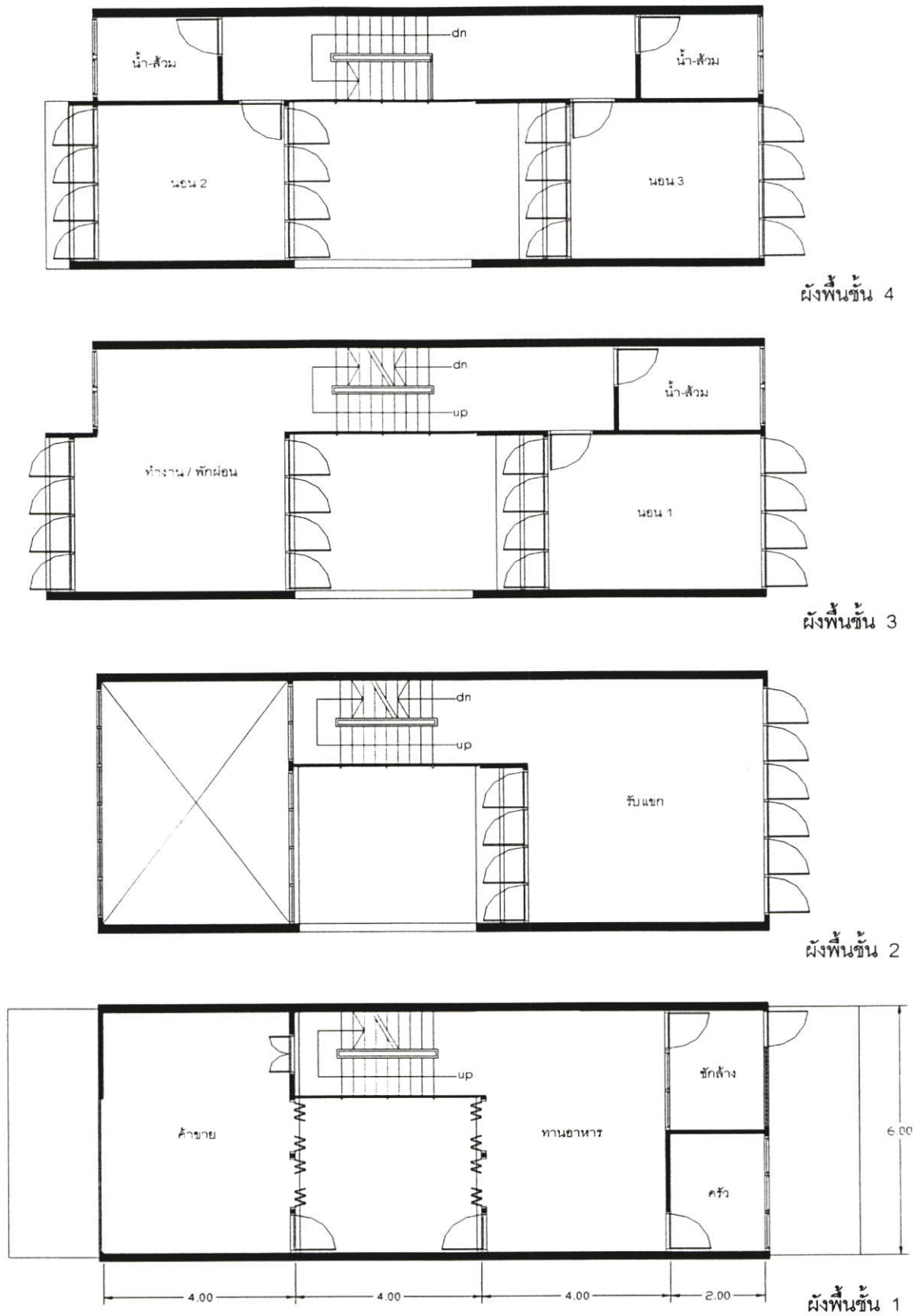
แนวโน้มของค่าความเร็วลมภายในอาคาร ค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ คือ ชั้นที่ 4 จะมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าชั้นอื่นมาก ส่วนบริเวณชั้นลอย (ชั้นที่ 2) จะมีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบทางเลือกที่ 1 คือ ผลการทดลอง 3 มิติ มีค่าต่ำกว่าผลการทดลอง 2 มิติ

สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 จะทำให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในส่วนด้านหน้าอาคารสูงขึ้นพอสมควร ส่วนด้านหลังมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับกรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในชั้นที่ 1 จะสูงขึ้น แต่บริเวณชั้นลอย ค่าความเร็วลมเฉลี่ยจะต่ำลง เนื่องจากเดิม บริเวณนี้จะได้รับลมจากชั้นที่ 2 เป็นหลัก

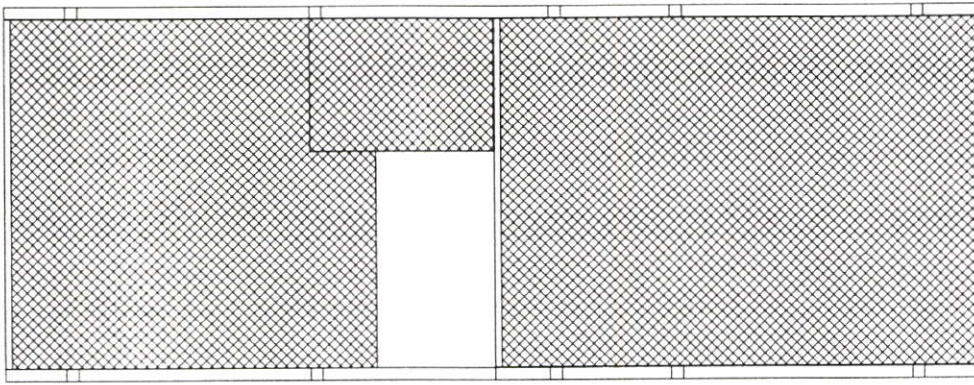
เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างแบบทางเลือกที่ 2 กับแบบทางเลือกที่ 1 พบว่า ทั้งสองแบบมีการวางชั้นเหลื่อมกัน (Split Level) โดยแบบทางเลือกที่ 1 จะหันด้านที่มี 4 ชั้นเข้ารับลม ส่วนแบบที่ 2 จะหันด้านที่มี 3 ชั้นเข้ารับลม ดังนั้น เมื่อพิจารณาพื้นที่ช่องเปิดลมเข้ารวมทั้งหมด แบบทางเลือกที่ 2 จะมีพื้นที่ช่องเปิดดังกล่าวน้อยกว่า ทำให้มีปริมาณลมที่เข้ามาน้อยกว่า

อย่างไรก็ตาม แบบทางเลือกที่ 2 นี้ ให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละชั้น ไม่ค่อยสม่ำเสมอ เพราะปริมาณลมจากปล่องถูกแบ่งจ่ายเข้าอาคารไม่เท่ากัน

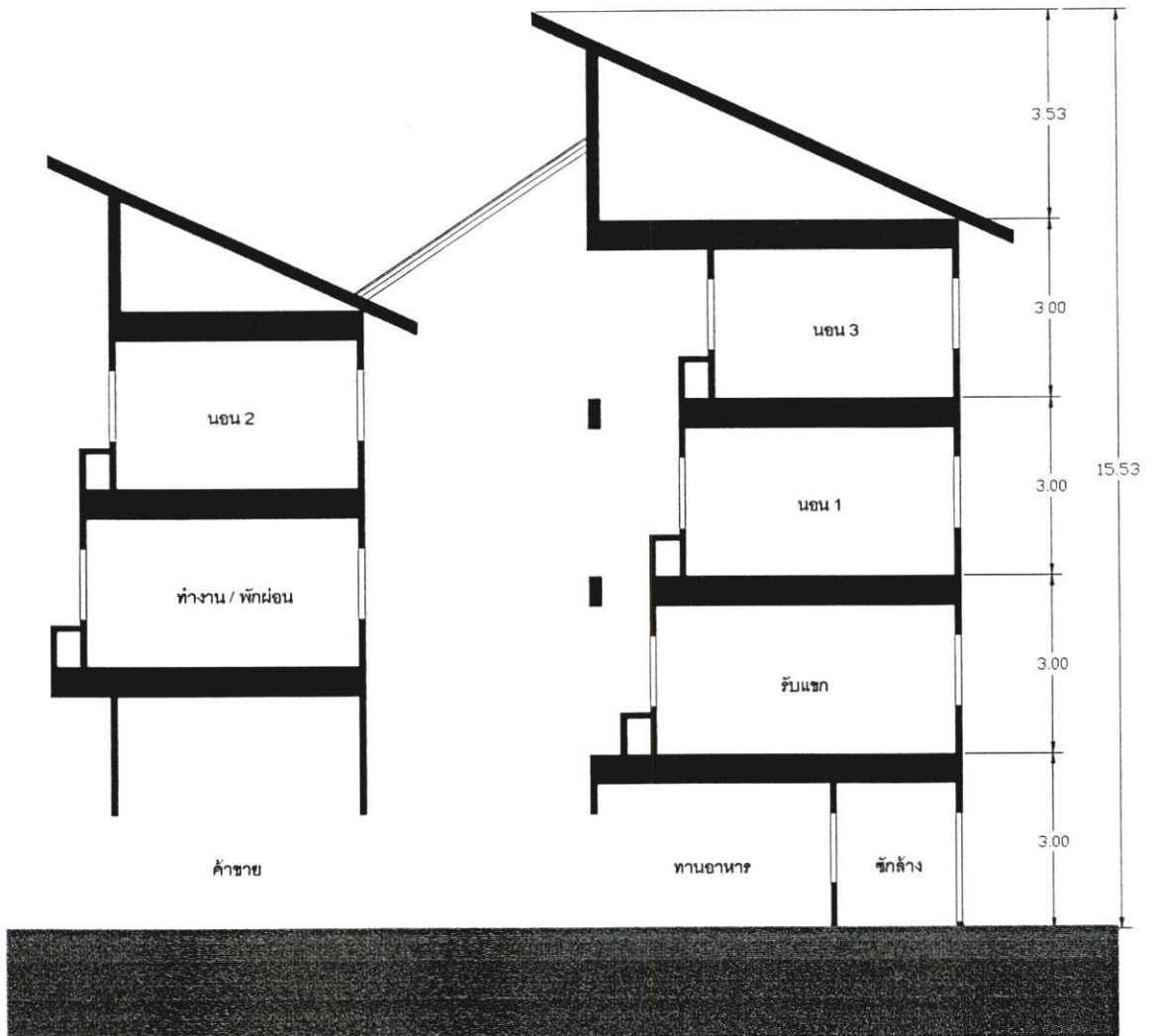
7.5 แบบทางเลือกที่ 3



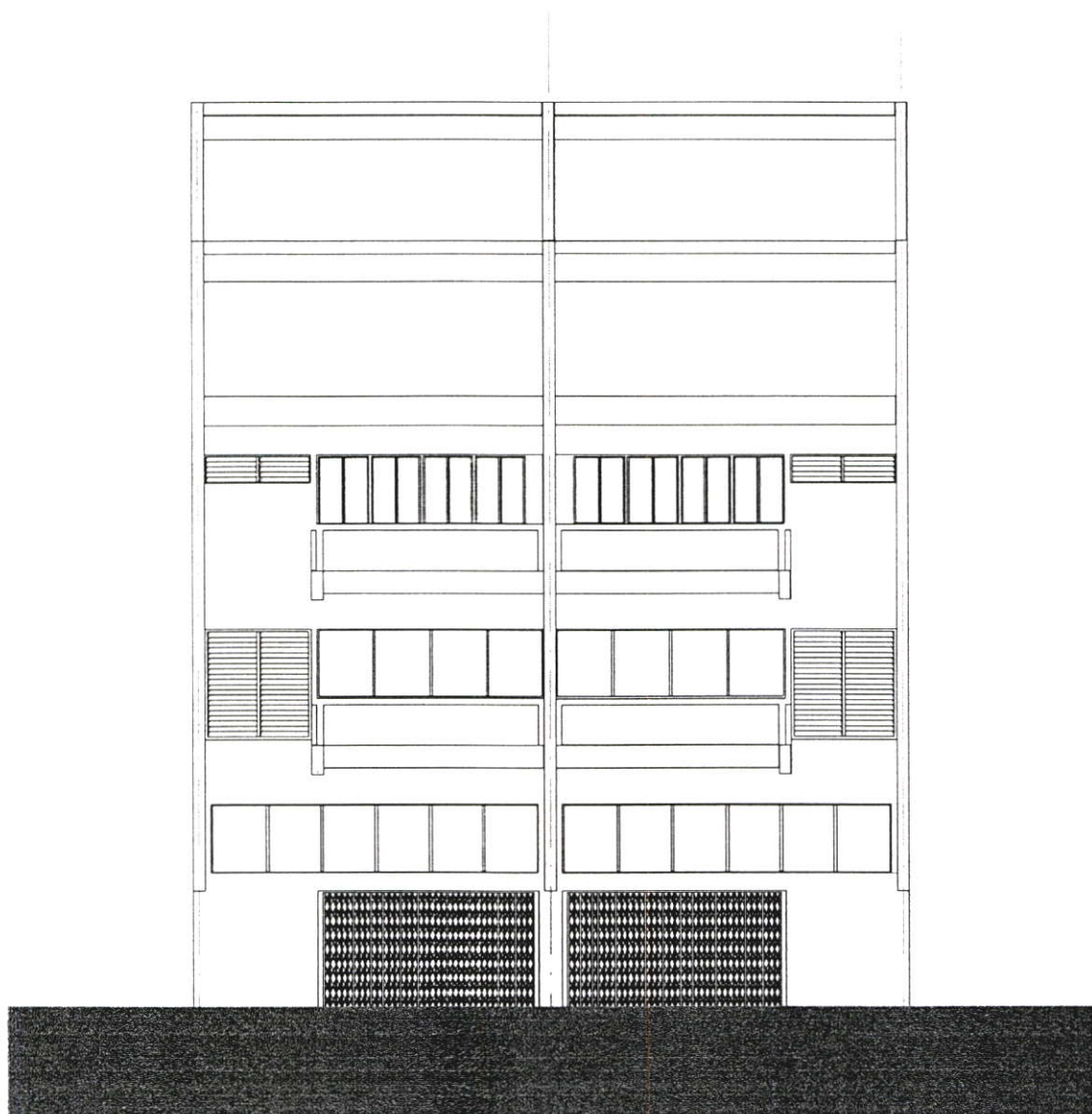
ภาพที่ 7.31 ผังพื้นที่อาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3



ภาพที่ 7.32 ผังหลังคาอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3



ภาพที่ 7.33 รูปตัดอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3



ภาพที่ 7.34 รูปด้านหน้าอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3

แบบทางเลือกที่ 3 เป็นอาคารตึกแถว กว้าง 6 เมตร ลึก 14 เมตร สูง 3 ชั้นครึ่ง แบ่งอาคารเป็น 2 ส่วน มีพื้นที่เปิดโล่งตรงกลาง โดยให้ส่วนหลังคามีลักษณะเป็นที่ดักลมในตัว การแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบทางเลือกที่ 1 และ 2

7.5.1 วิธีการทดลอง

ขั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของแบบอาคารตึกแถว ทางเลือกที่ 3 กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที ทดลองเฉพาะกรณีลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด แบ่งเป็น 5 กรณี ดังนี้

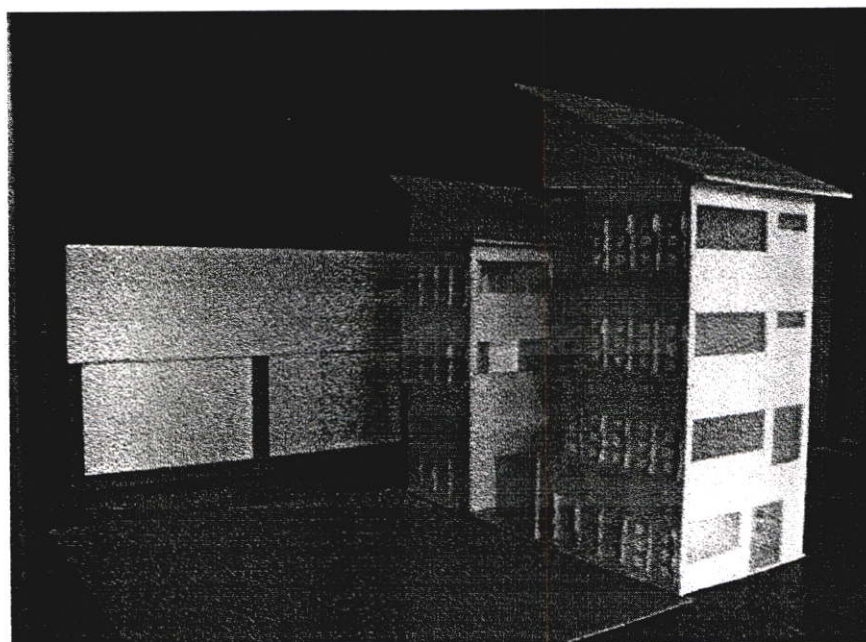
- กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดทุกชั้น
- กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2
- กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4
- กรณีที่ 4 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง
- กรณีที่ 5 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

จัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของแบบอาคารตึกแถวทางเลือกที่ 3 แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้หุ่นจำลองมาตราส่วน 1:20 ขนาด 30 x 70 ซม. สูง 4 ชั้น ชั้นละ 15 ซม. รวมเป็น 60 ซม. ทดลองในอุโมงค์ลม (พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลองมีขนาดเป็น 8% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม)

วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลม เป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที

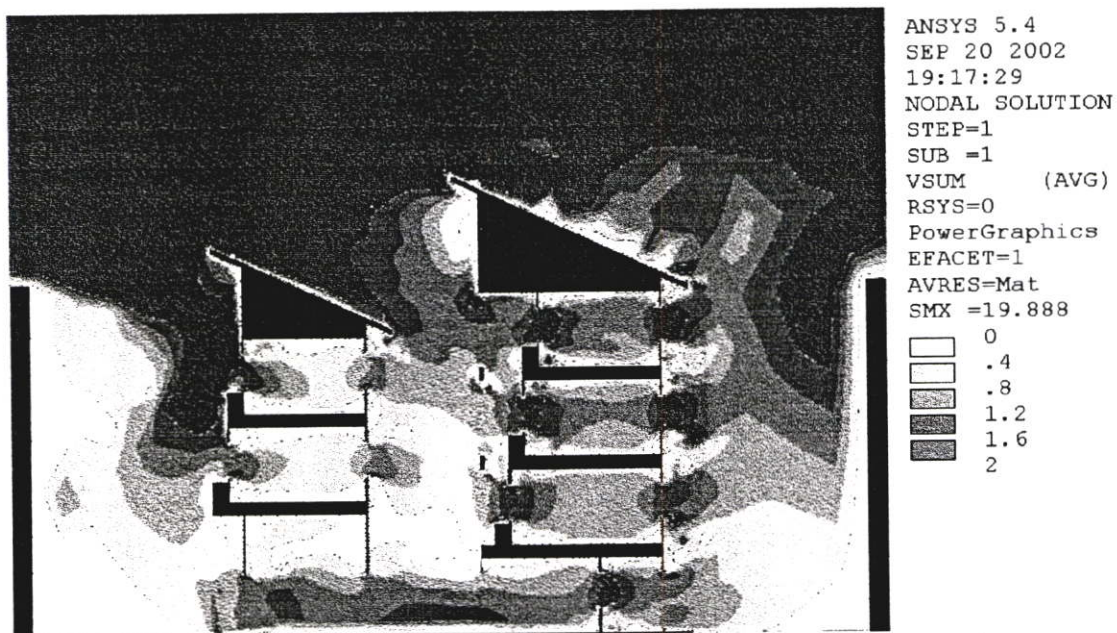
วัดผลความเร็วลมหน่วยเป็น เมตร/วินาที แล้วนำไปแปลงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7.35 หุ่นจำลองทดสอบในอุโมงค์ลม แบบทางเลือกที่ 3

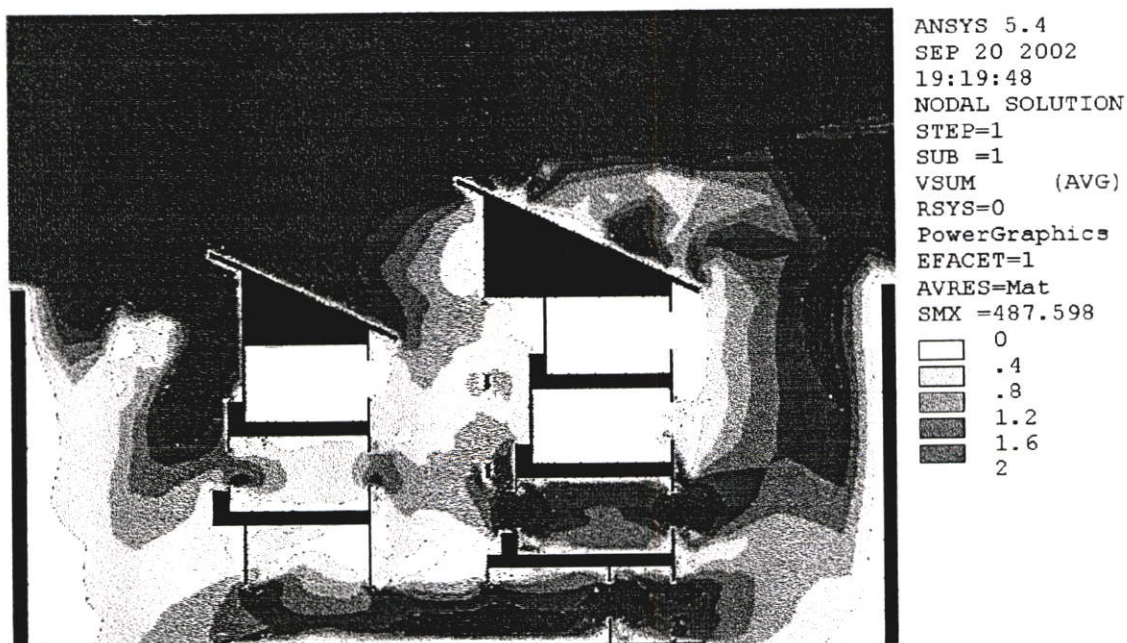
7.5.2 ผลการทดลอง

ชั้นที่หนึ่ง : ทดลองด้วยคอมพิวเตอร์
 กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดทุกชั้น



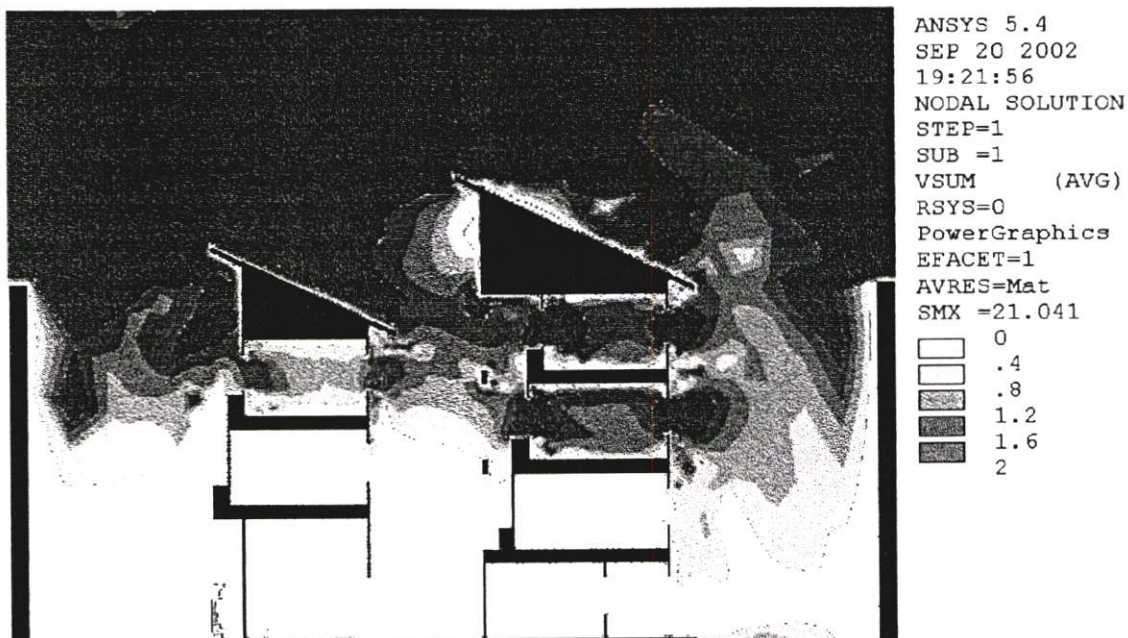
ภาพที่ 7.36 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 1

กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2



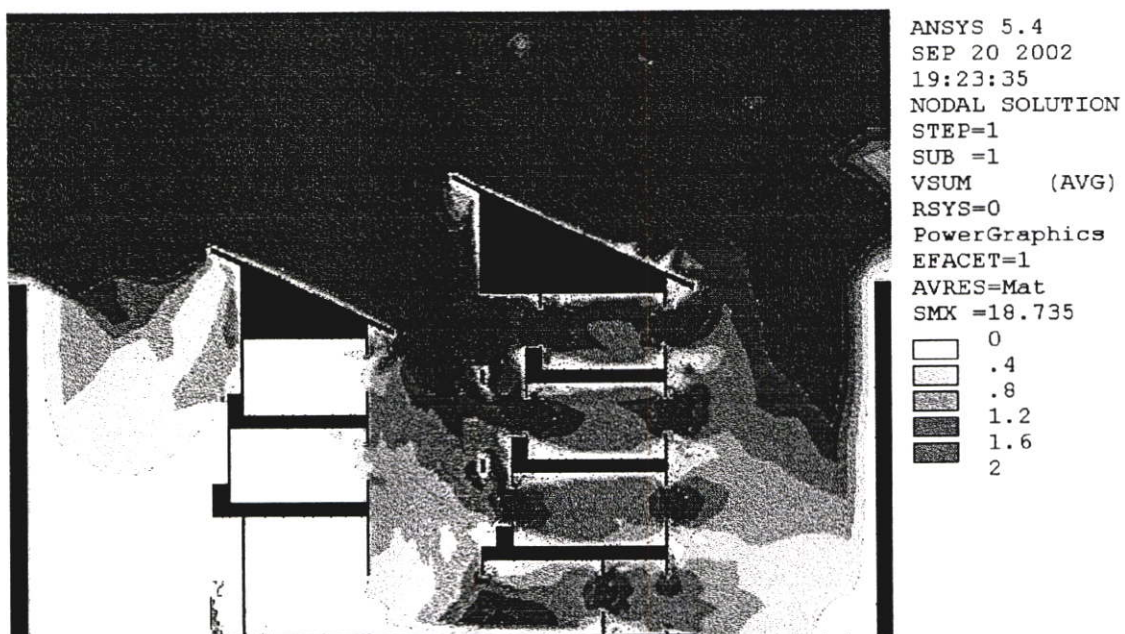
ภาพที่ 7.37 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 2

กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4



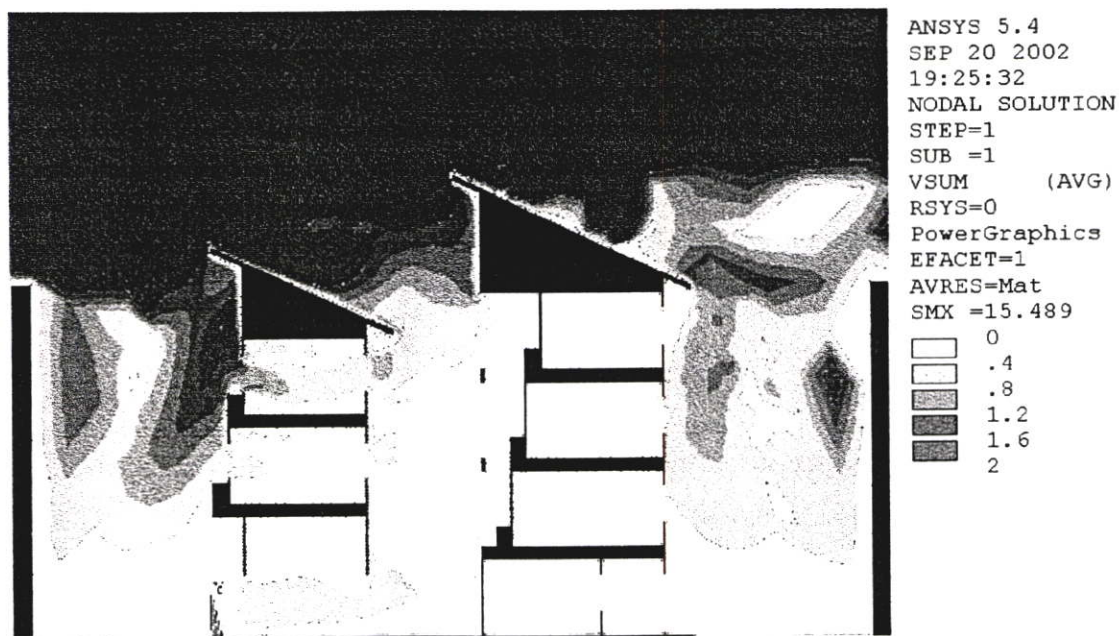
ภาพที่ 7.38 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 3

กรณีที่ 4 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง



ภาพที่ 7.39 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 4

กรณีที่ 5 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า



ภาพที่ 7.40 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถวแบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 5

จากภาพที่ 7.36 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้หลังคาเพื่อดักลมแบบที่ 3 กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดทุกชั้น สามารถดักลมเข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าการทำหลังคาแบน การเปิดพื้นที่โล่งตรงกลาง ทำให้เพิ่มพื้นที่ช่องเปิดลมเข้าได้มากขึ้น จากภาพ ส่วนอาคารด้านหลังจะได้รับลมมากกว่าด้านหน้า เนื่องจากความสูงของหลังคาที่ดักลมได้มากกว่า ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารด้านหน้าเป็น 30 – 40% ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารด้านหลังเป็น 50 – 60%

จากภาพที่ 7.37 – 7.38 การทดลองสำหรับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ที่มีการแยกเปิดช่องเปิดทีละ 2 ชั้น พบว่า ความเร็วลมภายในอาคารสูงชันมาก โดยเฉพาะอาคารด้านหลัง เพราะปริมาณลมที่ดักได้ถูกแบ่งจ่ายให้อาคารเพียง 2 ชั้น

จากภาพที่ 7.39 – 7.40 เป็นการทดลองเปิดช่องเปิดแบบแยกหลัง กรณีที่ 4 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง พบว่าความเร็วลมภายในสูงชันกว่ากรณีเปิดช่องเปิดทุกชั้น อีกประมาณ 10% โดยชั้นบนจะมีความเร็วลมสูงกว่าชั้นล่างเล็กน้อย สำหรับกรณีที่ 5 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า พบว่าปริมาณลมในอาคารด้านหน้ากลับต่ำลงมาก เหลือเพียง 0 – 20% เท่านั้น เนื่องจากหลังคาของอาคารด้านหน้ามีความสูงใกล้เคียงกับอาคารรอบๆ ปริมาณลมที่ดักได้จึงต่ำ ประกอบกับการปิดช่องเปิดอาคารด้านหลัง และอาคารด้านหลังมีความสูงกว่าอาคารด้านหน้า ในกรณีนี้ จึงเปรียบเสมือนกับไม่มีช่องลมออก หรืออากาศเคลื่อนที่ออกได้ไม่สะดวก ทำให้ไม่มีลมเข้ามา

ขั้นที่สอง : ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

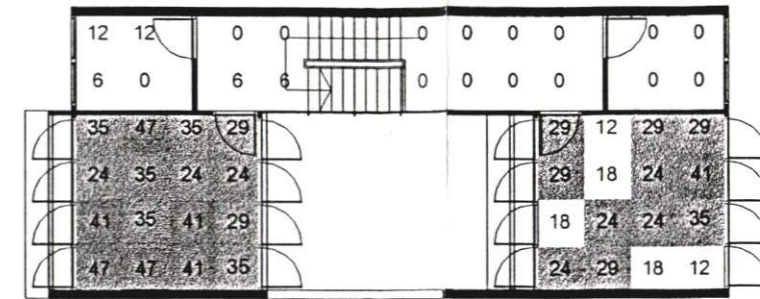
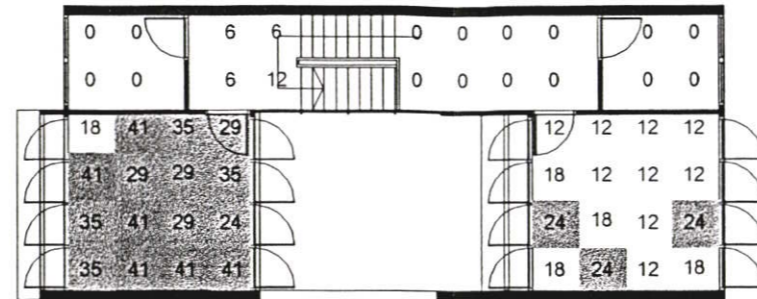
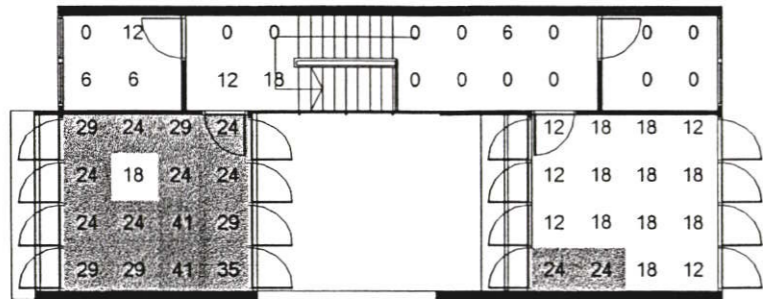
กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดทุกชั้น

ระดับที่วัด

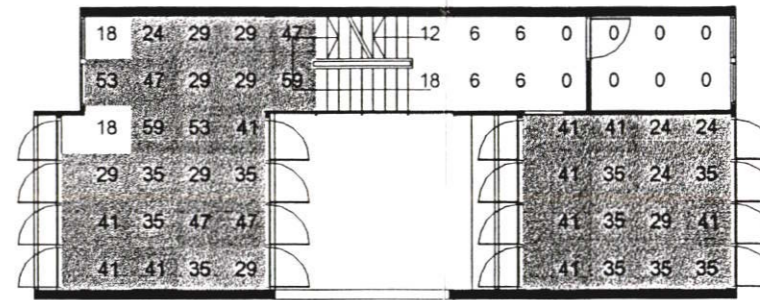
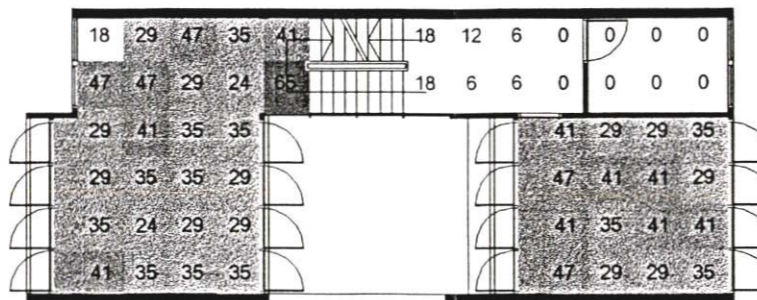
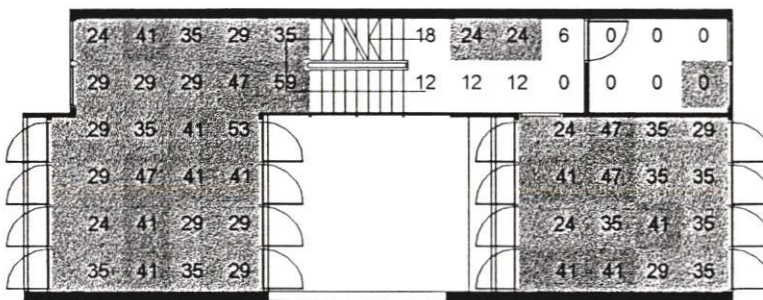
0.5 เมตร

1.0 เมตร

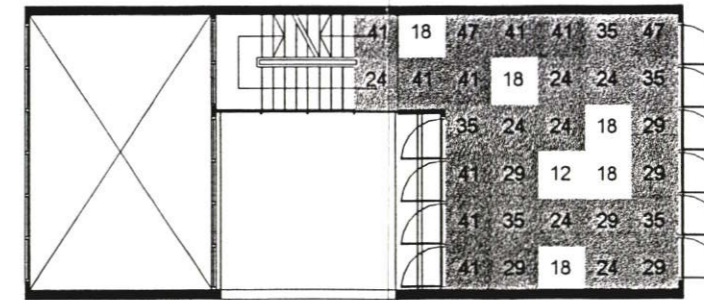
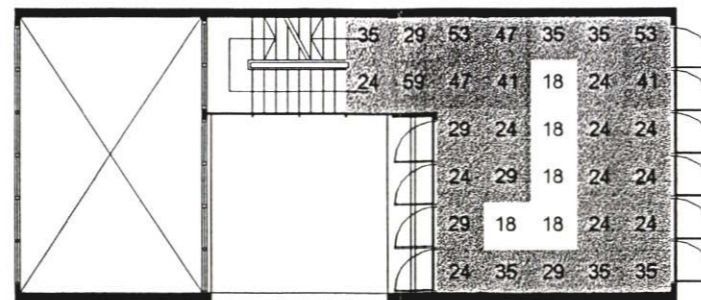
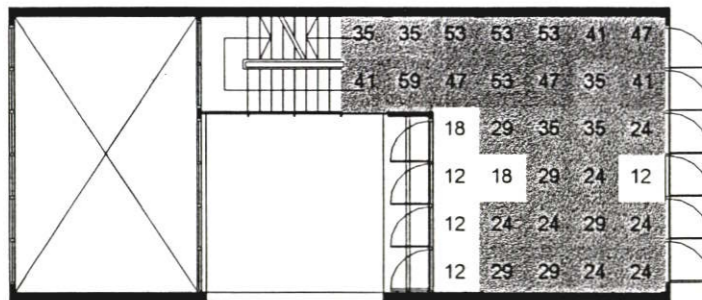
1.5 เมตร



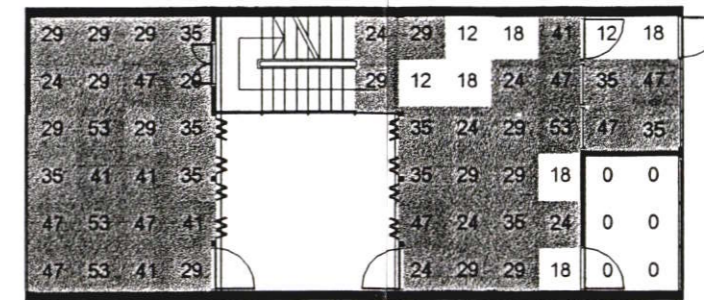
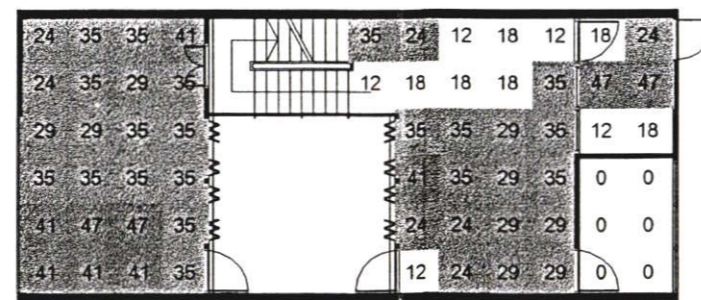
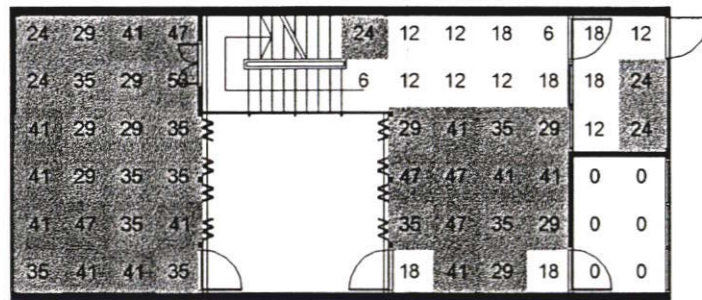
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3



ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.41 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดทุกชั้น

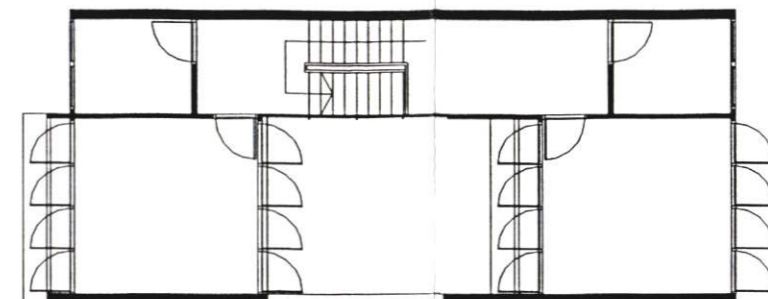
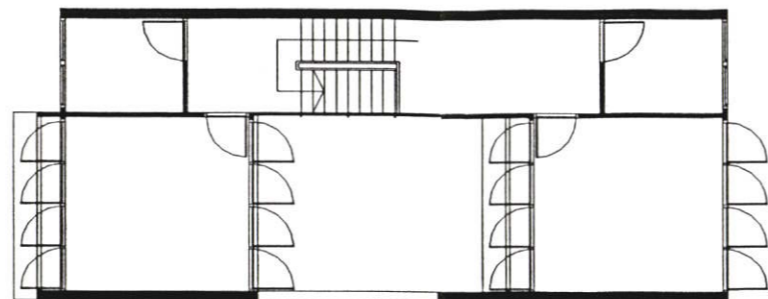
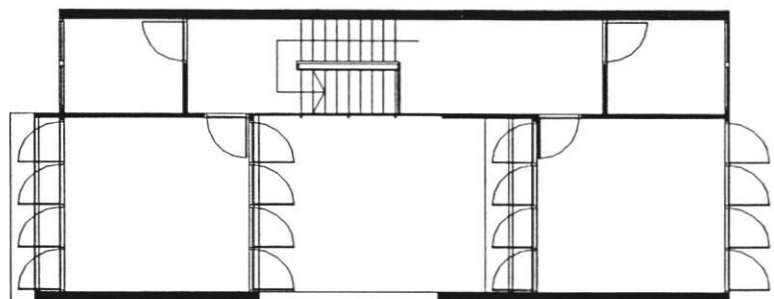
กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2

ระดับที่วัด

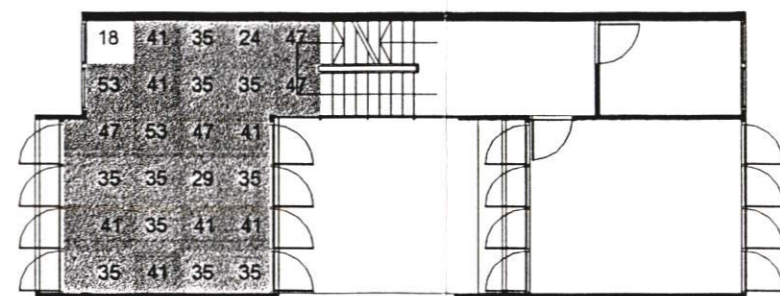
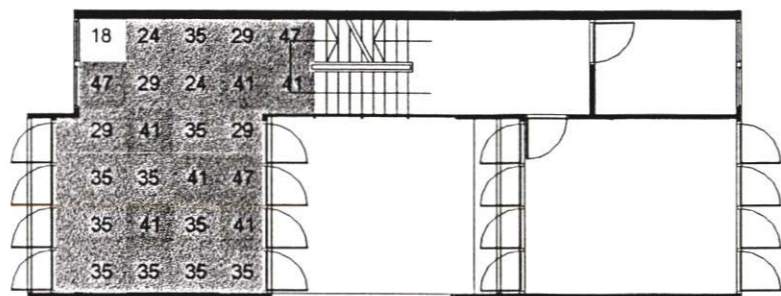
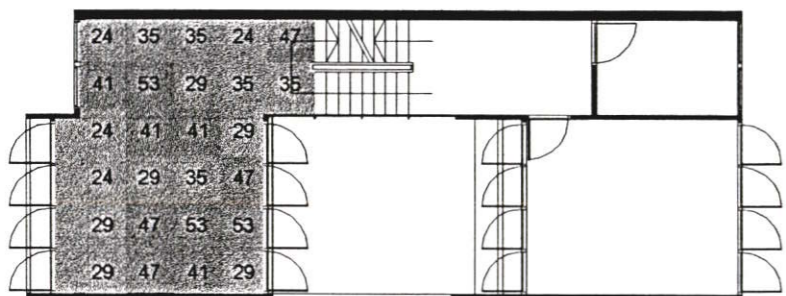
0.5 เมตร

1.0 เมตร

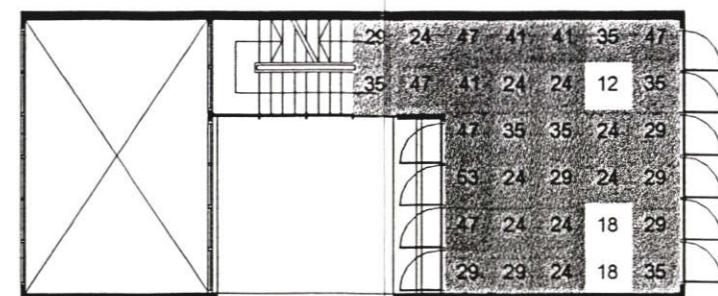
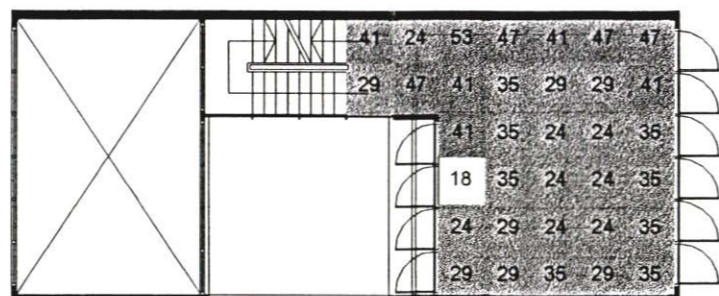
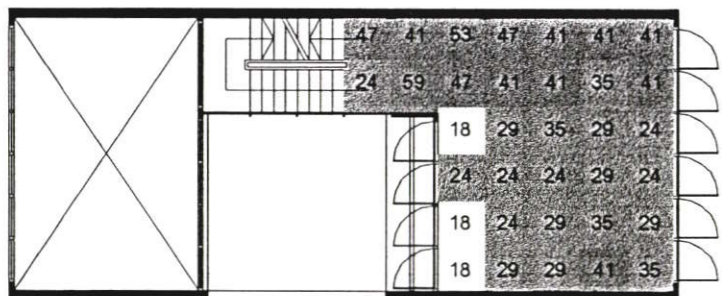
1.5 เมตร



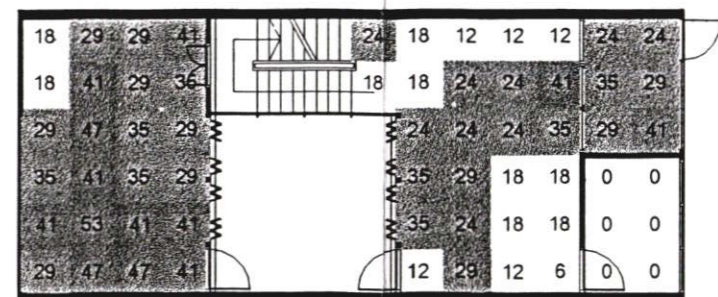
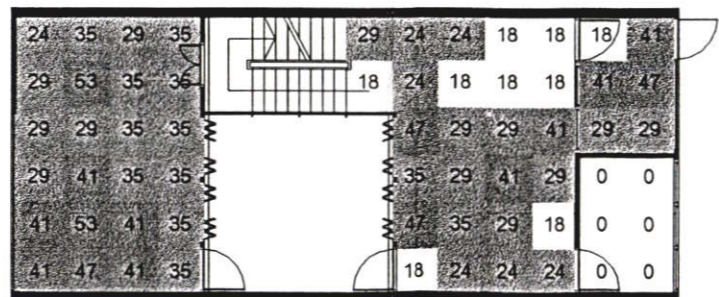
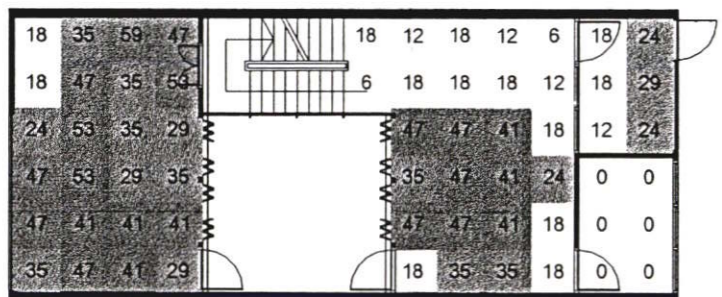
ผังพื้นชั้น 4



ผังพื้นชั้น 3



ผังพื้นชั้น 2



ผังพื้นชั้น 1

ภาพที่ 7.42 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2

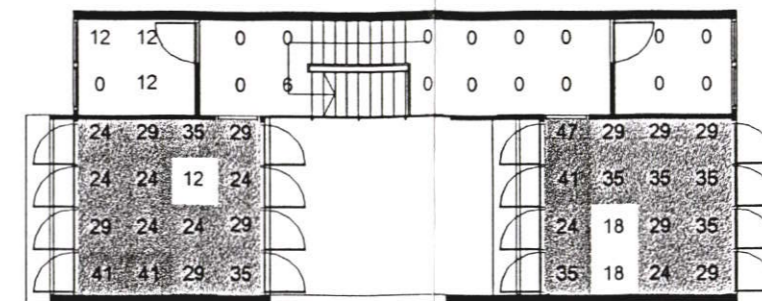
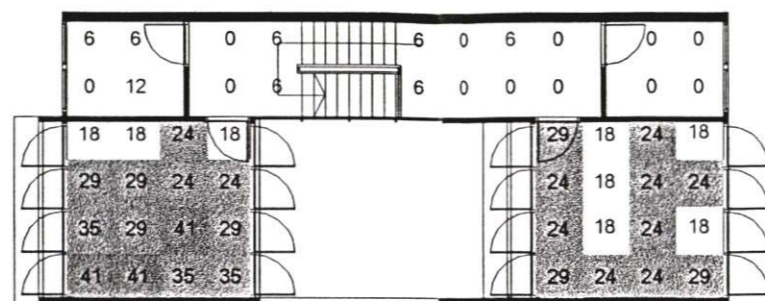
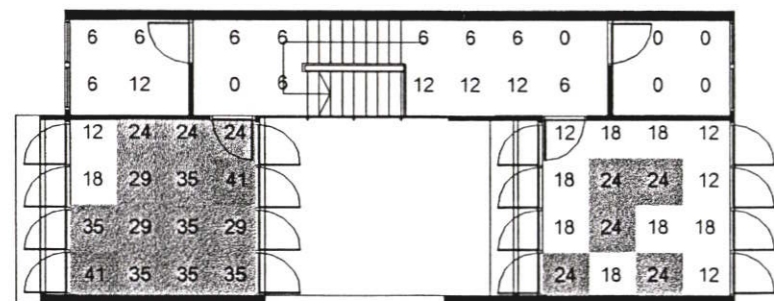
กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4

ระดับที่วัด

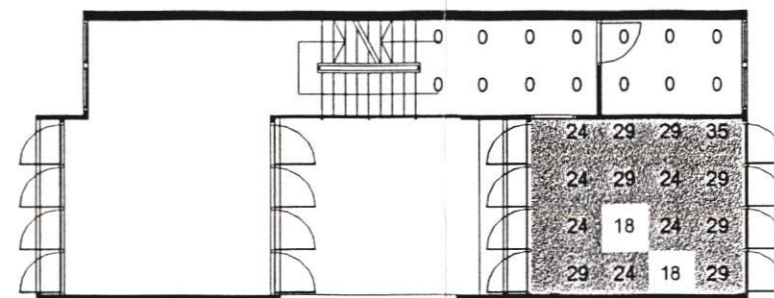
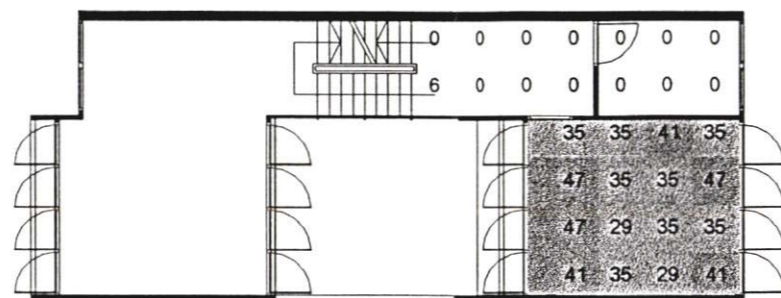
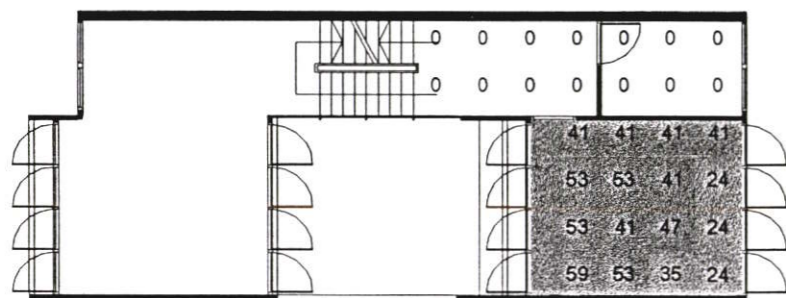
0.5 เมตร

1.0 เมตร

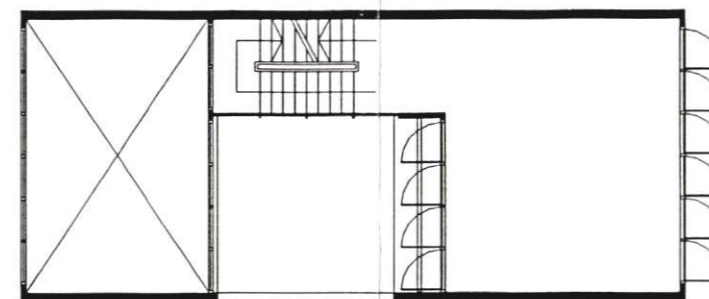
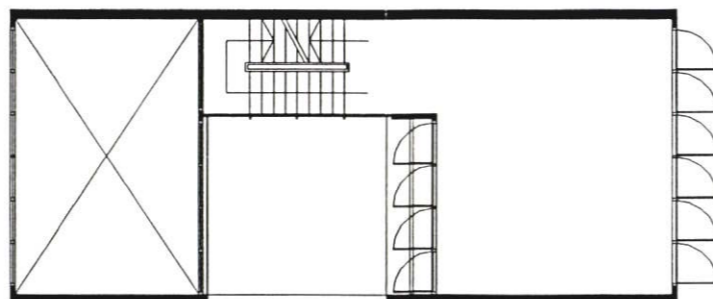
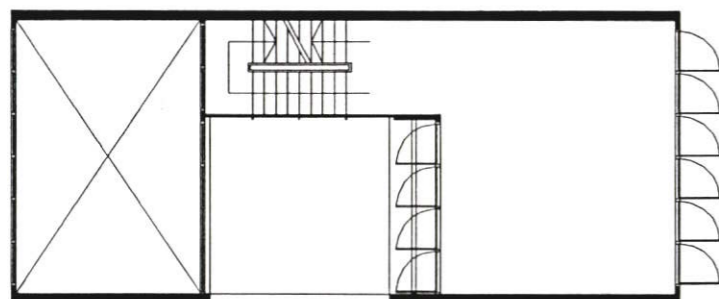
1.5 เมตร



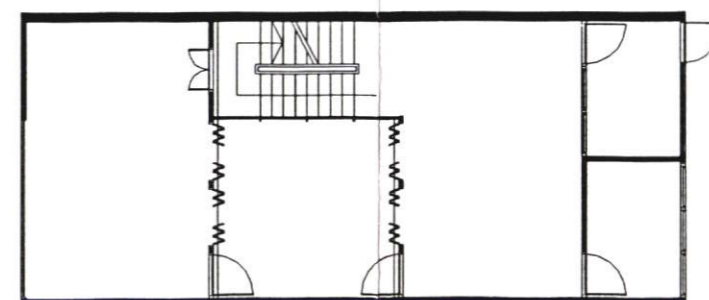
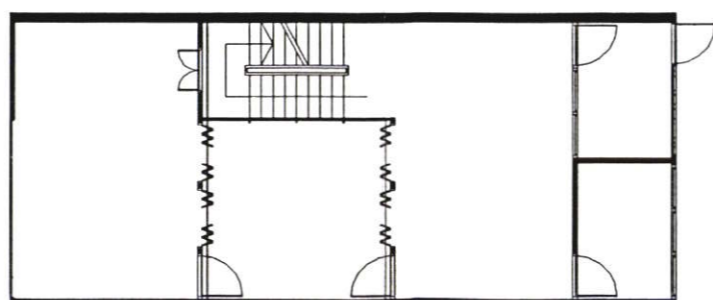
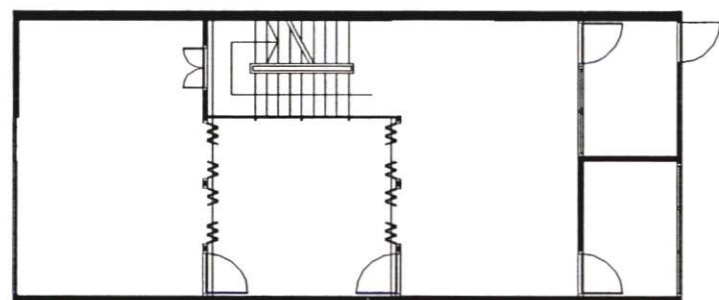
ผังพื้นชั้น 4



ผังพื้นชั้น 3

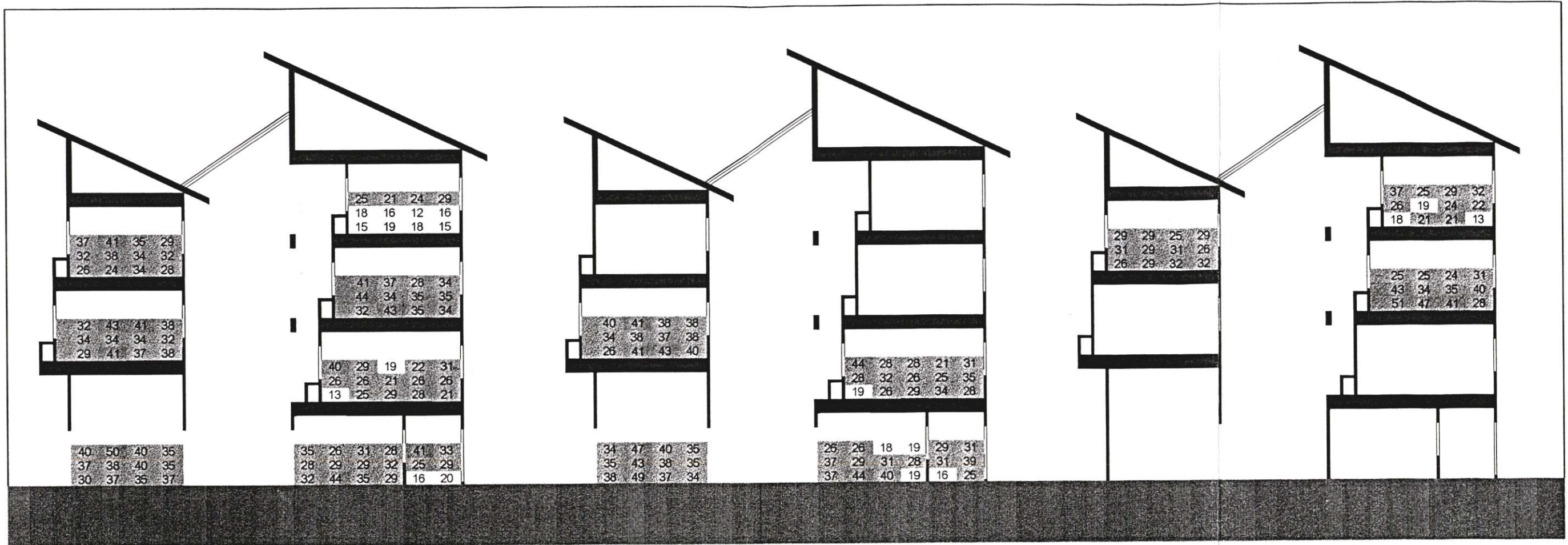


ผังพื้นชั้น 2



ผังพื้นชั้น 1

ภาพที่ 7.43 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4



กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดทุกชั้น

กรณีที่ 2 เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2

กรณีที่ 3 เปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4

ภาพที่ 7.44 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 3 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 1, 2 และ 3

จากภาพที่ 7.41 – 7.43 ผังแสดงความเร็วลมภายในอาคารที่ใช้ที่ดักลมแบบที่ 3 กรณีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และภาพที่ 7.44 รูปตัดแสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร กรณีที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นความเร็วลมที่ต่างกันในแต่ละชั้นอาคาร สำหรับกรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 30%

ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 20 - 30%

ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 30 - 40%

และ ชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 40 - 50%

ผลการทดลองด้วยอุโมงค์ลม แตกต่างจากผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์บางส่วน คือ การทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารด้านหลัง จะสูงกว่าด้านหน้าในทุกชั้น และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบทางเลือกที่ 1 และ 2 คือ ผลการทดลอง 3 มิติ มีค่าต่ำกว่าผลการทดลอง 2 มิติ

สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2 ค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากกรณีที่ 1 มากนัก สำหรับในกรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในอาคารด้านหน้ากลับต่ำลงเล็กน้อย ในขณะที่ความเร็วลมเฉลี่ยในอาคารด้านหลังสูงขึ้นเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างแบบทางเลือกที่ 3 กับแบบทางเลือกที่ 1 และ 2 พบว่า ค่าความเร็วลมเฉลี่ยทุกชั้นสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะการแบ่งอาคารเป็น 2 ส่วน ด้วยการเปิดพื้นที่โล่งระหว่างอาคาร ทำให้เปิดช่องเปิดลมเข้าได้มากขึ้นเป็น 2 เท่า นอกจากนี้ ลักษณะการจ่ายลมไม่ได้จ่ายผ่านปล่องอาคาร แต่จ่ายเข้าทางหน้าต่างโดยตรง พื้นที่โล่งระหว่างอาคารทำหน้าที่เสมือนปล่องในตัว

การย่นระยะอาคารให้มีลักษณะเป็นขั้นบันได ก็เพื่อใช้เป็นที่ดักลมที่พัดลงมาด้านล่าง แต่ในชั้นที่ 4 ของอาคารด้านหลัง กลับเป็นพื้นที่อับลม เนื่องจากมีส่วนหลังคาคลุมไว้ จึงเป็นข้อด้อยของแบบทางเลือกที่ 3 อย่างไรก็ตาม หากปรับแก้ให้มีลักษณะเดียวกับอาคารด้านหน้า ก็สามารถกำจัดปัญหาดังกล่าวไปได้

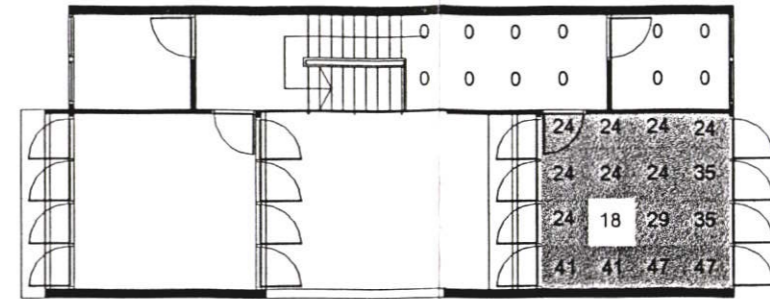
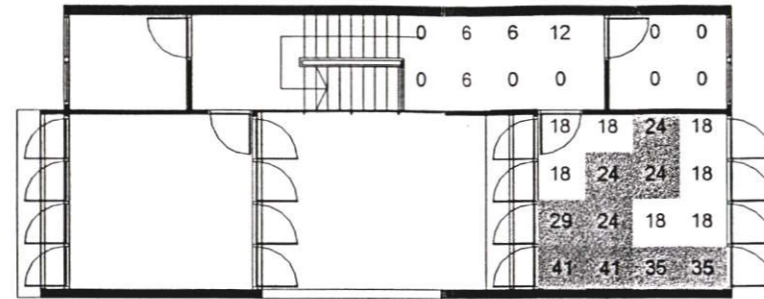
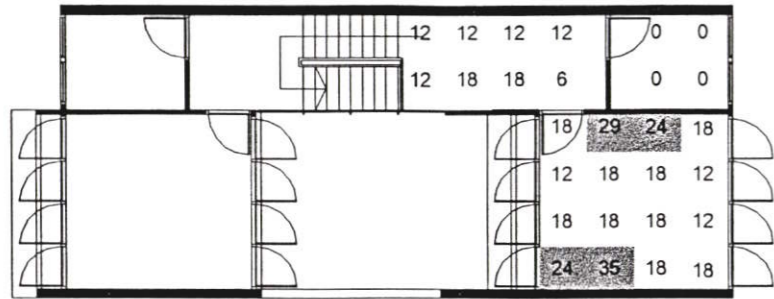
กรณีที่ 4 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง

ระดับที่วัด

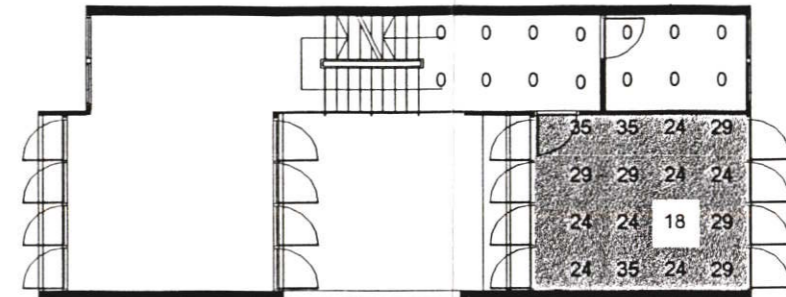
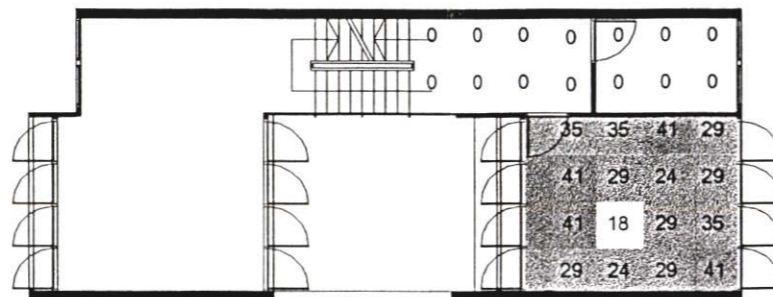
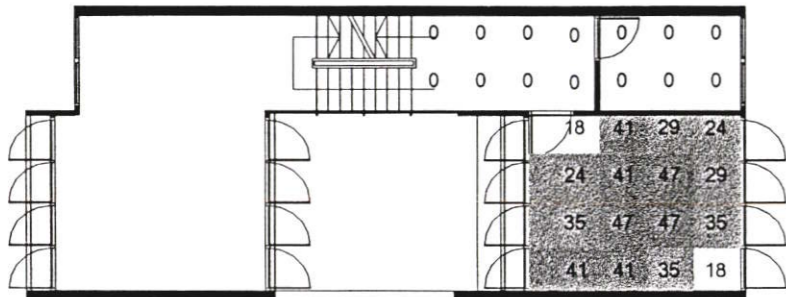
0.5 เมตร

1.0 เมตร

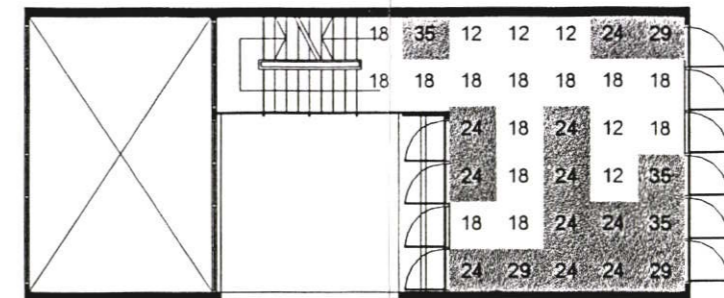
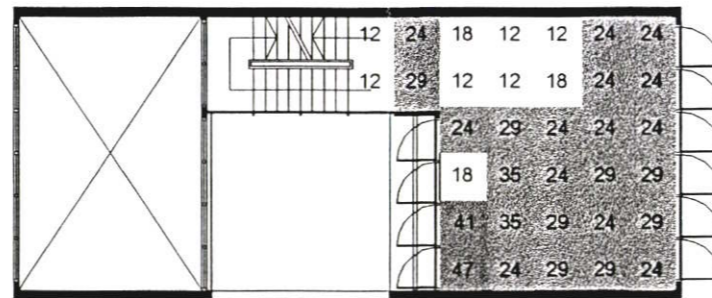
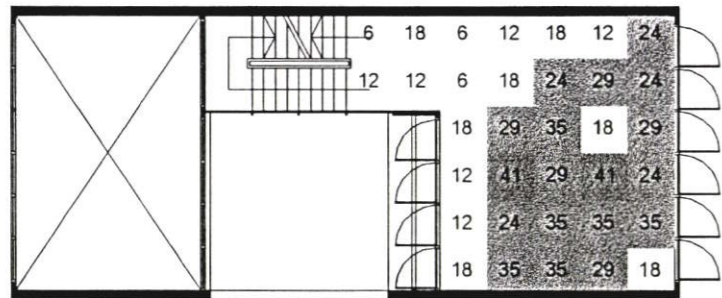
1.5 เมตร



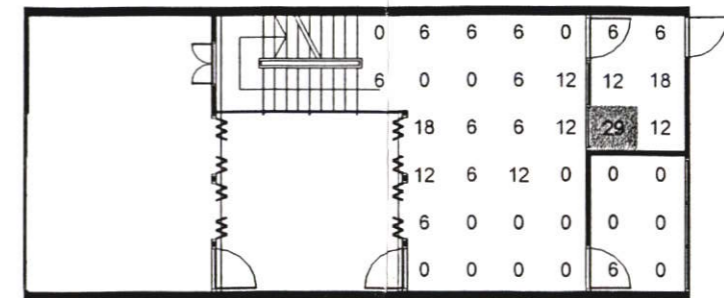
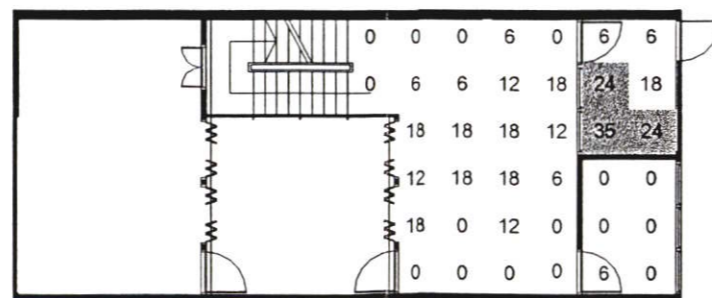
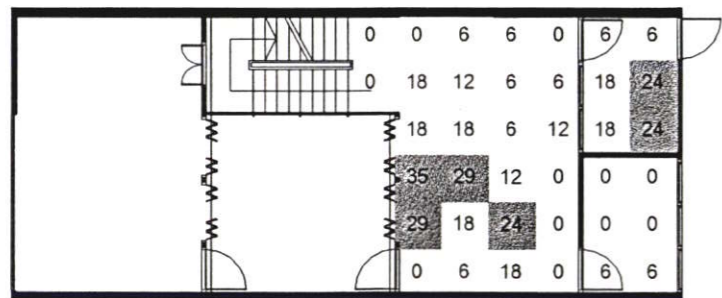
ผังพื้นที่ 4



ผังพื้นที่ 3



ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 1

ภาพที่ 7.45 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 4 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง

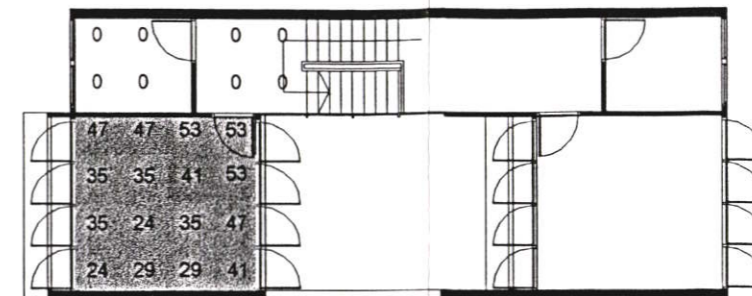
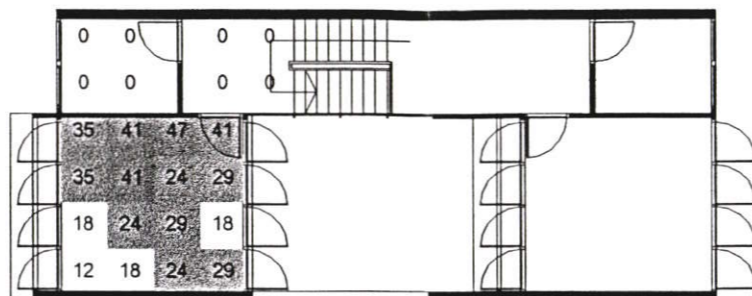
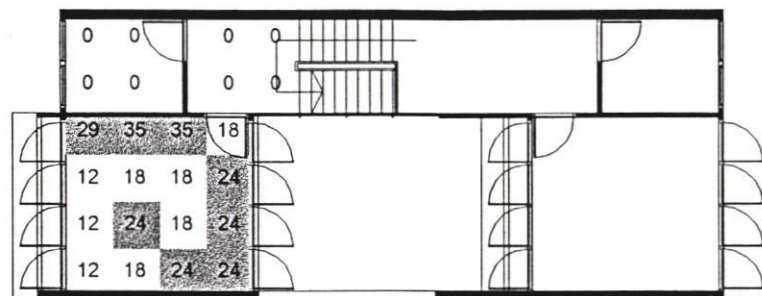
กรณีที่ 5 : เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า

ระดับที่วัด

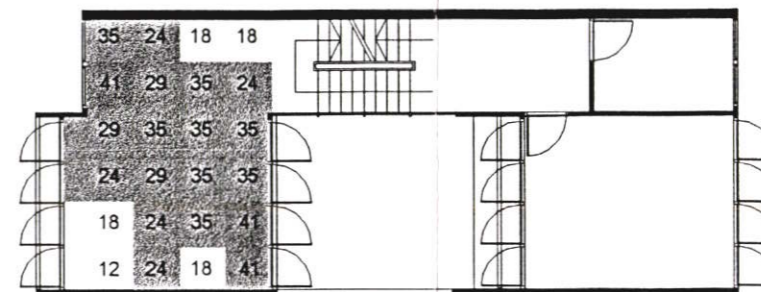
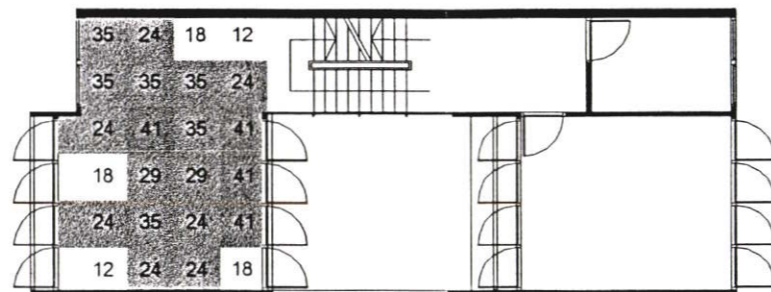
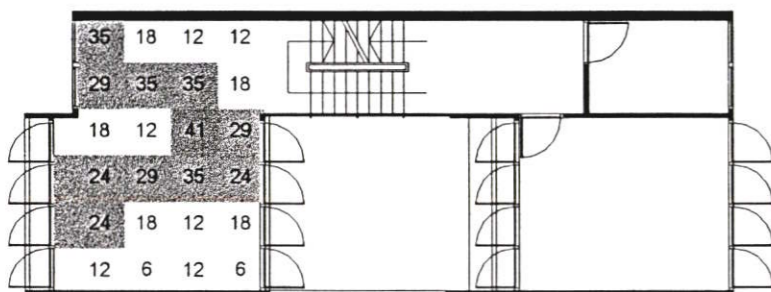
0.5 เมตร

1.0 เมตร

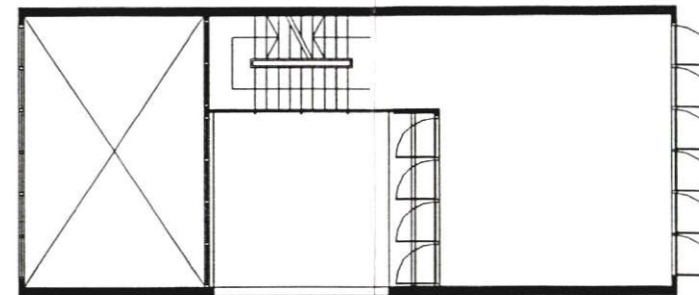
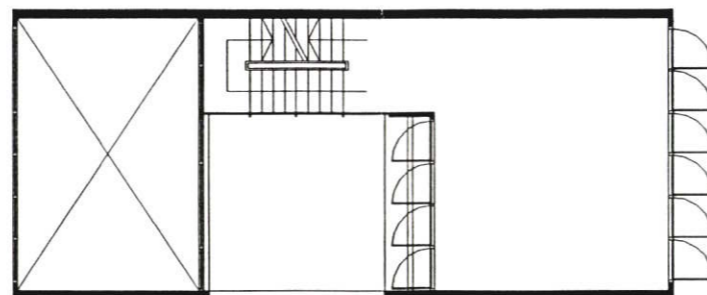
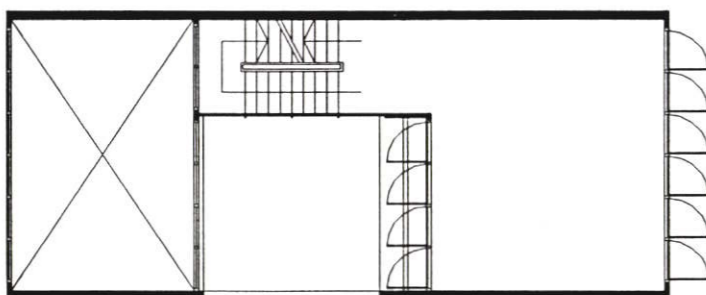
1.5 เมตร



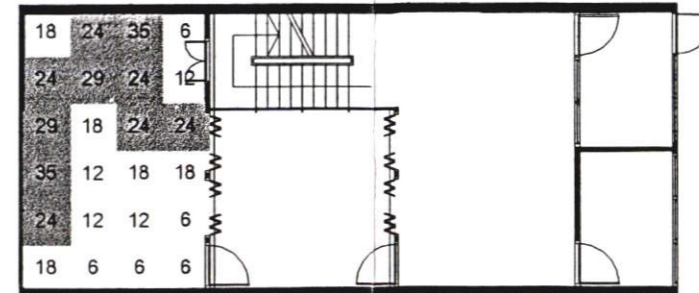
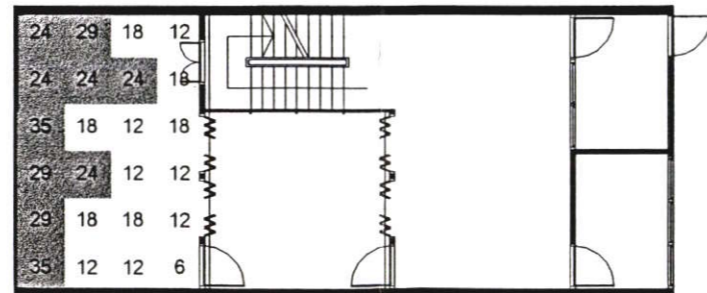
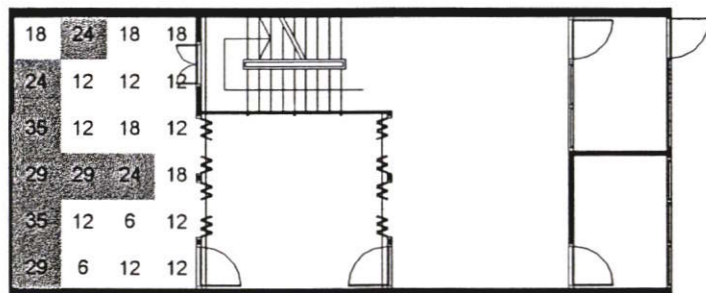
ผังพื้นชั้น 4



ผังพื้นชั้น 3

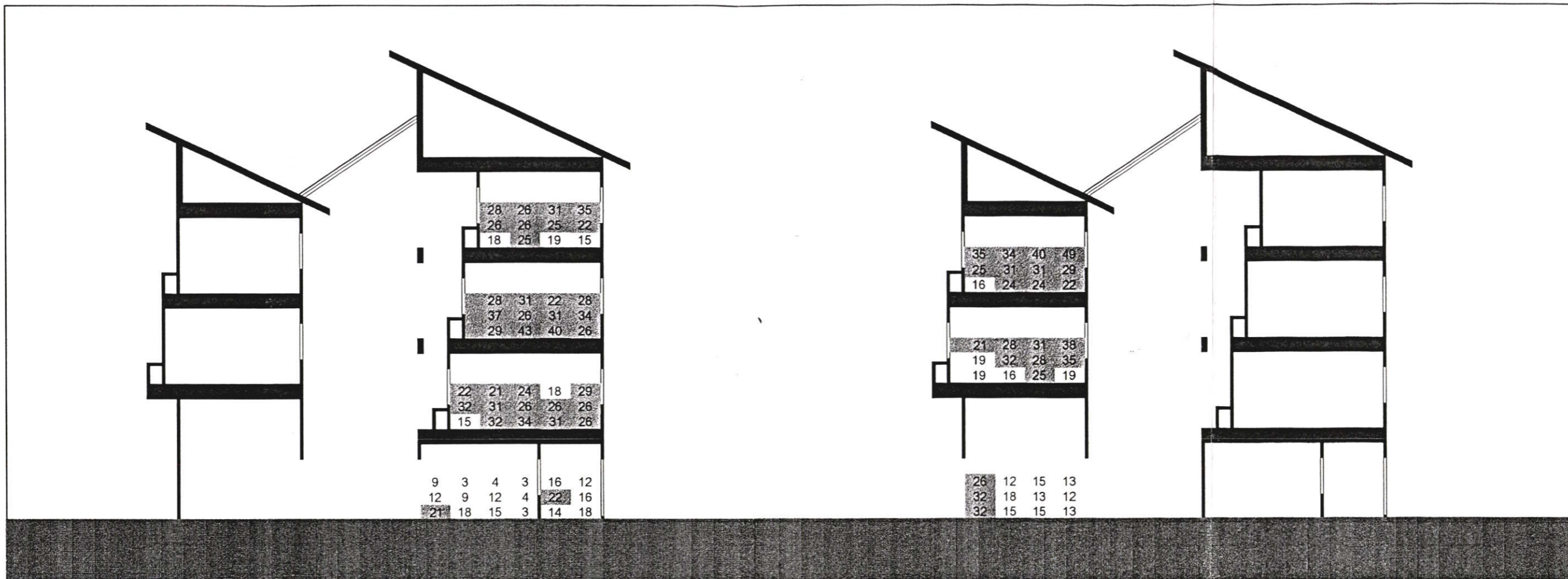


ผังพื้นชั้น 2



ผังพื้นชั้น 1

ภาพที่ 7.46 ผังพื้นแบบทางเลือกที่ 3 ชั้น 1-4 แสดงความเร็วลมภายใน กรณีที่ 5 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า



กรณีที่ 4 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง

กรณีที่ 5 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า

ภาพที่ 7.47 รูปตัดแบบทางเลือกที่ 3 แสดงความเร็วลมภายใน เปรียบเทียบกรณีที่ 4 และ 5

จากภาพที่ 7.45 – 7.46 ผังแสดงความเร็วลมภายในอาคารที่ใช้ที่ดักลมแบบที่ 3 กรณีที่ 4 และ 5 ตามลำดับ และภาพที่ 7.47 รูปตัดแสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร กรณีที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นความเร็วลมที่ต่างกันระหว่างอาคารด้านหน้า และด้านหลัง ผลการทดลองปรากฏว่า เมื่อเปิดช่องเปิดอาคารทั้งหมด ไม่ว่าจะด้านหน้า หรือด้านหลัง ความเร็วลมภายในอาคารจะลดลง สำหรับกรณีที่ 4 ความเร็วลมเฉลี่ยลดลงไม่มากนัก แต่สำหรับกรณีที่ 5 ความเร็วลมลดลงมากเมื่อเทียบกับการเปิดช่องเปิดทั้งหมด

7.6 สรุป และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลแบบทางเลือก

จากผลการทดลองความเร็วลมภายในอาคารสำหรับแบบทางเลือกทั้ง 3 แบบ สามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมภายในแบบทางเลือกที่ 1, 2 และ 3

แบบทางเลือก	กรณีศึกษา	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้จากอุโมงค์ลม (%)					
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ค่าเฉลี่ยทุกชั้น	
แบบทางเลือกที่ 1	กรณีที่ 1	23	18	47	36	31	32
	กรณีที่ 2	-	27	-	45	36	
	กรณีที่ 3	12	20	55	27	29	
แบบทางเลือกที่ 2	กรณีที่ 1	23	15	19	47	26	27
	กรณีที่ 2	-	21	25	-	23	
	กรณีที่ 3	24	13	-	-	19	
แบบทางเลือกที่ 3	กรณีที่ 1	24	26	36	26	28	30
	กรณีที่ 2	33	29	38	-	33	
	กรณีที่ 3	-	-	35	27	31	
	กรณีที่ 4	12	26	31	25	31	
	กรณีที่ 5	18	-	26	30	25	

จากตาราง แบบทางเลือกที่ 1 มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารสูงที่สุด และมีความสม่ำเสมอของปริมาณลม มากกว่าแบบอื่น เนื่องจากมีความสมดุลในการจ่ายลมมากกว่า อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในแง่ของการใช้พื้นที่ใช้สอยภายใน แบบที่ 1 จะเสียพื้นที่สำหรับปล่องมากที่สุด

ในการทดลองแบบทางเลือกทั้งสาม กรณีแยกชั้นช่องเปิด เห็นได้ชัดว่าสามารถช่วยให้ความเร็วลมภายในสูงขึ้น ซึ่งในการใช้งานจริง ผู้ใช้อาคารควรพิจารณาการเปิด - ปิดหน้าต่างในชั้นต่างๆ ตามเวลาการใช้งาน

สำหรับการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในของแบบทางเลือกทั้ง 3 แบบ เป็นแบบวางชั้นเหลื่อมกัน นอกจากจะช่วยให้เกิดการกระจายลมภายในแต่ละชั้นแล้ว ยังเป็นการแบ่งพื้นที่ใช้สอยด้วยการใช้ระดับพื้นที่ต่างกัน หลีกเลี่ยงการกั้นผนังภายในให้น้อยที่สุด

หากนำค่าเปอร์เซ็นต์ความเร็วลมเฉลี่ย จากแบบทางเลือกที่ 1 มาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมเริ่มต้นเฉลี่ยรายเดือนกรุงเทพฯ พ.ศ. 2532 - 2541 จะสามารถหาค่าความเร็วลมได้ดังนี้

ตารางที่ 7.2 แสดงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2532 – 2541

Wind	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Ave.
Prevailing direction	NE	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	
Mean speed (m/s)	0.8	1.3	1.6	1.5	1.0	1.1	1.1	1.0	0.7	0.9	1.1	1.1	1.1

จากตารางที่ 7.2 สามารถหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละฤดูได้เป็น

ฤดูร้อน	เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม	1.4	เมตร/วินาที
ฤดูฝน	เดือนมิถุนายน – กันยายน	1.0	เมตร/วินาที
ฤดูหนาว	เดือนตุลาคม – มกราคม	1.0	เมตร/วินาที
ตลอดปี		1.1	เมตร/วินาที

เมื่อนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารแบบทางเลือกที่ 1 เท่ากับ 32% จากตารางที่ 7.2 มาคำนวณหาค่าความเร็วลมจริงในแต่ละฤดูได้เป็น

ฤดูร้อน	เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม	=	0.32 x 1.4	
		=	0.4	เมตร/วินาที
ฤดูฝน	เดือนมิถุนายน – กันยายน	=	0.32 x 1.0	
		=	0.3	เมตร/วินาที
ฤดูหนาว	เดือนตุลาคม – มกราคม	=	0.32 x 1.0	
		=	0.3	เมตร/วินาที
ตลอดปี		=	0.32 x 1.1	
		=	0.4	เมตร/วินาที

เมื่อนำค่าความเร็วลม 0.4 เมตร/วินาที ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานความเร็วลมของบิวฟอร์ต จะพบว่าอยู่ในระดับต่ำมาก (เนื่องจากความเร็วลมในพื้นที่ที่ต่ำ เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง) จนมนุษย์อาจไม่รู้สึกรู้สียง แต่ถึงแม้ว่าความเร็วลมที่ได้จะมีค่าน้อย และไม่สามารถสร้างสภาวะสบายให้กับผู้อยู่อาศัยได้ตลอดเวลา แต่ก็พอที่จะช่วยให้อุณหภูมิอากาศลดลงได้ ผลัดเปลี่ยนอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในอาคาร ลดความอึดอัดให้กับผู้อยู่อาศัยได้

จากผลสรุปดังกล่าว ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างเปรียบเทียบอีกหนึ่งกรณี คือ กรณีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ เมื่อลมในพื้นที่มีความเร็วสูงขึ้น

ตารางที่ 7.3 แสดงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนจังหวัดภูเก็ต พ.ศ. 2532 – 2541

Wind	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Ave.
Prevailing direction	E	E	E	W	W	W	W	W	W	W	NE	NE	
Mean speed (m/s)	2.6	2.5	2.0	1.8	1.7	2.1	2.4	2.9	2.2	1.7	2.0	2.8	2.2

จากตารางที่ 7.3 สามารถหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละฤดูได้เป็น

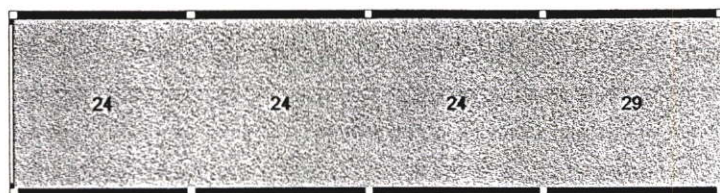
ฤดูร้อน	เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม	2.0	เมตร/วินาที
ฤดูฝน	เดือนมิถุนายน – กันยายน	2.4	เมตร/วินาที
ฤดูหนาว	เดือนตุลาคม – มกราคม	2.3	เมตร/วินาที
ตลอดปี		2.2	เมตร/วินาที

เมื่อนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารแบบทางเลือกที่ 1 เท่ากับ 32% จากตารางที่ 7.3 มาคำนวณหาค่าความเร็วลมจริงในแต่ละฤดูได้เป็น

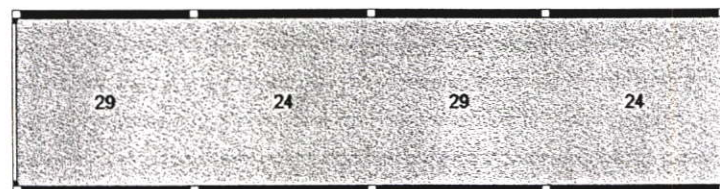
ฤดูร้อน	เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม	=	0.32 x 2.0	
		=	0.64	เมตร/วินาที
ฤดูฝน	เดือนมิถุนายน – กันยายน	=	0.32 x 2.4	
		=	0.77	เมตร/วินาที
ฤดูหนาว	เดือนตุลาคม – มกราคม	=	0.32 x 2.3	
		=	0.74	เมตร/วินาที
ตลอดปี		=	0.32 x 2.2	
		=	0.7	เมตร/วินาที

ค่าที่คำนวณได้สำหรับจังหวัดภูเก็ต จะสูงกว่ากรุงเทพฯ ประมาณ 2 เท่า แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ในการนำเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ โดยอาศัยที่ดักลมมาใช้ คือ ปริมาณ และความเร็วลมในพื้นที่ตั้ง ซึ่งต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการนำไปประยุกต์ใช้จริง มิฉะนั้นจะไม่คุ้มค่าในการลงทุน

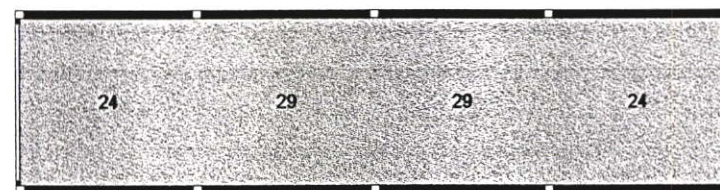
นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำค่าความเร็วลมที่ได้จากแบบทางเลือก ไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว กรณีที่ไม่มีการใช้ที่ดักลม (ทำการวัดโดยสังเขป) โดยอาคารตึกแถวดังกล่าว มีขนาดความกว้าง 4 เมตร ลึก 16 เมตร สูง 4 ชั้น เปิดช่องเปิดด้านหน้า และด้านหลังเต็มความกว้างอาคาร และกำหนดให้มีอาคารด้านตรงข้ามขนาดเท่ากัน อยู่ห่างออกไป 6 เมตร ระดับที่วัดสูง 1 เมตร จากพื้น ทิศทางลมตั้งฉากกับด้านหน้าอาคาร



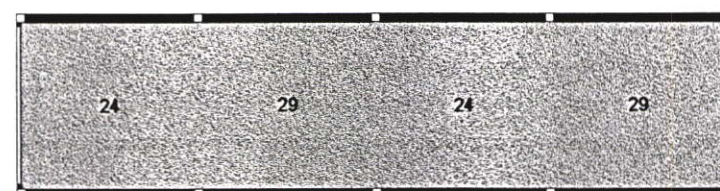
ผังพื้นที่ 1



ผังพื้นที่ 2



ผังพื้นที่ 3



ผังพื้นที่ 4

ภาพที่ 7.48 ผังอาคารตึกแถวเดิม แสดงความเร็วลม (%) ที่วัดได้ในอุโมงค์ลม

จากภาพที่ 7.48 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้จากอาคารตึกแถวเดิม มีค่าประมาณ 25 – 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลการประเมินแบบทางเลือกจากรางที่ 7.1 พบว่ามีค่าต่ำกว่าแบบทางเลือกเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม แบบทางเลือกทั้งสามที่มีการใช้ที่ดักลมกับอาคารตึกแถว ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากพอที่จะทำให้เกิดสภาวะสบายในบางช่วงเวลาของวันได้

บทที่ 8

บทสรุป และเสนอแนะ

8.1 บทสรุป

จากผลการทดลองทั้งหมด ทั้งจากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ และการทดลองในอุโมงค์ลม ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยวิธีดาวนด์กราฟต์ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยจะขอสรุปปัจจัยต่างๆ ทั้งปัจจัยภายใน และภายนอก ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร ดังนี้

8.1.1 สภาพแวดล้อม และปริมาณลม ณ ที่ตั้ง

เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ เป็นเทคนิคการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดอันดับแรกที่ต้องพิจารณา คือ ปริมาณลมในพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศเป็นสำคัญ ส่วนในพื้นที่ตั้งอาคาร ก็ควรพิจารณาสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคารเป็นหลัก รวมถึงความจำเป็นในการนำเทคนิคนี้ไปใช้

ปริมาณ ความเร็ว และความสม่ำเสมอของลมที่มีอยู่ในพื้นที่ เปรียบเสมือนเป็นลมต้นทุนที่จะนำเข้ามาภายในอาคาร หากลมต้นทุนต่ำ ลมภายในอาคารก็ต่ำลงไปด้วย สำหรับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ยกเอาพื้นที่เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร มาเป็นกรณีศึกษา เขตห้วยขวางเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคารตึกแถวสูง ตึกแถวส่วนใหญ่มีความสูงใกล้เคียงกัน คือ 3-4 ชั้น (10-12 เมตร) แม้ว่าปริมาณ และความเร็วลมในพื้นที่นี้จะไม่มากนัก แต่ที่ระดับความสูงเหนืออาคาร ความเร็วลมจะสูงขึ้น และมากพอที่จะนำมาใช้ระบายอากาศในอาคารด้วยวิธีดาวนด์กราฟต์ได้

8.1.2 การวางผังอาคาร

ถึงแม้ว่าการใช้เทคนิคดาวนด์กราฟต์ จะเป็นการใช้ที่ดักลมนำอากาศเข้ามาจากที่สูงเหนือระดับหลังคา ซึ่งสามารถติดตั้งที่ดักลมบนหลังคาให้หันไปยังทิศทางลมได้อย่างอิสระมากกว่าการวางอาคารทั้งหลังหันเข้าหาลม แต่ในกรณีที่มีการใช้ที่ดักลมในอาคารหลายหลัง ในพื้นที่เดียวกัน จำเป็นต้องอาศัยการวางผังอาคารที่มีที่ดักลมให้สัมพันธ์กับทิศทางลม และไม่เบียดบังกัน เพื่อให้สามารถดักลมได้อย่างทั่วถึงกัน นอกจากนี้ กระบวนการนำลมเข้ามาจากที่ดักลม สู่อากาศภายในอาคารต้องคำนึงถึงการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในให้สัมพันธ์กันด้วย ซึ่งยังเป็นข้อจำกัดในการใช้ที่ดักลมแบบติดตายอยู่

8.1.3 สัดส่วนอาคาร

การกำหนดอัตราส่วนความกว้าง : ความลึก ของอาคาร มีผลมากต่อประสิทธิภาพของการระบายอากาศ ไม่ว่าจะใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบวิธีใด เป็นที่ทราบดีว่า ความเร็วของกระแสลมที่เข้ามาภายในอาคาร จะอ่อนแรงลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ หากอาคารมีความลึกมาก ส่วนปลายอาคารจะมีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยลง นอกจากนี้ สำหรับการเคลื่อนที่แบบดาวนด์ราฟต์ ความสูงของอาคารก็เป็นปัจจัยสำคัญ ความสูงของที่ดักลมเอง ควรอยู่ในระดับที่สามารถดักลมในที่สูงได้ แต่ในขณะเดียวกันความสูงของอาคารก็ไม่ควรมากเกินไป เพราะจะทำให้ชั้นล่างๆ มีความเร็วลมอ่อนมาก หากอาคารมีความสูงหรือความลึกมาก อาจจะต้องพิจารณาใช้ที่ดักลมมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป

ดังนั้น อัตราส่วนอาคารตึกแถวที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศและการจัดพื้นที่ใช้สอยคือ ความกว้าง : ความลึก เป็น 1 : 2 หรือ 1 : 3 ยิ่งอาคารมีความลึกมาก ความเร็วลมเฉลี่ยภายในก็ยิ่งอ่อนลง ทั้งนี้ หากอาคารมีความลึกมาก ควรมีพื้นที่เปิดโล่งตรงกลาง

8.1.4 องค์ประกอบของที่ดักลม และการกระจายลมภายใน

การใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนด์ราฟต์ ต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

- ที่ดักลม
- ปล่องลม
- เส้นทางการเคลื่อนที่ของลม

กระบวนการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคารที่ดักได้ จะสัมพันธ์กับองค์ประกอบทั้งหมดดังกล่าว

ที่ดักลม มีหน้าที่เหนี่ยวนำลมเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งควรมีรูปร่าง ลักษณะที่สามารถดักลมได้มาก และหลายทิศทาง ในกรณีที่มีทิศทางลมไม่แน่นอน ความสูงของที่ดักลมก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ระดับความสูงของที่ดักลม ควรอยู่สูงกว่าอาคารโดยรอบ เพื่อไม่ให้เกิดการบังทางลมกัน ส่วนตำแหน่งของที่ดักลม ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ต้องการใช้งาน นอกจากนี้ตัวที่ดักลมเองควรมีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่สัมพันธ์กับตัวอาคารด้วย

ปล่องลม เป็นส่วนสำคัญในการจ่ายลมเข้าสู่พื้นที่ภายใน ซึ่งเชื่อมระหว่างที่ดักลม กับอาคาร การวางตำแหน่งปล่องลม สามารถวางติดตั้งภายนอก หรือภายในตัวอาคารก็ได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการในการจ่ายลมเข้า สำหรับปล่องลมที่วางติดตั้งภายนอกอาคาร เมื่อมีการใช้งาน ผนังด้านที่ติดกับภายนอกจะต้องมีลักษณะปิดทึบ ส่วนผนังอีกด้านจะมีช่องเปิดจ่ายเข้าสู่ภายใน ในกรณีนี้ ผนังปิดทึบดังกล่าว จะกลายเป็นข้อจำกัดในการมองเห็นทัศนียภาพภายนอก และการนำแสงเข้ามาภายใน ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น การนำ

กระจก หรืออิฐแก้วมาใช้ เป็นต้น สำหรับการวางปล่องลมที่ไม่ติดภายนอกอาคารก็เช่นกัน จะต้องพิจารณาตำแหน่ง และวิธีการเจาะช่องจ่ายลมเข้าอาคาร ไม่ให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้พื้นที่ใช้สอยภายในด้วย นอกจากนี้ การกำหนดขนาดปล่องลม และขนาดช่องจ่ายลมภายใน ก็ต้องมีความสัมพันธ์กับความสูงของชั้นอาคารด้วย ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีเรื่องความเร็วลมที่สัมพันธ์กับความกดดันอากาศ จะแสดงว่า ขนาดปล่องลม และขนาดช่องเปิดภายในควรมีขนาดเล็กลงจากชั้นบนลงล่าง เพื่อสร้างความสมดุลให้กับปริมาณ และความเร็วลมที่เข้าสู่ตัวอาคาร แต่จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดขนาดปล่อง หรือการเปิดช่องเปิดเล็กในชั้นล่าง ทำให้ปริมาณลมในชั้นล่างน้อยลงไปด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่า การใช้ขนาดปล่อง และขนาดช่องเปิดเท่ากัน จะมีความเหมาะสมมากกว่า รวมถึงในแง่ของการใช้งานจริงด้วย

การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของลม มีความสำคัญต่อความเร็วลมภายในมาก ยิ่งลักษณะเส้นทางตั้งแต่ช่องเปิดลมเข้า ปล่องลม ภายในอาคาร ไปจนถึงช่องเปิดลมออก มีความเรียบง่ายมากเท่าไร ความเร็วของกระแสลมก็จะลดลงน้อยเท่านั้น เพราะแรงเสียดทานที่น้อยลงนั่นเอง

8.1.5 การจัดพื้นที่ใช้สอยภายใน และองค์ประกอบอาคาร

การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารพักอาศัย ตามหลักการระบายอากาศ ควรแบ่งประเภทพื้นที่ออกเป็น

- พื้นที่ที่ต้องการอากาศบริสุทธิ์ ได้แก่ ห้องนอน ห้องทำงาน ห้องนั่งเล่น ห้องรับแขก ห้องทานอาหาร เป็นต้น
- พื้นที่ที่ต้องการถ่ายเทอากาศเสีย ได้แก่ ห้องครัว ห้องเก็บของ ห้องน้ำ และที่จอดรถ เป็นต้น

ดังนั้น การจัดพื้นที่ใช้สอยจะต้องมีการจัดกลุ่ม และให้สัมพันธ์กับการเปิดช่องเปิดลมเข้าออกด้วย ส่วนที่ต้องการอากาศบริสุทธิ์เข้ามาไหลเวียนภายใน ควรอยู่ในตำแหน่งต้นลม ส่วนพื้นที่ที่ต้องการถ่ายเทอากาศเสีย ควรอยู่ในตำแหน่งปลายลม สำหรับองค์ประกอบอาคารอื่นๆ ที่ต้องพิจารณา ได้แก่

- การกั้นผนังภายใน อาคารที่ต้องการการระบายอากาศภายในอย่างทั่วถึง ควรมีการกั้นผนังภายในให้น้อยที่สุด หรือไม่มีเลย เพื่อไม่ให้มีอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของลม แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากประเภทพื้นที่ใช้สอยที่แตกต่างกัน มีความต้องการอื่นๆ แตกต่างกันไป เช่น ความเป็นส่วนตัว ความสงบเงียบ เป็นต้น สำหรับแบบทางเลือกที่ได้นำเสนอ ผู้วิจัยได้พยายามใช้ระดับอาคารที่แตกต่างกัน เป็นตัวแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายใน แทนการกั้นผนัง แม้จะไม่สามารถแบ่งพื้นที่ได้ขาดจากกันอย่าง

สมบูรณ์ แต่ก็ช่วยให้เกิดความเป็นสัดส่วนได้ สำหรับห้องนอน การใช้ระดับอาคารที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเจาะช่องเปิดภายใน ให้เป็นทางผ่านของลมได้

- ประเภท และระดับช่องเปิด จากแบบทางเลือกที่นำเสนอ มีการใช้หน้าต่างบานผลึกในการจ่ายลมเข้าสู่ภายใน ซึ่งสามารถดักลมได้ เมื่อต้องการเปิดช่องเปิดแยกที่ละชั้น บานเปิดดังกล่าวจะช่วยให้ลมเคลื่อนที่ลงสู่ระดับที่มีการใช้งานได้ดีขึ้นด้วย สำหรับบานหน้าต่างภายในอาคารอื่นๆ การใช้หน้าต่างบานเกล็ดจะประหยัดพื้นที่ในการเปิด - ปิด ได้มากที่สุด สำหรับห้องที่ต้องการความเป็นส่วนตัว อาจเลือกหน้าต่างบานเกล็ดไม้แทนบานเกล็ดกระจก หลักการทั่วไปในการเลือกประเภทบานเปิด คือ เลือกแบบที่มีพื้นที่ช่องเปิดสุทธิมากที่สุด และสะดวกในการใช้งานมากที่สุด หน้าต่างบางประเภทจะช่วยกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในได้ ส่วนการกำหนดระดับช่องเปิด ควรคำนึงถึงระดับที่มีการใช้งานเป็นสำคัญ ระดับการใช้งานทั่วไป คือ ระดับสูง 1 เมตร จากพื้น
- รวบบันได และราวระเบียง เป็นองค์ประกอบย่อยของอาคารที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเช่นกัน การใช้รวบบันได และราวระเบียงโปร่ง จะไม่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ

8.1.6 การควบคุมการใช้งาน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีที่มีการเปิดช่องเปิดทุกชั้นพร้อมกัน จะทำให้ปริมาณลมที่ดักได้ ถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วน ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละชั้นก็จะน้อยตามไปด้วย เมื่อพิจารณาการใช้งานจริงในตึกแถว ส่วนใหญ่มีการใช้งานเป็นเวลา มิได้ใช้พื้นที่ทุกชั้นพร้อมกันหมด ดังนั้นการเลือกเปิดช่องเปิด ตามเวลาและพื้นที่ใช้งาน จะช่วยลดปริมาตรห้องที่ถูกแบ่งลมออกไปได้ เป็นผลให้ความเร็วลมภายในชั้นที่เปิดช่องเปิด สูงขึ้น

8.2 ปัญหา และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการนำเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวนดราฟต์มาประยุกต์ใช้กับอาคารตึกแถว ผู้วิจัยพบว่า ยังมีข้อจำกัด ปัญหาในการใช้งานจริง และ ประสิทธิภาพด้านคุณภาพอากาศที่นำเข้ามา ที่งานวิจัยนี้ไม่สามารถครอบคลุมเนื้อหาดังกล่าวได้ จึงขอยกมาเป็นข้อเสนอแนะ สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

8.2.1 รูปแบบที่ดัดกลม

รูปแบบที่ดัดกลมที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นที่ดัดกลมรูปแบบพื้นฐานทั่วไป ซึ่งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ เพื่อลดข้อจำกัดในการใช้งานจริง ปัญหาหลักของที่ดัดกลมที่นำมาทดลอง คือ ความยืดหยุ่นในการใช้งาน เนื่องจากธรรมชาติของลม ที่ไม่ได้พัดมาจากทิศทางเดียวตลอดเวลา การออกแบบที่ดัดกลมแบบติดตาย ย่อมเป็นข้อจำกัดในการรับลม ดังนั้น หากสามารถพัฒนาที่ดัดกลมให้สามารถปรับทิศทางได้ตามทิศทางลมที่เปลี่ยนไป จะช่วยให้ดัดกลมได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่าความเร็วลมที่วัดได้ในอาคารยังค่อนข้างต่ำอยู่ ยิ่งปริมาณลมในพื้นที่ต่ำ ก็ยิ่งทำให้ความเร็วลมภายในต่ำไปด้วย สำหรับกรณีนี้ การเพิ่มความเร็วลมภายในอาจทำได้โดยการลดขนาดปล่องลมลง ในขณะที่ให้ขนาดช่องเปิดลมเข้า และช่องเปิดลมออกมีขนาดใหญ่เท่ากัน ปล่องลมที่เล็กลงจะช่วยรีดอากาศให้มีความเร็วสูงขึ้น อัตราส่วนระหว่างขนาดช่องลมเข้า : ปล่องลม : ขนาดช่องลมออก ที่เหมาะสมควรได้มีการศึกษาต่อไป

8.2.2 ประสิทธิภาพของลม

เนื่องจากเนื้อหาในงานวิจัยนี้ ได้กล่าวถึงการนำอากาศใหม่เข้ามาผลิตเปลี่ยนภายในอาคาร ซึ่งเป็นการลดปริมาณสิ่งเจือปนในอากาศ (ภาคผนวก ข) เพื่อสร้างสุขลักษณะที่ดีในการอยู่อาศัยเป็นหลัก ดังที่ได้กล่าวถึงแล้วในบทที่ 2 จึงมิได้ครอบคลุมถึงการสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัย เพราะการศึกษาเรื่องดังกล่าว ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย ดังนั้นการอ้างว่ามีลมเข้ามาภายในอาคาร มิได้หมายความว่า จะเกิดความสบายขึ้น เพราะอุณหภูมิของลมที่เข้ามาอาจเป็นลมร้อน หรือเย็นก็ได้ การจะอาศัยลมเพื่อสร้างความสบายให้กับผู้ใช้นั้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาต่อ โดยการหาเทคนิควิธีทำความเย็นให้กับอากาศก่อนจ่ายเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า วิธีที่เป็นที่นิยม คือ การพ่นละอองน้ำเข้าไปในอากาศ ก่อนจ่ายเข้าสู่ภายใน แต่วิธีดังกล่าวจะเพิ่มความชื้นในอากาศให้มากขึ้นด้วย นอกจากการทำความเย็นให้กับอากาศโดยตรงแล้ว การเลือกใช้วัสดุปล่องก็มีความสำคัญเช่นกัน

เพราะส่วนปล่องลม เป็นเส้นทางหลักในการเคลื่อนที่ของอากาศก่อนจะถูกจ่ายเข้าสู่ภายใน หากเลือกวัสดุปล่องที่ป้องกันความร้อนได้ จะช่วยลดความร้อนของอากาศที่เข้ามาด้วย

นอกจากนี้ จากผลการวิจัยที่ปรากฏว่า ในบางกรณี หรือบางช่วงเวลา ปริมาณ และความแรงลมที่ดักได้ อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ ผู้ใช้งานอาจพิจารณาใช้วิธีการระบายอากาศแบบกลร่วมด้วย เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพของที่ดักลมให้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้พัดลมดูดอากาศในสภาวะที่ไม่มีลมการเปิดพัดลมดูดอากาศในห้องจะทำให้ความกดดันอากาศในห้องเป็นลบ หรือเรียกว่า พื้นที่ลมดูด ซึ่งเป็นการสร้างความแตกต่างระหว่างความกดดันอากาศภายนอก และภายใน จนทำให้เกิดแรงเหวี่ยงนำอากาศจากด้านบนเข้ามาภายในอาคารได้ ในกรณีนี้ ปริมาตรอากาศที่ระบายได้ จะเท่ากับอัตราการดูดของพัดลม

8.2.3 พื้นที่ใช้สอยภายในที่ลดลง

เนื่องจากการระบายอากาศแบบดาวนด์กราฟต์ ต้องอาศัยองค์ประกอบในการเคลื่อนที่ของอากาศ คือ ปล่อง เป็นหลัก ลักษณะปล่องนี้จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศ กล่าวคือ มีลักษณะเหมือนช่องท่อตลอดความสูงของอาคาร ยิ่งอาคารมีความสูงมาก ยิ่งต้องเสียพื้นที่ในการทำปล่องมากขึ้น จนอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งสถาปนิกเองจะต้องใช้การออกแบบแก้ปัญหาดังกล่าว

8.2.4 การดูแลรักษา และปัจจัยอื่นๆ

การประยุกต์ใช้ที่ดักลมในการใช้งานจริง ยังมีรายละเอียดย่อยที่สำคัญที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงอีก เช่น ความปลอดภัย เนื่องจากที่ดักลมมีลักษณะเป็นช่องเปิดอยู่บนหลังคา จึงควรมีการป้องกันเรื่องความปลอดภัย ไม่ให้ขโมยสามารถใช้เป็นช่องทางในการก่ออาชญากรรมได้ นอกจากนี้ การออกแบบที่ดักลม ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงการกันแดด ฝน นก แมลง ที่ตามมาด้วย

บรรณานุกรม

- คมกฤษ ชูเกียรติมัน. 2544. "โครงการวิจัยลมและสถาปัตยกรรม การศึกษาเทคนิคเบื้องต้น สำหรับทดสอบเพื่อประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร." **วารสารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 2(1): 40-47.
- ปรัชญา รังสิรักษ์. 2535. **แนวความคิดในเรื่องภาวะสบาย**. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เพ็ญศรี ฉันทรวงศ์. 2529. "แนวทางการเปลี่ยนแปลงของตึกแถวในกรุงเทพมหานคร." **วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.
- ไพศาล จันเตยूर. 2539. **Climate Design in Tropical Housing & Building**. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภัทรนันท์ ทักขนนท์. 2544. "โครงการวิจัยลมและสถาปัตยกรรม การศึกษาองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมประเภทเรือนแถวที่ส่งเสริมการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ." **วารสารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 2(1): 22-33.
- มาลินี ศรีสุวรรณ. 2543. **การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: เจ ฟรินด์.
- วิเชษฐ ธวัชนนท์ชัย. 2544. "แนวทางการออกแบบระบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติสำหรับอาคารพักอาศัยประเภท Double Loaded Corridor เพื่อการประหยัดพลังงานกรณีศึกษา : ในเขตกรุงเทพมหานคร." **วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
- วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537. **ภูมิอากาศและการออกแบบสถาปัตยกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์. 2544. **ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง "ควบคุมอาคาร พ.ศ.2544"**. [Online]. Available : <http://www.asa.or.th/Download/index.html>.

- อัน นิมมานเหมินท์. 2524. "ตึกแถวกับผังเมือง." **สถาปนิก**. 1(1) : 78-82.
- อัน นิมมานเหมินท์. 2524. "ตึกแถวกับผังเมือง." **สถาปนิก**. 1(2) : 82-85.
- Al-Megren, K.A. n.d. "Wind Catchers for Passive Ventilation Cooling in Hot Humid Regions." n.p.
- Auliciems, A. and Szokolay, S.V. 1997. **Thermal Comfort**. Queensland : The University of Queensland Printery.
- Awbi, H.B. 1998. "Ventilation." 157-188. in Gallo, C. et. al. **Architecture : Comfort and Energy**. Oxford : Elsevier.
- Barlow, J.B. et.al. 1999. **Low-speed Wind Tunnel Testing**. 3rd ed. New York : John Wiley & Sons.
- Bookhash, F.M. 1981. "Windtower House of Bastakeya in Dubai." In Bowen, A. et. al. **Passive Cooling : Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference**. Delaware : The American Section of the International Solar Energy Society.
- Brown, G.Z. and Dekay, M. 2001. **Sun, Wind & Light : Architectural Design Strategies**. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- Docherty, M. and Szokolay, S.V. 1999. **Climate Analysis**. Queensland : The University of Queensland Printery.
- Donald, W.A. 1986. **Low-energy Cooling**. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Dyrbye, C. and Hansen, S.O. 1997. **Wind Loads on Structures**. West Sussex : John Wiley & Sons.
- Exell, R.H.B. et. al. 1981. **The Availability of Wind Energy in Thailand**. Bangkok : Asian Institute of Technology.
- Ford, B. et. al. 2000. "Passive Downdraught Cooling : Architectural integration in Seville." 83-87. in Steemers, K. and Yannas, S. **Architecture City Environment : Proceedings of PLEA**. vol.2. London : James & James (Science Publishers).
- Francis, E. 2000. "The Application of Passive Downdraught Evaporative Cooling (PDEC) to Non-domestic Buildings : Office Building Prototype Design in Catania Italy." 88-93. in Steemers, K. and Yannas, S. **Architecture City**

- Environment : Proceedings of PLEA. vol.2.** London : James & James (Science Publishers).
- Givoni, B. 1976. **Man, Climate and Architecture.** 2nd ed. London : Applied Science Publishers.
- Givoni, B. 1988. **Climate Considerations in Building and Urban Design.** New York : Van Nostrand Reinhold.
- Givoni, B. 1994. **Passive and Low Energy Cooling of Buildings.** New York : Van Nostrand Reinhold.
- Koenigsberger, O.H. et.al. 1973. **Manual of Tropical Housing and Building Part One : Climatic Design.** New York : Longman Inc.
- Konya, A. 1980. **Design Primer for Hot Climates.** London : The Architectural Press.
- Lars-Goran Mansson and Svennberg, S.A. 1992. **Demand Controlled Ventilating Systems Source Book.** Stockholm : Ljunglofs Offset AB.
- McCarthy, B. 1999. **Wind Tower.** West Sussex : John Wiley & Sons.
- Olgay, V. 1992. **Design with Climate.** 2nd ed. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Riain, C.N. and Kolokatroni, M. 2000. "The Effectiveness of Ventilation Stacks in Enhancing Natural Ventilation in Non-domestic Buildings." 77-82. in Steemers, K. and Yannas, S. **Architecture City Environment : Proceedings of PLEA. vol.2.** London : James & James (Science Publishers).
- Robinson, D. et. al. 1992. "The Design and Control of Buildings with Passive Downdraught Evaporative Cooling." 453-458. in Szokolay, S.V. **Sustaining the Future Energy Ecology Architecture : Proceedings of the Sixteenth International PLEA Conference.** vol.1. Queensland : The University of Queensland Printery.
- Salmon, C. 1999. **Architectural Design for Tropical Regions.** New York : John Wiley & Sons.
- Yaghoubi, M.A. et. al. 1991. "Wind Towers : Measurement and Performance." **Solar Energy.** 47(2) : 97-106.

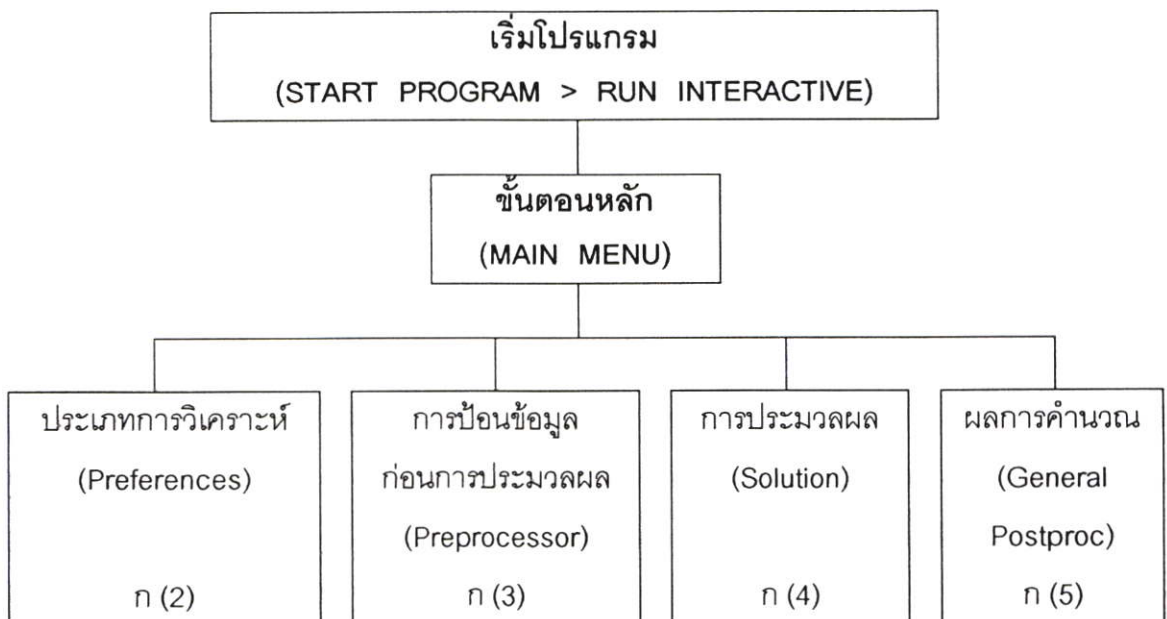
ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ชื่อว่า ANSYS 5.4 มาช่วยในขั้นตอนการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองด้วยวิธีอื่น คือ การทดลองด้วยโต๊ะน้ำ (Flow Visualization Table) และการทดลองด้วยหุ่นจำลอง 3 มิติ ในอุโมงค์ลม ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ผู้วิจัยได้เห็นผลการศึกษาก่อน แล้วจึงเลือกแบบที่เหมาะสมนำไปทดลองในอุโมงค์ลมต่อ เป็นการประหยัดเวลา และงบประมาณในการวิจัยทางหนึ่ง

ในภาคผนวก ก นี้ เป็นการแสดงรายละเอียดต่างๆ ของโปรแกรมหุ่นจำลอง ทั้งคุณสมบัติ ข้อจำกัด วิธีการใช้โปรแกรม และตัวอย่างการคำนวณ จากการที่โปรแกรม ANSYS 5.4 มีความสามารถในการคำนวณผลทางวิศวกรรมหลายด้าน ผู้วิจัยจึงได้เลือกนำเสนอเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณของไหล (Computation Fluid Dynamic : CFD) มาอธิบาย โดยผู้วิจัยจะขอสรุปขั้นตอนการใช้โปรแกรมไว้ในแผนภูมิที่ ก (1) – ก (5) และขอสงวนรายละเอียดไว้เป็นภาษาอังกฤษตามเดิม เพื่อให้สื่อความหมายได้ชัดเจนที่สุด ตรงตามต้นฉบับ

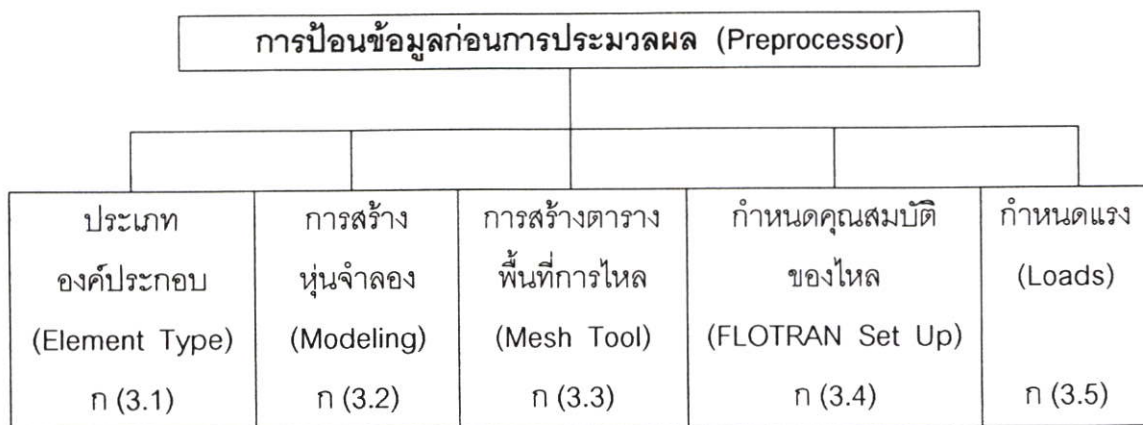
แผนภูมิที่ ก (1) สรุปขั้นตอนหลักในการใช้โปรแกรม ANSYS เพื่อการคำนวณการเคลื่อนที่ของอากาศในหุ่นจำลอง 2 มิติ



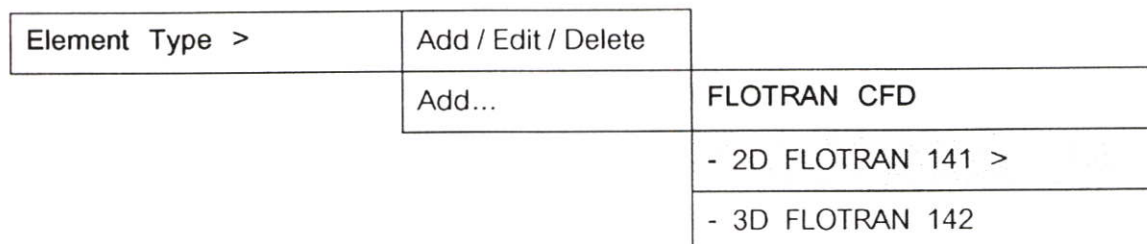
แผนภูมิที่ ก (2) ประเภทการวิเคราะห์ (Preferences)



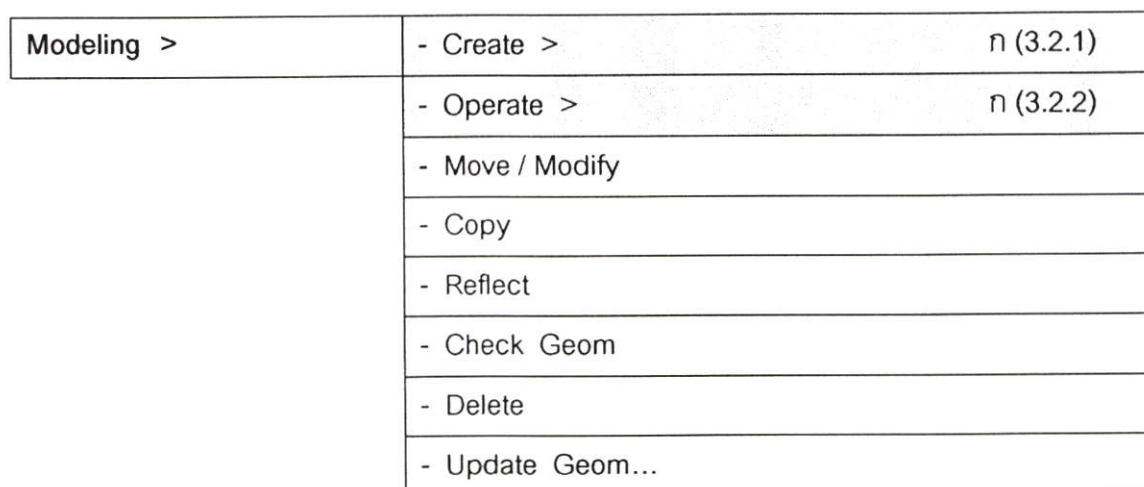
แผนภูมิที่ ก (3) การป้อนข้อมูลก่อนการประมวลผล (Preprocessor)



แผนภูมิที่ ก (3.1) ประเภทองค์ประกอบ (Element Type)



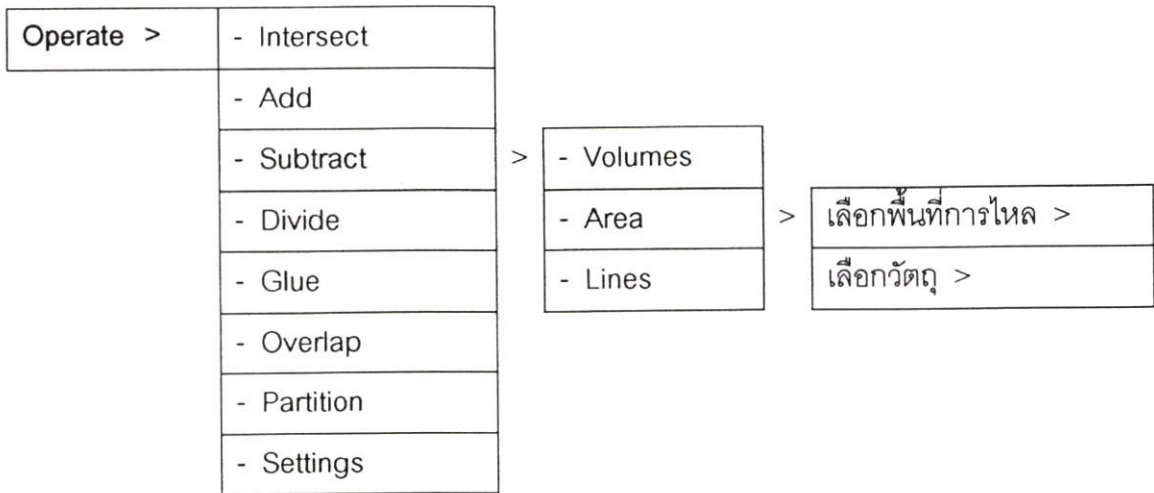
แผนภูมิที่ ก (3.2) การสร้างหุ่นจำลอง (Modeling)



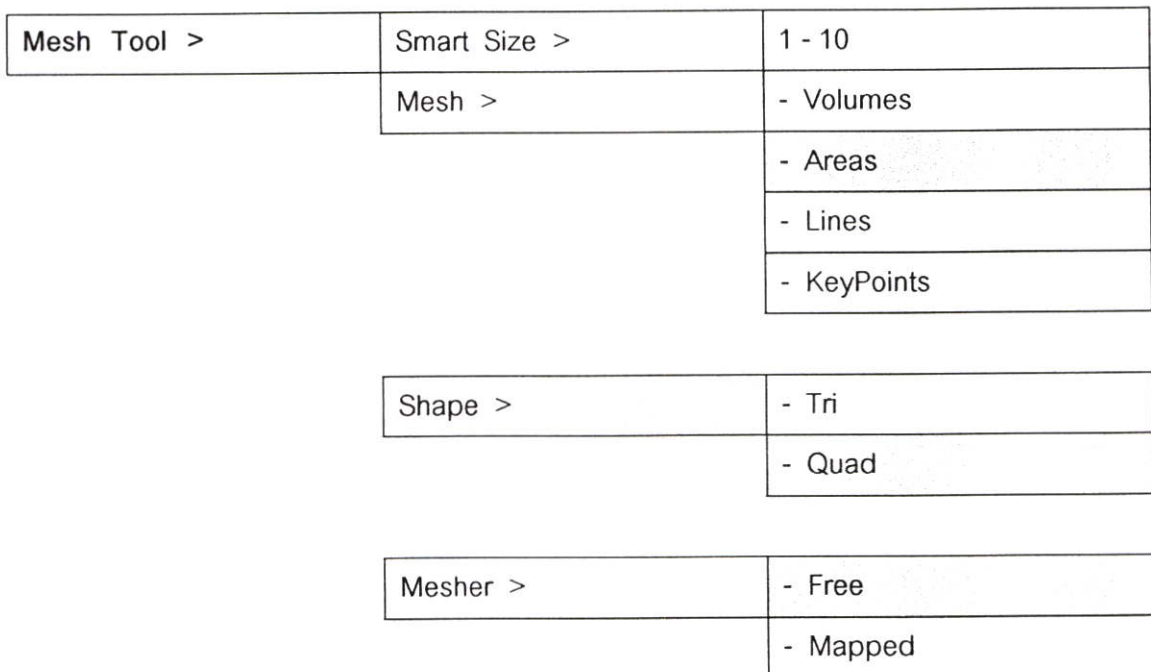
แผนภูมิที่ ก (3.2.1) การสร้างหุ่นจำลอง (Create)

Create >	KeyPoints	- On Working Plane >	ใส่พิกัด x, y หรือคลิกที่หน้าจอ
		- In Active CS	
		- On Line	
		- On Line W / Ratio	
		- On Node	
		- KP between KPs	
		- Fill between KPs	
		- KP at center	
Lines	- Lines >	Straight Line >	คลิก KPs 2 จุดเพื่อสร้างเส้นเชื่อมระหว่าง KPs 2 จุดนั้น
	- Arcs		
	- Splines		
	- Line Fillet		
Areas	- Arbitrary >	By Lines >	เลือกเส้นรอบรูปที่ต้องการใส่พื้นที่วัตถุลงไป
	- Rectangle		
	- Circle		
	- Polygon		
	- Area Fillet		
Volumes	- Arbitrary		
	- Block		
	- Cylinder		
	- Prism		
	- Sphere		
	- Cone		
	- Torus		

แผนภูมิที่ ก (3.2.2) การแก้ไขหุ่นจำลอง (Operate)



แผนภูมิที่ ก (3.3) การสร้างตารางพื้นที่การไหล (Mesh Tool)



เมื่อเลือกคุณสมบัติแล้วทำการ Mesh



แผนภูมิที่ ก (3.4) กำหนดคุณสมบัติของไหล (FLOTRAN Set Up)

Solution Options... >		
TRAN	Steady state or transient ?	Steady state
FLOW	Solve flow equations ?	Yes
TEMP	Adiabatic or thermal ?	Adiabatic
TURB	Laminar or turbulent ?	Turbulent
COMP	Incompressor compress ?	Incompressible
SWRL	Axisymmetric with swirl ?	No
SPEC	Multiple species transport ?	No

Fluid Properties >		
Density		AIR – SI
Allow density variations ?		No
Viscosity		AIR – SI
Allow viscosity variations ?		No
Conductivity		AIR – SI
Allow conductivity variations ?		No
Specific heat		AIR – SI

แผนภูมิที่ ก (3.5) กำหนดแรง (Loads)

Loads >	
- Settings	
- Apply	
- Delete	
- Operate	

>

Fluid / CFD	
- Forces	
- Heat Generat	
- Velocity >	ก (3.5.1)
- Pressure DOF >	ก (3.5.2)
- Turbulence	
- Species	

แผนภูมิที่ ก (3.5.1) ความเร็วลม (Velocity)

Velocity >	- On Lines	>	เลือกเส้นขอบเขตด้านที่มีแรงมาปะทะ	
	- On Areas		VX Velocity Component	ความเร็วลม
	- On Nodes		VY Velocity Component	
			VZ Velocity Component	
			Apply to endpoints	Yes
			Moving wall ?	No
				Apply
			เลือกเส้นขอบเขตที่เหลือ	
			VX Velocity Component	
			VY Velocity Component	0
			VZ Velocity Component	0
				Apply
			เลือกเส้นรอบรูปวัตถุ	
			VX Velocity Component	0
			VY Velocity Component	0
			VZ Velocity Component	0
				Apply

แผนภูมิที่ ก (3.5.2) ความดัน (Pressure DOF)

Pressure DOF >	- On Lines	>	เลือกเส้นขอบเขตด้านที่มีแรงดันเป็นลบ	
	- On Areas		(ด้านที่ต้องการให้ลมพัดไป)	
	- On Nodes		PRES Pressure value	0
			Apply to endpoints ?	Yes
				OK

แผนภูมิที่ ก (4) การประมวลผล (Solution)

Solutions >	Run FLOTRAN...	Solution is done!	
		Close >	แผนภูมิแสดงผลความสัมพันธ์ ระหว่าง Cumulative Iteration Number, Normalized Rate of Change ของตัวแปรต่างๆ คือ VX, VY, PRES, ENKE และ ENDS

แผนภูมิที่ ก (5) ผลการคำนวณ (General Postproc)

General Postproc >	Read Results >	
	- First Set	
	- Next Set	
	- Last Set	คลิก 1 ครั้ง
	- By Load Step...	
	- By Time / Freq...	
	- By Set Number...	
	- FLOTRAN 2.1 A...	

Plot Results >	Contour Plot >	
	DOF solution	
	Velocity	VX
		VY
		VZ
		VSUM
	Pressure	PRES
	Turb K.E.	ENKE
	Energ dissip	ENDS.
	Temperature	TEMP
	แสดงผลความเร็วลมเป็นพื้นผิวชั้นสีต่างๆ	

แผนภูมิที่ ก (5) ผลการคำนวณ (General Postproc) (ต่อ)

General Postproc >	Plot Results >	Vector Plot >
		- Predefined
		- User - defined
		แสดงผลทิศทาง และความเร็วลมเป็น ลูกศรสีต่างๆ

CFD FLOTRAN Analysis Guide Release 5.4

ANSYS, Inc.
Southpointe
275 Technology Drive
Canonsburg, PA 15317
Phone: (412) 746-3304
Fax: (412) 514-9494
Internet: ansysinfo@ansys.com

Revision History

000649	1st Edition	ANSYS Release 5.3	June 1996
	2nd Edition	ANSYS Release 5.3	October 1996
000860	3rd Edition	ANSYS Release 5.4	September 1997

Registered Trademarks

ANSYS® is a registered trademark of SAS IP Inc.

All other product names mentioned in this manual are trademarks or registered trademarks of their respective manufacturers.

Disclaimer Notice

This document has been reviewed and approved in accordance with ANSYS, Inc. Documentation Review and Approval Procedures.

"This ANSYS, Inc. software product (the Program) and program documentation (Documentation) are furnished by ANSYS, Inc. under an ANSYS Software License Agreement that contains provisions concerning non-disclosure, copying, length and nature of use, warranties, disclaimers and remedies, and other provisions. The Program and Documentation may be used or copied only in accordance with the terms of that License Agreement."

Copyright 1997 SAS IP, Inc. Proprietary Data. Unauthorized use, distribution, or duplication is prohibited. All Rights Reserved.

Chapter 1 Overview of FLOTRAN CFD Analyses

What Is FLOTRAN CFD Analysis?

The ANSYS/FLOTRAN derived product and the FLOTRAN CFD (Computational Fluid Dynamics) option to the other ANSYS products offer you comprehensive tools for analyzing two-dimensional and three-dimensional fluid flow fields. Using either product and the FLOTRAN CFD elements FLUID 141 and FLUID142, you can achieve solutions for the following:

- Lift and drag on an airfoil
- The flow in supersonic nozzles
- Complex, three-dimensional flow patterns in a pipe bend.

In addition, you can use the features of ANSYS and ANSYS/FLOTRAN to perform tasks including:

- Calculating the gas pressure and temperature distributions in an engine exhaust manifold
- Studying the thermal stratification and breakup in piping systems
- Using flow mixing studies to evaluate potential for thermal shock
- Doing natural convection analyses to evaluate the thermal performance of chips in electronic enclosures.
- Heat exchanger studies involving different fluids separated by solid regions.

Types of FLOTRAN Analyses

You can perform these types of FLOTRAN analyses:

- Laminar or turbulent
- Thermal or adiabatic
- Compressible or incompressible
- Newtonian or Non-Newtonian
- Multiple species transport

These types of analyses are *not* mutually exclusive. For example, a laminar analysis can be thermal or adiabatic. A turbulent analysis can be compressible or incompressible.

To solve any analysis involving the flow of fluid, use either of the following:

Command: **FLDATA1,SOLU,FLOW,TRUE**

GUI: **Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Solution Options**

Laminar Flow Analysis

In these analyses, the velocity field is very ordered and smooth, as it is in highly viscous, slow-moving flows. The flow of some oils also can be laminar.

Turbulent Flow Analysis

Turbulent flow analyses deal with problems where velocities are high enough and the viscosity is low enough to cause turbulent fluctuations. The two-equation turbulence model in ANSYS enables you to account for the effect of the turbulent velocity fluctuations on the mean flow.

Laminar and turbulent flows are considered to be *incompressible* if density is constant or if the fluid expends little energy in compressing the flow. The temperature equation for incompressible flow neglects kinetic energy changes and viscous dissipation.

Thermal Analysis

Often, the solution for the temperature distribution throughout the flow field is of interest. If fluid properties do not vary with temperature, you can converge the flow field without solving the temperature equation. In a *conjugate heat transfer* problem, the temperature equation is solved in a domain with both fluid and non-fluid (that is, solid material) regions. In a *natural convection* problem, the flow results mainly or solely from density gradients brought about by temperature variations. Most natural convection problems, unlike *forced convection* problems, have no externally applied flow sources.

Compressible Flow Analysis

For high velocity gas flows, changes in density due to strong pressure gradients significantly influence the nature of the flow field. ANSYS uses a different solution algorithm for compressible flow.

Non-Newtonian Fluid Flow Analysis

A linear relationship between the stress and rate-of-strain cannot describe many fluid flows adequately.. For such non-Newtonian flows, the ANSYS program provides three viscosity models and a user-programmable subroutine.

Multiple Species Transport Analysis

This type of analysis is useful in studying the dispersion of dilute contaminants or pollutants in the bulk fluid flow. In addition, you can use multiple species transport analysis for heat exchanger studies where two or more fluids (separated by walls) may be involved.

Chapter 2 The Basics of FLOTRAN Analysis

Characteristics of the FLOTRAN Elements

The ANSYS FLOTRAN elements, FLUID141 and FLUID142, solve for two- and three-dimensional flow, pressure, and temperature distributions in a single phase viscous fluid. For these elements, the ANSYS program calculates velocity components, pressure, and temperature from the conservation of three properties: mass, momentum, and energy.

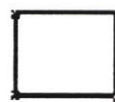
Element FLUID141

The FLUID141 element has these characteristics:

Dimensions: 2-D

Shape: Quadrilateral, four nodes or triangle, three nodes

Degrees of freedom: Fluid velocity, pressure, temperature, turbulent kinetic energy, turbulent energy dissipation, multiple species mass fractions for up to six fluids



Element FLUID142

The FLUID142 element has these characteristics:

Dimensions: 3-D

Shape: Tetrahedral, four nodes or hexahedral, eight nodes

Degrees of freedom: Fluid velocity, pressure, temperature, turbulent kinetic energy, turbulent energy dissipation, multiple species mass fractions for up to six fluids



Other Element Features

Other features of the FLOTRAN elements include:

- A two-equation turbulence model for simulating turbulent flows.
- Derived results, such as Mach number, pressure coefficient, total pressure, shear stress, y plus at walls, and stream function for fluid analyses and heat flux and heat transfer (film) coefficient for thermal analyses.

- Fluid boundary conditions, including velocities, pressures, and the turbulence quantities kinetic energy and kinetic energy dissipation rate. You do not need to supply specific boundary values for the inlet turbulence quantities, because FLOTRAN provides default values which are adequate for most applications.
- Thermal boundary conditions, including temperature, heat flux, volumetric heat sources, and heat transfer (film) coefficient.

You can solve problems in Cartesian, cylindrical, polar, and axisymmetric coordinate systems. If a problem is axisymmetric, activating a swirl option allows you to calculate a velocity component normal to the axisymmetric plane.

Using the FLOTRAN Elements: Considerations and Restrictions

The FLOTRAN elements have some limitations:

- You cannot change the problem domain during a single analysis.
- The elements do not support a free surface boundary condition.
- Certain features of the ANSYS program do not work with the FLOTRAN elements.
- You cannot use certain commands or menu paths with the FLOTRAN elements.
- If you use the ANSYS GUI, only the features and options called for in the FLOTRAN SetUp portion of the menus and dialog boxes will appear.

Limitations on FLOTRAN Element Use

When you are using the FLOTRAN elements, you should avoid using certain ANSYS features and commands. At least, be aware that they have slightly different uses with the FLOTRAN elements. *This does not mean that every command not listed here will work with FLOTRAN elements.* ANSYS informs you if you try to issue a command that is invalid.

Note—For the menu path or paths equivalent to these commands, see their descriptions in the *ANSYS Commands Reference*.

When using the FLOTRAN elements, keep the following points in mind. (To determine which GUI menu paths are equivalent to the commands referenced in

the list items below, look up the topic “Commands and Their Location in the GUI” in the online *ANSYS GUI Help Manual*.)

- You cannot combine the FLOTRAN elements with other elements.
- The nodal coordinate system must be identical to the global coordinate system.
- The **/CLEAR** command does not destroy an existing FLOTRAN results file (*Jobname.RFL*). This is an intentional precaution to prevent ANSYS users from inadvertently destroying a results file that took much time and effort to create. You should remove unwanted results files at the system level.
- The **CP** command enforces periodic boundaries by coupling the degrees of freedom. The documentation for **CP** in the *ANSYS Commands Reference* implies that you can couple some degrees of freedom and not others, but this is not true with FLOTRAN. All of the degrees of freedom are coupled between periodic boundaries. In addition, with periodic boundaries, you can couple a boundary face to only one other boundary face.

You cannot couple nodes on the same element, and you may have difficulty coupling nodes on adjacent elements.

- The **ADAPT** macro does not work with FLOTRAN.
- You cannot use the **ANTYPE** command to invoke a transient analysis with the FLOTRAN element. (See “FLOTRAN Transient Analyses.”)
- FLOTRAN analyses do not support automatic time stepping. For more information, see “FLOTRAN Transient Analyses.”
- If you specify nodal heat generation loads via commands **BFCUM**, **BFDELE**, or **BFUNIF**, ANSYS uses load values specified with the **BFE** command instead.
- For FLOTRAN, you cannot use **LDREAD,FORC** to transfer magnetic loads to a FLOTRAN analysis. You must use a macro (available from ANSYS Technical Support).
- The commands **CE**, **CECMOD**, **CEDELE**, and **CEINTF** do not work with FLOTRAN.
- The **CNVTOL** command does not set convergence tolerances with FLOTRAN as it does for other analyses. For information about FLOTRAN convergence, see “Deciding How Many Global Iterations to Use.”

- The symmetry and antisymmetry conditions that the **DSYM** command specifies are not appropriate for FLOTRAN. Chapter 4, “FLOTRAN Laminar and Turbulent Compressible Flow” explains how to specify flow symmetry boundary conditions for FLOTRAN.
- FLOTRAN does not support angular acceleration vectors for rotating coordinate systems.
- In a FLOTRAN analysis, the command **FLDATA4,TIME** (rather than the **DELTIM** command) specifies a time step for a load step.
- For FLOTRAN, you cannot use the **DESOL** command or the **PRESOL** command to modify HEAT, FLOW, or FLUX nodal results.
- FLOTRAN does not permit extrapolation of integration point results to nodes (via the **ERESX** command).
- FLOTRAN does not allow you to generate elements through reflections.
- In FLOTRAN analyses, you cannot ramp loads via the **KBC** command. To change loads, you must use multiple load steps.
- Load case operations, such as those performed by the **LCCALC**, **LCDEF**, **LCFA**, and **LCFI** commands, are not allowed in a FLOTRAN analysis.
- The convergence tool invoked with the **NCNV** command does not apply to the FLOTRAN segregated solver.
- Do not use the **NEQIT** command, which defines the number of equilibrium iterations for a nonlinear solution, in a FLOTRAN analysis.
- FLOTRAN requires the nodal and global Cartesian coordinate systems to be the same. Therefore, you cannot use the rotational fields on the **N**, **NMODIF**, and **NROTAT** commands.
- In a FLOTRAN analysis, the commands **FLDATA2,ITER** and **FLDATA4,TIME** control the number of global iterations within a time step.
- FLOTRAN does not permit user programmable elements, such as those specified via the **NSVR** command.
- In a FLOTRAN analysis, the commands **FLDATA2,ITER** and **FLDATA4,TIME** control items written to the database.
- The **PRNLD** command does not apply to FLOTRAN, because it does not store boundary conditions as printable element nodal loads.

- Node reaction solutions, such as those produced by the **PRRSOL** command, are not available for FLOTRAN.
- The partial and predefined solution option (called by the **PSOLVE** command) does not apply to the FLOTRAN segregated solver.
- The **TIME** command, which associates boundary conditions with a particular time value, does not apply to FLOTRAN.
- FLOTRAN analyses use the **FLDATA1,SOLU** command instead of the **TIMINT** command to specify transient load steps.
- FLOTRAN analyses use the **FLDATA4,TIME** command instead of the **TRNOPT** command to specify transient analysis options.

Overview of a FLOTRAN Analysis

A typical FLOTRAN analysis consists of seven main steps:

1. Determine the problem domain.
2. Determine the flow regime.
3. Create the finite element mesh.
4. Apply boundary conditions.
5. Set FLOTRAN analysis parameters.
6. Solve the problem.
7. Examine the results.

Step 1: Determining the Problem Domain

You need to determine the proper domain for each problem you analyze. Locate the boundaries of the problem where conditions are known. If you do not know precise conditions and must make assumptions about them, do not locate boundaries too close to the regions of greatest interest or near regions that have steep gradients in the solution variables.

Sometimes, you may not realize that steep gradients occur too near the outlet or in some other region until you see the analysis results. Should this happen, you can re-analyze the problem with a different problem domain.

For specific recommendations on determining problem domain, see the sections discussing the various flow phenomena.

Step 2: Determining the Flow Regime

You need to estimate the character of the flow. The character is a function of the fluid properties, geometry, and the approximate magnitude of the velocity field.

Fluid flow problems that FLOTRAN solves will include gases and liquids, the properties of which can vary significantly with temperature. The flow of gases is restricted to ideal gases. You must determine whether the effect of temperature on fluid density, viscosity, and thermal conductivity is important. In many cases, you can get adequate results with constant properties.

To assess whether you need the FLOTRAN turbulence model, use an estimate of the Reynolds number, which measures the relative strengths of the inertial and viscous forces. (See Chapter 4, “FLOTRAN Laminar and Turbulent Compressible Flow,” for more information.)

To determine whether you need to use the compressible option, estimate the Mach number. (See Chapter 7, “FLOTRAN Compressible Analyses.”) The Mach number at any point in the flow field is the ratio of the fluid speed and the speed of sound. At Mach numbers above approximately 0.3, consider using the compressible solution algorithm. At Mach numbers above approximately 0.7, you can expect significant differences between incompressible and compressible results. You may want to compare results from each algorithm for a representative problem.

Step 3: Creating the Finite Element Mesh

You will need to make assumptions about where the gradients are expected to be the highest, and you must adjust the mesh accordingly. For example, if you are using the turbulence model, then the region near the walls must have a much denser mesh than would be needed for a laminar problem. If it is too coarse, the original mesh may not capture significant effects brought about through steep gradients in the solution. Conversely, elements may have very large aspect ratios with the long sides along directions with very low gradients.

For the most accurate results, use mapped meshing. It more effectively maintains a consistent mesh pattern along a boundary. You can do this by issuing the command **MSHKEY,1** or via GUI path **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-Mesh > -entity-Mapped**

Step 4: Applying Boundary Conditions

You can apply boundary conditions before or after you mesh the domain. Consider every model boundary. If a condition is not specified for a dependent variable, a zero gradient of that value normal to the surface is assumed.

You can change boundary conditions between restarts. If you need to change a boundary condition or accidentally omit it, you do not need to restart your analysis unless the change causes instabilities in the analysis solution.

Step 5: Setting FLOTRAN Analysis Parameters

In order to use options such as the turbulence model or solution of the temperature equation, you must activate them. Specific items to be set, such as fluid properties, are a function of the type of flow problem at hand. Other sections in this document recommend parameter settings for various types of flow.

Step 6: Solving the Problem

You can monitor solution convergence and stability of the analysis by observing the rate of change of the solution and the behavior of relevant dependent variables. These variables include velocity, pressure, temperature, and (if necessary) turbulence quantities such as kinetic energy (degree of freedom ENKE), kinetic energy dissipation rate (ENDS), and effective viscosity (EVIS).

An analysis typically requires multiple restarts.

Step 7: Examining the Results

You can postprocess output quantities and examine the results in the output files. Use your engineering judgment when examining the results to evaluate the plausibility and consistency of the overall analysis approach, how specific properties are used, and the conditions imposed.

Files the FLOTRAN Elements Create

You perform most fluid flow analyses in ANSYS by stopping the analysis job and then restarting it multiple times. Often, analysts change parameters such as relaxation factors or turn options (such as solution of the temperature equation) on or off between restarts. Each time you continue a job, the ANSYS program appends data to all of the files that its FLOTRAN element creates.

The following list explains all files that a FLOTRAN element creates. A discussion of the residual file appears at the end of this section.

- The results file, *Jobname.RFL*, contains nodal results.
- The print file, *Jobname.PFL*, contains input convergence monitors, and inlet/outlet summaries.
- The wall file, *Jobname.RSW*, contains wall shear stress and Y-plus information.

- The residual file, *Jobname.RDF*, contains the nodal residuals.
- The debug file, *Jobname.DBG*, contains information about algebraic solver performance.
- The results backup file, *Jobname.RFO*, contains a copy of the results file data.
- The restart file, *Jobname.CFD*, contains FLOTRAN data structures.

The Results File

The results of a FLOTRAN analysis are not stored in the ANSYS database automatically. At the end of every solution, the ANSYS program adds a set of results to the results file, *Jobname.RFL*. You have some control over the content of the results file and how often ANSYS updates it. The defaults given in the description of the **FLDATA5,OUTP** command in the *ANSYS Commands Reference* reflect FLOTRAN's determination of what the results file should store based on the options you choose.

The ANSYS program is flexible about how many sets of results you can store for a steady-state FLOTRAN analysis. Keeping sets of results from earlier analyses has advantages: you can compare changes that occurred between sets of results, and you can continue an analysis from its earlier stages using different options or relaxation parameters.

The ANSYS program stores a set of results when you begin an analysis (before the first iteration), then stores results again when one of the termination criteria is reached. Between those events, you can append the results to the *Jobname.RFL* file. Storing intermediate sets of results enables you to continue the analysis from an earlier stage with different options and features activated, for example to enhance stability.

Using ANSYS' overwrite frequency option is wise, because it allows you to periodically store and update a temporary set of results. This insures that a useful set of results will exist should you need to restart an analysis after a power failure or other system interruption. The next regularly scheduled output of results overwrites the temporary results set. You can accomplish the same thing by instructing ANSYS to append data to the results file more often; however, this method inflates the size of the results file.

To set the overwrite frequency, use either of the following:

Command: **FLDATA2,ITER,OVER,value**

GUI: **Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**

To set the append frequency, use either of the following:

Command: **FLDATA2,ITER,APPE,value**

GUI: **Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Execution Ctrl**

The Print File (*Jobname.PFL*)

The *Jobname.PFL* file contains a complete record of all FLOTTRAN input parameters, including properties and solution options. This information is recorded each time a SOLVE is issued so as to provide a complete account of the analysis history. In addition, all convergence monitors are recorded for all active values. A results summary, showing maximum and minimum values of each property and degree of freedom, is provided at a user-determined frequency. Average values are also recorded. The mass flow boundaries are identified and a mass balance is calculated. Finally, all heat transfer information is summarized for all heat transfer and heat sources.

The Nodal Residuals File

The nodal residuals file, *Jobname.RDF*, shows you how well the current solution is converged. At every stage in the solution procedure, the flow, property, and temperature fields are used to calculate coefficient matrices and forcing functions for each DOF. If a solution is converged completely, these matrices and forcing functions will produce the same velocity field used to generate them and the residuals of the matrix equation will be very small. You must request at least one global iteration to obtain a nodal residual file.

If a solution oscillates, however, the magnitude of the residuals shows where the maximum errors are. (The main diagonal entries of the matrix normalize the residuals.) This normalization enables you to compare directly the value of the DOF and the value of its residual.

To calculate residuals for every active degree of freedom and output them to the residuals file, do either of the following:

Command: **FLDATA5,OUTP,RESI,TRUE**

GUI: **Main Menu>Solution>FLOTTRAN SetUp>Additional Out>Residual File**

To read the residuals file, either issue the **FLREAD** command or choose menu path **Main Menu > General Postproc > FLOTTRAN 2.1A**. The residuals are postprocessed with the label associated with the DOF (for instance, TEMP or PRES for the temperature or pressure residuals).

The Restart File

By default, FLOTRAN calculates data structures at the beginning of a restart of an analysis. These calculations may take considerable time for large models. To avoid recalculation, you can opt to have FLOTRAN store the data structures in the *Jobname.CFD* file. FLOTRAN creates this file from information in the ANSYS database (but the file is not required for restarts).

To write to or read from the *Jobname.CFD* file, use either of the following methods before the restart:

Command: **FLDATA32,REST,RFIL,T**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options>CFD Restart File**

You can toggle the RFIL state on or off. If it is on, ANSYS reads the restart file when FLOTRAN begins to execute. If no restart file exists, one will be created.

If you are restarting an analysis with updated boundary conditions, you must overwrite an existing .CFD file in order to use the new conditions. To overwrite the file, use either of the following methods:

Command: **FLDATA32,REST,WFIL,T**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options>CFD Restart File**

This will cause FLOTRAN to create a new restart file during the next load step, and automatically sets the RFIL state to False. After the restart that has created the new file completes, issue the **FLDATA32,REST,RFIL,TRUE** command so that subsequent restarts use the new *Jobname.CFD* restart file.

Restarting a FLOTRAN Analysis

You can restart the FLOTRAN analysis from any set of results in the *Jobname.RFL* file. You can base the restart on the set number (label NSET), the global iteration number (label ITER), the load step/subset numbers (label LSTP), or the transient analysis time (label TIME). You determine the restart criteria by doing either of the following:

- Issue the command **FLDATA32,REST,label,value**. Specify one of the labels listed above in place of *label*. The *value* argument causes values associated with the other criteria to be zeroed. Once invoked, the behavior is turned off in the database by setting all the criteria to zero.
- Choose menu path **Main Menu > Preprocessor > FLOTRAN Set Up > Restart Options > Restart/Iteratio** (or **Restart/Load step, Restart/Set, etc.**)

If you specify invalid criteria, ANSYS notifies you and (if the program is operating in batch mode) terminates the analysis.

When you restart an analysis, ANSYS copies the original results file to the file *Jobname.RSO* and places the restart point, all previous results sets, and all subsequent results sets in the new *Jobname.RFL* file. If the *value* input on the **FLDATA32,REST** command is negative, creation of the *Jobname.RSO* file is blocked. FLOTRAN uses the absolute value of the number specified for *value*.

Convergence and Stability Tools

The ANSYS program offers several tools to help with convergence and solution stability. The *ANSYS Theory Reference* explains how they are implemented.

Relaxation Factors

The relaxation factor is the fraction of the change between the old solution and the newly calculated solution that is added to the old solution, giving the results for the new global iteration. The relaxation factors for every component must be between 0.0 (resulting in no update to the degree of freedom or property) and 1.0 inclusive. You set relaxation factors via either of the following:

Command: **FLDATA25,RELX,*label,value***

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>DOF Relaxation**
Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Prop Relaxation
Main Menu>Solution >FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>DOF Relaxation
Main Menu>Solution >FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Prop Relaxation

Note—See the description of the **FLDATA25,RELX** command in the *ANSYS Commands Reference* for lists of degree of freedom and property component names.

Inertial Relaxation

Inertial relaxation of the equation set for a DOF provides diagonal dominance to make a solution stable. Hypothetically, when a solution is converged in the absence of roundoff error, the inertial relaxation applied does not affect the value of the answer. However, in real situations, some roundoff error always occurs, so the inertial relaxation may affect your solution.

You can apply inertial relaxation to the momentum equations (MOME), turbulence equations (TURB), the pressure equation (PRES), and the temperature equation (TEMP). To do so, use either of these methods:

Command: **FLDATA26,STAB,label,value**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability
Parm s**
Main Menu>Solution >FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability Parm s

The inertial relaxation factor is in the denominator of the term added, so smaller values have a greater effect. Typical useful values range between 1.0 (mild) and 1.0×10^{-7} (severe).

Artificial Viscosity

Artificial viscosity smooths the velocity solution in regions of steep gradients. It has proven useful in aiding convergence of compressible problems and in smoothing velocity solutions in incompressible problems with distributed resistances. For incompressible analyses, you should keep the artificial viscosity within an order of magnitude of the effective viscosity.

To apply artificial viscosity, use either of these methods:

Command: **FLDATA26,STAB,VISC,value**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability
Parm s**
Main Menu>Solution >FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability Parm s

Velocity Capping

Velocity capping allows you to prevent variables from going out of boundaries you specify. You can limit the velocities, pressure, and temperature degrees of freedom (VY, VY, VZ, PRES, TEMP). To do this, use either of these methods:

Command: **FLDATA31,CAPP**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Results
Capping**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Results Capping

Velocity capping eliminates the effects of velocity spikes on properties, which may occur in the early stages of convergence. Capping is especially suited to compressible analyses, where velocity spikes can cause kinetic energy terms great enough to produce negative static temperatures. When a degree of freedom is capped, ANSYS prints a message along with the convergence monitor printout.

The pressure value calculated by the solution of the pressure equation is capped, not the relaxed value. Therefore, if you introduce pressure capping upon restarting an analysis, pressure values may still be outside the caps.

Caution: *When velocities are capped, conservation of mass may not be enforced.*

The Quadrature Order

The default quadrature order for evaluating the finite element integrals is 1 point. You have control over the quadrature order. In axisymmetric problems, the quadrature order automatically is set to 2 upon solution. This is because quadrature orders of 2 produce more accurate results for problems with irregularly shaped elements.

You can change the quadrature order for momentum diffusion or source, pressure diffusion or source, thermal diffusion or source, or turbulent diffusion or source, using either of the following:

Command: **FLDATA30,QUAD,label,value**

(*Label* is the element integral to change quadrature for, and *value* is the number of integration points).

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>CFD Quad Orders**
Main Menu>Solution >FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>CFD Quad Orders

What to Watch For During a FLOTRAN Analysis

This section describes, in general, what happens in a FLOTRAN analysis and how to judge how the analysis is proceeding.

Deciding How Many Global Iterations to Use

A FLOTRAN analysis is nonlinear and uses a sequential solution, so the first thing you must do is decide how many global iterations should be executed. A *global iteration* is the solution, in sequence, of all relevant governing equations followed by any fluid property updates that are needed.

In a transient simulation, a time step loop exists around the global iteration loop.

During a global iteration, the ANSYS/Multiphysics program or ANSYS/FLOTRAN obtains approximate solutions to the momentum equation and uses them as forcing functions to solve a pressure equation based on conservation of mass. ANSYS uses the resulting pressures to update the velocities so that the velocity field conserves mass. If you request it, the ANSYS program solves the temperature equation and updates temperature dependent properties.

Finally, if you have activated the turbulence model, the equations are solved and the program uses the turbulent kinetic energy and dissipation rate to calculate the effective viscosity and thermal conductivity. Effective viscosity and thermal

conductivity replace, respectively, the laminar viscosity and thermal conductivity to model the effect of turbulence on the mean flow.

To specify how many global iterations a FLOTRAN analysis should execute, use either of the following:

Command: **FLDATA2,ITER,EXEC,value** (The value is the number of iterations.)

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl

Convergence Monitors

As a FLOTRAN simulation proceeds, ANSYS calculates *convergence monitors* for each degree of freedom every global iteration. Convergence monitors are computed for velocities (VY, VY, VZ), pressure (PRES), temperature (TEMP), turbulent kinetic energy (ENKE), kinetic energy dissipation rate (ENDS), and any active species transport equations (SP01-SP06).

The convergence monitors are a normalized measure of the solution's rate of change from iteration to iteration. Denoting by the general field variable, Φ , any DOF, the convergence monitor is defined as follows:

$$\text{ConvMon} = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \phi_i^k - \phi_i^{k-1} \right|}{\sum_{i=1}^N \left| \phi_i^k \right|}$$

The convergence monitor represents the sum of changes of the variable calculated from the results between the current k^{th} iteration and the previous $(k-1)^{\text{th}}$ iteration, divided by the sum of the current values. The summation is performed over all n nodes, using the absolute values of the differences.

Available in both batch and interactive sessions, the Graphical Solution Tracking (GST) feature displays the computed convergence monitors while the solution is in process. By default, GST is ON for interactive sessions and OFF for batch runs. To turn GST on or off, use either of the following:

Command: **/GST**

GUI: **Main Menu>Solution>OutputCtrls>Grph Solu Track**

Figure 2-1 below shows two typical GST displays:

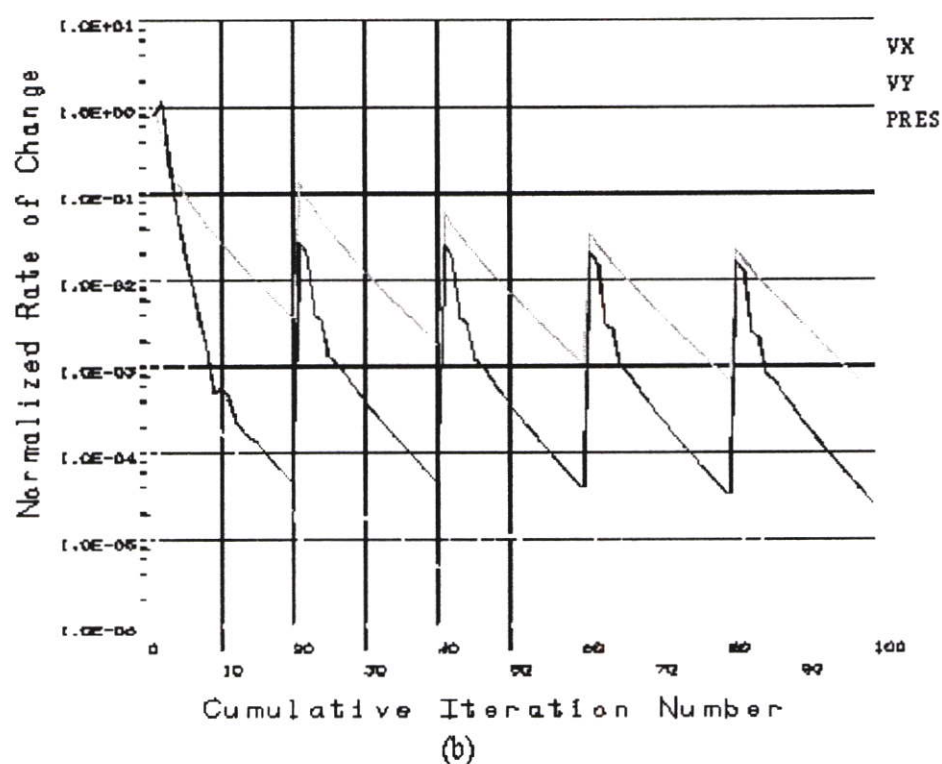
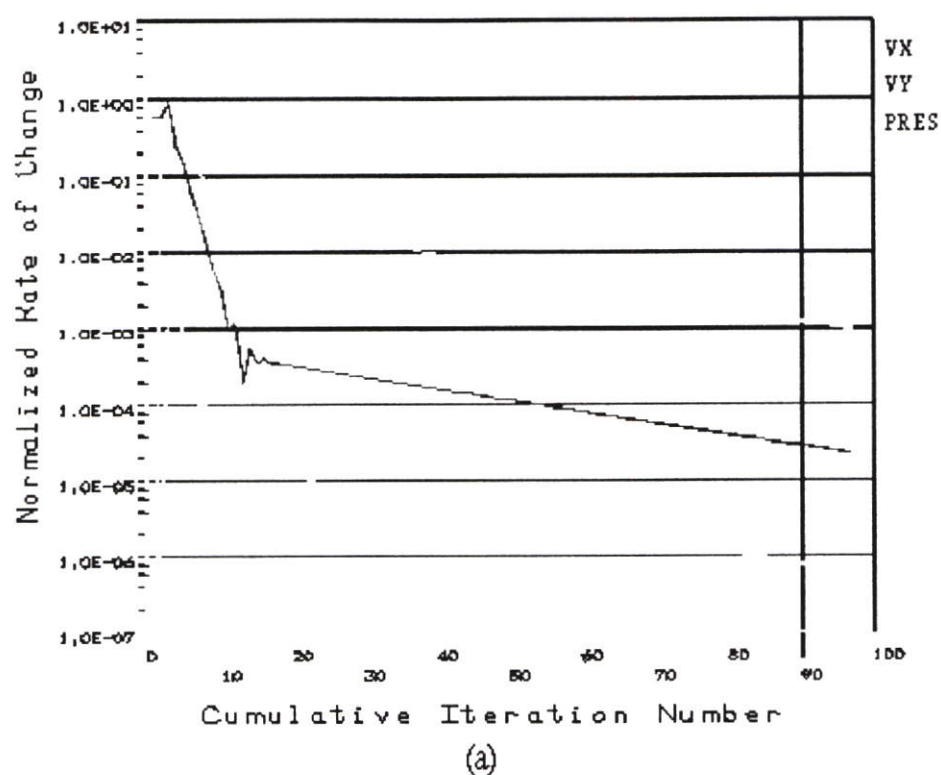


Figure 2-1 Convergence monitors displayed by the Graphical Solution Tracking (GST) feature
(a) Steady-state simulation
(b) Transient simulation

In Figure 2-1(b), a plot of a transient FLOTRAN solution, each “spike” on the plot indicates the beginning of a new time step.

After perhaps some initial fluctuations, convergence monitors will decrease as the analysis approaches convergence. How small the numbers become depends on several factors, such as:

- Complexity of the geometry
- Adequacy of the finite element mesh in regions with steep gradients
- The severity of the turbulence levels, indicated by the flow Reynolds number
- How well developed the flow is near outlet boundaries.

Points to remember when using graphical solution tracking include:

- The GST feature is available for FLOTRAN analyses and also for structural, thermal, and electromagnetic analyses containing nonlinearities. For information about using GST to track convergence in non-FLOTRAN analyses, see the *ANSYS Thermal Analysis Guide*, the *ANSYS Electromagnetic Field Analysis Guide*, and the *ANSYS Structural Analysis Guide*.
- GST can display up to 10 curves at the same time. (Your model can include more than 10 DOFs, but only the first 10 will be displayed.)
- When the GST begins its plotting, ANSYS displays a dialog box with a STOP button. You can stop the solution at any time by clicking on this button. To restart it, issue **SOLVE** or choose **Main Menu > Solution > Run FLOTRAN**.

Stopping a FLOTRAN Analysis

You can choose a target value for terminating a FLOTRAN analysis, based on the convergence monitors for pressure and temperature falling below certain values. Specify these values as follows:

Commands: **FLDATA3,TERM,PRES,value**
FLDATA3,TERM,TEMP,value

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl

The default value for both pressure and temperature is 1.0×10^{-8} . If the temperature equation solution is not activated, FLOTRAN checks only the value for PRES. If it is FLOW and THERMAL, both criteria must be satisfied.

An analysis can terminate on either the rates specified for pressure and temperature or on the number of global iterations requested. *FLOTRAN*

terminates on the first condition satisfied. For information on terminating transient analyses, see Chapter 6, “FLOTRAN Transient Analyses.”

To stop a FLOTRAN batch or background job in progress, place a file named *Jobname.ABT* in the subdirectory from which the ANSYS job has been executed. The first line of this file should contain the word “terminate,” and should be left-justified. FLOTRAN looks for the *Jobname.ABT* file during every global iteration. If it finds the file and reads the word “terminate,” it will finish that global iteration and terminate normally, writing the results to the *Jobname.RFL* file and extending the *Jobname.PFL* file.

Evaluating a FLOTRAN Analysis

The two basic questions an analyst must answer are:

1. When is the analysis completed?
2. Has it been done correctly?

These questions are interrelated, since convergence may not be achieved if you have not set up and executed the analysis correctly.

If you have set the input parameters and boundary conditions correctly, the analysis is complete when the convergence monitors for all variables stop decreasing and the average, maximum, and minimum values of the solution variables no longer increase or decrease. There is no guarantee, however, that you will achieve a single exact answer because nature does not guarantee that a single exact answer exists. Oscillatory problems (for example, vortex shedding behind a cylinder) may not yield stationary results from a steady-state or a transient solution algorithm. You may wish to continue executing the analysis to verify whether a solution has a stable or a fluctuating nature.

The ANSYS program stores the average, minimum, and maximum values of the solution variables in the file *Jobname.PFL*. This file also records the FLOTRAN input plus the convergence monitors which have been calculated. The results summary includes all the DOF, as well as laminar and effective properties. You determine how often ANSYS issues the results summary by using one of these methods:

Command: **FLDATA5,OUTP,SUMF,value**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Additional Out>RFL Out Derived**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Additional Out>RFL Out Derived

The *value* argument is the number of global iterations that pass before ANSYS issues the next results summary.

Verifying Results

You, the analyst, are responsible for verifying results. If your FLOTRAN analysis produces unexpected results, take the actions listed below. You can accomplish many of these actions at the beginning of the analysis. ANSYS creates a *Jobname.PFL* file and checks inputs even if the number of iterations executed is zero.

1. Check the mass balance printed as part of the results summary. Internal checks will determine if any mass flow can potentially cross a model boundary. Boundary conditions admitting mass flow are:
 - Specified velocity boundaries
 - Specified pressure boundaries
 - Unspecified boundaries. (These can result if you inadvertently omit a boundary condition.)

The ANSYS program tabulates the number of inlets/outlets, which should correspond to expectations.

2. Check boundary conditions within ANSYS to ensure that they are accurate.
3. Check that you specified the properties correctly and that they can vary with temperature and pressure if necessary. The results summary in the *Jobname.PFL* file is a convenient place to check this.
4. Check that the length units used to build the model are consistent with those used in specifying properties.
5. In some cases, you need to verify that equations associated with the options chosen are solved correctly (for instance, the pressure equation in compressible flow).
6. If the unexpected result of your analysis is divergence, the finite element mesh may not have sufficient resolution, or significant gradients may exist near outlets. To resolve this, you may need to use convergence aids such as relaxation. Later sections in this document discuss various relaxation techniques.
7. If you get a diverged solution for a particular variable, you can reinitialize that variable to a single value and continue. To do so, use one of these methods:

Command: **FLDATA29,MODV**

GUI: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>Modify Results**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>Modify Results

Chapter 3 An Example of FLOTRAN Analysis

Example of a Laminar and Turbulent FLOTRAN Analysis

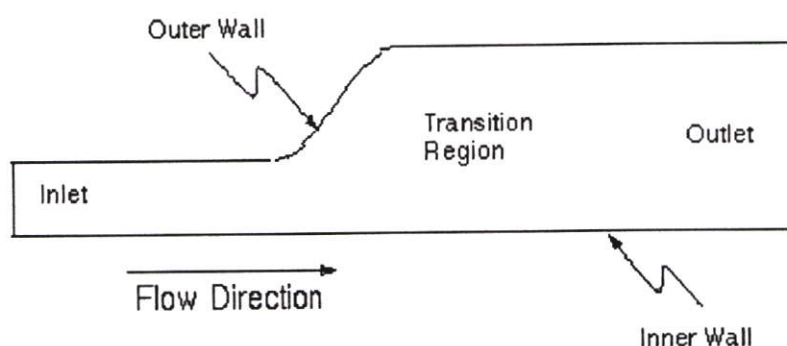
The preceding chapter described the basic steps and concepts involved in FLOTRAN analyses. This chapter describes a sample laminar and turbulent fluid flow problem. Chapter 5, “FLOTRAN Thermal Analyses,” offers additional examples based on a buoyancy-driven flow problem.

Before you begin reading about the laminar/turbulent example, note the following:

- The example problem described is only one of many possible FLOTRAN analyses. It does not illustrate every technique you might use in a FLOTRAN analysis, and is intended only to show the kinds of tasks a FLOTRAN analysis typically requires.
- The values you enter in this example via commands or dialog boxes are specific values *for this example only*. The characteristics of the individual problem you are solving dictate what values you should specify for a particular FLOTRAN analysis.
- The section describing how to perform the example analysis using the ANSYS menus does not show you every display or dialog box you encounter as you step through the analysis. To see all the screens associated with this analysis, review the version of this example provided in the *ANSYS Expanded Workbook*.

The Example Described

This example models fluid flow in a two-dimensional duct. Initially, it defines an arbitrary fluid to simulate laminar flow with a Reynolds number of 400. After the solution is achieved and examined, the properties are varied and a new solution is obtained from a restart of the previous solution. Finally, the problem domain is enlarged for a new problem and the solution for turbulent flow of air in the duct is achieved. The problem uses Standard International units.



Approach and Assumptions

Two-dimensional analyses will be performed using the FLOTRAN element FLUID141. *When using the ANSYSIED program, you **must** define the FLOTRAN element type before meshing to allow the required number of elements to be created.*

The example produces three unique solutions:

- Laminar flow of a fictitious fluid with a Reynolds number of 400
- Laminar flow of a fictitious fluid with a lower viscosity (and therefore higher Reynolds number)
- Turbulent flow of air with a Reynolds number of $\sim 260,000$

All solutions apply a uniform velocity profile at the inlet. This includes specification of a zero velocity condition at the inlet in the direction normal to the inlet flow. No-slip (zero velocity) conditions are applied all along the walls (including where the walls intersect the inlets and outlets). The fluid is considered incompressible and the properties will be assumed constant. In such cases, only the relative value of pressure is important, and a zero relative pressure is applied at the outlet.

For the initial analysis with the fictitious fluid, the flow is in the laminar regime. This may be verified by computing the Reynolds number of the flow and noting that it is in the laminar range for internal duct flows:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

(In two-dimensional geometry, the hydraulic diameter is twice the inlet height.)

For the second analysis, you reduce the viscosity by a factor of ten (which will increase the Reynolds number accordingly) and the solution is restarted from the previous solution.

For internal flows, the transition to turbulence occurs within the Reynolds number range of 2000-3000. Therefore, for the third solution of air in the duct (Reynolds number $\sim 260,000$), the flow will be turbulent. For the turbulent analysis, an extension will be added to the length of the duct to allow the flow to develop fully. You should change the ANSYS jobname before solving so that the FLOTRAN results file from the previous solution will not be used for a restart.

Dimensions and Properties

The example uses the following values:

Dimensions & Properties	Value
Inlet length	4 m
Inlet height	1 m
Transition length	2 m
Outlet height	2.5 m
Initial outlet length	6 m
Added outlet length	12 m
Fictitious fluid density	1 kg/m ³
Fictitious fluid viscosity*	.01/.001 kg/m-s
Air density	1.205 kg/m ³
Air viscosity	1.8135x10 ⁻⁵ kg/m-s
Inlet velocity	2.0 m/s
Outlet pressure	0 nt/m ²

*Use 0.01 for the initial analysis. It will be lowered for the follow-on case

Step 1: Enter ANSYS

To enter the ANSYS environment, use the procedures described in the *ANSYS Operations Guide*.

Step 2: Set Analysis Preferences

To turn FLOTRAN filtering on, perform these steps:

1. Choose **Main Menu > Preferences**. The Preferences dialog box appears.
2. Click FLOTRAN CFD Filtering on.
3. Click on OK.

Step 3: Define the Element Type

1. Choose **Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete**. The Element Type dialog box appears.
2. Click on Add. The Library of Element Types dialog box appears.
3. In the scrollable lists, click on “FLOTRAN CFD” and “2D FLOTRAN 141.”
4. Click on OK. You return to the Element Type dialog box.
5. Click on Close.

Step 4: Create Areas

In this step, you define three areas: two rectangles representing the inlet and the outlet, and a transition region, where the flow expands.

1. To create the inlet region, choose **Main Menu > Preprocessor > -Modeling-Creat**e > **-Areas-Rectangle > By Dimensions**. The Create Rectangle by Dimensions dialog box appears.
2. Enter the following coordinate values in the appropriate fields:
 - 0 for X1
 - 4 for X2
 - 0 for Y1
 - 1 for Y2
3. Click on Apply.
4. To create the outlet rectangle, enter these coordinates:
 - 6 for X1
 - 12 for X2
 - 0 for Y1

- 2.5 for Y2
5. Click on OK.
 6. Click on SAVE_DB in the Toolbar.
 7. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Modeling-Create > Lines > Tan to 2 Lines**. A picking menu appears.
 8. Pick the first line (the upper line of the left rectangle), then click on OK in the picking menu.
 9. Pick the tangency end of the first line (the upper right corner), then click on OK.
 10. Pick the second line (the upper line of the larger rectangle), then click on OK.
 11. Pick the tangency end of the second line and click on OK. The line is created.
 12. Click on Cancel in the picking menu. The result is a smooth line between the two rectangular areas.
 13. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Modeling-Create > -Areas-Arbitrary > Through KPs**. A picking menu appears.
 14. Pick the two ends of the line between areas, the lower right corner of the small rectangle, and the lower left corner of the larger rectangle.
 15. Click on OK, then click on SAVE_DB in the Toolbar.

Step 5: Define the Element Shape

1. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-> Mesher Opts**. The Mesher Options dialog box appears.
2. Change the "Midside node placement" field to "No midside nodes" and click on OK. The Set Element Shape dialog box appears.
3. Click on QuadOnly.
4. Click on OK.
5. Choose **Utility Menu > Plot > Lines**.
6. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-> Size Cntrls > -Lines-> Picked Lines**. A picking menu appears.

7. Pick the lines in the flow direction along the inlet, the top and bottom lines of the far left side of the model
8. Click on Apply. The Element Sizes on Picked Lines dialog box appears.
9. Set the “No. of element divisions” field to 12.
10. Set the “Spacing ratio” field to -2 . (This produces smaller elements near both ends of the line).
11. Click on Apply.
12. In the transition region (the center area), pick the top and bottom lines, then click on Apply. The Element Sizes on Picked Lines dialog box reappears.
13. Set “No. of element divisions” to 9.
14. Set the spacing ratio to 1.
15. Click on Apply.
16. In the outlet region (the larger rectangle), pick the upper line only, then click on Apply.
17. In the Element Sizes dialog box, change the number of element divisions to 13 and change the spacing ratio to 0.4.
18. Click on Apply.
19. Pick the lower line in the outlet region, then click on Apply.
20. In the Element Sizes dialog box, change the spacing ratio to 2.5.
21. Click on Apply.
22. Pick the four transverse direction (vertical) lines, then click on OK.
23. In the Element Sizes dialog box, change the number of element divisions to 10 and the spacing ratio to -2 .
24. Click on OK.
25. Click on SAVE_DB in the Toolbar.

Step 6: Mesh the Model

1. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-> Mesh > Areas > Free**. A picking menu appears.

2. Click on Pick All. The meshed model appears.

Step 7: Create and Use New Toolbar Buttons

When you do analyses like this example, it is convenient to define Toolbar buttons that automatically perform tasks such as selecting all nodes associated with a line, or that turn off the plot of the triad that indicates the origin. In this step, you create buttons (called NSL and TRI respectively) that automate the aforementioned functions.

1. Choose **Utility Menu > MenuCtrls > Edit Toolbar**. The Edit Toolbar dialog box appears. In the field labeled "Selection," you will see the text *ABBR.
2. To create the node selection button, enter `ns1,ns11,,1` after *ABBR.
3. Click on Accept.
4. To create the triad control button, enter `tri, /triad,off` after *ABBR.
5. Click on Accept, then click on Close.
6. Click on the new TRI button and choose **Utility Menu > Plot > Replot**. This removes the triad from subsequent displays, providing more room for results plotting.

Step 8: Apply Boundary Conditions

You apply a velocity of 2 in the X direction (VX) at the inlet, and apply a zero velocity in the transverse direction at the inlet (VY in the Y direction). Zero velocities in both directions are applied all along the walls, and a zero pressure is applied at the outlet.

Plot nodes and then select the nodes at the inlet.

1. Choose **Utility Menu > Plot > Nodes**. The ANSYS Graphics Window displays a nodal plot.
2. Choose **Utility Menu > Select > Entities**. A picking menu appears.
3. Choose "Nodes" and "By Num/Pick," then click on OK. A Select Nodes picking menu appears.
4. Choose "Box" as the picking method.
5. Pressing the left mouse button, draw a box around the inlet nodes (the column of nodes at the far left).

6. Click on OK.
7. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Apply > Fluid/CFD > Velocity > On Nodes**. A picking menu appears.
8. Click on Pick All. The Velocity Constraints on Nodes dialog box appears.
9. In the VX velocity component field, enter 2. In the VY velocity component field, enter 0.
10. Click on OK. The Graphics Windows shows the velocity applied to the inlet nodes.
11. Choose **Utility Menu > Plot > Lines**.
12. Choose **Utility Menu > Select > Entities**. A picking menu appears.
13. Choose "Lines" and "By Num/Pick," then click on OK. The Select Lines picking menu appears.
14. In the Graphics Window, pick the six lines on the top and bottom, then click on OK.
15. Click on the NSL button in the Toolbar to choose the nodes associated with the selected lines.
16. Choose **Utility Menu > Plot > Nodes**. The display changes to show the nodes on the selected lines.
17. Apply the wall boundary condition by choosing **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Apply > Fluid/CFD > Velocity > On Nodes**. A picking menu appears.
18. Click on Pick All, then click on OK. The Velocity Constraints on Nodes dialog box appears.
19. In the VX velocity component and VY velocity component fields, enter 0.
20. Click on OK.
21. Choose **Utility Menu > Select > Everything**, then **Utility Menu > Plot > Nodes**.
22. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Apply > -Fluid/CFD-> Pressure DOF > On Nodes**. The Apply PRES on Nodes dialog box appears.
23. Choose Box. Circle the nodes at the far right of the model (the outlet nodes) and click Apply. The Pressure Constraint on Nodes dialog box appears.

24. Set the Pressure value to 0.
25. Click on OK. The Graphics Window shows you the result of applying the pressure boundary condition.
26. Choose **Utility Menu > Select > Everything**.
27. Click on the SAVE_DB button in the Toolbar. Your finite element model is now complete and ready to be solved.

Step 9: Solve the Laminar Analysis

In this step, you first establish the fluid properties. Then, you set execution controls and run FLOTRAN.

1. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN SetUp > Fluid Properties**. The Fluid Properties dialog box appears.
2. Check that the “Density” field is set to “Constant,” then click on OK. The CFD Flow Properties dialog box appears.
3. Set the constant density to 1.0 and the constant viscosity to 0.01.
4. Click on OK.
5. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN SetUp > Execution Control**. The Steady State Control Settings dialog box appears.
6. Set the “Global iterations” field to 20.
7. Click on OK to close the dialog box.
8. Choose **Main Menu > Solution > Run FLOTRAN**. A graph is plotted. Click on Close after the Solution is Done Information window is displayed to continue.

Step 10: Plot the Laminar Analysis Results

1. Choose **Main Menu > General Postproc > -Read Results-> Last Set**.
2. Choose **Main Menu > General Postproc > Plot Results > Vector Plot > Predefined**. A dialog box appears.
3. In the scrollable lists, choose “DOF solution” and “Velocity V.”
4. Click on OK.

5. Choose **Utility Menu > PlotCtrls > Device Options**. The Device Options dialog box appears.
6. Turn vector mode (wireframe) on, then click on OK.
7. Choose **Utility Menu > PlotCtrls > Style > Edge Options**. The Edge Options dialog box appears.
8. Set the “Edge tolerance angle” field to 1.
9. Set the “Element outlines for non-contour/contour plots” field to “Edge Only/All.”
10. Set “Replot upon OK/Apply?” to “Replot.”
11. Click on OK. The resulting vector plot shows the recirculation regions.

Step 11: Determine How Viscosity Affects the Flow Profile

Common fluids such as air and water have lower viscosities than the original number used in this example. Reducing the viscosity by a factor of 10 will increase the Reynolds number accordingly. So, in this step, you return to the FLOTRAN input, change the viscosity, and solve the problem again. The analysis will pick up where it left off, and will execute another 20 global iterations.

1. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN SetUp > Fluid Properties**. The Fluid Properties dialog box appears.
2. Click on OK. The CFD Flow Properties dialog box appears.
3. Change the viscosity value to .001.
4. Click on OK.
5. Choose **Main Menu > Solution > Run FLOTRAN**.

The cursor will turn into an hourglass-shaped icon until the new solution completes.

Step 12: Setting Up a Turbulent Analysis

The results for the lower viscosity case indicate that the recirculation region has extended well beyond the outlet. If you want the flow to develop fully by the time it reaches the exit, you must give it more room to do so. This is especially true

considering that the viscosity of air is even lower than that of the lower-viscosity fictitious fluid in the previous part of the example.

The procedure for the next part of the example, the turbulent analysis of air flow, closely follows that of the laminar analysis. You will extend the problem domain, re-mesh the problem, reapply boundary conditions, and activate the turbulence model. You also will need to change the ANSYS jobname before solving the turbulent analysis.

1. To delete the pressure boundary condition, choose **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Delete > Fluid/CFD > Pressure > On Nodes**. A picking menu appears. Choose Pick All.
2. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Modeling-> Create > -Areas-> Rectangle > By Dimensions**. The Create Rectangle by Dimensions dialog box appears.
3. Enter the following coordinates:
 - Set X1 to 12.
 - Set X2 to 24.
 - Set Y1 to 0.
 - Set Y2 to 2.5.
4. Click on OK. The Graphics Window displays the additional outlet region you just added. You next merge the lines and keypoints of this new region with those of the existing areas.
5. Choose **Main Menu > Preprocessor > NumberingCtrls > Merge Items**. The Merge Coincident or Equivalently Defined Items dialog box appears.
6. Set the “Type of item to merge” field to “All,” then click on OK. You should receive a message warning you about merging a meshed line with an unmeshed line. Ignore the message and close the message box.
7. Choose **Utility Menu > Plot > Lines**.

Step 13: Mesh the New Outlet Area

1. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-> Size Cntrls > For Picked Lines**. A picking menu appears.
2. Pick the (rightmost) line at the new outlet, then click on OK. The Element Sizes on Picked Lines dialog box appears.
3. Set the “Number of element divisions” field to 10.

4. Set the “Spacing ratio” field to -2.
5. Click on Apply.
6. Pick the lines at the top and bottom of the new outlet.
7. Click on OK.
8. In the Element Sizes on Picked Lines dialog box, set the “Number of element divisions” field to 20 and the “Spacing ratio” field to 1.
9. Click on OK, then click on the SAVE_DB button in the Toolbar.
10. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Meshing-> Mesh > Areas > Free**. A picking menu appears.
11. Pick the outlet area, then click on OK. The ANSYS program meshes the new area.
12. Choose **Utility Menu > Plot > Nodes**. The Graphics Window shows a nodal plot that includes the new outlet area.

Step 14: Applying Loads for the Turbulent Analysis

1. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Apply > -Fluid/CFD-> Velocity > On Nodes**. A picking menu appears.
2. Choose “Box” as the picking method.
3. Pressing the left mouse button, draw a box around the upper wall that does not have a boundary condition. Create another box around the lower wall without a boundary condition.
4. Click on OK. The Velocity Constraints on Nodes dialog box appears.
5. In the VX velocity component and VY velocity component fields, enter 0.
6. Click on OK.
7. Choose **Main Menu > Preprocessor > -Loads-> -Loads-> Apply > Pressure DOF > On Nodes**. A picking menu appears.
8. Choose “Box” as the picking method.
9. Draw a box around the new outlet.

10. Click on OK. The Pressure Constraint on Nodes dialog box appears.
11. Enter a Pressure value of 0.
12. Click on OK.

Step 15: Change FLOTRAN Options and Fluid Properties

1. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN SetUp > Solution Options**. The FLOTRAN Solution Options dialog box appears.
2. Set the “Laminar or turbulent” field to “Turbulent.”
3. Click on OK.
4. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN SetUp > Execution Control**. The Steady-State Control Settings dialog box appears.
5. Set the number of global iterations to 60.
6. Click on OK.
7. Choose **Main Menu > Solution > FLOTRAN Setup > Fluid Properties**. The Fluid Properties dialog box appears.
8. In the “Density” field, choose “AIR.”
9. Click on OK. The CFD Flow Properties dialog box appears.
10. Confirm that the property to be used is AIR, then click on OK.

Step 16: Solve the Turbulent Analysis

1. Choose **Utility Menu > File > Change Jobname**. The Change Jobname dialog box appears. You also will see a warning message telling you that you must exit from the SOLUTION processor in order to change the name.
2. Click on Close in the warning message window.
3. In the Change Jobname dialog box, enter turb as the new jobname.
4. Click on OK.
5. Choose **Main Menu > Solution > Run FLOTRAN**. ANSYS solves the turbulent analysis.

Step 17: Display the Velocity as a Vector Plot and a Path Plot

1. Choose **Main Menu > General Postproc > -Read Results-> Last Set**.
2. Choose **Main Menu > General Postproc > Plot Results > Vector Plot > Predefined**. A dialog box appears.
3. In the scrollable lists, choose “DOF solution” and “Velocity V.”
4. Click on OK.
5. Plot Nodes.
6. Choose **Main Menu > General Postproc > Path Operations > Define Path > By Nodes**. A picking menu appears.
7. In the Graphics Window, pick the nodes at the bottom, then at the top of the outlet.
8. Click on OK. The By Nodes dialog box appears. Enter path1 in the Define Path Name field. The PDEF Command window appears. Review the contents of the window and click on Close.
9. Choose **Main Menu > General Postproc > Path Operations > Map onto Path**. The Map Result Items onto Path dialog box appears.
10. Enter `velocity` as the label.
11. In the “Item to be mapped” field, choose “DOF solution” and “Velocity VX.”
12. Click on OK.
13. Choose **Main Menu > General Postproc > Path Operations > -Plot Path Item-> On Graph**. The Plot of Path Items on Graph dialog box appears.
14. Choose the label VELOCITY.
15. Click on OK. The resulting path plot shows that the flow is still not fully developed. (You will see a bias toward one side of the outlet.)

Step 18: Create a Pressure Contour Plot

1. Choose **Utility Menu > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours**. the Uniform Contours dialog box appears.

2. Set the “Number of contours” field to 72.
3. Click on OK.
4. Choose **Main Menu > General Postproc > Plot Results > -Contour Plot- > Nodal Solu.** The Contour Nodal Solution Data dialog box appears.
5. In the scrollable lists, choose “DOF solution” and “Pressure PRES.”
6. Click on OK. The ANSYS program displays a contour plot showing pressure.

Step 19: Exit from ANSYS

1. Click on the Quit button in the Toolbar. A menu appears, asking whether you want to save the geometry and loads from the example analysis, save the geometry, loads, and solution, save everything, or quit without saving.
2. Choose the quit option you want, then click on OK.

ภาคผนวก ข

สิ่งเจือปนในอากาศที่ทำให้เกิดมลภาวะ

ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Oxygen and Carbon Dioxide)

อากาศภายนอกประกอบด้วยออกซิเจน 21% คาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 – 0.04% ไนโตรเจน 78% ก๊าซเฉื่อย (ส่วนใหญ่ คือ อาร์กอน) 1% และไอน้ำประมาณ 5–25 กรัม/ลบ.ม. ของอากาศ

ในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัย คุณภาพอากาศจะได้รับผลจากการทำกิจกรรมประจำวัน และพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัย คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำถูกปล่อยออกมาจากปอด แบบที่เรียกว่าถูกปล่อยออกมาด้วยการหายใจ การจาม การไอ กลิ่นระเหยออกมาจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีองค์ประกอบที่ขึ้นอยู่กับสูขอนามัย และโภชนาการของแต่ละคน การสูบบุหรี่ทำให้เกิดมลภาวะทั้งต่อร่างกาย และกลิ่นอันไม่พึงประสงค์

อากาศที่ใช้แล้วจะประกอบด้วยออกซิเจน 16.3% คาร์บอนไดออกไซด์ 4% ไนโตรเจน และก๊าซอื่นๆ ที่เกิดจากร่างกาย (ส่วนใหญ่ คือ แอมโมเนีย) 79.7% และไอน้ำประมาณ 45 กรัม / ลบ.ม. (เมื่ออากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 37°C)

ความต้องการออกซิเจน ขึ้นอยู่กับอัตราการเผาผลาญอาหาร ปริมาณออกซิเจนทุกๆ ลิตร ที่ถูกสูดเข้าไปจะให้พลังงานประมาณ 5 กิโลแคลอรี ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ (ลิตร/ชั่วโมง/คน) มีค่าประมาณ 1/5 ของอัตราการเผาผลาญ (กิโลแคลอรี/ชั่วโมง) ถ้าปริมาณออกซิเจนสุทธิที่ได้รับมีค่าประมาณ 4.7% ของอากาศ (21 – 16.3%) จะต้องการอากาศนำเข้า (ลิตร/ชั่วโมง/คน) ประมาณ 4.25 เท่าของอัตราการเผาผลาญ (กิโลแคลอรี/ชั่วโมง) โดยปกติ การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร มีสาเหตุจากผู้อยู่อาศัยเป็นหลัก อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสัดส่วนโดยตรงต่ออัตราการเผาผลาญในร่างกายเช่นกัน โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$G = 4 \times 10^5 M \times A \quad (1)$$

เมื่อ G = อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ลิตร/วินาที

M = อัตราการเผาผลาญของร่างกาย, วัตต์/ตร.ม.

A = พื้นที่ผิวของร่างกาย, ตร.ม.

อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ เมื่อทำกิจกรรมเบาๆ มีค่าประมาณ 5 มิลลิลิตร/วินาที

อย่างไรก็ตาม ในอาคารต่างๆ ไป เช่น อาคารพักอาศัย สำนักงาน โรงเรียน หรือโรงงานขนาดเล็ก การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีผลน้อย

มาก ในปี 1925 นายวินสโลว์ (Winslow) ได้สรุปผลการศึกษาทางกายภาพ รวมทั้งผลกระทบ เมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 16–18% และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นถึง 1–2% ว่าไม่มีผลต่อการหายใจ หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร มีค่าประมาณ 1% ดังนั้นการพิจารณาปริมาณก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงไม่ใช่ประเด็นหลักในการระบุความต้องการการระบายอากาศ อย่างไรก็ตาม คุณภาพอากาศมีหลายองค์ประกอบ ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวแปรที่ใช้วัดได้ง่ายที่สุด ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวชี้วัดระดับขององค์ประกอบอื่นๆ ในอากาศได้โดยทางอ้อม จากประเด็นนี้ จึงได้กำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ยอมรับได้ขึ้น

มาตรฐานการระบายอากาศส่วนใหญ่ จะแนะนำให้ควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้ไม่เกิน 0.5% หรือ 5000 ppm อย่างไรก็ตามในการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ พบว่าปริมาณที่กำหนดไว้สูงเกินกว่าระดับความสบายของมนุษย์มาก ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าว จะทำให้ปวดหัว และมีอาการเชื่องซึม ในปัจจุบันนี้ จึงกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่เป็น 1000 ppm ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ เราสามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศ โดยอ้างอิงจากการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จากสูตรที่ 3 เมื่อสมมติให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศภายนอก มีค่าเฉลี่ย 400 ppm ซึ่งไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับที่ตั้งของอาคารว่าอยู่ในเมือง ชานเมือง หรือชนบท

$$Q = G / \{ \epsilon_v (c_i - c_o) \} \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

เมื่อ G = อัตราการแพร่มวลภาวะ, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ หรือ kg s^{-1}

c_i = มลภาวะอากาศภายในที่ยอมรับได้, ppm หรือ mg kg^{-1}

c_o = มลภาวะอากาศภายนอก, ppm หรือ mg kg^{-1}

ϵ_v = ประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ

กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ (Odour)

กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ดังกล่าว เกิดจากร่างกายมนุษย์ ผสมกับกิจกรรมบางอย่าง เช่น การประกอบอาหาร กลิ่นห้องน้ำ และขยะ ถึงแม้ว่ากลิ่นดังกล่าวจะไม่ใช่สิ่งที่ต้องการ แต่มันก็มิได้ส่งผลเสียต่อสุขภาพ กลิ่นที่เกิดจากร่างกายจะแพร่ออกมาทางเหงื่อ น้ำมัน และของเหลวที่ออกมาทางผิวหนัง และระบบย่อยอาหารของร่างกาย

จากผลการทดลองของ ยากลู และวิทเทอร์ริดจ์ (Yaglou and Witheridge) ในเรื่องความต้องการการระบายอากาศ ต่อกลิ่นที่เกิดขึ้น โดยการนำคนเข้ามาไว้ในห้องทดลองที่มีการระบายอากาศ เมื่อ 60 ปีที่แล้ว และยังสามารถอ้างอิงได้ แสดงให้เห็นว่าอัตราการนำอากาศเข้ามา

ภายใน ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของคนในห้อง (ลบ.ม./คน) เป็นหลักยิ่งความหนาแน่นน้อย ก็ยิ่งต้องการการระบายอากาศน้อยลงด้วย อัตราความต้องการระบายอากาศมีค่าหลากหลายตั้งแต่ 7 ลบ.ฟุต/นาที่/คน สำหรับ 3 คน ไปจนถึง 25 ลบ.ฟุต/นาที่/คน สำหรับ 14 คน เขายังพบด้วยว่ากลิ่นที่เกิดจากร่างกายมนุษย์จะไม่คงที่ และจะจางไปเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที ถึงแม้ว่าจะไม่มีการระบายอากาศ แต่กลิ่นที่เกิดจากสารเคมีจะใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่วโมงจึงจะจางลงไป แต่กลิ่นควันบุหรี่จะรุนแรงขึ้นในช่วง 3 ชั่วโมงแรกหลังจากเริ่มสูบ จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ

คอนโซลาซิโอ และเพคอร่า (Consolazio and Pecora) ก็ทำการศึกษาดผลกระทบของอัตราการระบายอากาศ ที่มีผลต่อระดับกลิ่น โดยทำการทดลองกับคนจำนวน 45 คน ในห้องทดลอง วันละ 20 ชม. เป็นเวลา 17 วัน โดยแบ่งระดับกลิ่นออกเป็นมาตราส่วนตัวเลขดังนี้

ไม่มีกลิ่น	0
กลิ่นเล็กน้อยพอรับรู้ได้	1
มีกลิ่น แต่ยอมรับได้	2
กลิ่นรุนแรง	3
กลิ่นรุนแรงมาก เกินระดับที่ยอมรับได้	4
กลิ่นรุนแรงมาก ทำให้เวียนศีรษะ คลื่นเหียน ทนไม่ได้	5

ในการวิจัยนี้มีข้อสรุปที่สอดคล้องกับกฎปฏิบัติทางกายภาพของ เวบเบอร์ - เฟชเนอร์ (Weber - Fechner) ว่ามนุษย์จะรับรู้กลิ่นในที่อยู่อาศัยของตนเองได้น้อยกว่ากลิ่นในที่ใหม่ๆ โดยทั่วไป อัตราการไหลเวียนอากาศบริสุทธิ์ที่ยอมรับได้มีค่า 3 ลิตร/วินาที/คน ซึ่งเพียงพอในการกำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ได้ นอกเหนือจากเพื่อกำจัดมลภาวะในอาคาร

คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นผลมาจากการเผาไหม้สมบูรณ์ มันจะจับตัวกับฮีโมโกลบินได้มากกว่าออกซิเจน ดังนั้น เมื่อคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่กระแสเลือด มันจะถูกดูดซึมทันที และสกัดกั้นออกซิเจนไม่ให้เข้าสู่ร่างกาย และทำให้เป็นลมสลบได้ในที่สุด ซึ่ง แวน สเตรทเทน (Van Straaten) เคยสำรวจพบกรณีเช่นนี้มากมายในแอฟริกาใต้ ในกลุ่มคนยากจนที่ใช้ถ่านหิน และไม่มีการระบายอากาศที่พอเพียง

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นพิษต่อร่างกาย แม้จะมีปริมาณน้อยเพียง 0.3% ในฝรั่งเศส แนะนำให้อาคารพักอาศัยมีระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ไม่เกิน 0.003% ส่วนในสหรัฐอเมริกา ยอมให้มีได้ไม่เกิน 0.01% ขณะนี้เรายังไม่สามารถระบุอัตราปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิต

ออกมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้ จึงยังไม่สามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศที่ต้องการสำหรับกรณีนี้ได้

ควันบุหรี่ (Tobacco Smoke)

เป็นที่ทราบกันว่าควันบุหรี่มีผลเสียต่อสุขภาพ สารพิษในบุหรี่ทำให้เกิดการเคืองตา แสบจมูก เช่น อโครไลน (acrolein) ทาร์ (tar) นิโคติน (nicotine) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) ตามมาตรฐานอังกฤษ (British Standard 5925) แนะนำอัตราการระบายอากาศไว้ดังนี้

ห้องงดสูบบุหรี่	8	ลิตร/วินาที
ห้องที่มีการสูบบุหรี่บ้าง	16	ลิตร/วินาที
ห้องที่มีการสูบบุหรี่มาก	24	ลิตร/วินาที
ห้องที่มีการสูบบุหรี่จัดมาก	36	ลิตร/วินาที

ดังนั้นในขั้นแรกของการออกแบบควรพิจารณาสถิติการสูบบุหรี่ของผู้ใช้งานก่อน

ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

ฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) คือ สารเคมีทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น วัสดุอาคาร วัสดุตกแต่ง เครื่องสำอาง ของใช้ในห้องน้ำ บรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น ยางสนยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (UF) ที่มีราคาถูกนี้เป็นที่นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์จำพวกไม้ ไม้อัด ไม้ชิบบอร์ด ไม้อัดประสาน แผ่นพลาสติก หรือในสารที่ใช้ยึดติดในแผ่นฉนวนไฟเบอร์กลาส กระดาษปิดผนัง พรม สิ่งทอต่างๆ การเผาไหม้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่มีการระบาย และควันบุหรี่ ก็ก่อให้เกิดสารฟอร์มัลดีไฮด์ เช่นกัน

ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถเข้าสู่ร่างกายด้วยการสูดดม ดูดซึม หรือกลืนเข้าไปกับอาหาร โดยจะทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นพิษต่อร่างกาย หากได้รับฟอร์มัลดีไฮด์เข้าไป มันจะทำลายเยื่อที่บรรจุไฮโดรเจนในร่างกาย และถึงแม้จะยังไม่มีการสรุป แต่ก็สามารถเชื่อได้ว่าฟอร์มัลดีไฮด์สามารถทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้

อัตราการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในที่อยู่อาศัย ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อายุของวัสดุก็เป็นปัจจัยหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ใหม่จะมีอัตราการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์สูงสุด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวในการระเหย ปริมาตรอากาศในห้อง อัตราการระบายอากาศ และปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ และความชื้น ในสภาพแวดล้อมที่คงที่ และไม่มีอุปสรรคใดๆ เราสามารถหาค่าการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดังนี้

$$C = \frac{AE}{\rho N V} \quad (3)$$

เมื่อ C = ปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์, ppm
 A = พื้นที่ผิวในการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์, m²
 E = อัตราการระเหยสารสุทธิจากพื้นผิว, mg m⁻² h⁻¹
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ, kg m³
 N = อัตราการระบายอากาศ, air change h⁻¹
 V = ปริมาตรอากาศในห้อง, m³

ถ้ามีตัวแปรใดเปลี่ยนแปลง เช่น ในห้องที่มีอัตราการระบายอากาศต่ำมากๆ สารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องจะสูงขึ้น และทำให้อัตราการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ในระยะต่อเนื่องต่ำลงเรื่อยๆ จนเป็น 0 ที่ระดับอัตราการระบายอากาศเป็น 0 เช่นกัน อัตราการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุต่างๆ ในอาคารดูได้จากตารางที่ 2.1

คู่มือเกี่ยวกับการระบายอากาศทั่วไป จะแนะนำให้มีสารฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศได้ไม่เกิน 0.1 ppm แต่ในความเป็นจริงมันยังสูงเกินไป โดยเฉพาะสำหรับคนที่ไวต่อสารเคมี และโดยเฉพาะอาคารที่ใช้ฉนวนโฟม ยูเรีย - ฟอร์มัลดีไฮด์ (UF)

ตารางที่ ข (1) อัตราการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุต่างๆ

รายการวัสดุ	อัตราการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ (mg h ⁻¹ m ⁻²)
แผ่นไม้	0.46 – 1.69
แผ่นใยอัด เช่น ไม้อัดประสาน	0.17 – 0.51
แผ่นพลาสติก	0 – 0.13
กระดาษปิดผนัง	0 – 0.28
พรม	0
ผ้าม่าน	0

โอโซน (Ozone)

โอโซน เป็นสารธรรมชาติอยู่ในอากาศภายนอก การพิจารณาค่าโอโซนขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพอากาศ นอกจากนี้ยังมีการผลิตโอโซนภายในอาคารจากอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด และจากเครื่องจักรสำนักงาน เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์เลเซอร์ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกายเรื้อรัง ถ้าได้รับในปริมาณมาก องค์การอนามัยโลก (The World Health Organisation : WHO) ได้แนะนำให้ควบคุมปริมาณโอโซนไว้ไม่เกิน 100 µg m⁻³ (50 ppb)

สำหรับระยะเวลาอยู่อาศัย 8 ชั่วโมง ส่วนมาตรฐานแอสเบ (ASHRAE Standard 62 1989 R) แนะนำไว้ไม่เกิน $235 \mu\text{g m}^{-3}$ (120 ppb) สำหรับระยะเวลาอยู่อาศัยสั้นๆ 1 ชั่วโมง

สารประกอบไอระเหย (Volatile Organic Compounds : VOCs)

สารประกอบไอระเหย (VOCs) เกิดขึ้นจากแหล่งภายในอาคาร ถึงแม้ว่ายังไม่เป็นที่แน่ชัดว่ามีสารนี้อยู่ในอากาศภายในหรือไม่ แต่นักวิจัยหลายท่านก็สันนิษฐานว่า สารประกอบไอระเหยนี้มีจุดเดือดอยู่ระหว่าง $50 - 260^{\circ}\text{C}$ และถึงแม้ว่าสารฟอร์มัลดีไฮด์จะถูกจัดเป็นสารไอระเหยประเภทหนึ่ง แต่โดยปกติมันจะถูกแยกพิจารณา เนื่องจากมันต้องการเทคนิคการวัดที่แตกต่างจากสารไอระเหยประเภทอื่น การวิจัยผลกระทบจากสารประกอบไอระเหยต่อสุขภาพค่อนข้างใหม่ และยังหาข้อมูลที่น่าเชื่อถือถึงผลกระทบระยะยาวจากสารเหล่านี้ได้น้อย ยกเว้นสารบางชนิด เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ ที่เป็นที่เข้าใจอยู่แล้ว สำหรับอาคารส่วนใหญ่ ยังไม่มีการพิจารณาเกี่ยวกับสารประกอบไอระเหยที่มากเพียงพอที่จะระบุถึงความเสี่ยงต่อร่างกายได้ การศึกษาภาคสนามในบางประเทศของยุโรป มิได้พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไอระเหย กับการเกิดโรคอาคารป่วย (SBS) เลย ดังนั้นจึงยังไม่มีการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารประกอบไอระเหยที่เหมาะสมภายในอาคาร แม้กระนั้น นายโมลแฮฟ (Molhave) ซึ่งได้ทำการทดลองผลตอบสนองจากสารประกอบไอระเหย 22 ชนิด ต่อร่างกายมนุษย์ ทำให้เราสามารถแยกผลกระทบดังกล่าวได้ดังตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตาม การวัดปริมาณสารประกอบไอระเหยในอาคารส่วนใหญ่ยังต่ำกว่าปริมาณที่แสดงในตารางอยู่มาก

ตารางที่ ข (2) แสดงผลกระทบจากสารประกอบไอระเหยต่อร่างกาย

ปริมาณสารประกอบไอระเหย ($\mu\text{g m}^3$)	ผลกระทบ
< 200	อยู่ในช่วงสภาวะสบาย
200 – 3,000	ส่งผลกระทบหลากหลายขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ได้รับสาร
3,000 – 25,000	อยู่ในช่วงไม่สบาย
> 25,000	ช่วงเป็นพิษ

เรดอน (Radon)

เรดอน เป็นก๊าซจําพวกเรเดียมที่พบบนผิวดิน โดยตัวก๊าซนี้เองไม่มีอันตราย แต่ละอองฝุ่นเล็กๆ ที่ถูกปล่อยออกมาจากผิวดินสามารถทำอันตรายได้หากสูดดมเข้าไป มันจะเข้าไปทำลายเยื่อปอด ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งได้

การวัดปริมาณก๊าซเรดอนในบรรยากาศมีหน่วยเป็น picocuries per litre (pCi l⁻¹) หรือ bequerels per m³ (Bq m⁻³) ซึ่ง $1 \text{ pCi l}^{-1} = 37 \text{ Bq m}^{-3}$ ส่วนการวัดละอองฝุ่นจากเรดอนให้พิจารณาระยะเวลาการทำงานของมัน (working limit : WL) ซึ่งเทียบเท่ากับการแพร่ละอองฝุ่น $1.3 \times 10^5 \text{ MeV per l}$ โดยที่ $1 \text{ WL} = 100 \text{ pCi l}^{-1}$

การพิจารณาระดับของเรดอนในอาคารขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของที่ตั้ง ดังนั้นมันจึงมีความหลากหลายมาก และนอกจากความรู้เกี่ยวกับที่ตั้งของอาคารแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคพิเศษใดๆ ในการตรวจวัดเรดอนในอาคารเลย สำหรับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงว่าจะมีเรดอนสูง วิธีที่จะลดปริมาณเรดอนภายในอาคารที่ได้ผลคือ การเลี้ยงไม้ให้อากาศบริเวณผิวดินใต้อาคารเข้ามาปะปนกับอากาศภายในอาคาร ปริมาณเรดอนที่ควบคุมทั่วไป ไม่ควรเกิน 0.01 WL

ฝุ่นละออง (Particulates)

ฝุ่นละออง เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดมลภาวะในอากาศ ขึ้นอยู่กับขนาด และการถ่ายเทอากาศภายในห้อง ละอองฝุ่นในอากาศสามารถสะสมอยู่บนพื้นผิว หรือลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานหลายสัปดาห์ ละอองเหล่านี้ ได้แก่ ฝุ่น รัศมี แสง ใย เกสรดอกไม้ ไร แบคทีเรีย ไวรัส เป็นต้น ละอองฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า $0.5 \mu\text{m}$ สามารถเข้าไปสะสมอยู่ในปอดได้ ทำให้เกิดขางท้อหายใจ ลักษณะชีวภาพของฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถทำให้มันเปลี่ยนสภาพไปเป็นเชื้อโรคหรือก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ วิธีในการลดปริมาณละอองฝุ่นเหล่านี้ที่ได้ผลคือ การกรองอากาศ

ไอน้ำ (Water Vapour)

ไอน้ำ มีอยู่แล้วในอากาศภายนอก ส่วนภายในเกิดจากการทำกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย ตัวไอน้ำเองไม่ได้ทำอันตรายต่อร่างกาย แต่ในงานวิจัยเมื่อไม่นานมานี้ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่า จะช่วยให้คุณภาพอากาศในอาคารดีขึ้น อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปเชื่อกันว่าความชื้น เป็นปัจจัยส่งเสริมในการติดเชื้อของโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ และระดับความชื้นที่สูงเกินไปก็ทำให้รู้สึกไม่สบายด้วย โดยเฉพาะเมื่อมีเหงื่อ นอกจากนั้นในบางอาคารยังจำเป็นต้องควบคุมความชื้นเป็นพิเศษ เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อวัสดุ หรือกระบวนการทำงานบางอย่างของอาคาร ดังนั้น ในบางอาคารจึงจำเป็นต้องมีระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมความชื้นดังกล่าว

ภาคผนวก ค

คำนิยามศัพท์

เกาะความร้อน
(Heat Island)

บริเวณใดบริเวณหนึ่งในเมือง ที่มีความหนาแน่นของอาคารสูง พื้นผิววัสดุของอาคาร หรือสภาพแวดล้อมในบริเวณดังกล่าวที่มีลักษณะดูดซับ และสะท้อนความร้อนได้สูง เช่น พื้นคอนกรีต อาคารคอนกรีต เป็นต้นจะดูดซับความร้อน และแผ่รังสีความร้อนออกมามากกว่าบริเวณอื่น จึงเปรียบเสมือน เกาะความร้อน ในเมืองนั่นเอง

ดาวนด์ราฟต์
(Downdraught)

ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศจากด้านบน ลงสู่ด้านล่าง ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดดันอากาศ

แผนภูมิไซโครเมตริก
(Psychrometric Chart)

แผนภูมิที่ใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสภาพอากาศ โดย American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) - °C
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) - °C
- ปริมาณความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) - g/kg
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) - %
- ความดันไอน้ำ (Vapor Pressure) - kPa
- ความจุจำเพาะ (Specific Volume) - m³/kg
- พลังงานในการเปลี่ยนสถานะ (Enthalpy) - kJ/kg
- จุดน้ำค้าง (Dew Point) - °C

มาตราบิวฟอร์ด
(Beaufort Wind Scale)

มาตรการกำหนดระดับความเร็วลม คิดขึ้นโดยพลเรือเอกบิวฟอร์ด แห่งราชนาวิกอังกฤษ ซึ่งได้นำมาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1905 โดยนำมาใช้กับการเดินเรือ มาตราบิวฟอร์ดแบ่งระดับความเร็วลมออกเป็น 13 ระดับ

<p>สภาวะสบาย (Comfort Zone)</p>	<p>หมายถึง สภาวะสบายทางอุณหภูมิที่ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่ร้อน ไม่นหนาวเกินไป อันเกิดจากความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของตัวแปรทางอากาศที่เกี่ยวข้อง จากอดีตถึงปัจจุบัน มีดัชนีในการชี้วัดความสบายหลายตัวซึ่งแตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากการพัฒนา และศึกษาของนักวิจัยทั่วโลก ความแตกต่างของดัชนีดังกล่าวขึ้นอยู่กับตัวแปรที่นำมาพิจารณา โดยทั่วไป ตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ</p>
<p>Control Potential Zone (CPZ)</p>	<p>หมายถึง ขอบเขตของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก และความชื้นสัมพัทธ์ ที่แสดงในแผนภูมิไซโครเมตริก เมื่อได้มีการใช้กลวิธีในการปรับสภาพอากาศภายนอกด้วยวิธีต่างๆ แล้ว เพื่อแสดงศักยภาพของกลวิธีดังกล่าว ในการสร้างสภาวะอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ (Szokolay, 1986) กลวิธีที่กล่าวถึง ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> การทำความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Solar Heating) การใช้มวลสารอาคาร (Mass Effect) การเคลื่อนที่ของอากาศ (Air Movement Effect) การระเหยเพื่อทำความเย็น (Evaporative Cooling Effect) การระเหยเพื่อทำความเย็นทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling)
<p>Predicted Mean Vote (PMV)</p>	<p>หรือ คือ ดัชนีชี้วัดความสบาย โดย P.O. Fanger ซึ่ง ดัชนี PMV คำนวณจากตัวแปรดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ความชื้น (Humidity) รังสีดวงอาทิตย์ (Radiation) การเคลื่อนที่ของอากาศ (Air Movement) อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolism Rate) และค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวดรุณี มงคลสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ.2520 ที่จังหวัดชลบุรี

ประวัติการศึกษา

- 2538 – 2542 สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
2543 – 2545 กำลังศึกษาระดับปริญญาโท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

- 2542 สถาปนิกฝึกงาน กองออกแบบ ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร

ทุนการศึกษา และเกียรติบัตร

- 2542 ทุนภูมิพลประเภทรางวัลเรียนดี จากมหาวิทยาลัยศิลปากร
2542 ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์ สาขาขาดแคลน ระดับปริญญาโท จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ทบวงมหาวิทยาลัย
2543 รางวัลที่ 2 การประกวดแบบกันสาดหารสอง โดยสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ
2544 รางวัลชมเชย การประกวดแบบบ้านรักหัวใจ โดยสมาคมสถาปนิกสยาม และกรมการแพทย์
2544 ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยระดับอุดมศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ