

การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน



นายวรสันต์ ชื่นชีพ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

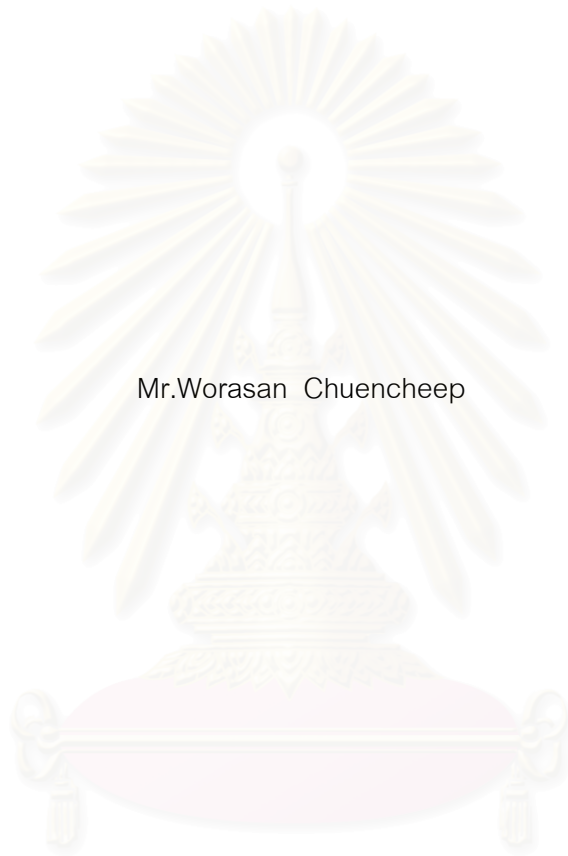
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4454-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NATURAL VENTILATION OF UNDERGROUND BUILDINGS



Mr.Worasan Chuencheep

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4454-4

วรรณคดี ชื่นชีพ : การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน. (Natural Ventilation of Underground buildings) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. อรรถพันธ์ เศรษฐบุญบุตร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. สุนทร บุญญาธิการ 155 หน้า. ISBN 974-17-4454-4.

การวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศธรรมชาติ ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มอัตราการระบายอากาศในอาคารใต้ดิน โดยออกแบบขนาดช่องเปิดที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ปริมาณการไหลเวียนอากาศ (air flow rate) เพียงพอและทั่วถึงทุกตำแหน่งในเกณฑ์ที่กำหนดคือ 4 ACH/hr ปัจจัยแรกคือ อัตราส่วนระหว่างช่องเปิดให้ลมเข้า (inlet) ต่อช่องเปิดให้ลมออก (outlet) ปัจจัยที่สองคือ ขนาดช่องเปิดที่มีจำกัดสำหรับอาคารใต้ดินแต่ต้องเพียงพอและทั่วถึงกับการระบายอากาศที่ต้องการ (optimum opening) โดยออกแบบปรับปรุงกับอาคารกรณีศึกษาเพื่อหาช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับอาคาร ว่าระดับอัตราการระบายอากาศธรรมชาติ (natural ventilation rate) เพียงพอต่อผู้ใช้อาคารแล้ว

การทดลองใช้การจำลองสภาพความเร็วลมในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติกับแบบทดสอบและอาคารกรณีศึกษา ในทางทิศใต้ ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตก ด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) โดยวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการคำนวณอัตราการไหลของอากาศ ที่ผ่านช่องเปิดในสัดส่วนที่แตกต่างกันตามที่กำหนด ซึ่งใช้เกณฑ์ที่กฎหมายระบุไว้เป็นบรรทัดฐานโดยปรับปรุงขนาดและตำแหน่งช่องเปิดในการเจาะจางและดูดอากาศเสีย เพื่อออกแบบช่องเปิดให้มีประสิทธิภาพโดยมีอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอ

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนช่องเปิดให้ลมเข้าต่อช่องเปิดให้ลมออก ที่ทำให้ได้ปริมาณการไหลของอากาศสูงสุดคือ ช่องเปิดเข้าและออกมีขนาดเท่ากัน และขนาดช่องเปิดที่พอเหมาะกับอาคารเทียบเป็นอัตราส่วนร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังในส่วนที่ระบายอากาศธรรมชาติ ได้ร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง เป็นขนาดช่องเปิดต่ำที่สุดที่ได้ปริมาณการไหลเวียนอากาศตามระดับที่กำหนด แล้วนำมาทดสอบความทั่วถึงเพื่อให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ พบว่าช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังมีบริเวณที่ปริมาณการไหลของอากาศไม่เพียงพอ เกิดจุดอับลมและทำให้มลภาวะมาสะสมได้ จึงปรับปรุงตำแหน่งและขนาดช่องเปิด เพื่อให้ได้ระดับอัตราการระบายอากาศที่กำหนดและทั่วถึงทั้งหมด ผลที่ได้คือขนาดช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังเพียงพอและทั่วถึงสำหรับอาคารกรณีศึกษา ส่วนการจำลองความเร็วลมทางทิศตรงข้ามกับผลแบบทดสอบข้างต้น พบว่าต้องการขนาดช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังจะเพียงพอและทั่วถึง เพราะฉะนั้นขนาดช่องเปิดร้อยละ 10 ตอบสนองการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติให้ได้ประโยชน์สูงสุดตลอดทั้งปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต..... วรรณคดี ชื่นชีพ
 สาขาวิชา...สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา...2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4774159125 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: NATURAL VENTILATION / OPENING / AIR FLOW / UNDERGROUND / CAR PARK

WORASAN CHUENCHEEP : NATURAL VENTILATION OF UNDERGROUND BUILDINGS. THESIS ADVISOR : ASSIST PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., THESIS COADVISOR : PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D.,155pp. ISBN 974-17-4454-4.

The objective of this research is to study factors affecting the design of opening for natural ventilation purposes and the increase in ventilation rate in underground buildings. With a proper size and position of the opening, the air flow rate is suitable. The factors affecting the opening are the proportion of inlet and outlet and the optimum opening. The two factors are experimented in the sample building to find proper positions for openings so that natural ventilation rate is adequate for building occupants.

The natural ventilation is experimented in a model and a sample building to design an opening which can counteract the harmful effects of air pollution in the building effectively by using a computational fluid dynamics program; HEATX

The findings indicates the suitable proportion of inlet and outlet. The highest amount of air flow results from inlet and outlet with equal size. It can be done by comparing the percentage of the opening area with the total wall area. The smallest opening size that allow enough ventilation is 5% of the total wall area. When tested on the sample building, it is found that the amount of air flow is not enough; as a result, there are in circulation in some certain areas causing accumulation of pollution. the proper size of opening which allows enough air flow is 8% of the total wall area. Experimented direction part opposite with the test above findings reveal that the proper size of opening that allows enough air flow is 10% of the total wall area. Therefore 10% opening size provides the best airflow performance.

Department ..architecture.....Student's signature.....
วสันต ฐนเชษฐ์

Field of study ..architecture.....Advisor's signature.....
Atch Sreshthaputra

Academic year ..2005.....Co-advisor's signature.....
Soontorn Boonyatikarn

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์และหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาในการศึกษา รวมถึงมีส่วนช่วยในการวิจัยอย่างดียิ่งจนประสบความสำเร็จ ดังนี้ ผศ. ดร. อรรถนัย เศรษฐบุตตร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยในการแก้ปัญหาและแนวทางแก้ไขในงานวิจัย ศ. ดร. สุนทร บุญญธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สำหรับการให้คำชี้แนะและแนวความคิดในการหาหัวข้อเพื่อการวิจัย ตลอดจนคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ประธานกรรมการสอบ รศ. ดร. วรสันต์ บูรณากาญจน์ สำหรับข้อเสนอแนะในรายละเอียดเพื่อความสมบูรณ์ในงานวิจัย ผศ. พรรณชลัท สุริโยธิน ที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องในการเขียน และ คุณนิพัทธ์ ชื่อตรง สำหรับการให้ความสำคัญและเห็นคุณค่าในงานวิจัยนี้ อีกทั้งทุกท่านสละเวลาอันมีค่ามาเป็นคณะกรรมการสอบให้ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า น้อง และครอบครัวท่านอื่นของผู้วิจัย สำหรับทุกสิ่งทุกอย่างซึ่งเป็นกำลังใจและความอบอุ่น จนประสบความสำเร็จได้ทุกวันนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆในกลุ่มวิชา ได้แก่ คุณขวัญชัย กาแก้ว คุณศตวรรษ พรหมมา คุณการุณย์ ศุภมิตรโยธิน คุณวัชระ กาญจนสุด สำหรับความมีน้ำใจให้กันตลอดการศึกษา รวมถึงพี่ปริญญาเอกและน้องๆในกลุ่มวิชาชั้น 11 ทุกคน

สุดท้ายขอขอบคุณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสได้เข้ามาศึกษาหาความรู้และเป็นความภาคภูมิใจในชีวิต รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย และขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุข ความเจริญยิ่งขึ้นไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
สารบัญแผนภูมิ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	4
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานเขียนอื่นที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารจอดรถใต้ดิน.....	6
2.2 ข้อมูลและมาตรฐานเกี่ยวกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ.....	8
2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่ออะไร.....	8
2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ.....	10
2.2.3 ความเร็วลมและทิศทางลมที่จะเข้าสู่อาคาร.....	16
2.2.4 การคำนวณวิธีประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศ.....	21
2.2.5 การคำนวณการไหลเวียนอากาศจากผลการจำลองสภาพการเคลื่อนไหว อากาศ.....	24
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษ.....	28
2.4 ข้อมูลการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือในการวิจัย.....	31
2.5 สรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	38
3.1 แบบแผนการวิจัย.....	38
3.2 กลุ่มประชากรที่ศึกษา.....	38
3.3 รูปแบบการทดลอง.....	44
3.3.1 ศึกษากำหนดตัวแปรการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของแบบทดสอบที่ กำหนดและอาคารกรณีศึกษา.....	45
3.3.2 ศึกษาแนวทางการออกแบบเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธี ธรรมชาติเพื่อให้ได้อัตราการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่ พอเหมาะอย่างทั่วถึง.....	47
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	53
3.4.1 ความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง.....	53
3.4.2 การแสดงผล.....	54
3.4.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดลอง.....	55
3.5 วิธีการเก็บข้อมูล.....	55
3.5.1 การเก็บข้อมูลของแต่ละตัวแปร.....	55
3.6 วิเคราะห์ข้อมูล.....	56
บทที่ 4 ผลของการวิจัย.....	57
4.1 ศึกษาสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากแบบทดสอบที่กำหนดในการ จำลองทิศทางลมแต่ละทิศ.....	57
4.1.1 ทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก.....	57
4.1.2 ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ.....	65
4.2 ศึกษาสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากอาคารกรณีศึกษาที่กำหนดใน การจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ.....	77
4.2.1 ทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก.....	77
4.2.2 ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ.....	87

4.3	วิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจากอัตราส่วนและขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ.....	99
4.3.1	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศใต้.....	99
4.3.2	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศตะวันตกเฉียงใต้.....	100
4.3.3	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศตะวันตก.....	100
4.3.4	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในของแต่ละทิศ.....	101
4.4	ออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจากผลวิเคราะห์ของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ.....	103
4.4.1	ปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน.....	103
4.4.2	วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน.....	104
4.4.3	ปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน(ต่อ).....	105
4.4.4	วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน(ต่อ).....	106
4.5	พิจารณาเพิ่มการจำลองทิศทางลมในแบบทดสอบที่ปรับปรุงเหมาะสม.....	108
4.5.1	แบบทดสอบอัตราส่วน 1:1 และขนาดช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง.....	108
4.5.2	แบบทดสอบอัตราส่วน 1:1 และขนาดช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง.....	110
4.5.3	วิเคราะห์แบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางในการจำลองลม.....	112
4.5.4	ทดสอบอัตราการไหลของอากาศภายในอาคารส่วนทิศทางที่เพิ่ม.....	114
4.5.5	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารส่วนทิศทางที่เพิ่ม.....	115
บทที่ 5	สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	117
5.1	สรุปตัวแปรที่มีอิทธิพลในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติและการประยุกต์ใช้ตัวแปรในการออกแบบ.....	117
5.2	สรุปผลจากการศึกษาสภาพการระบายอากาศของแบบทดสอบและอาคารกรณีศึกษา.....	118
5.2.1	สรุปผลทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก.....	118
5.2.2	สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจตุรกร.....	119

5.3 สรุปผลจากการศึกษาแนวทางการออกแบบเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ โดยวิธีธรรมชาติในอาคารใต้ดิน.....	120
5.3.1 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจาก อัตราส่วนและขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของอาคารกรณีศึกษาในการจำลอง ทิศทางลมแต่ละทิศ.....	120
5.3.2 สรุปผลออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด จากผลวิเคราะห์ของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ.....	121
5.3.3 สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังที่ปรับปรุงได้ทั่วถึงกับ ทิศทางลมที่เพิ่มขึ้นในการจำลอง.....	122
5.3.4 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงในจุดที่กำหนดกับทิศทางลมที่เพิ่มขึ้นในการ จำลอง.....	123
5.4 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ.....	124
5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป.....	125
รายการอ้างอิง.....	126
ภาคผนวก.....	128
ภาคผนวก ก ข้อมูลสถิติความเร็วลม.....	129
ภาคผนวก ข ข้อมูลสถิติทิศทางลม.....	130
ภาคผนวก ค ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับลม.....	131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	155

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและสภาวะนำสบาย..... 9
ตารางที่ 2.2	ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต..... 16
ตารางที่ 2.3	ตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ตกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน... 17
ตารางที่ 2.4	ค่าคงที่ K เปลี่ยนตามอัตราส่วนของช่องเปิดที่เปลี่ยนไป..... 21
ตารางที่ 2.5	ค่า C_p สำหรับลมที่กระทำในทิศทางต่างๆ..... 23
ตารางที่ 2.6	ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อร่างกาย..... 28
ตารางที่ 2.7	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มากที่สุดที่ยอมรับได้ของแต่ละองค์กร..... 29
ตารางที่ 3.1	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุดแต่ละเดือนของแต่ละทิศทาง..... 45
ตารางที่ 4.1	แสดงจำนวนเวลาในการระบายอากาศที่ใช้ลมธรรมชาติได้และจำนวนเวลาที่ต้องเสริมระบบเครื่องกล..... 107
ตารางที่ ก-1	แสดงข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย(m/s) ปี 2003..... 129
ตารางที่ ข-1	แสดงข้อมูลทิศทางลม ปี 2003..... 130

สารบัญรูป

	หน้า
รูปภาพที่ 1.1	แสดงแนวความคิดและวัตถุประสงค์ในการศึกษา..... 3
รูปภาพที่ 2.1	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมและของไหล..... 10
รูปภาพที่ 2.2	ปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลม..... 11
รูปภาพที่ 2.3	รูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบการระบายอากาศด้านเดียว..... 12
รูปภาพที่ 2.4	รูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบการระบายอากาศโดยให้ลมพัดผ่าน..... 12
รูปภาพที่ 2.5	แนวการไหลของลมจากรูปแบบและตำแหน่งของ inlet..... 13
รูปภาพที่ 2.6	แนวการไหลของลมจากขนาดของ outlet..... 13
รูปภาพที่ 2.7	แสดงตำแหน่ง vertical fin เพื่อสร้างความกดอากาศที่ต่างกัน..... 14
รูปภาพที่ 2.8	แสดงสัดส่วนแผงกันแดดแนวตั้งกับช่องเปิด..... 14
รูปภาพที่ 2.9	แสดงตำแหน่ง overhangs เพื่อตอบสนองการใช้สอย..... 15
รูปภาพที่ 2.10	การไหลเวียนอากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ..... 15
รูปภาพที่ 2.11	การคำนวณอัตราไหลเวียนอากาศรวมจากความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิด..... 24
รูปภาพที่ 2.12	ตัวแปรในการศึกษา..... 37
รูปภาพที่ 3.1	ผังลักษณะของสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร..... 40
รูปภาพที่ 3.2	แปลนผังบริเวณพื้นที่จอดรถใต้ดิน..... 41
รูปภาพที่ 3.3	ลักษณะผังหลังคาอาคาร..... 42
รูปภาพที่ 3.4	รูปตัดอาคาร..... 43
รูปภาพที่ 3.5	กรอบแสดงรูปแบบการทดลอง..... 44
รูปภาพที่ 3.6	แปลนแบบทดสอบที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของอากาศ..... 46
รูปภาพที่ 3.7	แปลนอาคารกรณีศึกษาและทิศทางลมที่ใช้ในการทดสอบ..... 46
รูปภาพที่ 3.8	ลักษณะอัตราส่วนช่องเปิดแปลนแบบทดสอบ..... 48
รูปภาพที่ 3.9	ลักษณะขนาดช่องเปิดแต่ละสัดส่วนของพื้นที่ผนังแปลนแบบทดสอบ..... 49
รูปภาพที่ 3.10	ลักษณะอัตราส่วนช่องเปิดแปลนอาคารกรณีศึกษา..... 50
รูปภาพที่ 3.11	ลักษณะขนาดช่องเปิดแต่ละสัดส่วนของพื้นที่ผนังแปลนอาคารกรณีศึกษา..... 51
รูปภาพที่ 3.12	ผังลักษณะแบบจำลองในการทดสอบ..... 52
รูปภาพที่ 3.13	ตัวอย่างแผนภูมิแสดงการคำนวณของโปรแกรม..... 53
รูปภาพที่ 3.14	ตัวอย่างการแสดงผล..... 54

	หน้า	
รูปภาพที่ 4.53	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด (SW).....	93
รูปภาพที่ 4.54	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด (SW).....	93
รูปภาพที่ 4.55	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด (W).	94
รูปภาพที่ 4.56	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด (W).	94
รูปภาพที่ 4.57	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด (W).	95
รูปภาพที่ 4.58	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด(W)	95
รูปภาพที่ 4.59	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด(W)	96
รูปภาพที่ 4.60	แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอด(W)	96
รูปภาพที่ 4.61	แปลนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (S).....	99
รูปภาพที่ 4.62	แปลนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (SW).....	100
รูปภาพที่ 4.63	แปลนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (W).....	100
รูปภาพที่ 4.64	แปลนอาคารกรณีศึกษาปรับปรุงช่องเปิด.....	103
รูปภาพที่ 4.65	แปลนอาคารกรณีศึกษาปรับปรุงช่องเปิด(ต่อ).....	105
รูปภาพที่ 4.66	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศเหนือ.....	108
รูปภาพที่ 4.67	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ.....	109
รูปภาพที่ 4.68	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออก.....	109
รูปภาพที่ 4.69	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศเหนือ.....	110
รูปภาพที่ 4.70	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ.....	110
รูปภาพที่ 4.71	แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออก.....	111
รูปภาพที่ 4.72	อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง.....	114
รูปภาพที่ 4.73	อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนัง.....	114

สารบัญแนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 2.1	แสดงการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อคุณภาพอากาศในอาคาร.....	8
แผนภูมิที่ 2.2	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือนที่มีทิศได้เป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด.....	19
แผนภูมิที่ 2.3	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด.....	19
แผนภูมิที่ 2.4	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันตกเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด.....	20
แผนภูมิที่ 2.5	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันออกเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด.....	20
แผนภูมิที่ 2.6	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด.....	20
แผนภูมิที่ 4.1	เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของแบบทดสอบ.....	64
แผนภูมิที่ 4.2	เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอดในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของแบบทดสอบ.....	75
แผนภูมิที่ 4.3	เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอดในแต่ละทิศกับอัตราการเปลี่ยนอากาศของแบบทดสอบ.....	76
แผนภูมิที่ 4.4	เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษา.....	86
แผนภูมิที่ 4.5	เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอดในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษา.....	97
แผนภูมิที่ 4.6	เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตลอดในแต่ละทิศกับอัตราการเปลี่ยนอากาศของอาคารกรณีศึกษา.....	98
แผนภูมิที่ 4.7	เปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศภายในของแต่ละทิศของอาคารกรณีศึกษา.....	101
แผนภูมิที่ 4.8	เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนอากาศภายในของแต่ละทิศของอาคารกรณีศึกษา.....	102
แผนภูมิที่ 4.9	วิเคราะห์การปรับปรุงช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษา.....	104
แผนภูมิที่ 4.10	วิเคราะห์การปรับปรุงช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษา(ต่อ).....	106
แผนภูมิที่ 4.11	วิเคราะห์แบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางการจำลองลมเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของอากาศ.....	112

	หน้า	
แผนภูมิที่ 4.12	วิเคราะห์แบบทดสอบอากาศกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางการจำลองเปรียบเทียบกับ อัตราการเปลี่ยนอากาศ.....	113
แผนภูมิที่ 4.13	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง.	115
แผนภูมิที่ 4.14	วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ10 ของพื้นที่ผนัง	116
แผนภูมิที่ 5.1	แสดงตัวอย่างความเร็วลมต่ำสุดและสูงสุดในหนึ่งวันของวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2546.	117
แผนภูมิที่ 5.2	สรุปผลทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก.....	118
แผนภูมิที่ 5.3	สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ.....	119
แผนภูมิที่ 5.4	สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด.....	120
แผนภูมิที่ 5.5	สรุปผลออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด.....	121
แผนภูมิที่ 5.6	สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังในทิศทางที่เพิ่ม.....	122
แผนภูมิที่ 5.7	สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังกับทิศทางที่เพิ่ม.....	123
แผนภูมิที่ 5.8	สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังกับทิศทางที่เพิ่ม....	123

บทที่ 1

บทนำ

คุณภาพอากาศและสภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อร่างกายที่เป็นอันตรายของผู้ใช้อาคาร รวมถึงความรู้สึกสบายของคนเราอย่างมาก การจัดการให้อาคารมีมาตรฐานในการระบายอากาศ นั้นเป็นสิ่งจำเป็นต่อผู้ใช้อาคารและการใช้พลังงาน โดยเฉพาะด้วยวิธีธรรมชาติซึ่งจะทำให้อาคาร ลดการใช้พลังงานจากเครื่องกลอีกด้วย โดยต้องเริ่มจากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากความเร็ว ลม(Air Velocity) อัตราส่วนของเปิดเข้า(inlet)ต่อช่องเปิดออก(outlet) และลักษณะช่องเปิดก็เป็น ตัวแปรสำคัญนำมาใช้ได้อย่างถูกต้องและเต็มประสิทธิภาพ จะทำให้อัตราการระบายอากาศ (ventilation rate) ในอาคารสามารถเจือจางมลภาวะ โดยเฉพาะถ้ามีอาคารส่วนใดส่วนหนึ่งหรือ อาคารทั้งหมดอยู่ใต้พื้นดิน การระบายอากาศเข้า-ออกให้กับบริเวณโดยรอบอาคารและในตัว อาคารย่อมมีความสำคัญมากกว่าอาคารที่อยู่บนดินตามไปด้วย เพราะใต้ดินมีการเคลื่อนที่ของ อากาศไม่เพียงพอทำให้ต้องเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดเพื่อนำลมจากธรรมชาติมาสร้างการระบาย อากาศให้ได้อย่างเต็มที่ และเพื่อช่วยลดพลังงานจากระบบเครื่องกลต่างๆที่นำมาใช้ในการสร้าง อากาศหมุนเวียนในอาคารด้วย

อาคารใต้ดินเป็นแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากดินสูงสุดเพื่อทำให้การใช้พลังงานใน อาคารลดลง โดยเกิดจากธรรมชาติของดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอีกทั้ง มีคุณสมบัติเป็นฉนวนสามารถป้องกันความร้อนผ่านทางเปลือกอาคาร จากความต้องการที่จะ สร้างอาคารที่มีความสามารถในการลดการใช้พลังงานโดยหันมาใช้พลังงานที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ลมธรรมชาติ ส่งผลต่อความต้องการการระบายอากาศในอาคารใต้ดินด้วยวิธี ธรรมชาติ เพื่อเจือจางมลภาวะในอากาศลดอันตรายต่อผู้ใช้อาคาร ดังนั้นการระบายอากาศโดยวิธี ธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญและช่วยประหยัดพลังงานให้กับอาคารด้วย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้ประโยชน์จากการระบายอากาศธรรมชาติให้ได้มากที่สุดนั้น ต้องอาศัยปัจจัยของ การออกแบบที่ถูกต้องเหมาะสมกับอาคารและสภาพแวดล้อมภายนอก จึงจะทำให้เกิดการ เคลื่อนที่ของอากาศอย่างต่อเนื่องและสามารถระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งทางการ สร้างความแตกต่างของความกดอากาศสูงไปหาต่ำ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมแล้ว ยัง อาศัยผลของความแตกต่างของอุณหภูมิเพื่อทำให้อากาศที่เย็น และมีมวลมากกว่าเข้ามาแทนที่

ควรทำให้ลมร้อนจากสภาพแวดล้อมที่จะนำมาระบายอากาศให้กับอาคารใต้ดินมีอุณหภูมิลดลง โดยให้ลมพัดผ่านบริเวณที่เย็น เช่น ใต้ร่มไม้ หรือผิวน้ำ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานให้กับอาคารอีกทางหนึ่ง

การใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในอาคารใต้ดิน เพื่อตอบสนองปัจจัยสำคัญทั้งด้านผู้ใช้อาคารและการประหยัดพลังงาน เช่น

- สร้างคุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อมที่ดีภายในอาคาร (indoor air quality)
- สร้างความปลอดภัยและไม่ก่อความรำคาญให้แก่ผู้ใช้อาคาร
- ลดปริมาณการใช้พลังงานจากเครื่องกลในการระบายอากาศ เพื่อตอบสนองนโยบายการประหยัดพลังงานและแนวความคิดการใช้ประโยชน์สูงสุดจากธรรมชาติ

ความเร็วลมจากธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญที่สร้างให้เกิดการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยอาคารที่อยู่ใต้ดินการให้ได้มาซึ่งคุณภาพอากาศที่ดีต้องควบคู่กับการออกแบบช่องเปิดเข้า-ออก เพื่อจะสามารถนำลมให้เคลื่อนที่เข้าสู่อาคารและเจือจางมลภาวะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงระดับมลภาวะในอาคารที่จะไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้อาคารและระดับอัตราการเปลี่ยนอากาศในอาคารใต้ดินตามกฎหมายกำหนดเป็นหลัก เพื่อหาอัตราการระบายอากาศในอาคารที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง

นอกจากการได้รับประโยชน์ด้านการระบายอากาศจากลมธรรมชาติแล้วนั้น ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบที่ตามมาจากการนำลมธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารด้วย คือ

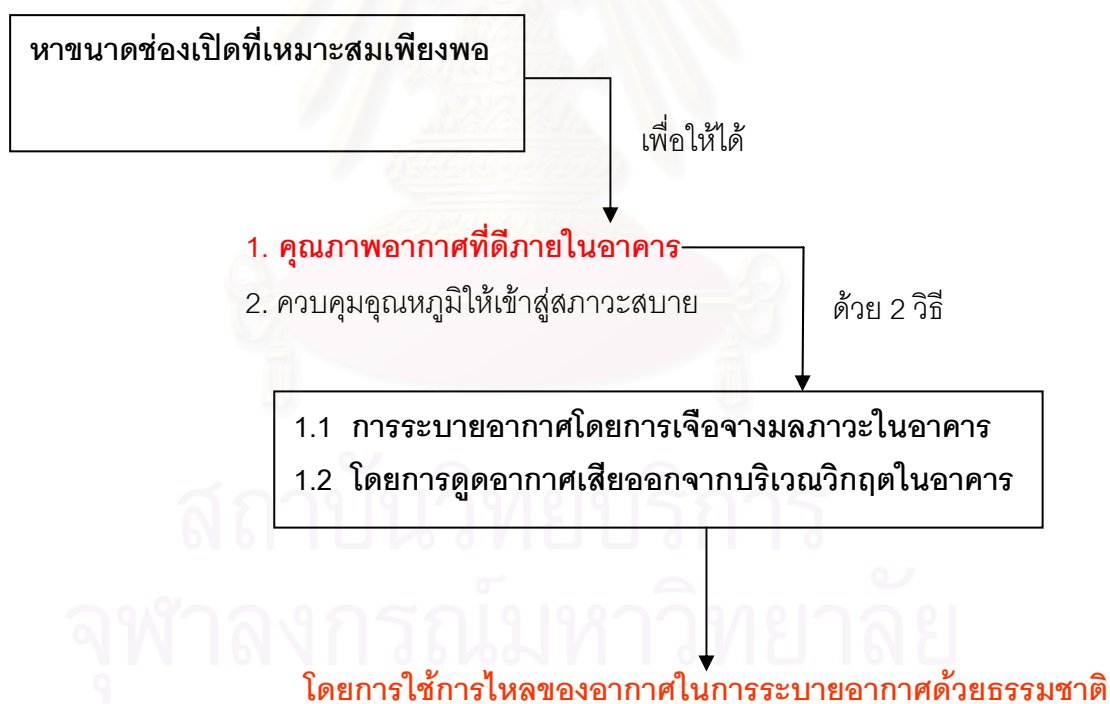
- ความร้อนจากภายนอกจะถูกดึงตามเข้ามากับลมที่นำมาใช้ระบายอากาศทำให้ผู้ใช้อาคารลดความรู้สึกสบายลงไป ต้องสร้างสภาวะแวดล้อมภายนอกเพื่อลดอุณหภูมิภายนอกก่อนนำเข้ามาภายในอาคาร
- ฝุ่นละอองหรือกลิ่นจากภายนอกอาจสร้างสภาวะที่ไม่สบายตามมาได้

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกกรณีศึกษาอาคารใต้ดินที่มีระบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ขึ้นมาเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของการออกแบบช่องเปิดอาคารและศักยภาพของอัตราการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ เพื่อนำไปสู่แนวทางการออกแบบอาคารใต้ดินที่มีคุณภาพอากาศภายในอาคารที่สมดุลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อช่วยในการออกแบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดในอาคารใต้ดิน โดยคำนึงถึงการหาขนาดช่องเปิดที่เพียงพอกับมาตรฐานการระบายอากาศและนำไปปรับปรุงกับอาคารกรณีศึกษาได้ โดยประเมินผลจากการคำนวณอัตราการระบายอากาศทางช่องเปิดและความทั่วถึงภายในอาคาร

1. ศึกษาสภาพการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดินกรณีศึกษา
2. ศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิด ให้ได้อัตราการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่พอเหมาะอย่างทั่วถึง ในระดับที่ปลอดภัยกับผู้ใช้อาคาร โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในอาคารกรณีศึกษา



รูปที่ 1.1 แสดงแนวความคิดและวัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาเกี่ยวข้องกับการระบายอากาศโดยอาศัยการนำลมภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องเปิดเป็นหลัก
2. การศึกษาอยู่ภายใต้สถานการณ์จำลองซึ่งจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics : CFD)
3. การศึกษาอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมใน 3 ทิศทางซึ่งมีจำนวนเดือนมากที่สุด โดยเลือกความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีของช่วงเวลาเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่มีความเร็วลมต่ำที่สุด
4. การศึกษานี้มุ่งเน้นการหาแนวทางในการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติโดยปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดให้เหมาะสมกับอาคารและสภาพแวดล้อมภายนอก

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน จะเป็นการวิจัยในเชิงทดลองประกอบกับการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์
2. ทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD
3. เสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารใต้ดินที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
4. ออกแบบอาคารตัวอย่าง เพื่อทำการจำลองและประเมินผล
5. สรุปผลแนวทางการออกแบบ

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1

ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน

ขั้นตอนที่ 2

ทำการจำลองสภาพการเคลื่อนไหวของอากาศด้วยโปรแกรม CFD

ขั้นตอนที่ 3

นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดิน

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. มลพิษ(pollution) ในที่นี้หมายถึง สภาวะที่มีมลพิษจากไอเสียรถยนต์เจือปนในอากาศซึ่งมีปริมาณมากเกินมาตรฐาน (พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และ ASHRAE, 1999) ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้อาคาร
2. อัตราการเปลี่ยนอากาศ หมายถึง จำนวนเท่าของปริมาตรอากาศภายนอกอาคารที่นำเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารในเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น air change rate per hour (ACH/hr)
3. อัตราการไหลของอากาศ(air flow rate) หรือ อัตราการระบายอากาศ(ventilation rate) หมายถึง ความเร็วลมที่ผ่านพื้นที่ช่องเปิดในหนึ่งช่วงเวลา
4. ความเร็วลม หมายถึง อัตราส่วนของระยะทางต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่มวลอากาศเคลื่อนที่ไป คำว่า "ความเร็วลมขณะนั้น - instantaneous speed" หรือใช้คำสั้น ๆ ว่า "ความเร็วลม - speed" หมายถึงความเร็วลมในช่วงเวลาสั้น ๆ ที่ไม่เจาะจง (กรมอุตุนิยมวิทยา)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดอาคารใต้ดินในการเจือจางมลภาวะให้ได้อัตราการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสมอย่างทั่วถึงในระดับที่ปลอดภัยกับผู้ใช้อาคาร
2. ทำให้ทราบขอบเขตและอิทธิพลของตัวแปรที่ช่วยเพิ่มการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดินอย่างมีประสิทธิภาพ
3. ลดปริมาณการใช้ระบบระบายอากาศโดยวิธีกลเป็นการประหยัดพลังงานให้อาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานเขียนอื่นที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารใต้ดินเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดที่จะสามารถเจือจางมลภาวะในอัตราการระบายอากาศที่กำหนดและทั่วถึง ในอาคารจะต้องอาศัยข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศและมลภาวะ ดังต่อไปนี้

- 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารจอดรถใต้ดิน
- 2.2 ข้อมูลและมาตรฐานเกี่ยวกับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ
 - 2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่ออะไร
 - 2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ
 - 2.2.3 ความเร็วลมและทิศทางลมที่จะเข้าสู่อาคาร
 - 2.2.4 การคำนวณวิธีประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศ
 - 2.2.5 การคำนวณการไหลเวียนอากาศจากผลการจำลองสภาพการเคลื่อนไหว
- 2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษ
- 2.4 ข้อมูลการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือในการวิจัย
- 2.5 สรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารจอดรถใต้ดิน

ลักษณะอาคารแบ่งตามลักษณะการระบายอากาศ แบ่งออกเป็น อาคารที่มีระบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ระบบระบายอากาศแบบเครื่องกล และแบบผสมระหว่างธรรมชาติ

2.1.1 อาคารที่มีระบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

เป็นลักษณะที่เรียกว่า Semi Enclosed Parking ซึ่งมีช่องเปิดที่สามารถนำลมจากภายนอกอาคารเข้าไประบายอากาศภายในอาคารได้ จำนวนชั้นของอาคารที่มีการระบายอากาศประเภทนี้ จะมีจำนวนชั้นใต้ดินอยู่มากที่สุด 2 ชั้น

2.1.2 อาคารที่มีระบบระบายอากาศโดยวิธีกล

เป็นลักษณะที่เรียกว่า Enclosed Parking เป็นระบบปิดอาศัยพัดลมเป็นตัวระบายอากาศ จำนวนชั้นของอาคารที่มีการระบายอากาศประเภทนี้ จะมีจำนวนชั้นใต้ดินมากอาจจะมีมากถึง 8 ชั้น

2.1.3 อาคารที่มีทั้งระบบระบายอากาศแบบเครื่องกลและธรรมชาติ

แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

1. ผสมทั้งระบบระบายอากาศแบบเครื่องกลและธรรมชาติในทุกชั้น ซึ่งจำนวนชั้นของอาคารประเภทนี้จะมีได้ไม่กี่ชั้นเหมือนกันกับการใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติอย่างเดียว
2. แยกระบบระบายอากาศเป็นชั้นเช่น ชั้นใต้ดินที่ 1-2 ใช้ระบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ชั้นที่ถัดลงมาใช้ระบบระบายอากาศแบบเครื่องกล



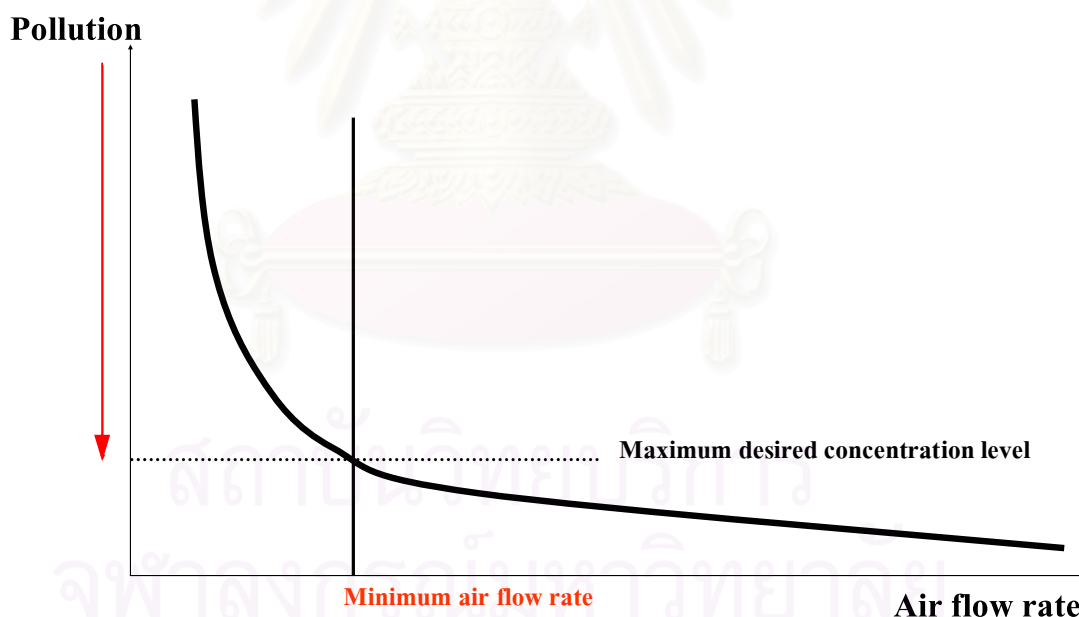
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ข้อมูลและมาตรฐานเกี่ยวกับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่ออะไร

1. การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality control)

ปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นในการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดให้ปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคารสามารถทำได้ด้วย 2 วิธีหลัก คือ การจ่ายลมเข้าสู่พื้นที่ในอาคารที่ต้องการเพื่อเจือจางมลภาวะในจุดที่มีปัญหา หรือ การดูดอากาศเสียออกจากบริเวณที่ต้องการลดมลภาวะเพื่อให้อากาศที่ดีเข้ามาแทนที่ โดยวัดจากอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านพื้นที่นั้นจะต้องใช้ปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณมลภาวะที่เกิดขึ้นว่าลดได้ถึงระดับที่ต้องการและปลอดภัยกับผู้ใช้อาคาร



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อคุณภาพอากาศในอาคาร

(Allard, 1998)

2. การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่สภาวะน่าสบาย (temperature control)

ความเร็วลม(wind speed) เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถสร้างความรู้สึกสบายให้แก่ร่างกาย (thermal comfort) โดยเกี่ยวข้องกับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวหนังทำให้รู้สึกเย็นลงเสมือนอุณหภูมิได้ลดลง แต่ยังมีปัจจัยอีกหลายด้านที่จะทำให้รู้สึกมากน้อยแตกต่างกันไปคือ

- ด้านสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อความรู้สึกกับอุณหภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย, ความชื้นในอากาศ, ความเร็วลม, สีของสภาพแวดล้อมโดยรอบ, ความเข้มของแสงและระดับเสียง

- ด้านกายภาพ คือ อายุ, เพศและลักษณะบุคลิกของผู้ใช้อาคาร

- ด้านปัจจัยภายนอก คือ กิจกรรมที่ทำ, เสื้อผ้าที่สวมใส่และสถานการณ์ที่เป็นอยู่

อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะน่าสบาย หากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท แต่หากความเร็วลมที่มากเกินไป ก็จะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและสภาวะน่าสบาย (สุนทร บุญญาธิการ, 2536)

ความเร็วลม(fpm)	ความเป็นไปได้ของความรู้สึก อุณหภูมิลดลง(ระหว่าง80-90 F ตัวเลขที่มากสนองกับบริเวณ ที่มีความชื้นสูง)	ลมที่อาจเกิดขึ้น
0-50	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงใน ความรู้สึกน่าสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50-100	ต่ำลง 2-3 F	สบาย
100-200	ต่ำลง 4-5 F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามี การเคลื่อนไหวของอากาศ
200-300	ต่ำลง 5-7 F	รู้สึกมีลมพัดจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
100-200	ต่ำลง 4-5 F	ต้องการการแก้ไขที่ถูกต้อง ถ้าจะให้ทำงานมีประสิทธิภาพและถูก สุขลักษณะ

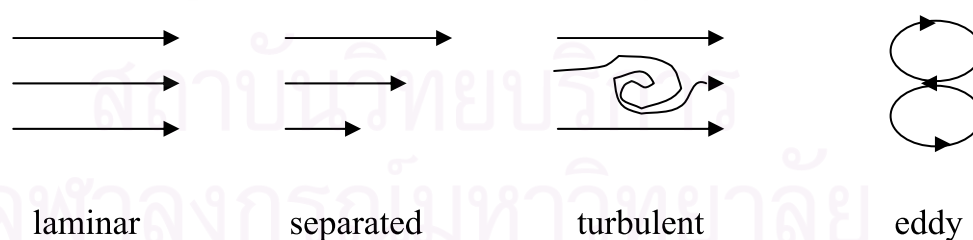
2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

1. การเคลื่อนไหวยของอากาศ (type of fluid flow)

การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้จากความกดอากาศที่เกิดจากความแตกต่างภายนอกที่กระทำกับอาคารสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการไหลได้ 4 ประเภท คือ

1. การไหลแบบตรงๆ กระแสสม่ำเสมอ (Laminar)
2. การไหลแบบตรงๆ แต่กระแสไม่สม่ำเสมอ (Separated)
3. การไหลแบบกระแสวิกวน (Turbulent)
4. การไหลแบบกระแสวน (Eddy Current)

ลมที่พัดอย่างอิสระด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และไม่ผ่านสิ่งกีดขวางมักจะเป็นการพัดแบบ laminar แต่เมื่อลมนั้นพัดผ่านพื้นผิวดินต้นไม้หรือสิ่งก่อสร้างจะเกิดแรงเสียดทานที่ผิววัตถุ (friction) ทำให้เปลี่ยนเป็นการพัดแบบ separated ซึ่งหมายถึงลมที่มีความเร็วในแต่ละระดับความสูงไม่สม่ำเสมอ ถ้าหากแรงเสียดทานมีมากจนถึงขีดหนึ่งกระแสลมจะเปลี่ยนเป็นการพัดแบบ turbulent ซึ่งเป็นการพัดที่มีความแปรปรวนโดยทั่วไปลมที่พัดผ่านวัตถุต่างๆ ในสภาพแวดล้อมหนึ่งๆ มักจะเป็นการพัดแบบ turbulent เป็นส่วนใหญ่ การเปลี่ยนแปลงการพัดแบบ laminar จนกลายเป็น separated และ turbulent จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของวัตถุที่กีดขวางและความเร็วลมที่พัดขณะนั้น บ่อยครั้งที่การพัดแบบ turbulent ก่อให้เกิดลมหมุนหรือ eddy ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของวัตถุที่ลมพัดผ่านรวมทั้งทิศทางการไหลซึ่งการมองเห็นสภาพการพัดแบบนี้ได้ต้องอาศัยการจำลองในอุโมงค์ลม (wind-tunnel) หรือการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computational fluid dynamics) (อรรถจันทร์ เศรษฐสุบุตร, 2547)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมและของไหล

บริเวณพื้นที่ที่มีความสูงหรือต่ำ เมื่อมีลมมาปะทะอาคาร จะทำให้มีแรงกดที่ผนังอาคาร บริเวณนั้นจะมีความดันเป็นบวก (Positive Pressure) และในแนวผนังที่อยู่ด้านหลังของด้านที่ลม

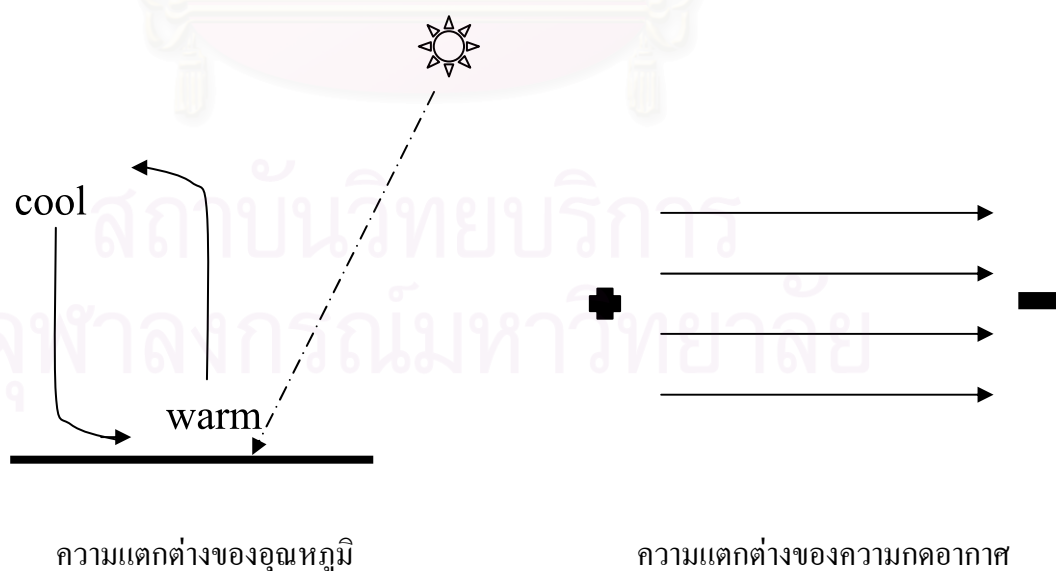
มาปะทะจะเกิดแรงดูด (Suction) ขึ้นทำให้บริเวณนั้นมีความดันจะเป็นลบ(Negative Pressure) ส่วนด้านข้างก็จะเกิดความดันเป็นลบเช่นเดียวกัน

2. กระแสลมธรรมชาติ (natural air flow)

การเกิดของกระแสลมธรรมชาติ จากการกระจายความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังผิวโลก จะไม่เท่ากันทุกที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในชั้นบรรยากาศ อากาศที่ลอยตัวขึ้นจากพื้นที่ ในบริเวณใกล้เขตเส้นศูนย์สูตร ไปถึงเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือและใต้จะเป็นอากาศที่ร้อน แต่ในบริเวณถัดไป จะเป็นอากาศที่เย็นกว่า ประกอบกับความสามารถที่แตกต่างกันในการแผ่รังสีความร้อนระหว่าง ผิวทวีปและมหาสมุทรเป็นเหตุให้เกิดความแตกต่างของชั้นความกดอากาศและอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดการไหลเวียนอากาศหรือที่เรียกว่า กระแสลม ได้ในที่สุด

กระแสลมเกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของอากาศ การไหลเวียนของกระแสลมจึงได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศและทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลมใน 2 ลักษณะคือ

- การไหลเวียนของลมเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศที่เกิดจากแรงลม(wind pressure) ลักษณะการไหลเวียนของลมจะเคลื่อนที่จากที่มีความกดอากาศสูงไปยังที่มีความกดอากาศต่ำเสมอ
- การไหลเวียนของลมเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ(temperature gradients) ลักษณะการไหลเวียนของลมจะเคลื่อนที่เมื่ออากาศที่มีอุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้น และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าไปแทนที่



รูปที่ 2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลม (อรรถจันทร์ เศรษฐบุปผู, 2547)

นอกจากนี้ลักษณะการไหลเวียนของลมยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ กล่าวคือ ลมจะสามารถไหลเวียนได้ดีในบริเวณที่มีความหนาแน่นของอากาศน้อย ทำให้มีความแรงและความเร็วสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ไหลเวียนผ่านบริเวณที่มีความหนาแน่นของอากาศมากกว่า

3. พื้นฐานการไหลเวียนของกระแสลมในอาคาร

แรงลมตามธรรมชาติ(natural air flow) ทำให้เกิดการระบายอากาศ(natural ventilation) ภายในอาคารในรูปแบบต่างๆ รูปแบบที่ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรม ได้แก่

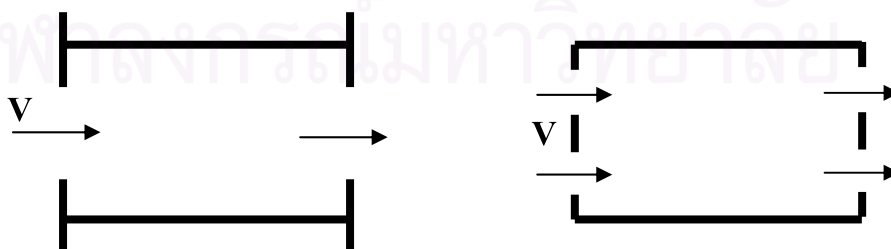
- การระบายอากาศด้านเดียว(single-sided ventilation)

เป็นการระบายอากาศโดยการถ่ายเทอากาศจากช่องเปิดเดียวกันหรือช่องเปิดหลายช่องเปิดในผนังเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้ความดันลมจะไม่ช่วยให้เกิดการไหลของอากาศหรือเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะความดันอากาศภายนอกและภายในใกล้เคียงกันโดยเกิดเป็นความดันอากาศสูงทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 2.3 รูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบการระบายอากาศด้านเดียว (single-sided ventilation) (Allard, 1998)

- การระบายอากาศโดยให้ลมพัดผ่าน(cross ventilation)

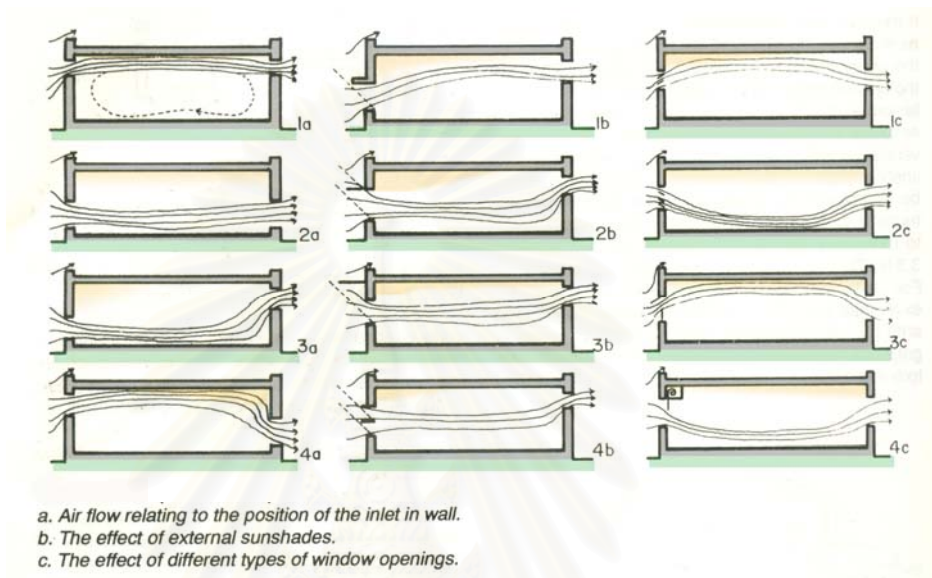


รูปที่ 2.4 รูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมแบบการระบายอากาศโดยให้ลมพัดผ่าน (cross ventilation) (Allard, 1998)

3.1 ความแตกต่างความดันอากาศ (pressure differential)

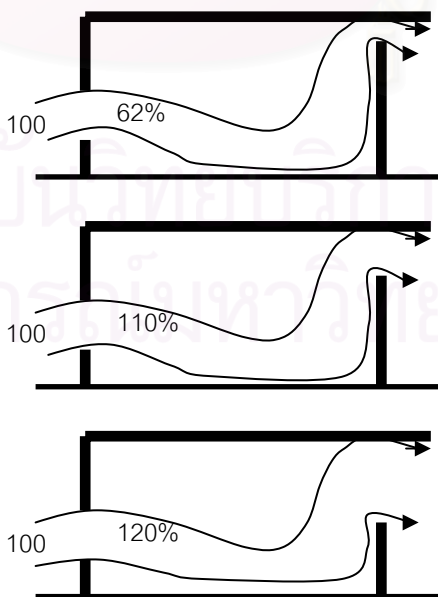
Cross ventilation ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วย ขนาดและตำแหน่ง inlet และ outlet

- ขนาดและตำแหน่งของ inlet จะมีผลต่อรูปแบบการไหลของอากาศ



รูปที่ 2.5 แนวการไหลของลมจากรูปแบบและตำแหน่งของ inlet (Evans, 1980)

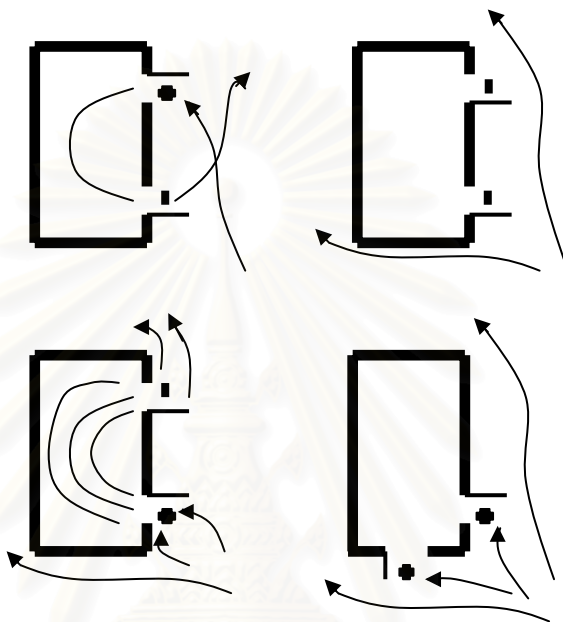
- ขนาดของ outlet จะมีผลต่อความเร็วลมภายใน



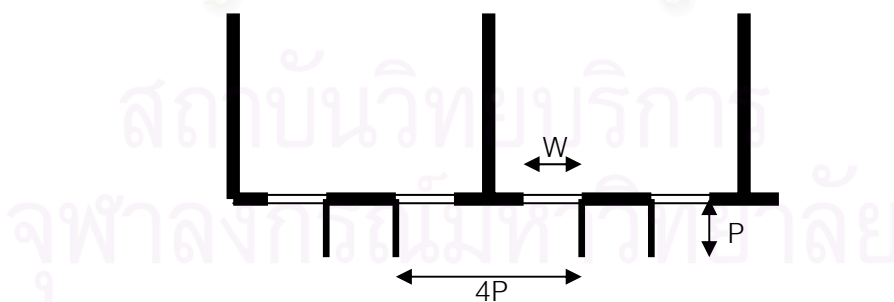
รูปที่ 2.6 แนวการไหลของลมจากขนาดของ outlet (อรรจน์ เศรษฐบุตตร, 2547)

Wing wall & Fin wall

- Vertical fin ช่วยในการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลเพื่อช่วยในการระบายอากาศให้แก่อาคารของตำแหน่งช่องเปิดที่อยู่ตั้งฉากกันหรือด้านเดียวกัน ทั้งนี้แผงกันแดดแนวตั้งนั้นจะช่วยกระจายความกดอากาศให้แตกต่างกันระหว่างหน้าต่าง 2 บาน ที่อยู่ในทิศทางเดียวกันกับการไหลของลม



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่ง vertical fin เพื่อสร้างความกดอากาศที่ต่างกัน (อรรถจัน เศรษฐสุนทร, 2547)



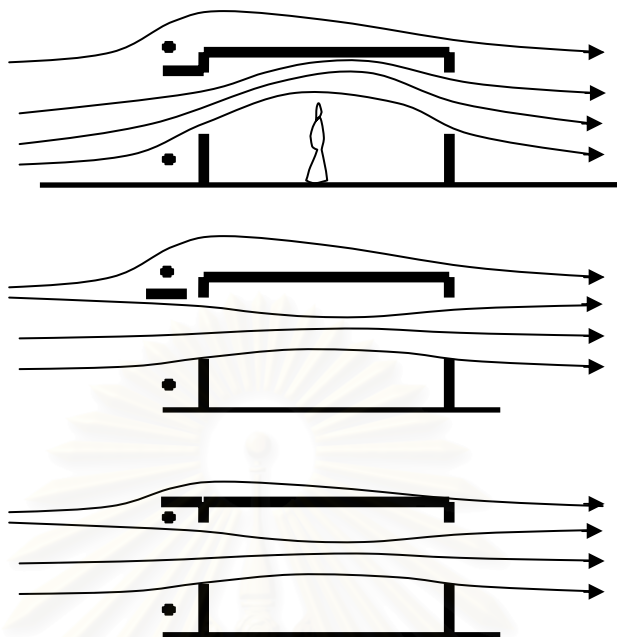
$$P = 0.5W - 1.0W$$

P = ความกว้างของแผงกันแดด

W = ความกว้างของช่องเปิด

รูปที่ 2.8 แสดงสัดส่วนแผงกันแดดแนวตั้งกับช่องเปิด (Brown and Dekay, 1986)

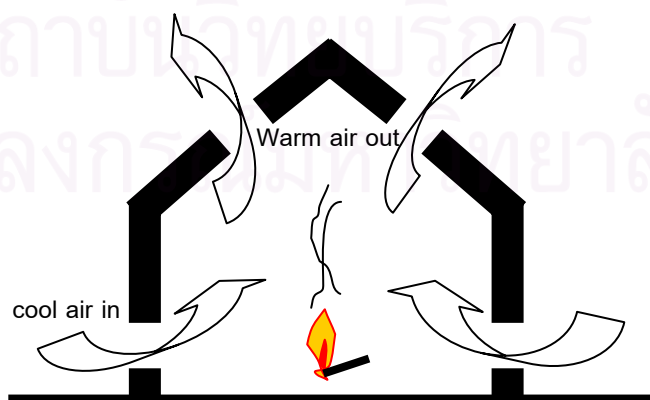
- Horizontal overhangs ช่วยให้เกิดสมดุลของความกดอากาศ



รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่ง overhangs เพื่อตอบสนองการใช้สอย (อรรถจน์ เศรษฐบุตตร, 2547)

3.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature differential)

Stack effect เกิดขึ้นเมื่ออากาศที่มีความร้อนสูงจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศเย็น ทำให้อากาศร้อนลอยตัวขึ้นสูงและอากาศที่เย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดเป็นกระแสลมในอาคาร ซึ่งเมื่อเปิดช่องให้อากาศร้อนออกบนหลังคาและเปิดช่องเอาอากาศเข้าไปที่พื้นที่จะเกิดเป็นการระบายอากาศ



รูปที่ 2.10 การไหลเวียนอากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (อรรถจน์ เศรษฐบุตตร, 2547)

2.2.3 ความเร็วลมและทิศทางลมที่จะเข้าสู่อาคาร

1. ความเร็วลมพื้นผิว จะไม่คงที่และมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง การวัดความเร็วลมใช้การประมาณจากการเคลื่อนไหวของสิ่งของที่รับลมเข้ามาปะทะ หน่วยความเร็วลมที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ นอต ซึ่งความเร็วลม 1 นอต มีค่า 0.515 เมตรต่อวินาที หรือ 1 ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง การนำความเร็วลมมาใช้ในการปรับสภาพอากาศให้อยู่ในเขตสบาย โดยทั่วไปจะใช้ความเร็วลมมากที่สุดคือ 2 เมตรต่อวินาทีตามมาตราวัดโบฟอร์ต (Beauford Scale)

ตารางที่ 2.2 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต

มาตราโบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม./ชม.	
0	1	1.6	ลมสงบ
1	1 – 3	1.6 – 4.8	ลมเบา
2	4 – 6	6.4 – 8.6	ลมอ่อน
มาตราโบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม./ชม.	
3	7 – 10	12.8 – 19.2	ลมเฉื่อย
4	11 – 21	20.8 – 28.8	ลมปานกลาง
5	17 – 21	30.4 – 38.4	ลมกระโชก
6	22 – 27	40.0 - 38.4	ลมแรง
7	28 – 33	51.2 – 60.8	พายุปานกลาง
8	34 – 40	62.4 – 73.6	พายุกระโชก
9	41 – 47	75.2 – 86.4	พายุแรง

10	48 – 55	88.0 – 100.8	พายุจัด
11	56 – 63	102.4 – 115.2	พายุจัด
12	64 – 71	116.8 – 131.2	เฮอริเคน
มาตราโบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม./ชม.	
13	72 – 80	132.8 – 147.3	เฮอริเคน
14	81 – 89	148.8 – 164.8	เฮอริเคน
15	90 – 99	166.4- 182.4	เฮอริเคน
16	100 – 108	184.0 – 200.0	เฮอริเคน
17	109 – 118	201.6 – 217.6	เฮอริเคน

ที่มา : (www.tmd.go.th/ อ้างถึงDon, 1975)

ตารางที่ 2.3 ตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ตกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

มาตราโบฟอร์ต	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
0	ลมสงบ คว้นลอยขึ้นตรง
1	ทิศทางลมสังเกตเห็นได้จากคว้น
2	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว สรรวมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	ใบไม้และกิ่งไม้เล็กๆ เคลื่อนไหวตลอดเวลา ธงคลื่นออกตามลม
4	ฝุ่นฟุ้ง กระดาษปลิว กิ่งไม้เล็กๆ โยก
5	ต้นไม้เล็กๆ เริ่มโยก แหล่งน้ำบนบก เช่นแม่น้ำ ลำคลอง เป็นระลอก

6	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขดิ่งหวือๆ ไม่สะดวกที่จะใช้ร่วม
มาตราโบฟอร์ต	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
7	ต้นไม้โยก เดินต้านลมไม่สะดวก
8	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่สะดวก
9	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	ต้นไม้ถอนราก สิ่งก่อสร้างเสียหายมาก
11	สิ่งก่อสร้างเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
12-17	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก

ที่มา : (www.tmd.go.th/ อ้างถึงDon, 1975)

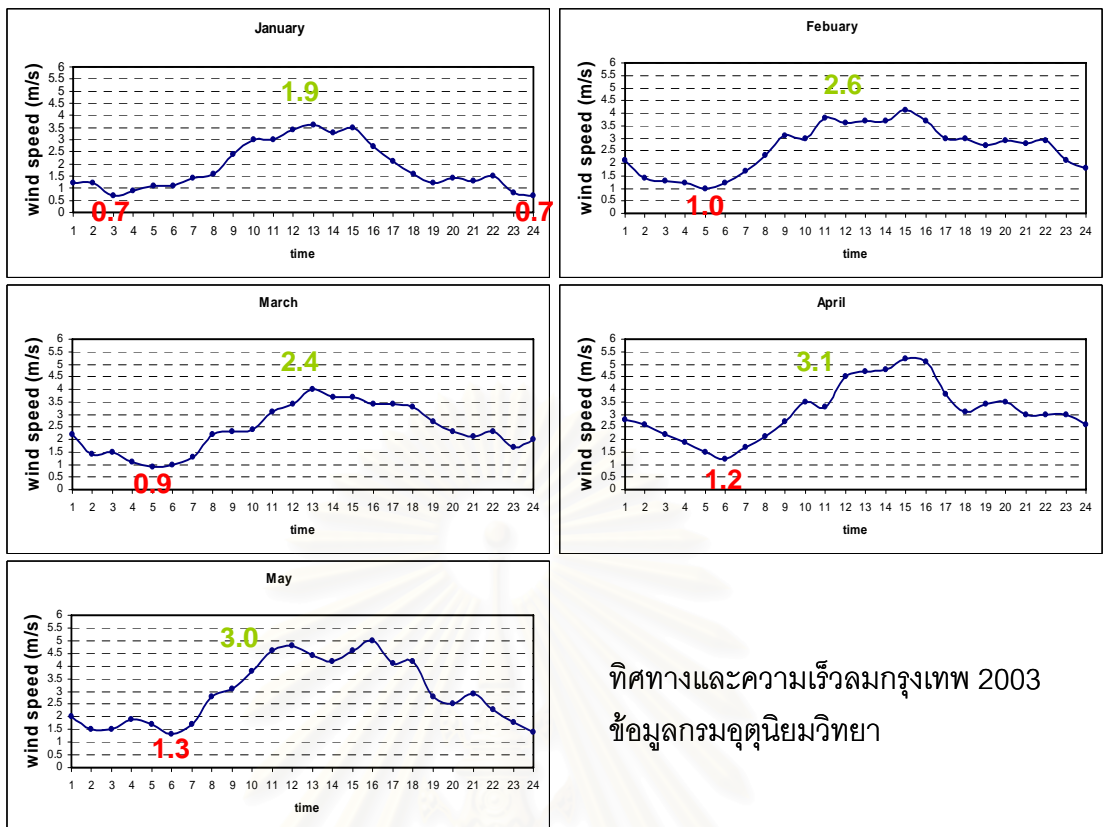
2. ลมประจำถิ่น(local wind) หมายถึง ลมที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของภูมิประเทศเกิดขึ้นเป็นประจำ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งโดยเฉพาะมีระยะเวลาแน่นอนและทิศทางคงเดิม

สาเหตุของการเกิดลมประจำถิ่นมี 3 ประการ คือ

1. พื้นดินและพื้นน้ำมีคุณสมบัติในการรับพลังงานความร้อนแตกต่างกัน
2. การเพิ่มอุณหภูมิและการลดอุณหภูมิตามลาดเขาหรือไหล่เขาในบริเวณต่างๆ
3. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของมวลอากาศ และกระแสอากาศที่พัดผ่านบริเวณเทือกเขา

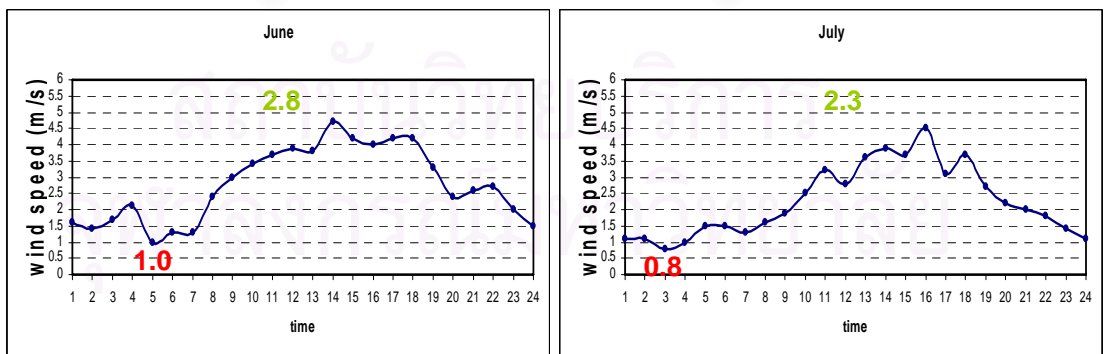
ลมประจำถิ่นมีผลต่อการระบายอากาศมากที่สุด การหันทิศทางอาคาร(orientation) ให้ช่องเปิด เปิดรับลมทางทิศที่มีลมพัดและมีช่องทางออกให้เพียงพอ แรงเฉื่อยของมวลอากาศของกระแสลมประจำถิ่นก็จะทำให้เกิดการพัดผ่านตลอดได้ โดยมีข้อควรคำนึงถึงดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ความบ่อยของทิศทางพัด
2. ความเร็วของลมที่พัดในทิศทางต่างๆ
3. คุณสมบัติทั่วไปของลม เช่น อุณหภูมิของลมจะต้องไม่สูงเกินอุณหภูมิผิวกาย ปริมาณความสกปรกในอากาศ เป็นต้น

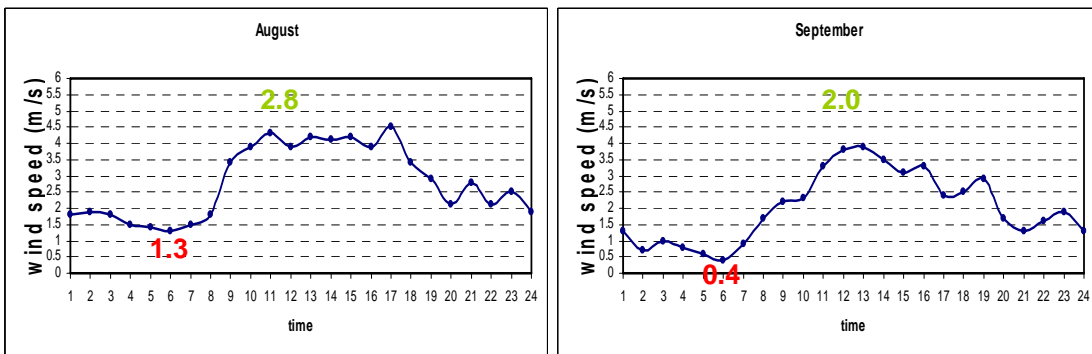


ทิศทางและความเร็วลมกรุงเทพ 2003
ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา

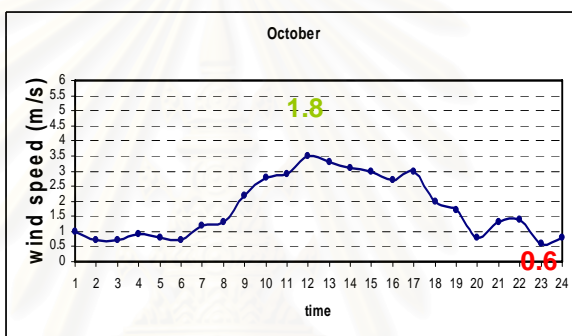
แผนภูมิที่ 2.2 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและเฉลี่ยตลอดวันในแต่ละเดือนที่มีทิศได้เป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด



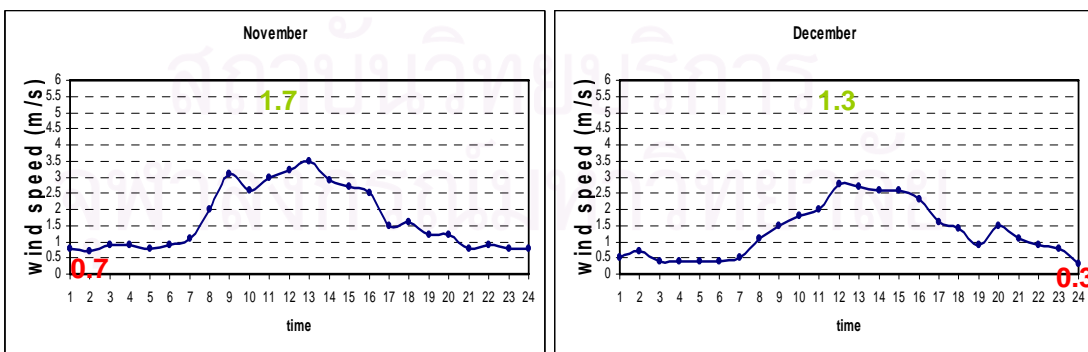
แผนภูมิที่ 2.3 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและเฉลี่ยตลอดวันในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด



แผนภูมิที่ 2.4 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและเฉลี่ยตลอดวันในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันตกเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด



แผนภูมิที่ 2.5 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและเฉลี่ยตลอดวันในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันออกเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด



แผนภูมิที่ 2.6 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดและเฉลี่ยตลอดวันในแต่ละเดือนที่มีทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นทิศทางเฉลี่ยสูงสุด

2.2.4 การคำนวณวิธีประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศ

The British Standard Method (Olgay, 1973)

เป็นการประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศทั้งการรั่วไหลของอากาศ (infiltration) การไหลเวียนอากาศด้านเดียว (single-sided ventilation) และการไหลเวียนอากาศผ่านตัวอาคาร (cross Ventilation) วิธีการคำนวณจะเน้นที่การไหลของอากาศ เนื่องจากแรงลมและจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งไม่รวมถึงอิทธิพลของรูปทรงและลักษณะผนังภายในอาคาร สูตรการคำนวณปรากฏดังนี้

$$Q = KAV$$

เมื่อ

- Q = อัตราการไหลเวียนอากาศ (cu.ft/h)
 K = ค่าคงที่ของอัตราส่วนของช่องลมเข้าออก
 A = พื้นที่ช่องลมเข้า (ft²)
 V = ความเร็วลมเฉลี่ยภายนอก (mph)

ค่า K ในสมการเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนช่องลมเข้าและออกของอาคาร โดยค่า K จะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของช่องลมยิ่งเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อขนาดของช่องลมออกยิ่งลดลง ดังตารางที่ 2.4 ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอัตราการไหลเวียนอากาศควรที่จะเพิ่มขนาดของช่องลมออกของอาคาร

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ K เปลี่ยนตามอัตราส่วนของช่องเปิดที่เปลี่ยนไป

อัตราส่วนระหว่างช่องลมเข้า/ ออก	ค่า K
1 : 1	3150
2 : 1	4000
3 : 1	4250
4 : 1	4350
5 : 1	4400
3 : 4	2700
1 : 2	2000
1 : 4	1100

ที่มา : Olgay, 1973

The Aynsley Method (Allard, 1998)

เป็นวิธีที่เหมาะสมกับกรณีของการไหลเวียนอากาศผ่านตัวอาคาร (cross ventilation) โดยช่องเปิดมี 2 ช่องอยู่ด้านตรงข้ามกัน แต่ต้องใช้ค่า Cp1 และ Cp2 หรือสัมประสิทธิ์ความดันอันเนื่องมาจากการกระทำของแรงลมในแต่ละด้าน โดยเขียนเป็นสมการดังนี้

$$Q = \sqrt{\frac{Cp1 - Cp2}{\frac{1}{A_1^2 Cd_1^2} + \frac{1}{A_2^2 Cd_2^2}}} * V$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลเวียนอากาศ (m³/s)

Cp1 = ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมเข้า

Cp2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมออก

Cd1 = ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมเข้า (discharge coefficients)

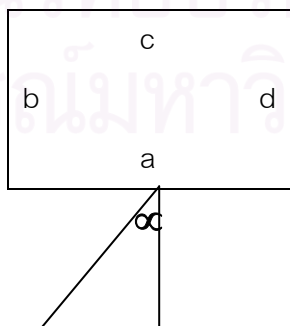
Cd2 = ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมออก (discharge coefficients)

A1 = พื้นที่ช่องลมเข้า (m²)

A2 = พื้นที่ช่องลมออก (m²)

V = ความเร็วลมภายนอก (m/s)

โดยค่า Cd1 และ Cd2 จะขึ้นอยู่กับความกว้างและความลึกของช่องเปิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วให้ใช้ค่า 0.6 แทนลงในสมการได้เลย ส่วนค่า Cp1 และ Cp2 สามารถดูได้จากตารางที่ 2.5



ตารางที่ 2.5 ค่า Cp สำหรับลมที่กระทำในทิศทางต่างๆ

มุม a ที่ลม กระทำ	ค่า Cp ที่ a	ค่า Cp ที่ b	ค่า Cp ที่ c	ค่า Cp ที่ d
0.0	0.40	-0.40	-0.20	-0.40
22.5	0.40	-0.06	-0.40	-0.60
45.0	0.25	0.25	-0.40	-0.45
67.5	0.06	0.30	-0.55	-0.40
90	0.40	0.40	-0.40	-0.25

ที่มา : Allard, 1998

เมื่ออาคารไม่เป็นไปตามรูปร่างที่กำหนดให้ไว้ให้ใช้ค่า Cp1 เท่ากับ -0.40 ส่วนค่า Cp2 เท่ากับ -0.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจากอาคารรูปร่างต่างๆ สำหรับช่องลมออกของหลังคาให้ใช้ค่า Cp2 เท่ากับ -0.30

ASHRAE method (ASHRAE, 2001)

$$Q = C4 \cdot C_v \cdot A \cdot U$$

เมื่อ Q = rate of air flow, cfm

C4 = unit conversion factor = 88.0

Cv = effectiveness of openings (Cv is assumed to be 0.5 to 0.6

for perpendicular winds and 0.25 to 0.35 for diagonal winds)

A = free area of inlets openings, sq ft

V = wind speed, mph

2.2.5 การคำนวณอัตราการไหลเวียนอากาศจากผลการจำลองสภาพการเคลื่อนไหวอากาศ

1. การคำนวณอัตราไหลเวียนอากาศจากความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิด (Allard, 1998)

$$Q = AV$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลเวียนอากาศ (cfm)

A = ขนาดของช่องเปิดเข้า (ft²)

V = ความเร็วลม (fpm)



$$Q_{\text{total}} = A_1V_1 + A_2V_2(\text{inlet}) + \dots = A_1V_1 + A_2V_2(\text{outlet}) + \dots$$

รูปที่ 2.11 การคำนวณอัตราไหลเวียนอากาศรวมจากความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิด

2. การคำนวณอัตราการเปลี่ยนอากาศ (ASHRAE, 2001)

$$\text{ACH} = Q / \text{ปริมาตรของห้อง (ft}^3\text{)}$$

ACH (air change rate per hour) คือ จำนวนเท่าของปริมาตรอากาศที่นำมาแทนที่อากาศภายในห้องในเวลา 1 ชั่วโมงเมื่อ

Q = อัตราการไหลเวียนอากาศ (cfh)

3. การคำนวณอัตราการไหลเวียนอากาศเปรียบเทียบต่อพื้นที่ใช้งาน (cfm/sq.ft)

เพื่อเป็นเกณฑ์ใช้ในการหาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมกับอาคาร โดยเปรียบเทียบมาจากมาตรฐานความปลอดภัยในการระบายอากาศสำหรับที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน ไม่ควรต่ำกว่า 4 ACH/hr (กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

	พื้นที่ใช้งานอาคารกรณีศึกษา		89,881.59	sq.ft
	ปริมาตรอาคารกรณีศึกษา		1,179,378.53	cu.ft
จาก	1 ACH/hr	=	1,179,378.53	cu.ft/hr
	4 ACH/hr	=	4,717,514.12	cu.ft/hr
ถ้า	1 นาที	=	4,717,514.12 / 60	
		=	78,625.23	cfm
	เปรียบเทียบต่อพื้นที่ใช้งาน	=	78,625.23 / 89,881.59	
		=	0.87	cfm/sq.ft

4. การคำนวณหาปริมาณอัตราการไหลเวียนอากาศที่เพียงพอในการระบายความร้อนในที่จอดรถ

คิดจากความร้อนที่เกิดจากรถยนต์ของผู้ใช้อาคาร ซึ่งพลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ที่ต้องใช้น้ำมันในการเผาผลาญทำให้เกิดความร้อนขึ้น จากกรณีนี้คิดจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล มีค่าความจุพลังงาน (Energy content) ต่อ 1 ลิตร เท่ากับ 29,840 btu และ 34,520 btu ตามลำดับ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545) โดยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถยนต์หนึ่งคันในเวลา 30 นาที สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 750 c.c.(0.75 Litres) ในรอบเครื่องยนต์ 1200-2500 รอบ (www.stabundamrong.go.th) คิดเปรียบเทียบต่อ 1 ชั่วโมง จะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.50 Litres แล้วนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

น้ำมันเบนซิน	29,840 btu * 1.50 Litres =	44,760 btu/hr
น้ำมันดีเซล	34,520 btu * 1.50 Litres =	51,780 btu/hr

สมมติให้รถยนต์ใช้น้ำมันแต่ละชนิดมีจำนวนอย่างละ 25 คัน

ดังนั้น น้ำมันเบนซิน	44,760 btu/hr * 25 คัน = 1,119,000 btu/hr
น้ำมันดีเซล	51,780 btu/hr * 25 คัน = 1,294,500 btu/hr
รวมทั้งหมด	2,413,500 btu/hr คิตรถยนต์ 50 คัน

จึงนำค่ามาคำนวณหาอัตราการไหลเวียนอากาศว่าต้องใช้ปริมาณเท่าใดถึงจะระบายอากาศได้ตามที่ต้องการ จากสูตรดังนี้ (อรรถน์ เศรษฐรูปูตร, 2547)

หาอุณหภูมิภายในอาคารที่เกิดรถยนต์ใน 1 ชั่วโมง

(air properties, 2005)

Density of Dry air = 1.293 kg/cu.m (45.65 kg/cu.ft)

Specific heat of air = 1.005 (kJ/kg .°c)

$$\Delta T = \frac{\text{heat added (kJ)}}{\text{mass (kg) * specific heat of air (kJ/kg .°c)}}$$

$$= \frac{2,546,242.5}{43,186.18 * 1.005}$$

$$= 58.66 \text{ } ^\circ\text{c}$$

$$Q = \text{CFM}(1.08) \Delta T$$

Q = ความจุพลังงาน (btu/hr)

CFM = อัตราการไหลเวียนอากาศ (cfm)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°F)

$$2,413,500 = \text{CFM} * (1.08) * 137.58$$

$$\text{CFM} = \frac{2,413,500}{148.58}$$

$$= 16,243.77 \text{ cfm}$$

จากผลการคำนวณที่ได้ ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเวียนอากาศในที่จอดรถในปริมาณที่กำหนดข้างต้นกับผลการทดสอบในบทต่อไป

3. การคำนวณการระบายอากาศเพื่อเจือจางมลพิษ (ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข, 2548)

การเจือจางและการนำมลพิษออกจากพื้นที่หนึ่งจะต้องอาศัยปริมาณอากาศบริสุทธิ์ โดยพิจารณาจากระดับความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนภายในพื้นที่นั้นๆ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ อัตราการระบายอากาศ อัตราการปล่อยมลพิษหรือสิ่งปนเปื้อนและระดับความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Q = E/C$$

- Q = อัตราการระบายอากาศ
 E = อัตราการปล่อยมลพิษหรือสิ่งปนเปื้อน
 C = ระดับความเข้มข้นของมลพิษหรือสิ่งปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากสมการด้านบนนำมาพัฒนาใช้กับสำหรับอาคารจอดรถดังสมการ

$$Q = E_c \cdot n \cdot t / C$$

- E_c = อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่อรถ 1 คัน
 N = จำนวนรถที่ติดเครื่องยนต์อยู่
 t = เวลาที่รถติดเครื่องยนต์อยู่ภายในอาคารจอดรถยนต์

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (E_{co})

$$E_{co} = n \cdot E_c \cdot t$$

$$E_{co} = \text{ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (m}^3\text{/s)}$$

ความต้องการอัตราการระบายอากาศภายในอาคารจอดรถสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = E_{co} / C_{ppm}$$

- Q = อัตราการระบายอากาศ (m³/s)
 C_{ppm} = ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)

2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษ

2.3.1 มลพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

มลพิษเกิดจากก๊าซที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์ก๊าซที่มีอันตรายมากได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC)

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการได้รับ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายมากหรือน้อย ได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศ ระยะเวลาในการสูดดมหายใจเข้าสู่ร่างกาย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลิตขึ้นในร่างกาย ความหนักเบาในการทำงานของร่างกาย ขนาดร่างกาย สภาพปอดและความกดดันของอากาศ

จากตารางที่ 2.3 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศจะเห็นได้ว่า ปริมาณต่ำกว่า 50 ppm อยู่ในระดับที่ปลอดภัย แต่ถ้าเกินกว่านั้นจนถึงช่วง 200 ppm มีผลต่อสุขภาพ ดังนั้นระดับที่คนสามารถทนได้จะอยู่ที่ประมาณ 50 ppm – 200 ppm

ตารางที่ 2.6 ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อร่างกาย

ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศ	ระยะเวลาในการสูดดมและอาการที่เกิดขึ้น
50 ppm	อยู่ในระดับความปลอดภัย
200 ppm	รู้สึกปวดศีรษะเล็กน้อยภายใน 2-3 ชั่วโมง
400 ppm	รู้สึกปวดศีรษะบริเวณหน้าผากภายใน 1-2 ชั่วโมงและปวดหัวเพิ่มมากขึ้นภายใน 3 ชั่วโมง
800 ppm	เวียนศีรษะ คลื่นไส้ ชัก ภายใน 45 นาที หหมดสติภายใน 1-2 ชั่วโมง
1,600 ppm	ปวดหัวเวียนศีรษะภายใน 1-2 นาที เสียชีวิตภายใน 2 ชั่วโมง
6,400 ppm	ปวดหัวเวียนศีรษะภายใน 1-2 นาที เสียชีวิตภายใน 10-15 นาที
12,800 ppm	เสียชีวิตภายใน 1-3 นาที

ที่มา : ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข, 2548

2.3.2 มาตรฐานความปลอดภัยทางด้านปริมาณมลพิษและการระบายอากาศ

สำหรับประเทศไทยพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปกำหนดความเข้มข้นมากที่สุดไม่เกิน 30 ppm สำหรับการอยู่ในพื้นที่ไม่เกิน 1 ชั่วโมง และ 9 ppm สำหรับการอยู่ในพื้นที่ไม่เกิน 8 ชั่วโมง สำหรับภายในอาคารจากประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อมและสารเคมี พ.ศ. 2515 กำหนดความเข้มข้นมากที่สุดไม่เกิน 50 ppm สำหรับการอยู่ในพื้นที่ไม่เกิน 8 ชั่วโมง(ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข, 2548)

ASHRAE (1999) กล่าวว่า การระบายอากาศสำหรับอาคารจอดรระบบผนังปิดควรมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 6 ACH/hr สำหรับประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานอัตราการระบายอากาศไม่ควรต่ำกว่า 4 ACH/hr สำหรับอาคารจอดรที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน (กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

ตารางที่ 2.7 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มากที่สุดที่ยอมรับได้ของแต่ละองค์กร

องค์กร	ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาที่ทนได้
Canadian	11 ppm	8 ชั่วโมง
	25 ppm	1 ชั่วโมง
WHO/Europe	8.7 ppm	8 ชั่วโมง
	26 ppm	1 ชั่วโมง
	52 ppm	30 นาที
	87 ppm	15 นาที
NAAQS/EPA	9 ppm	-
	35 ppm	1 ชั่วโมง
NIOSH	35 ppm	-
	200 ppm	สำหรับทุกช่วงเวลา
OSHA	35 ppm	-
	200 ppm	5 นาที
	1500 ppm	สำหรับทุกช่วงเวลา

ACGIH	25 ppm	-
องค์กร	ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาที่ทนได้
ASHRAE	9 ppm 35 ppm 120 ppm	8 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง สำหรับช่วงวิกฤติการจราจรใน ที่จอดรถ
MAK	30 ppm 60 ppm	- 15 นาที
Thailand ¹	50 ppm	15 นาที
Thailand ²	9 ppm 30 ppm	8 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง

Thailand¹ : ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม
และสารเคมี พ.ศ. 2515

Thailand² : พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง
กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป
ที่มา: ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข, 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ข้อมูลการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือในการวิจัย

ในส่วนของงานวิจัยนี้เน้นในการทดลองเกี่ยวกับเรื่อง การไหลของอากาศเพื่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติภายในอาคารเป็นหลัก ซึ่งกระแสนั้นไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในการศึกษาจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเข้ามาช่วยทำให้เราสามารถมองเห็นความเร็วลมและทิศทางของกระแสลมได้ โดยมีวิธีที่ใช้ทำการทดลองแบ่งเป็น 3 ลักษณะด้วยกันคือ

1. Wind Tunnel หรือ อุโมงค์ลม (ในรูปของกลุ่มควัน)
2. Flow Visualization Apparatus หรือ โต๊ะน้ำ (ในรูปของของเหลว)
3. Computational Fluid Dynamics หรือ CFD (ในรูปสัญลักษณ์สีและลูกศรแสดงในคอมพิวเตอร์)

โดยวิธีทดลองทั้ง 3 ลักษณะ มีข้อแตกต่างกันในการใช้เครื่องมือในการศึกษา แต่ละวิธีมีรายละเอียดและหลักการทำงานดังนี้

2.4.1 Wind Tunnel หรือ อุโมงค์ลม (ในรูปของกลุ่มควัน)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- อุโมงค์ลม ขนาดของอุโมงค์ลมจะมีขนาดใหญ่จะต้องใช้พื้นที่ในการทดลองค่อนข้างมาก เพราะในการทดลองจะมีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบด้วย
- กล้องวงจรปิดและจอมอนิเตอร์ที่ใช้ดูผลการทดลอง เนื่องจากไม่สามารถเข้าไปดูโดยตรงได้ เพราะจะเกิดผลกระทบกับการทดลอง
- กล้องวิดีโอ เพื่อบันทึกภาพการทดลอง
- เครื่องพ่นควัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของควันกับหุ่นจำลอง
- ดวงไฟ เพื่อให้สามารถเห็นควันได้ชัดเจน
- หุ่นจำลอง ขนาดต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของหน้าตัดอุโมงค์ลม

สรุปคุณสมบัติเครื่องมือในการทดลอง

สามารถทดลองเกี่ยวกับกระแสลมในลักษณะ 3 มิติได้ แต่ขนาดเครื่องมือมีขนาดใหญ่ใช้เนื้อที่ในการทดลองค่อนข้างมาก ยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหุ่นจำลอง ใช้เวลาในการทำงานในส่วนต่าง ๆ นาน ค่าใช้จ่ายสูง ผลที่ได้ไม่ค่อยชัดเจน

(มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

2.4.2 Flow Visualization Apparatus หรือ ไ้ตะน้ำ (ในรูปของของเหลว)

การใช้ของเหลวในการทดลอง ที่นำมาพิจารณาและทดลองประกอบไปด้วย

1. ไ้ตะน้ำแบบทางตั้ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- ไ้ตะน้ำทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 2 แผ่น วางห่างกันประมาณ 1 เซนติเมตร
- ชุดควบคุมแรงดันน้ำ ใช้ปรับควบคุมแรงดันน้ำซึ่งจะส่งผลถึงความเร็วของน้ำด้วย
- ขี้แกลบ ใช้เป็นตัวแสดงทิศทางแทนกระแสลม
- น้ำ
- หุ่นจำลองทำด้วยแผ่นอะคริลิก โดยทำส่วนฝั่งพื้น ผนัง หรือรูปตัดของอาคารที่จะทำการทดลองแล้วยึดกับ plate อะคริลิกให้มีความหนาเท่ากับช่องว่าง ที่จะวางหุ่นจำลองลงในไ้ตะน้ำ

สรุปคุณสมบัติเครื่องมือในการทดลอง

อุปกรณ์ในการทดลองสามารถหาได้ทั่วไป ใช้พื้นที่ในการทดลองไม่มาก แต่ทดลองได้ผลเป็น 2 มิติเท่านั้น ค่าใช้จ่ายในการทำหุ่นจำลองยังคงค่อนข้างสูงถ้าต้องทำหลายแบบและใช้เวลาทำหุ่นจำลองค่อนข้างนาน ไม่คุ้มค่ากับผลที่ได้ซึ่งยังไม่ชัดเจน (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

2. ไ้ตะน้ำแบบทางนอน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- ไ้ตะน้ำ (Flow Visualization Apparatus)
- ต่างทับทิม
- สายยาง ใช้ต่อน้ำเข้ามายังไ้ตะน้ำ
- น้ำ
- หุ่นจำลอง ใช้แผ่นยางกันน้ำ
- กาวยาง
- แผ่น PVC ใส ใช้สำหรับติดตั้งหุ่นจำลอง

สรุปคุณสมบัติเครื่องมือในการทดลอง

อุปกรณ์ในการทดลองสามารถหาได้ทั่วไปและราคาไม่แพง ใช้พื้นที่ในการทดลองไม่มาก สามารถทำหุน้ำจำลองได้ง่ายหลายรูปทรงและใช้เวลาทำไม่มาก แต่ทดลองได้ผลเป็น 2 มิติเท่านั้น ควบคุมแรงดันน้ำให้สม่ำเสมอค่อนข้างยาก และมีปัญหาเรื่องฟองอากาศที่เกิดขึ้น (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

2.4.3 Computational Fluid Dynamics หรือ CFD (ในรูปสัญลักษณ์สีและลูกศรแสดงในคอมพิวเตอร์)

วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ได้ก้าวเข้ามาเป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่จะใช้ในการทำนายการไหลในหลายแขนงเพราะมีความง่ายและลดระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งวิธี CFD คือ กระบวนการในการนำเอาระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ระบบสมการการเคลื่อนที่ของ พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) การถ่ายเทมวล (Mass Transfer) และอื่นๆ โดยใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming) ช่วยในการคำนวณ โดยลักษณะที่สนใจสามารถจำลองผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว

ปัจจุบันการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (CFD, Computational Fluid Dynamics) เข้ามามีบทบาทและเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบทางวิศวกรรม เนื่องจากช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบโดยอาศัยการทดลองจริง ซึ่งบางปัญหานั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการทดลองในอดีต เช่น การทำนายพฤติกรรมของของไหลรอบเครื่องบินโดยสารขนาดใหญ่ เพื่อให้ทราบถึงแรงยกและเสถียรภาพในขณะทำการบิน การออกแบบลักษณะของใบพัดกังหันของเครื่องบินไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกาขนาดใหญ่ เพื่อให้ทราบถึงปรากฏการณ์ของการไหลผ่านใบพัดที่จะก่อให้เกิดแรงดันที่สูงสุด ฯลฯ ดังนั้นการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลจึงมีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของของไหล ไม่ว่าจะเป็นการหาค่าความเร็ว ความดัน รวมไปถึงระดับของอุณหภูมิ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นระเบียบวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อช่วยในการออกแบบ เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหลนั้น ขึ้นอยู่กับ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- (ก) ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้น
- (ข) เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษานั้น
- (ค) ลักษณะรูปร่าง (geometry) ของปัญหา

หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นผู้ที่ทำการวิเคราะห์จึงต้องมีความเข้าใจกับองค์ประกอบทั้ง 3 องค์ประกอบอย่างลึกซึ้ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ รายละเอียดขององค์ประกอบทั้ง 3 มีดังต่อไปนี้

1. ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย การวิเคราะห์ปัญหาการไหลนั้นประกอบด้วยระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แสดงถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเหล่านี้ล้วนประกอบด้วยพจน์ต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปแบบเชิงอนุพันธ์ (derivative terms) ดังเช่นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหลแบบหนืดภายใต้สภาวะอยู่ตัวในสามมิติ โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ประกอบด้วยสูตร

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho g_x [1 - \beta(T - T_0)] \\ \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho g_y [1 - \beta(T - T_0)] \\ \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho g_z [1 - \beta(T - T_0)] \\ \rho c \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= \rho Q + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

ในการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ดังแสดงข้างต้น มีความซับซ้อนเนื่องจากเป็นระบบสมการซึ่งขึ้นแก่กันและกัน (coupled equations) และอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) อันมีผลต่อเนื่องทำให้การประยุกต์ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้นมีความซับซ้อนมากตามขึ้นไปด้วย

2. เงื่อนไขขอบเขต ในกระบวนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นเงื่อนไขขอบเขตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไป เงื่อนไขขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงไปจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบระบบระบายความร้อนภายในกล่องเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 1 กรณีแรกเมื่อติดตั้งพัดลมดูดอากาศด้านล่างของกล่องเครื่องคอมพิวเตอร์ ก่อให้เกิดลักษณะการไหลของอากาศภายในแตกต่างไปจากการติดตั้งพัดลมดูดอากาศด้านข้างของกล่องเครื่องคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ 2 อันเนื่องมาจากเงื่อนไขขอบเขตของการติดตั้งพัดลมในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

3. ลักษณะรูปร่าง รูปแบบของปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหลโดยทั่วไปในงานวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ล้วนมีรูปร่างที่ซับซ้อน หากลักษณะรูปร่างซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้พฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่าระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและเงื่อนไขขอบเขตยังเป็นเช่นเดิม

ปัจจุบันได้มีการนำการแก้ปัญหาด้านพลศาสตร์ของไหลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปจำหน่ายจำนวนมาก โปรแกรมเหล่านี้ทำการหาผลลัพธ์ด้วยการแก้องค์ประกอบหลักทั้งสามดังกล่าวข้างต้น โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ (ก) ขั้นตอนการสร้างลักษณะรูปร่างของปัญหาและเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งเป็นขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (pre-processor); (ข) ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (analysis) ซึ่งเป็นหัวใจของการคำนวณภายในโปรแกรม; และ (ค) ขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย (post-processor) เพื่อการแสดงผลที่ได้จากการคำนวณ

(ก) กระบวนการขั้นต้น กระบวนขั้นต้นเริ่มจากการสร้างโดเมนของการไหลที่ต้องการทำการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนนับตั้งแต่การจากการสร้างเส้นขอบ (line) การสร้างพื้นผิว (surface) รวมไปถึงการสร้างปริมาตร (volume) หากเป็นการไหลในสามมิติ จากนั้นจึงแบ่งโดเมนของการไหลที่ได้สร้างขึ้นนี้ออกเป็นเอลิเมนต์ (element) เล็ก ๆ หรือออกเป็นตาราง (mesh) ย่อย ๆ โดยเส้นตารางเหล่านี้ตัดกันที่จุดต่อ (grid หรือ node) แล้วจึงกำหนดคุณสมบัติของของไหลและเงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหานั้น ตามลำดับ

(ข) ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิเคราะห์จัดได้ว่าเป็นหัวใจของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเหล่านี้ เป็นการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์เข้ากับระบบสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลที่จุดต่อ อันได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น

(ค) กระบวนการขั้นท้าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการวิเคราะห์การไหลนั้นโดยปกติจะมีจำนวนมากซึ่งขึ้นโดยตรงกับจำนวนของจุดต่อและต่างล้วนอยู่ในรูปแบบของค่าตัวเลข หากต้องการเข้าใจในพฤติกรรมของสภาวะการไหลจะต้องนำค่าเหล่านี้มานำเสนอพร้อมกันซึ่งสามารถทำได้ในหลายรูปแบบ ได้แก่ การพล็อตเวกเตอร์ ณ ทุก ๆ จุดต่อตลอดทั้งโดเมนของการไหลเพื่อแสดงขนาดและลักษณะทิศทางของการไหล การพล็อตด้วยเส้นชั้น (contour lines) เช่น ตัวอย่างของการกระจายของอุณหภูมิในห้องโดยสารในรถยนต์ส่วนบุคคลในรูปที่ 2 ฯลฯ การนำเสนอเหล่านี้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ช่วยให้เกิดความเข้าใจในปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้วิเคราะห์ทราบถึงสาเหตุของปัญหาอันจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุง แก้ไขให้ดียิ่งขึ้น (Mechanical Technology Magazine 8, 2545)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 สรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารใต้ดินโดยสรุปเป็นกรอบความคิดในการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 2.12 ตัวแปรในการศึกษา

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการศึกษาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของเปิดที่พอเหมาะให้ได้ปริมาณการไหลเวียนอากาศเพียงพอและทั่วถึงในระดับที่กำหนดของตำแหน่งที่ต้องการของอาคารใต้ดินมีวิธีการวิจัยซึ่งสามารถแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. แบบแผนการวิจัย
2. กลุ่มประชากรที่ศึกษา
3. รูปแบบการทดลอง
4. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
5. วิธีการเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูล

3.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. คัดเลือกกรณีศึกษาเพื่อใช้ในการทดลอง
2. ทดลองและเก็บข้อมูลด้วยการจำลองการระบายอากาศโดย โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล
3. วิเคราะห์ข้อมูล
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

3.2 กลุ่มประชากรที่ศึกษา

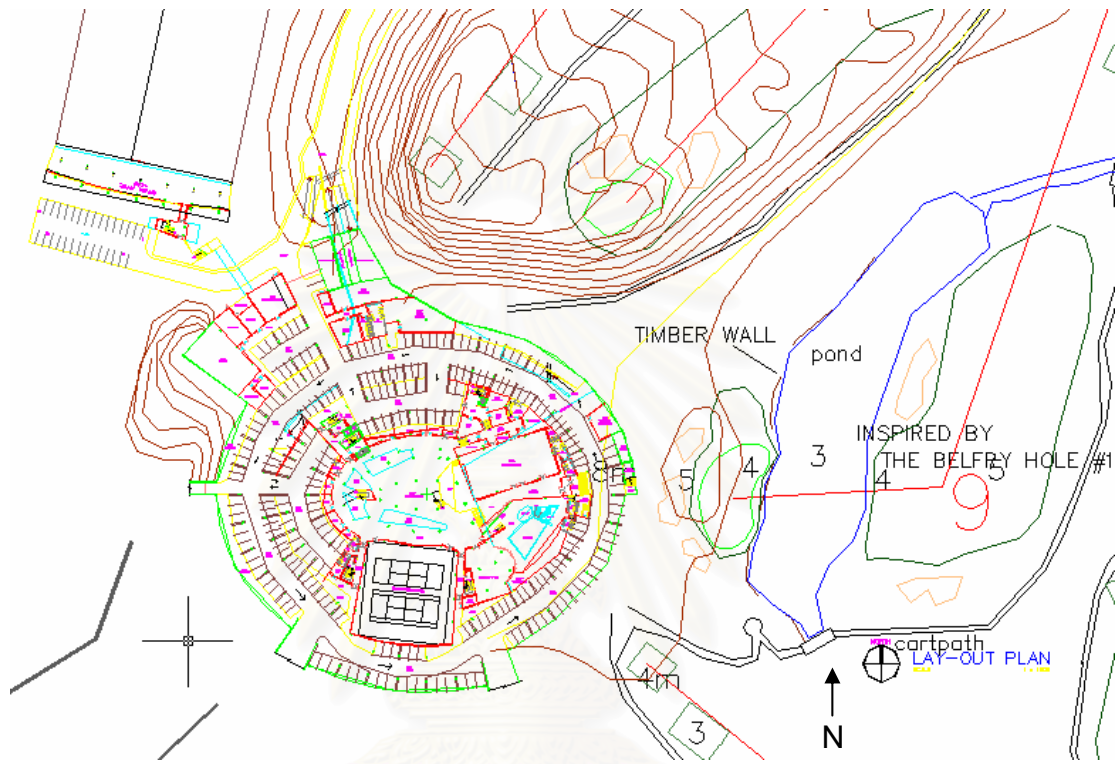
จากกลุ่มประชากรอาคารใต้ดินทั้งหมดที่มีระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติคัดเลือกกรณีศึกษาด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยมีพื้นที่จอดรถขนาดใหญ่อยู่ใต้อาคารหลัก สภาพแวดล้อมภายนอกด้วยรอบเป็นพื้นที่เปิดโล่งและมีสนามกอล์ฟ ทำให้มีศักยภาพในการใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติกับพื้นที่จอดรถใต้ดิน ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะเป็นกรณีศึกษาเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของเปิดในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

3.2.1 กรณีศึกษา

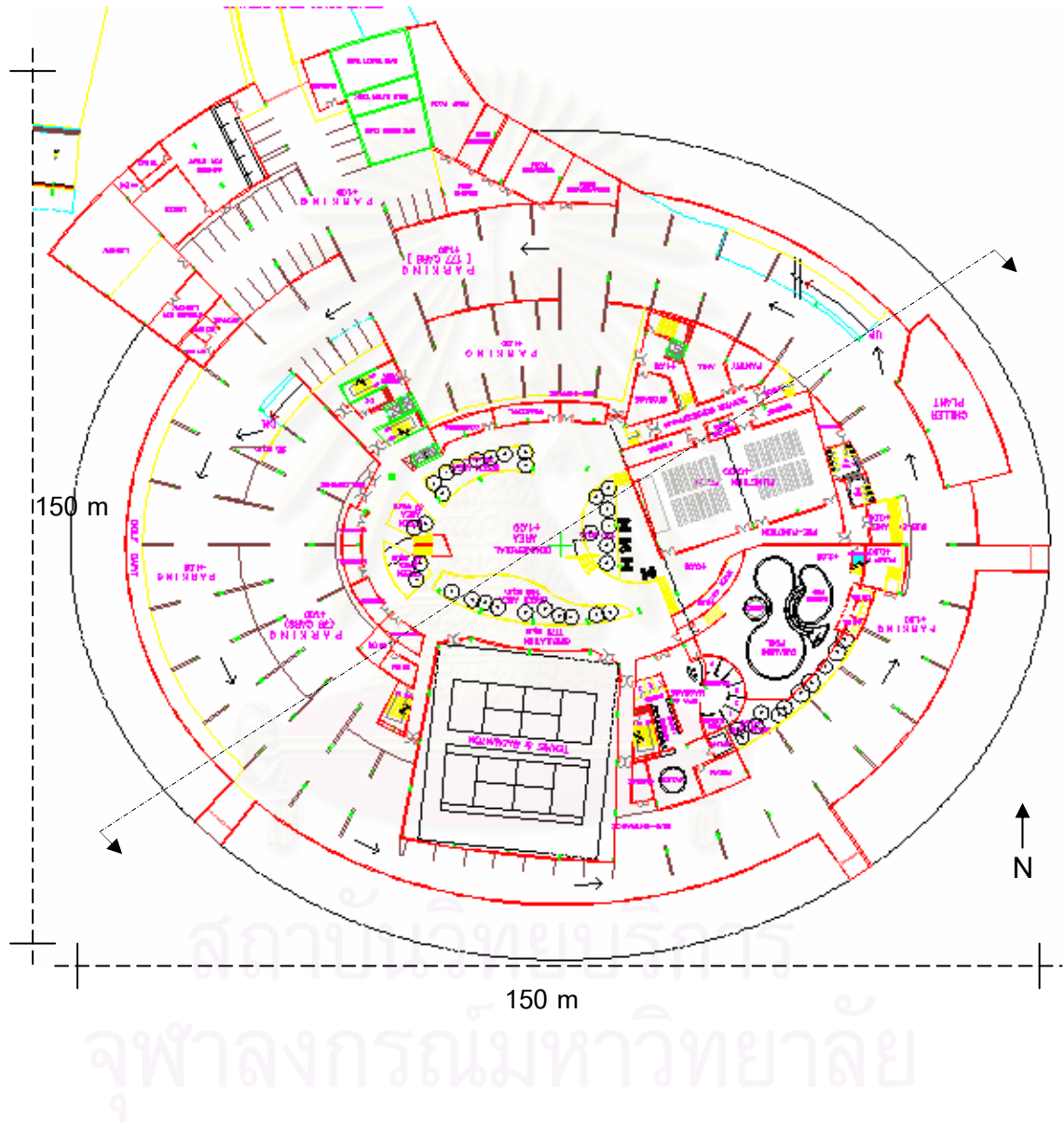
กรณีศึกษาที่เลือกมาใช้ในการทดสอบได้แก่ อาคารชั้นจอดรถของอาคารกรณีศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ได้ดินขนาดใหญ่มีการใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยมีข้อมูลเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษา ดังนี้

1. ขนาดพื้นที่จอดรถ 8,350 ตารางเมตร (89,881.59 ตารางฟุต)
2. ปริมาตรอาคารจอดรถ 33,400 ลูกบาศก์เมตร (1,179,378.53 ลูกบาศก์ฟุต)
3. จำนวนที่จอดรถประมาณ 800 คัน
4. เวลาเปิด - ปิด 6:00 – 24:00 น.

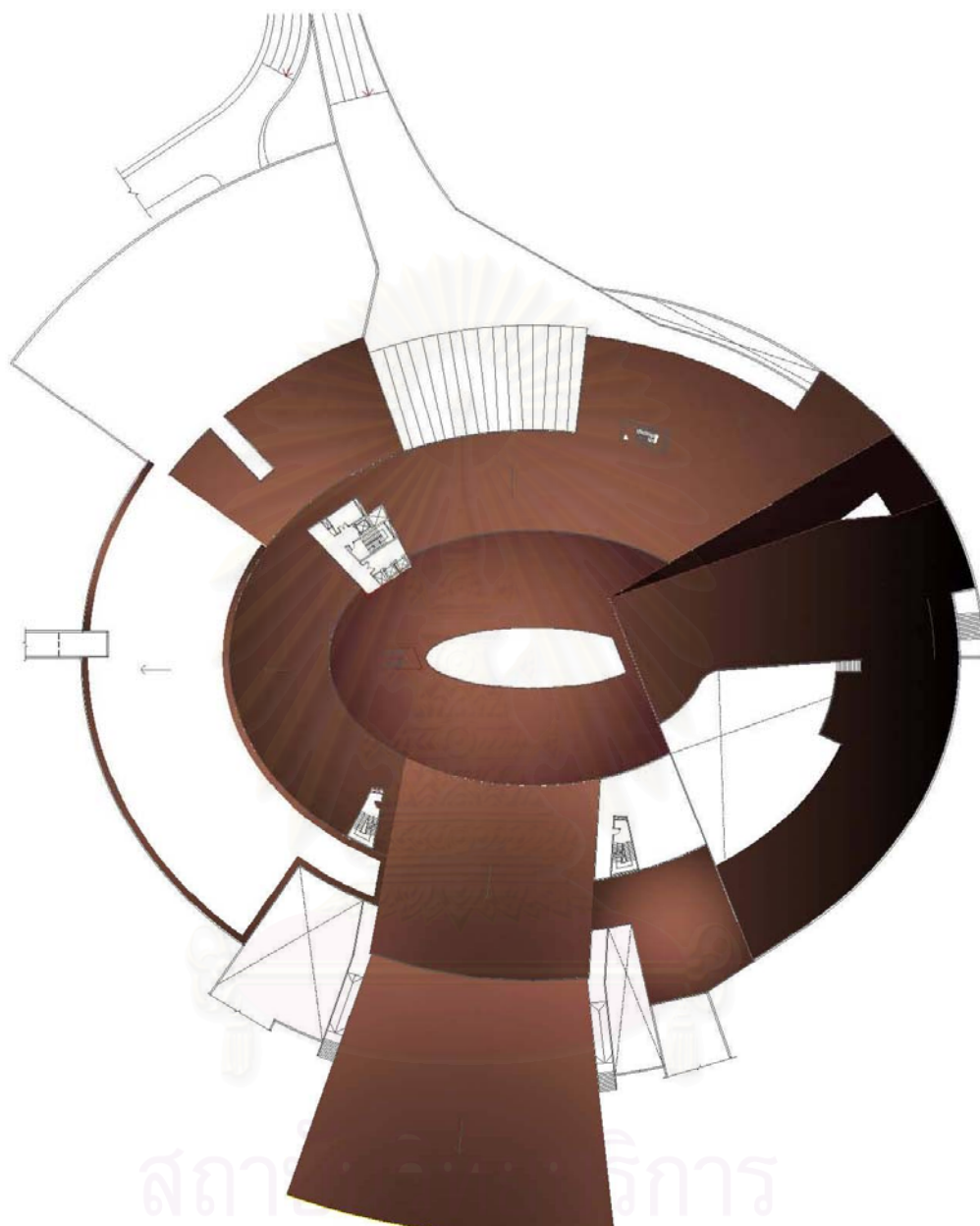
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ผังลักษณะของสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

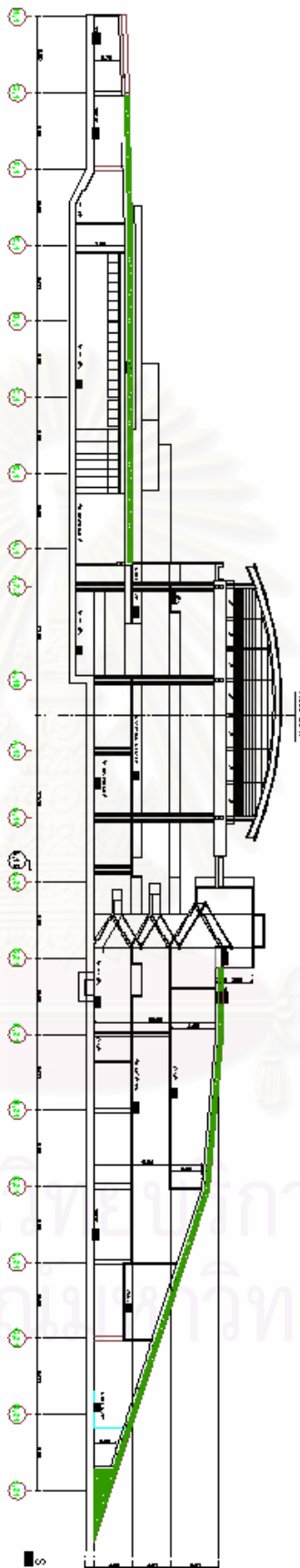


รูปที่ 3.2 แผนผังบริเวณพื้นที่จอดรถใต้ดิน



สถาบันบริหารจัดการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

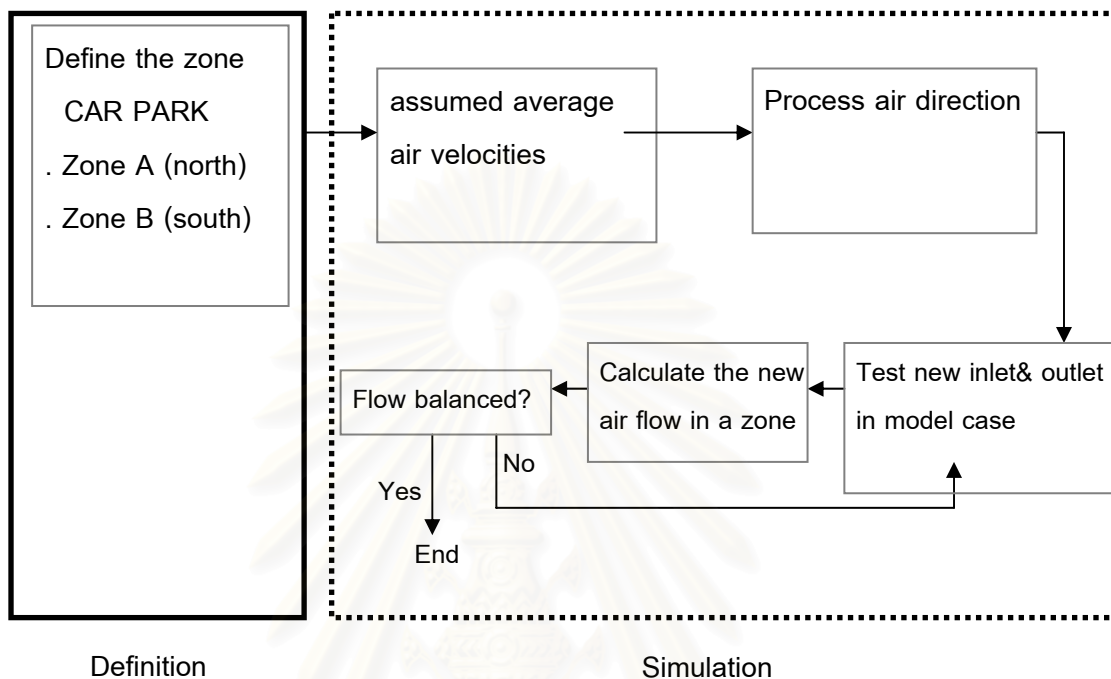
รูปที่ 3.3 ลักษณะผังหลังคาอาคาร



สถาบันวิจัยการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 รูปตัดอาคาร

3.3 รูปแบบการทดลอง



รูปที่ 3.5 กรอบแสดงรูปแบบการทดลอง

จากวัตถุประสงค์สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. ศึกษาสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติของอาคารใต้ดินกรณีศึกษา
2. ศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิด ให้ได้อัตราการระบายอากาศที่พอเหมาะในการเจือจางมลภาวะในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานในอาคารด้วยการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารกรณีศึกษา

3.3.1 ศึกษากำหนดตัวแปรการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของแบบทดสอบที่กำหนดและอาคารกรณีศึกษา

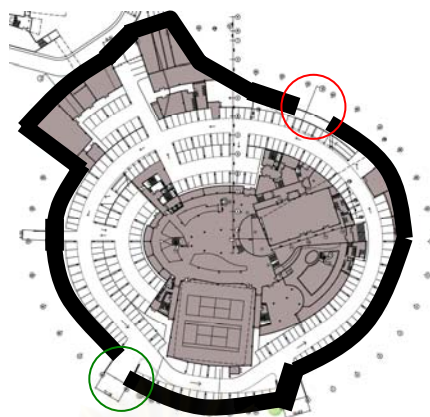
1. ตัวแปรต้น(independent variables)

ทิศทางลมและความเร็วลมที่มีอิทธิพลในแต่ละเดือนตลอดทั้งปี โดยจำลองลมให้เคลื่อนที่เข้าหาตัวอาคารจาก 3 ทิศทางได้แก่ ทิศใต้ (S) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ทิศตะวันตก (W) ซึ่งทุกทิศทางจะใช้ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ต่ำสุดของทุกเดือนตลอดปีมาใช้ในการจำลอง ซึ่งได้จากข้อมูลค่าสถิติความเร็วลมและทิศทางจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2003

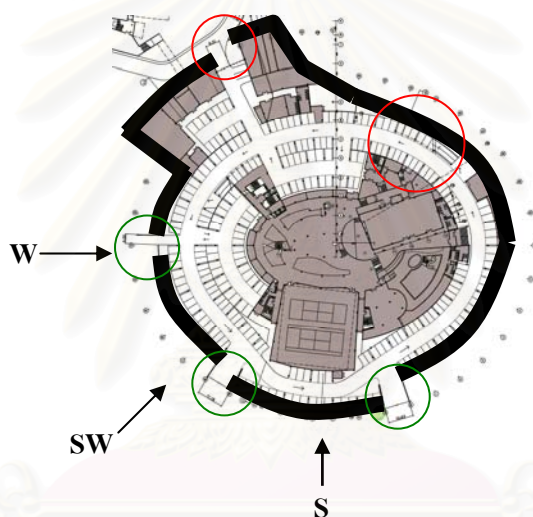
ตารางที่ 3.1 ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุดแต่ละเดือนของแต่ละทิศทาง

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุด(m/s)	ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดวัน(m/s)	ทิศทางเฉลี่ยสูงสุด
มกราคม	0.7	1.9	S
กุมภาพันธ์	1.0	2.6	S
มีนาคม	0.9	2.4	S
เมษายน	1.2	3.1	S
พฤษภาคม	1.3	3.0	S
มิถุนายน	1.0	2.8	SW
กรกฎาคม	0.8	2.3	SW
สิงหาคม	1.3	2.8	W
กันยายน	0.4	2.0	W
ตุลาคม	0.6	1.8	E
พฤศจิกายน	0.7	1.7	NE
ธันวาคม	0.3	1.3	NE
เฉลี่ยตลอดปี	0.8	1.8	S

จากตารางที่ 3.1 ความเร็วลมที่ใช้ในการจำลองสภาพการระบายอากาศเพื่อทดสอบประสิทธิภาพช่องเปิดในกรณีต่าง ๆ นั้น กำหนดโดยเลือกความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดตลอดปี คือ 0.8 m/s



รูปที่ 3.6 แผนแบบทดสอบที่ใช้ในการจำลองสภาพการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.7 แผนอาคารกรณีศึกษาและทิศทางลมที่ใช้ในการทดสอบ

2. ตัวแปรควบคุม

- 1) ลักษณะของอาคารและสภาพแวดล้อมทางกายภาพของอาคารใต้ดินกรณีศึกษา (ข้อมูลจากบทที่ 2)
- 2) แบบทดสอบที่กำหนดใช้สภาพทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษาแต่กำหนดช่องเปิดใหม่เพื่อใช้ในการทดสอบ

3. ตัวแปรตาม(dependent variables)

- 1) อัตราการเปลี่ยนอากาศ โดยไม่ควรน้อยกว่า 4 ACH/hr และมีอัตราการไหลของอากาศพอเพียง
- 2) ความทั่วถึงในการระบายอากาศ โดยดูจากแนวการไหลของอากาศและอัตราการระบายอากาศ

3.3.2 ศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อให้ได้อัตราการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่พอเหมาะอย่างทั่วถึง

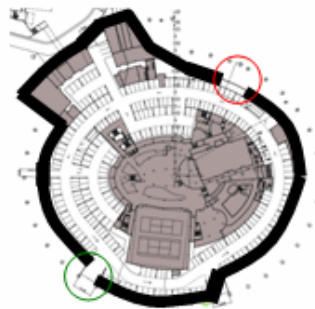
โดยการทดลองเป็นการศึกษาหาช่องเปิดที่พอเหมาะกับการได้ดินเพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการศึกษากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในการจะปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพให้ได้อัตราการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่พอเหมาะอย่างทั่วถึงในอาคารที่สามารถเจือจางมลพิษได้คือ การออกแบบช่องเปิดให้ได้อัตราส่วนช่องลมเข้าต่อช่องลมออกที่ได้ปริมาณการไหลเวียนอากาศสูงสุด และหาขนาดช่องเปิดที่พอเหมาะกับการอาคารโดยยังมีประสิทธิภาพได้ตามกำหนดดังนั้นจึงแบ่งการทดสอบออกเป็น



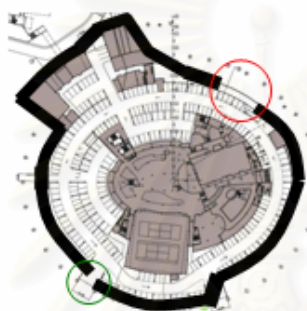
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ทดสอบหาอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของแปลนแบบทดสอบ

inlet : outlet	width (m)
1 : 1	10 : 10
1 : 4	4 : 16
4 : 1	16 : 4



แปลนแบบทดสอบที่ 1



แปลนแบบทดสอบที่ 2



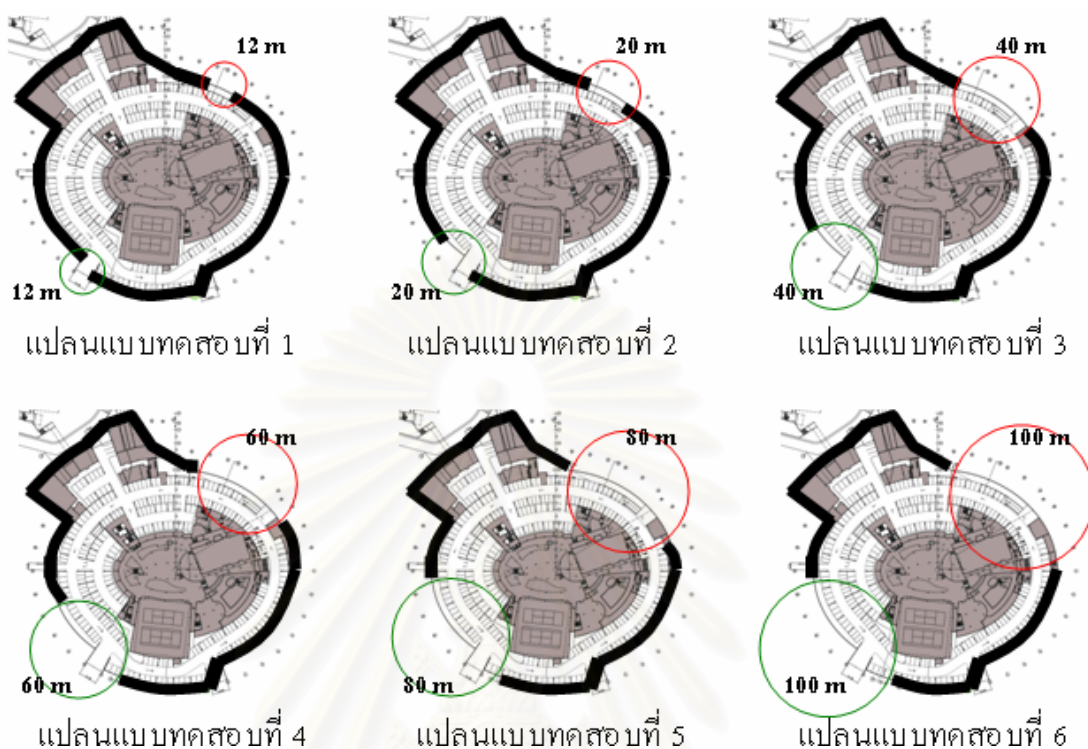
แปลนแบบทดสอบที่ 3

รูปที่ 3.8 ลักษณะอัตราส่วนช่องเปิดแปลนแบบทดสอบ

- แปลนแบบทดสอบที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1
 แปลนแบบทดสอบที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4
 แปลนแบบทดสอบที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1

จากผลทดสอบหาอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของแปลนแบบทดสอบข้างต้น(รายละเอียดผลทดสอบดูบทที่ 4) สรุปแล้วจึงได้นำผลมาทดสอบต่อเนื่องต่อไปดังนี้ โดยความยาวผนังรอบส่วนจอดรถ 400 เมตร และกำหนดความสูงช่องเปิด 3 เมตร

2. ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถจากแปลนแบบทดสอบ

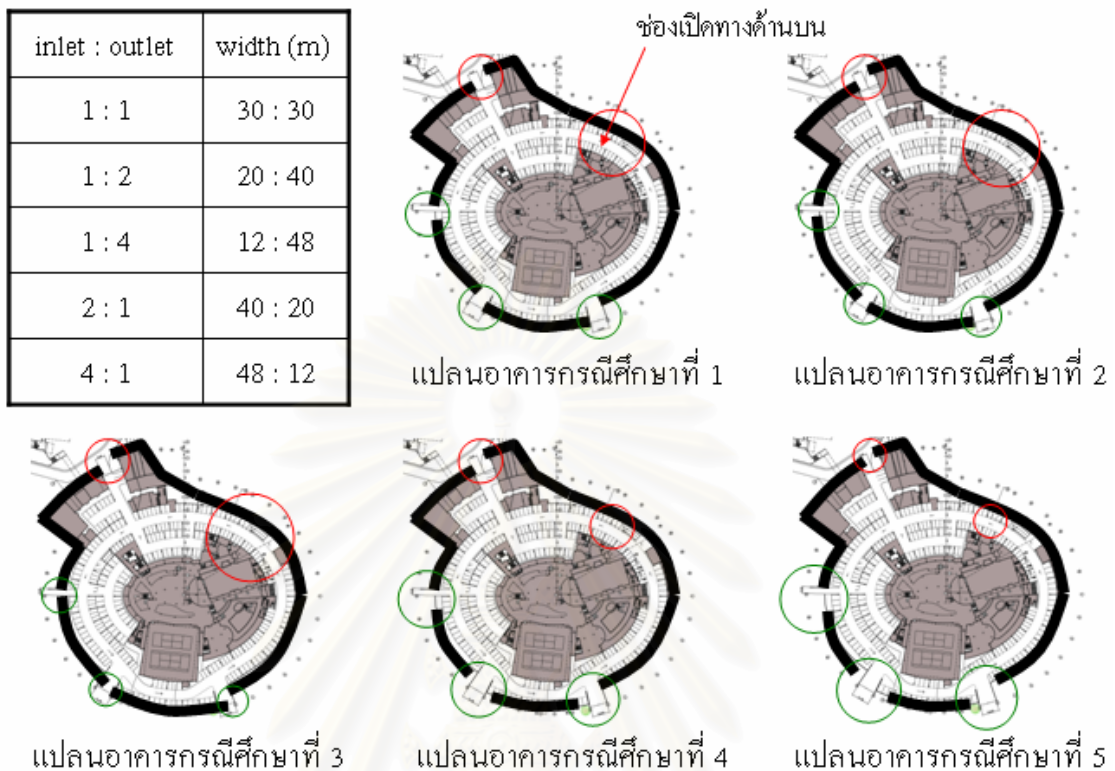


รูปที่ 3.9 ลักษณะขนาดช่องเปิดแต่ละสัดส่วนของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

แปลนแบบทดสอบที่ 1	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ
แปลนแบบทดสอบที่ 2	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ
แปลนแบบทดสอบที่ 3	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ
แปลนแบบทดสอบที่ 4	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ
แปลนแบบทดสอบที่ 5	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ
แปลนแบบทดสอบที่ 6	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 25 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

นำมาทดสอบกับอาคารกรณีศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้กับสภาพอาคารทางกายภาพที่เป็นอยู่ และปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

3. ทดสอบหาอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของแปลนอาคารกรณีศึกษา

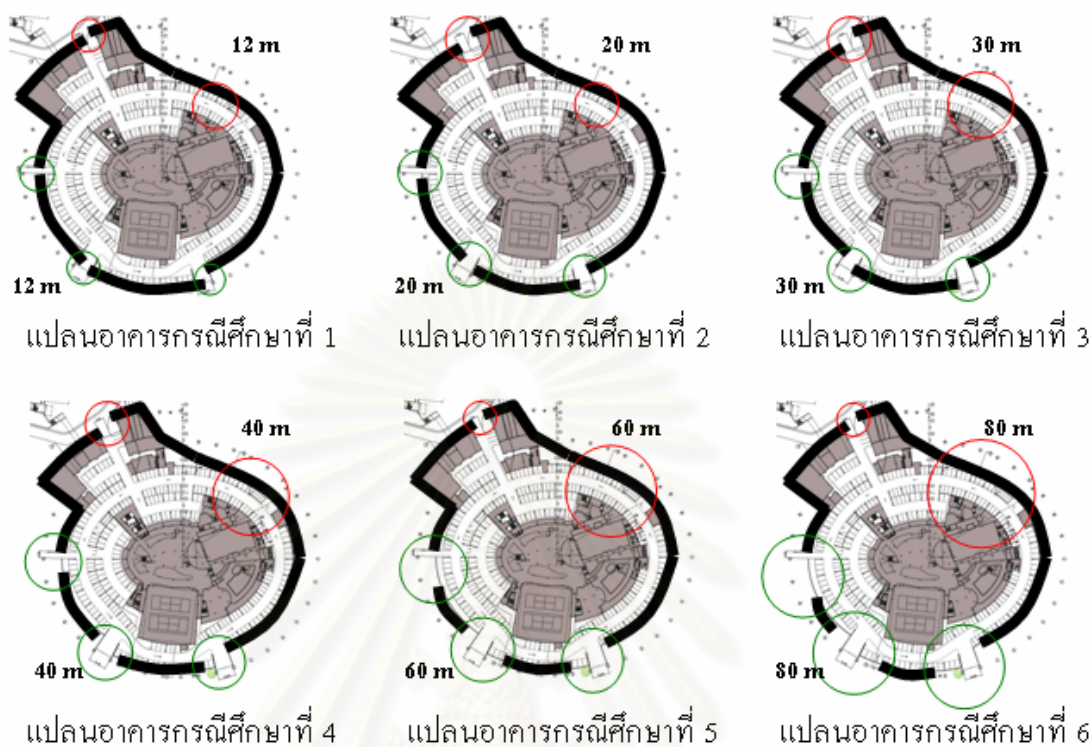


รูปที่ 3.10 ลักษณะอัตราส่วนช่องเปิดแปลนอาคารกรณีศึกษา

- แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1
- แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:2
- แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4
- แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 2:1
- แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1

จากผลทดสอบหาอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของแปลนอาคารกรณีศึกษาข้างต้น(รายละเอียดผลทดสอบดูบทที่ 4) สรุปแล้วจึงได้นำผลมาทดสอบต่อเนื่องต่อไป ดังนี้ โดยความยาวผนังรอบส่วนจอร์จ 400 เมตร และกำหนดความสูงช่องเปิด 3 เมตร

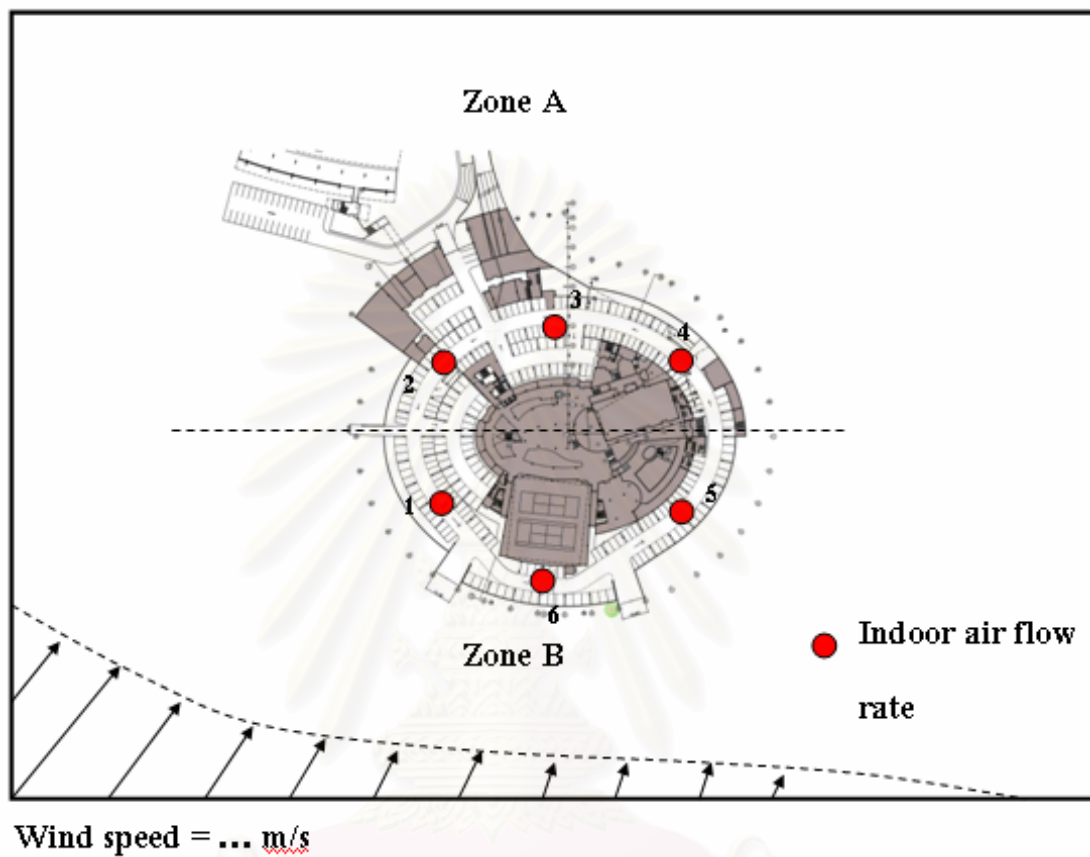
4. ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตรกจากแปลนอาคารกรณีศึกษา



รูปที่ 3.11 ลักษณะขนาดช่องเปิดแต่ละสัดส่วนของพื้นที่ผนังแปลนอาคารกรณีศึกษา

แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก
แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก
แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 8	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก
แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก
แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก
แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 6	สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20	ของพื้นที่ผนังส่วนจอตรก

5. การกำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศภายใน



รูปที่ 3.12 ผังลักษณะแบบจำลองในการทดสอบ

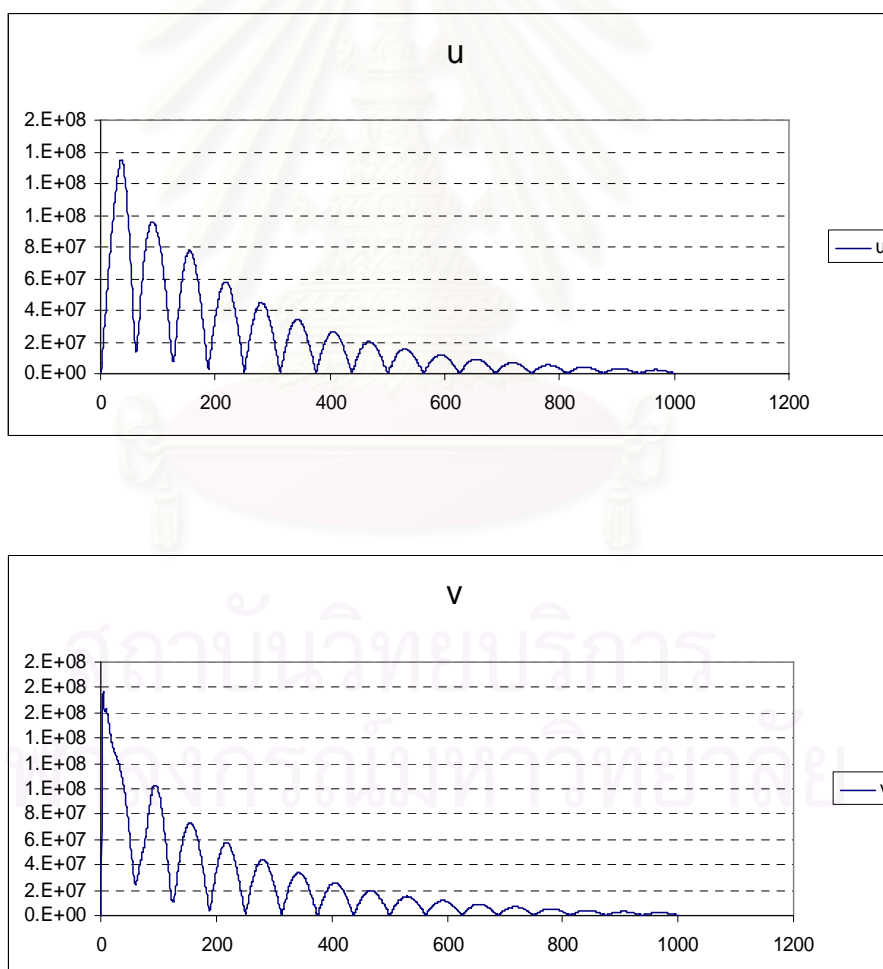
สถานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อยู่ภายใต้สถานการณ์จำลองซึ่งจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics : CFD) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำนายการเคลื่อนที่ของของไหล โดยสามารถแก้สมการเชิงซ้อนสำหรับเพื่อใช้ในการศึกษาได้

3.4.1 ความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ความน่าเชื่อถือของผลการทดลองที่ได้ ควรพิจารณาจากแผนภูมิประกอบด้วย

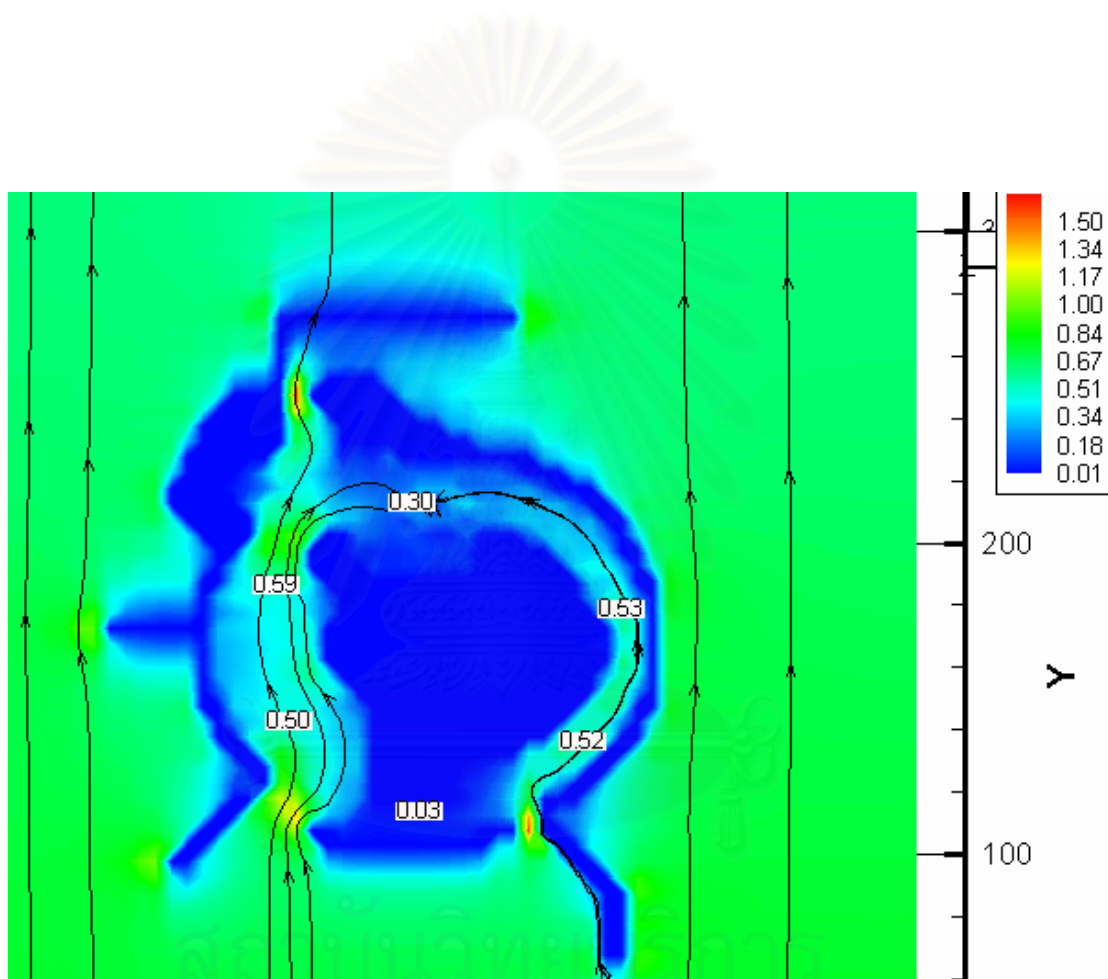


รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงการคำนวณของโปรแกรม

3.4.2 การแสดงผล

ในการแสดงผลของซอฟต์แวร์โดยแบ่งเป็น

1. ระดับเฉดสีแสดงระดับมากน้อยของความเร็วลม
2. ลูกศรแสดงทิศทางแนวการไหลของอากาศ
3. ตัวเลขกำกับแสดงความเร็วลมในตำแหน่งที่ระบุ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการแสดงผล

3.4.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ในการจำลองสภาพการไหลของอากาศ การวัดความเร็วลมหรือการคำนวณต่างๆในการทดลองความคลาดเคลื่อนสามารถเกิดขึ้นได้ สำหรับการวิจัยนี้ความคลาดเคลื่อนหลักมีอยู่ 3 ส่วน

1. ส่วนในการสร้างอาคารจำลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics : CFD) ซึ่งอาคารถ้ามีความสลับซับซ้อนของลักษณะอาคารหรือรายละเอียดมาก ความคลาดเคลื่อนจึงเกิดขึ้นตามมา

2. ส่วนการวัดความเร็วลมในตำแหน่งที่ต้องการ เนื่องด้วยโปรแกรมได้ใช้วิธีการเฉลี่ยความเร็วลมในพื้นที่จำลองไว้แล้วเพราะฉะนั้นในตำแหน่งที่ต้องการจะหาความเร็วลมนั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ผ่านช่องเปิดขนาดต่างๆ

3. ส่วนการคำนวณของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics : CFD) สามารถกำหนดความละเอียดให้โปรแกรมคำนวณที่ต้องการได้ทั้งด้านความละเอียดของเซลล์อาคารและด้านความละเอียดของจำนวนครั้งในการคำนวณ ถ้ากำหนดความละเอียดมากจะต้องใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นตามลำดับ

3.5 วิธีการเก็บข้อมูล

3.5.1 การเก็บข้อมูลของแต่ละตัวแปร

1. ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งวัดเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี
2. ข้อมูลด้านกายภาพและสภาพแวดล้อมของกรณีศึกษาซึ่งได้จากบริษัทที่ออกแบบอาคารกรณีศึกษา
3. ความเร็วลมได้จากการคำนวณจากโปรแกรมที่ทดสอบ มีหน่วยเป็น m/s
4. ความทั่วถึงในการระบายอากาศพิจารณาจากแนวทอร์ไหลของอากาศและเฉดสี

3.6 วิเคราะห์ข้อมูล

1. จากการศึกษาสภาพการระบายอากาศของแบบทดสอบและอาคารกรณีศึกษาสามารถวิเคราะห์โดยทดสอบการระบายอากาศด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ดังนี้
 - 1) วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศและอัตราการไหลของอากาศในอาคารกับมาตรฐานการควบคุมอัตราการเปลี่ยนอากาศของอาคารใต้ดิน

2. จากการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของช่องเปิดในการระบายอากาศ โดยทดสอบการระบายอากาศด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ดังนี้
 - 1) วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของแบบทดสอบ
 - 2) วิเคราะห์การปรับปรุงขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถของแบบทดสอบ
 - 3) วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกของอาคารกรณีศึกษา
 - 4) วิเคราะห์การปรับปรุงขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถของอาคารกรณีศึกษา

โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการออกแบบช่องเปิดได้แก่

- 1) เปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศในอาคารให้ได้จุดที่เหมาะสม
- 2) เปรียบเทียบกับความถี่ถึงในการระบายอากาศในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

ผลจากการศึกษาการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของช่องเปิดในการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารได้ดินผ่านโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล สามารถนำเสนอผลและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ศึกษาสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากแบบทดสอบที่กำหนดในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ

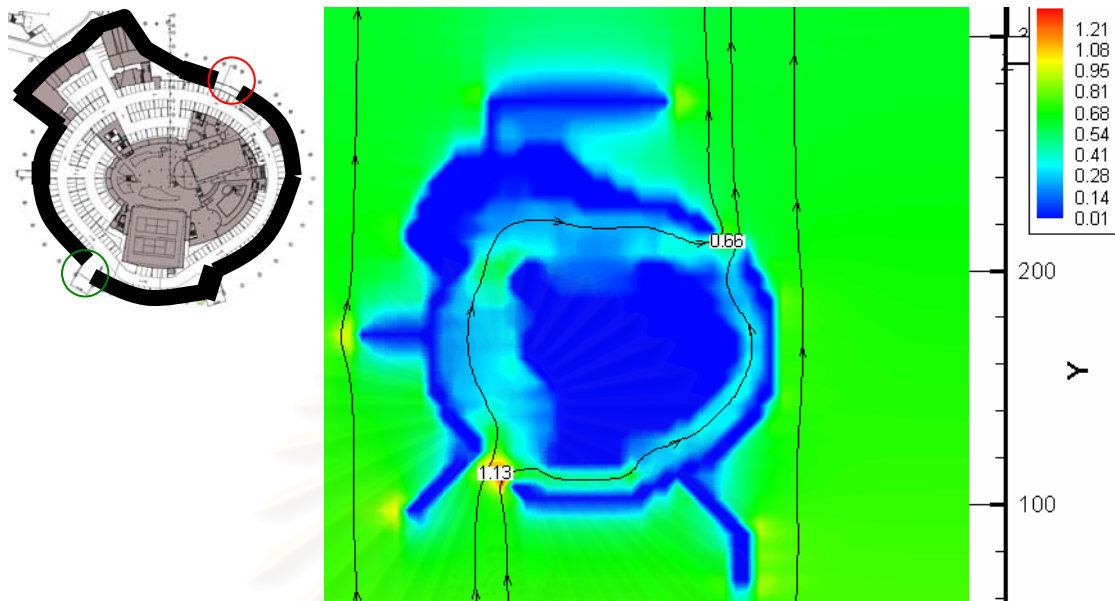
โดยกำหนดแบบทดสอบเพื่อนำผลเป็นตัวเปรียบเทียบไปถึงกับอาคารกรณีศึกษาที่กำหนดโดยสร้างแบบทดสอบที่ควบคุมตัวแปรทางกายภาพพื้นฐานให้เสมือนอาคารกรณีศึกษาและทดสอบช่องเปิดในกรณีต่างๆตามลำดับที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.1.1 ทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก

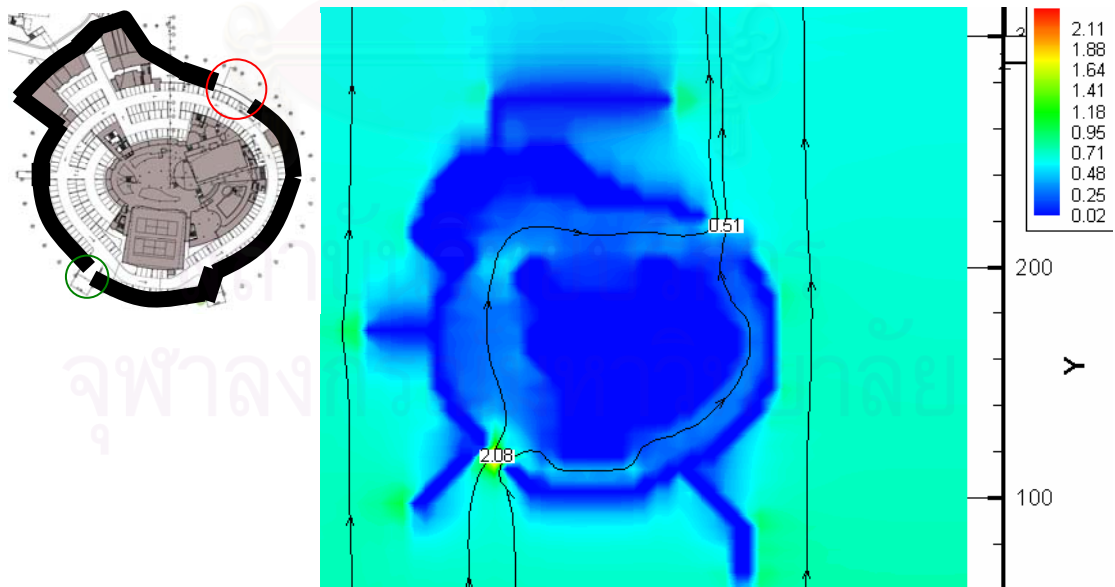
จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของกระแสลมและการสร้างความแตกต่างความดันอากาศเพื่อให้ลมเกิดการเคลื่อนที่เข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิดในหลายลักษณะ จึงเป็นแนวความคิดในการศึกษาและตั้งข้อสมมุติฐานเพื่อทดสอบและนำไปปรับใช้กับอาคารที่ต้องการจะศึกษาต่อไปได้

เริ่มจากตำแหน่งช่องเปิดการระบายอากาศโดยให้ลมพัดผ่าน(cross ventilation) ที่สร้างความแตกต่างความดันอากาศสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคารสร้างการระบายอากาศให้ไหลเวียนได้ จึงจำลองช่องเปิดโดยกำหนดให้เป็นอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกเพื่อหาอัตราส่วนที่ได้อัตราการไหลเวียนอากาศมากที่สุด โดยผลรวมพื้นที่ช่องเปิดลมเข้าและลมออกในทุกอัตราส่วนมีพื้นที่เท่ากัน และเปรียบเทียบจากผลคำนวณปริมาณการไหลของอากาศจากช่องเปิดทางลมเข้า ในแต่ละทิศทางลมที่กำหนด

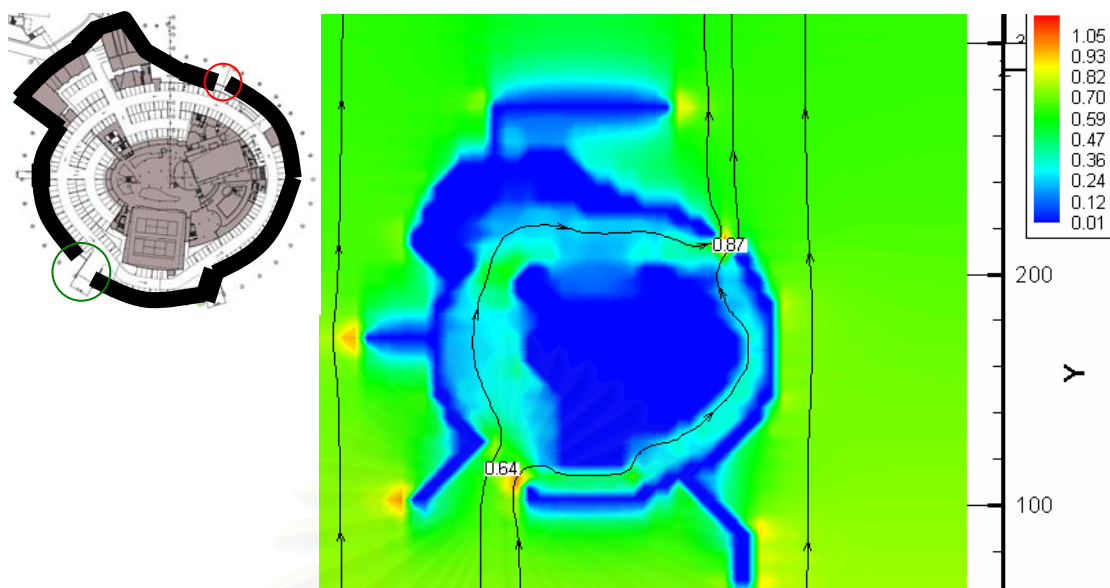
4.1.1.1 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศใต้



รูปที่ 4.1 แผนแบบทดสอบที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (S)



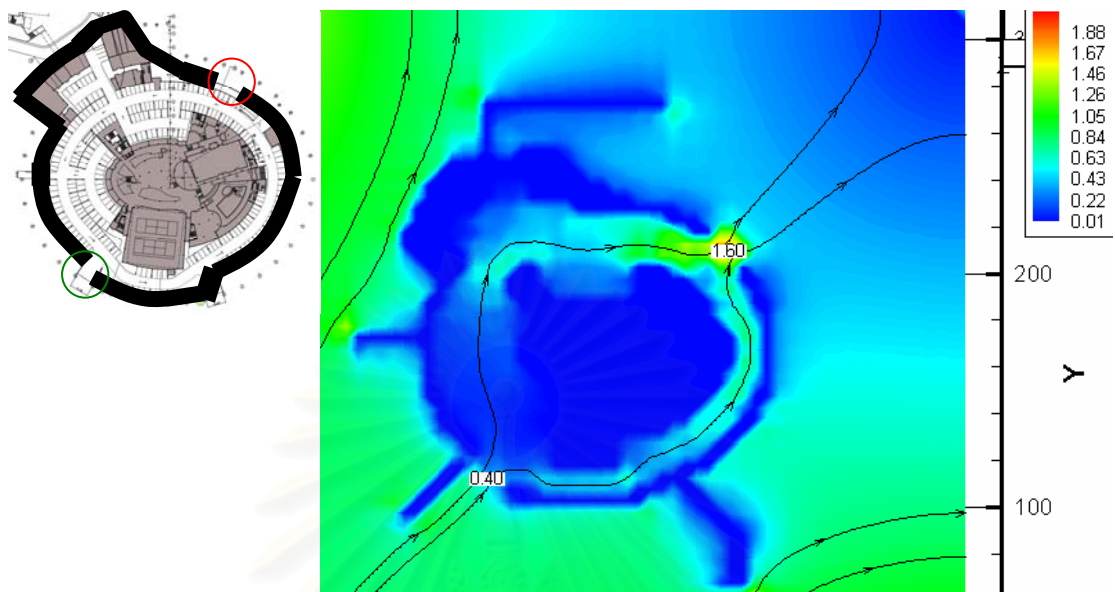
รูปที่ 4.2 แผนแบบทดสอบที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (S)



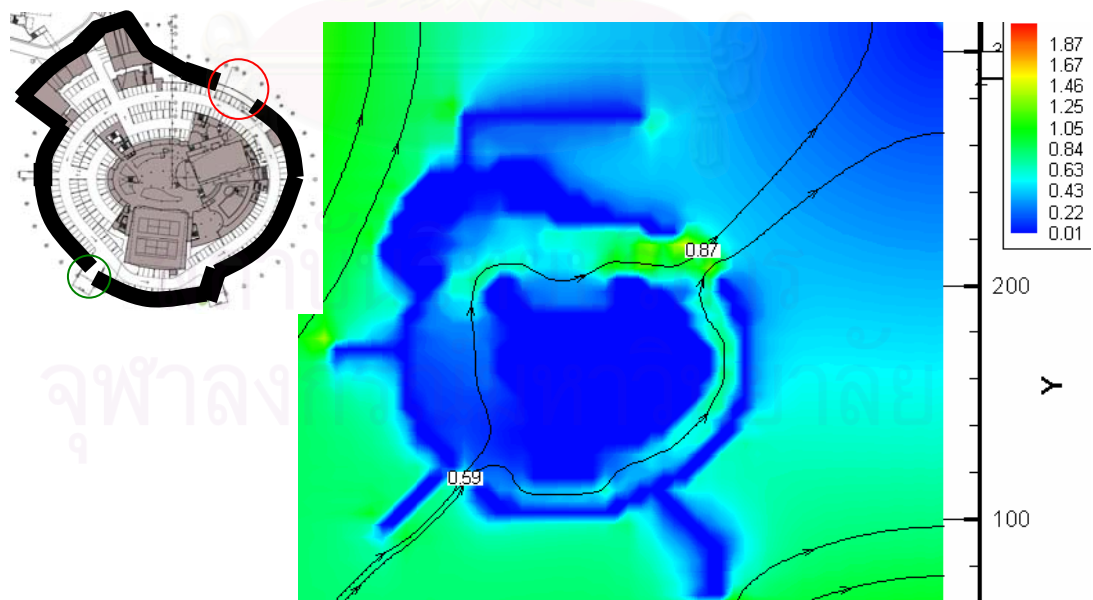
รูปที่ 4.3 แผนแบบทดสอบที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (S)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

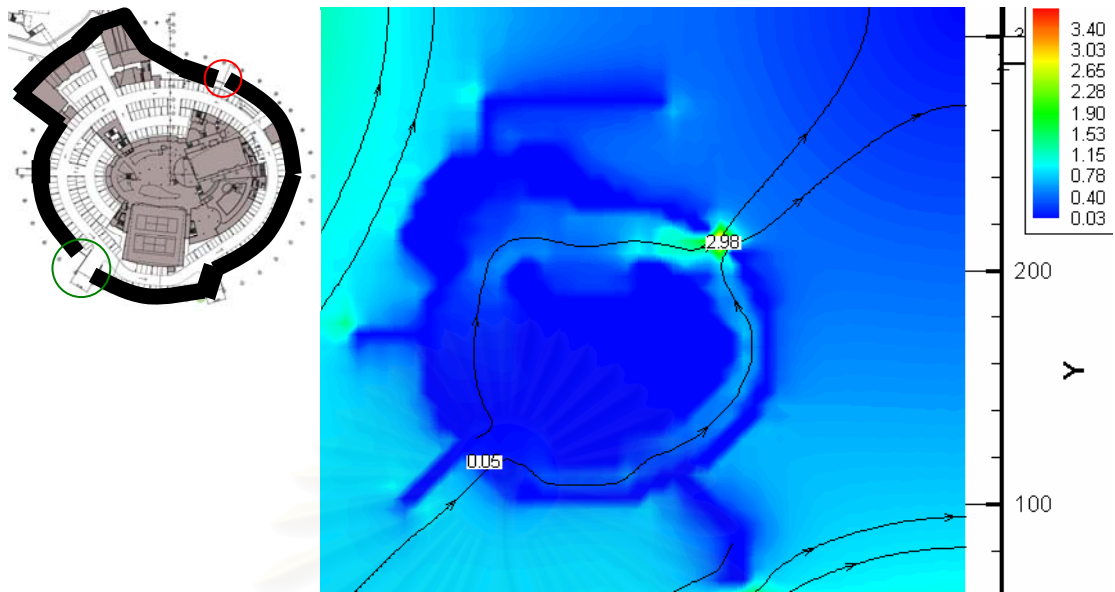
4.1.1.2 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 4.4 แผนแบบทดสอบที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (SW)



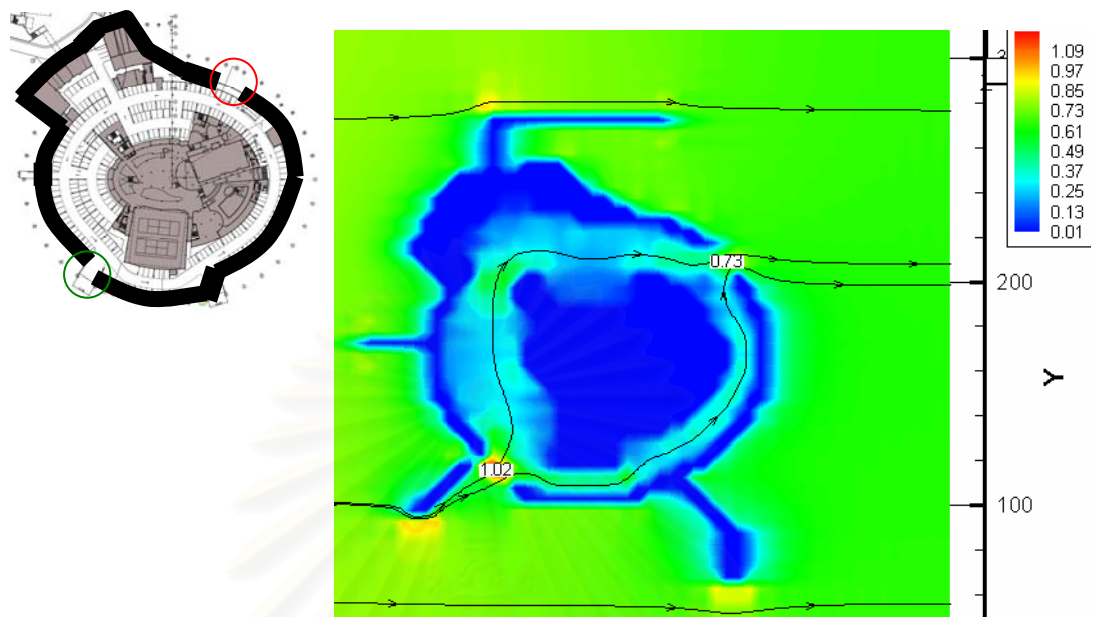
รูปที่ 4.5 แผนแบบทดสอบที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (SW)



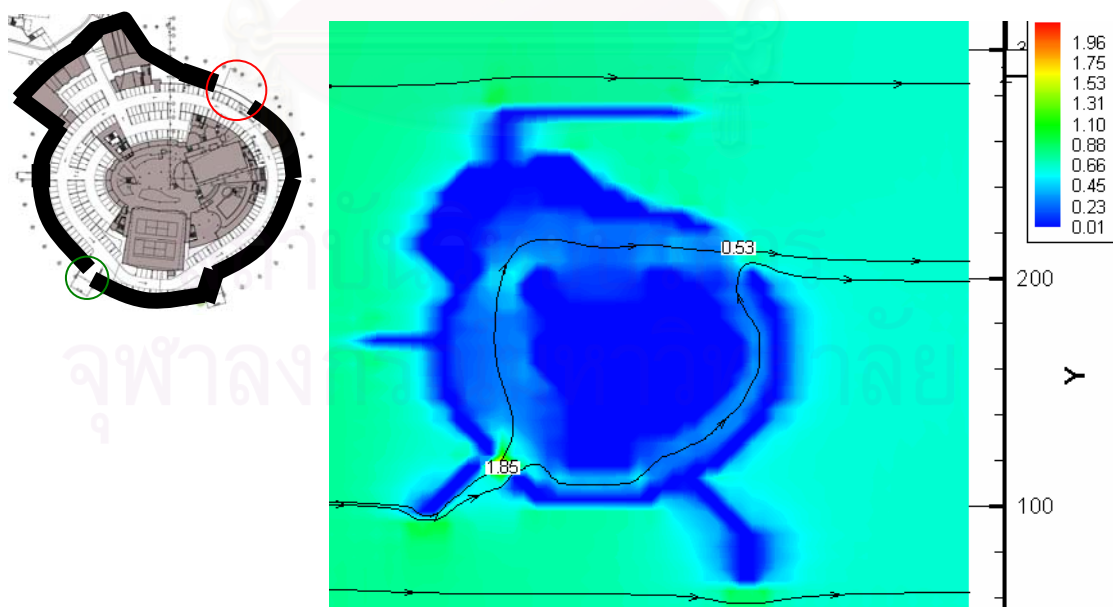
รูปที่ 4.6 แผนแบบทดสอบที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (SW)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

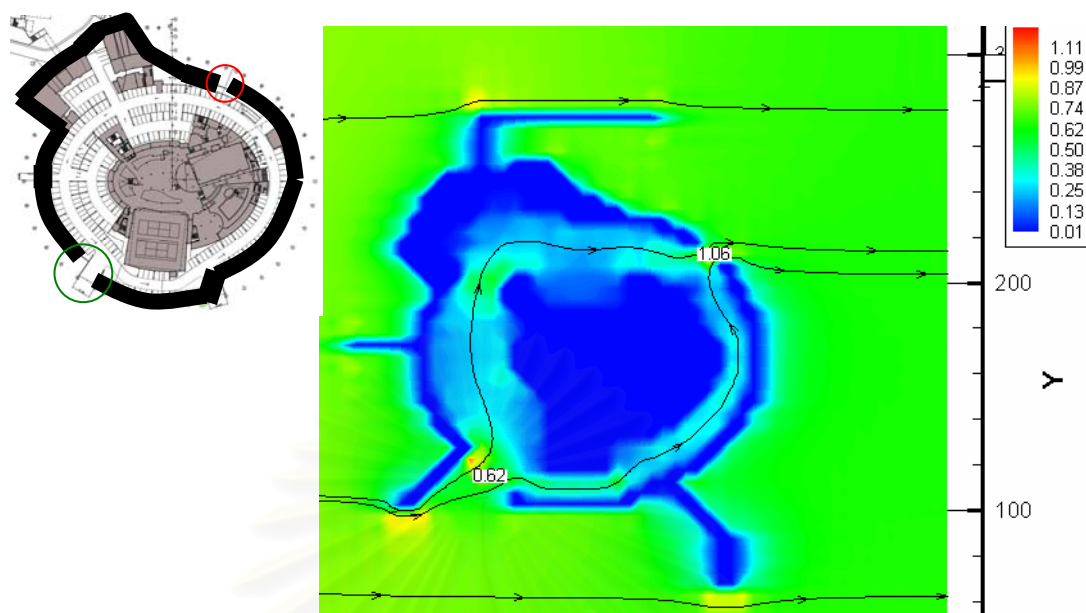
4.1.1.3 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตก



รูปที่ 4.7 แผนแบบทดสอบที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (W)



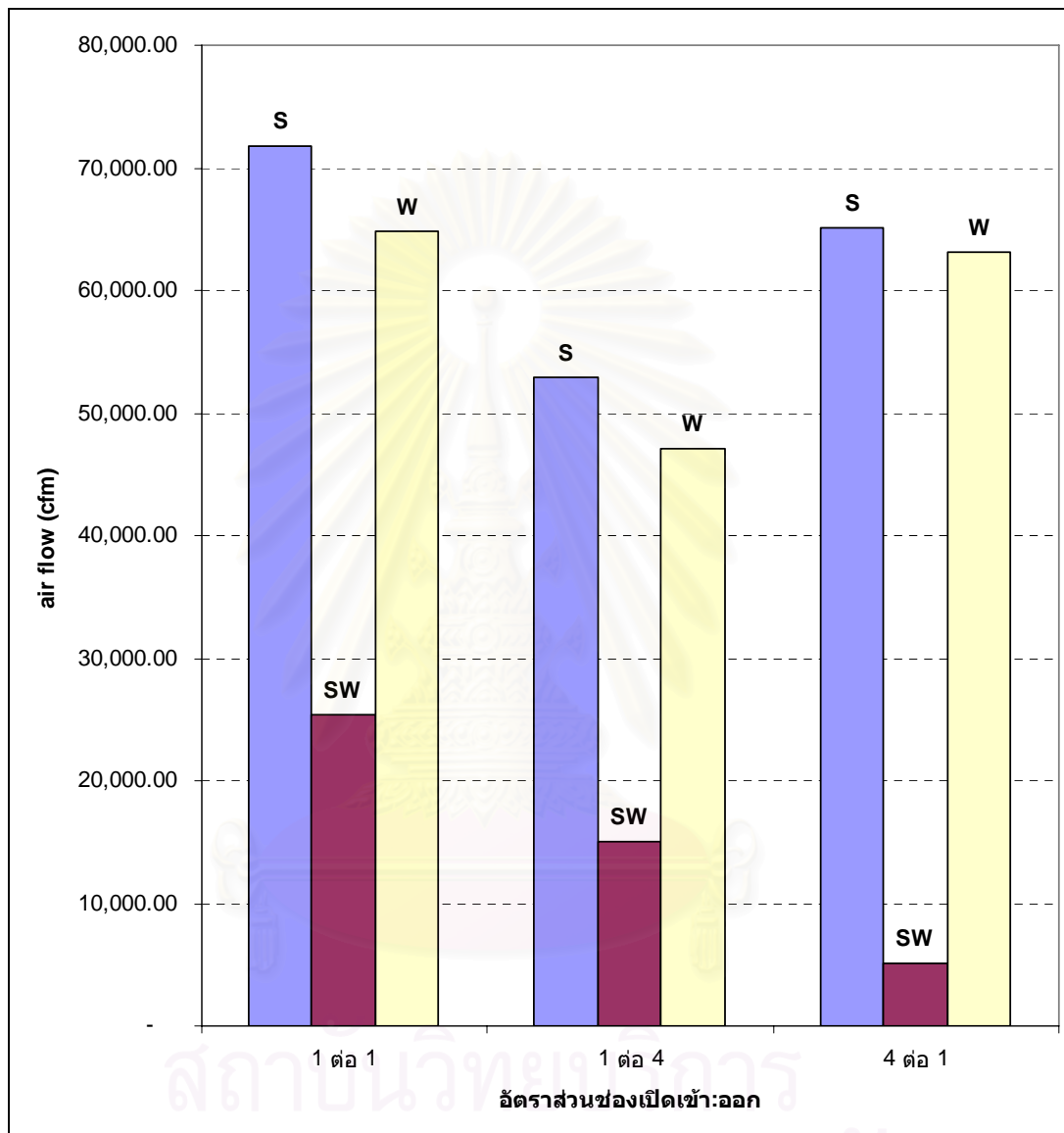
รูปที่ 4.8 แผนแบบทดสอบที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (W)



รูปที่ 4.9 แผนแบบทดสอบที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (W)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1.4 วิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศ



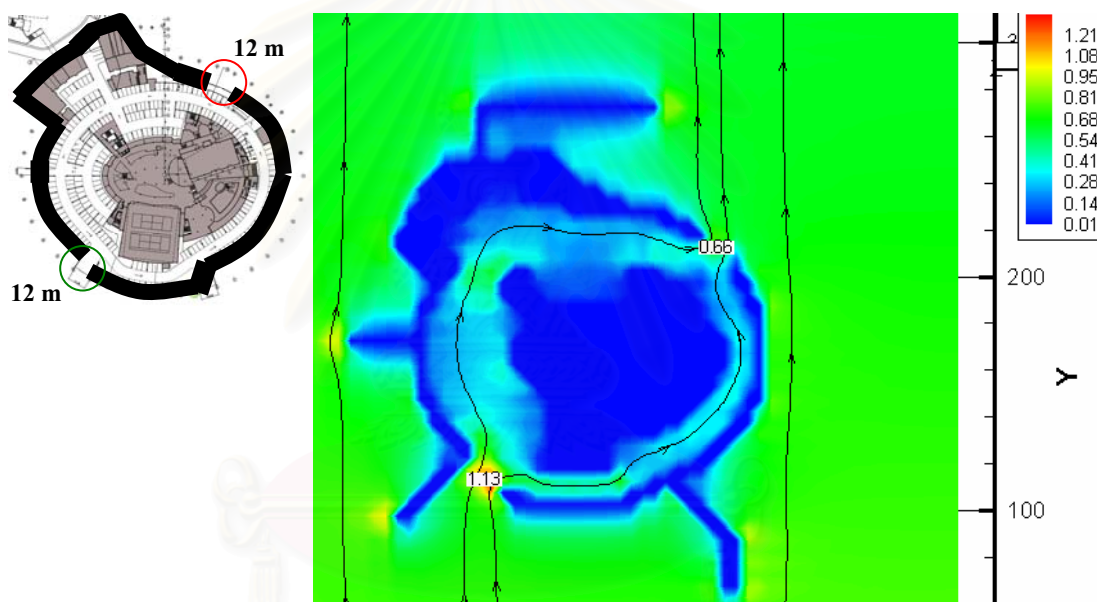
แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศกับ อัตราการไหลของอากาศของแบบทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.1 เห็นได้ว่าช่องเปิดที่มีอัตราส่วนช่องเปิดที่เท่ากันระหว่างทางเข้าและทางออกนั้นจะมีปริมาณการไหลของอากาศมากที่สุดในทุกทิศทางที่ทดสอบโดยทางทิศใต้มีปริมาณสูงกว่าทิศอื่น

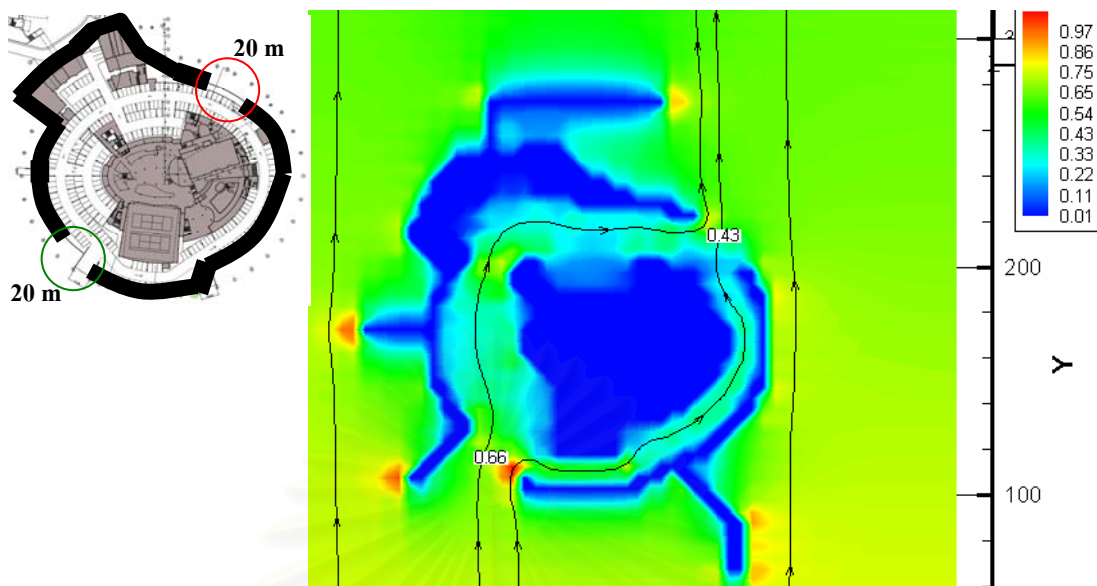
4.1.2 ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

ผลอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดเข้าและออกในการทดสอบข้างต้น เป็นการออกแบบพื้นฐานที่สามารถปรับเปลี่ยนนำไปใช้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการได้เพื่อความเหมาะสม ต่อมาการจะทำให้ได้ขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมกับอาคารใต้ดิน ขนาดช่องเปิดในจุดที่พอเหมาะนั้นจำเป็นอย่างยิ่ง จึงกำหนดสัดส่วนร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังเพื่อหาขนาดช่องเปิดที่ได้ปริมาณการไหลของอากาศตามกำหนด

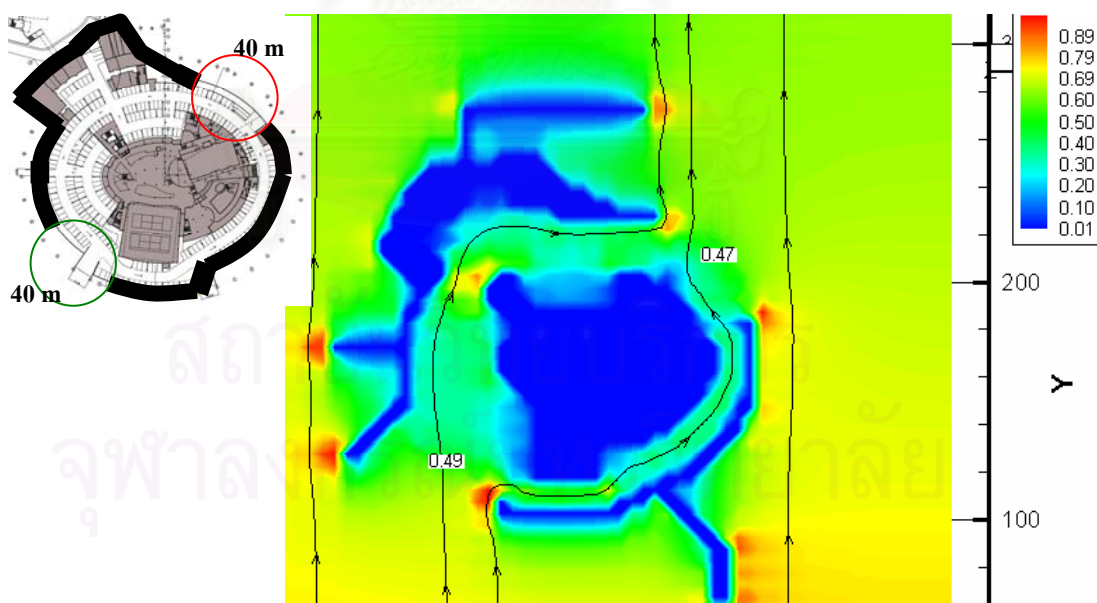
4.1.2.1 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศใต้



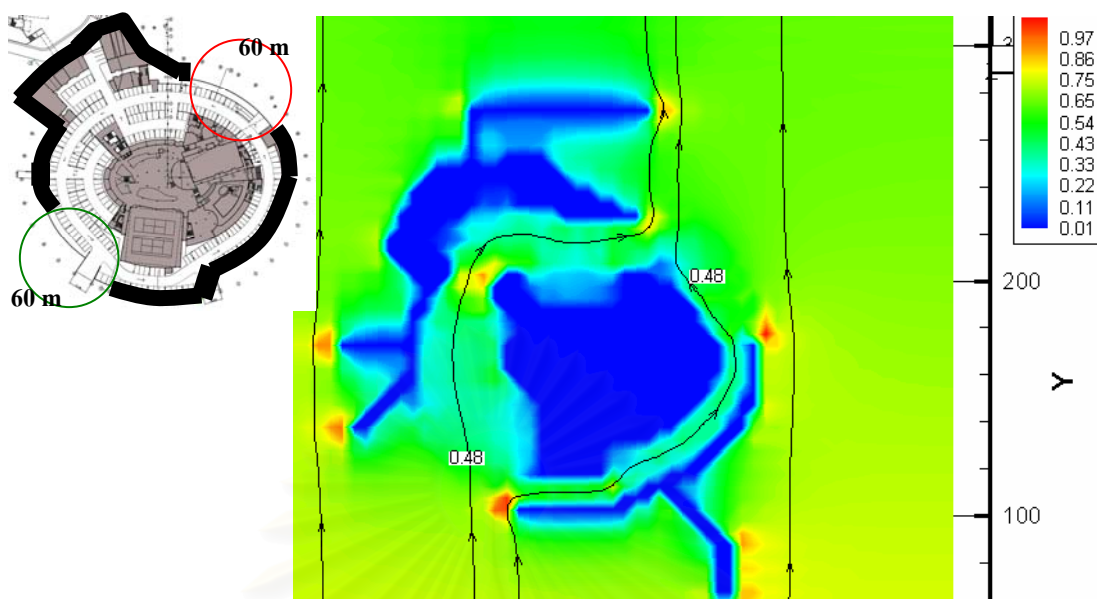
รูปที่ 4.10 แผนแบบทดสอบที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



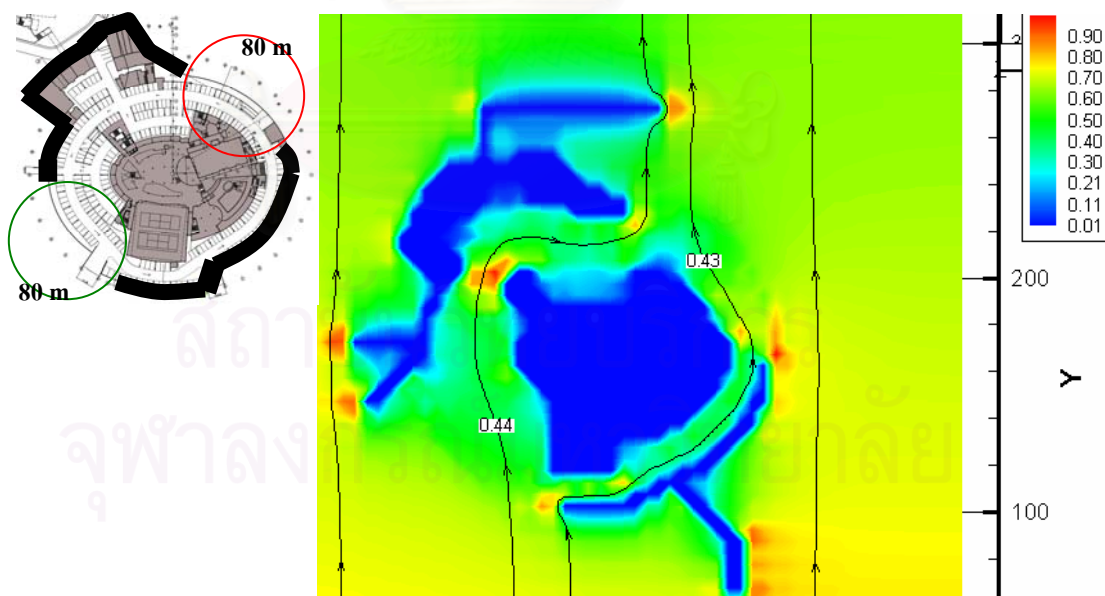
รูปที่ 4.11 แผนแบบทดสอบที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



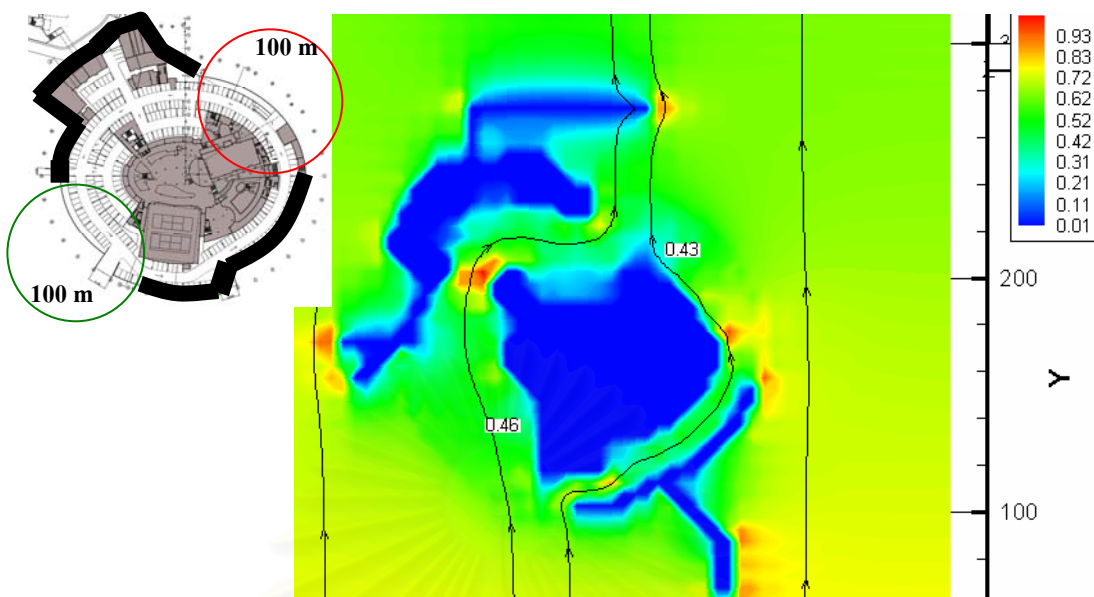
รูปที่ 4.12 แผนแบบทดสอบที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



รูปที่ 4.13 แผนแบบทดสอบที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



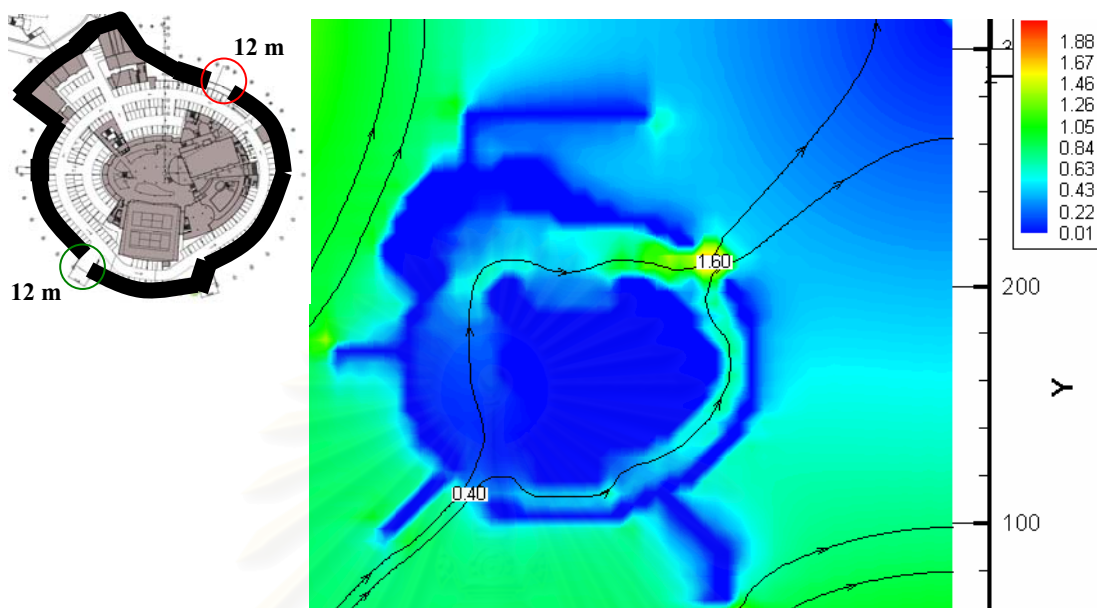
รูปที่ 4.14 แผนแบบทดสอบที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



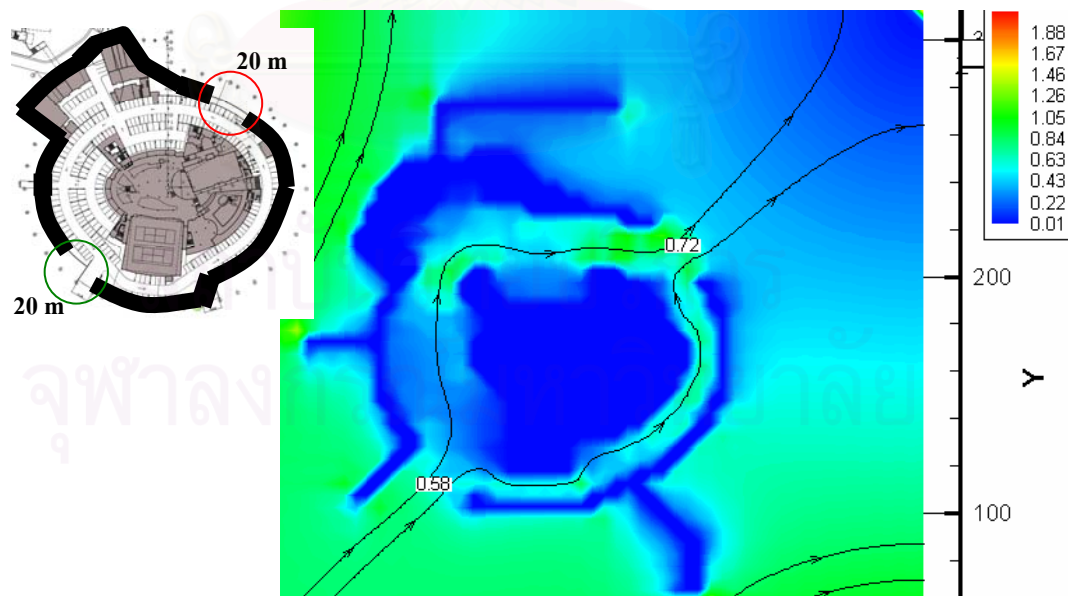
รูปที่ 4.15 แผนแบบทดสอบที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 25 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

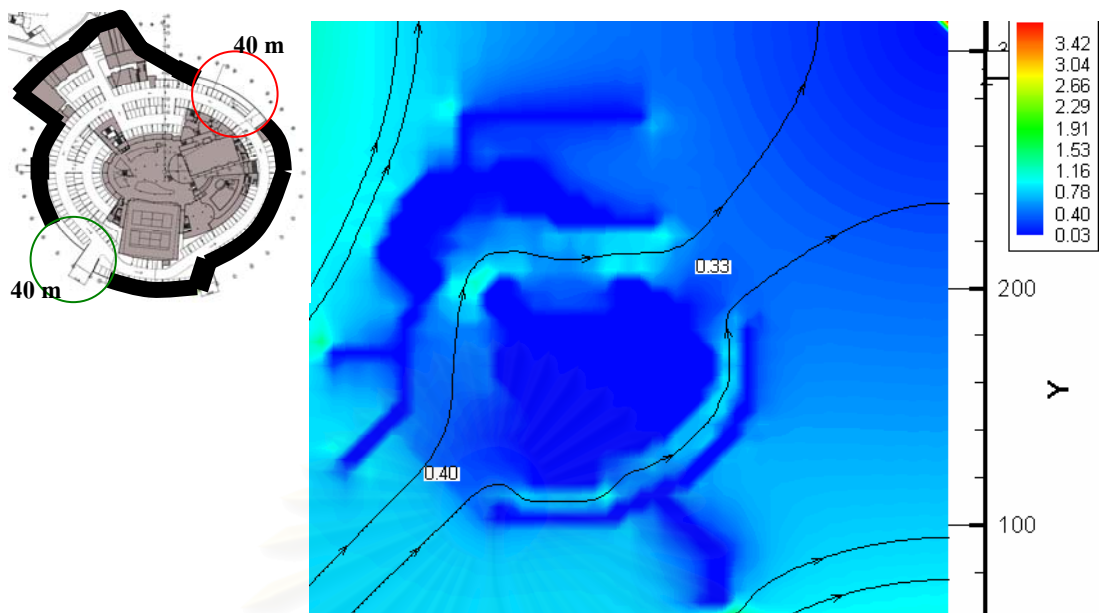
4.1.2.2 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



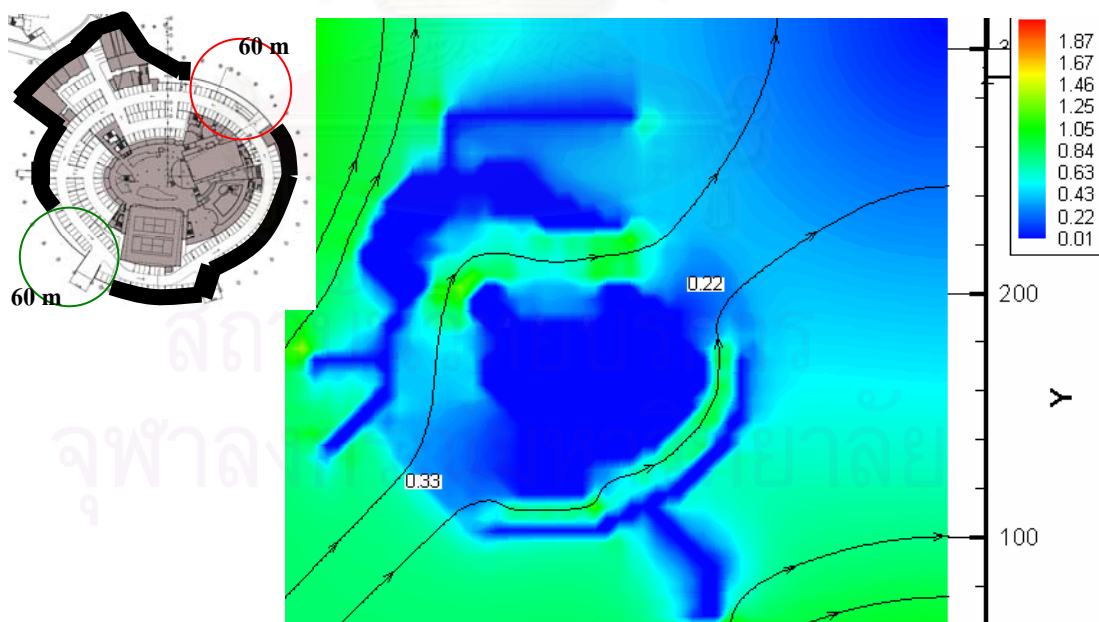
รูปที่ 4.16 แผนแบบทดสอบที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



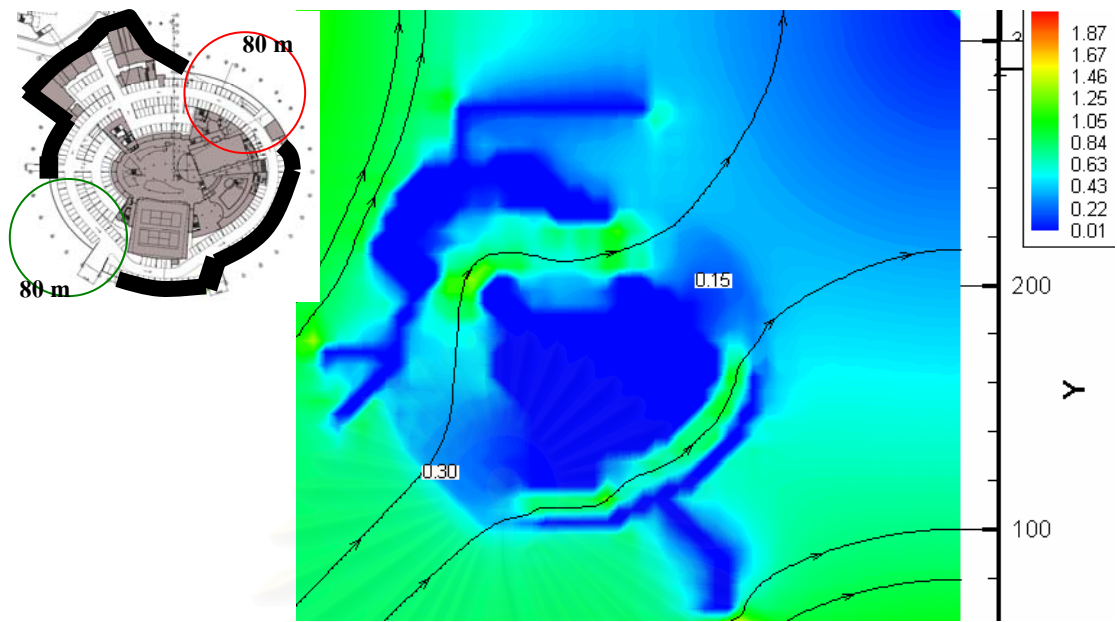
รูปที่ 4.17 แผนแบบทดสอบที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



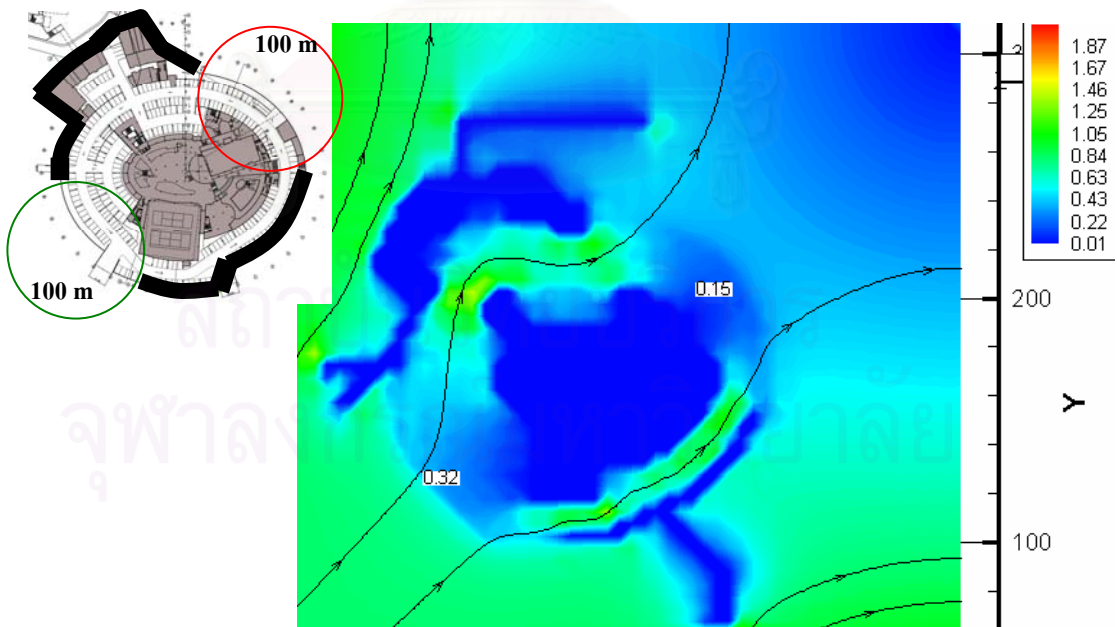
รูปที่ 4.18 แผนแบบทดสอบที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



รูปที่ 4.19 แผนแบบทดสอบที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

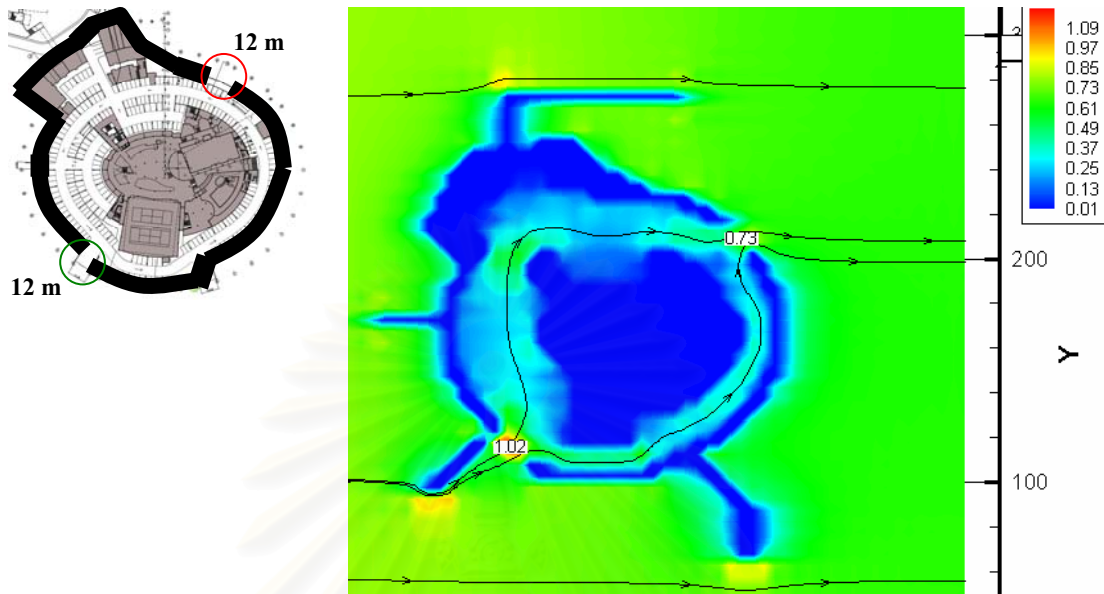


รูปที่ 4.20 แผนแบบทดสอบที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

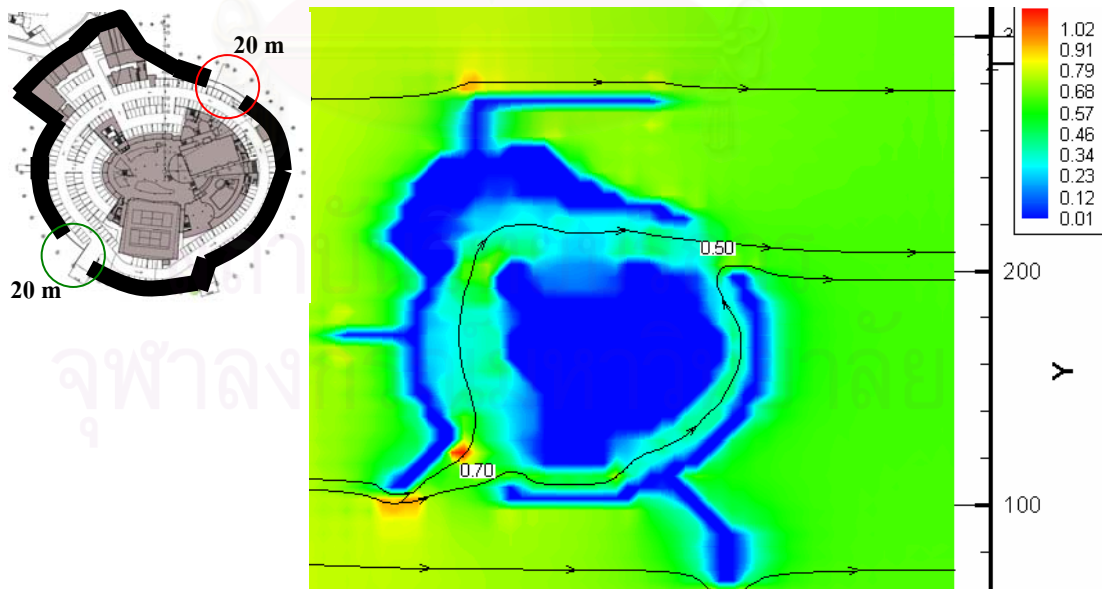


รูปที่ 4.21 แผนแบบทดสอบที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 25 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

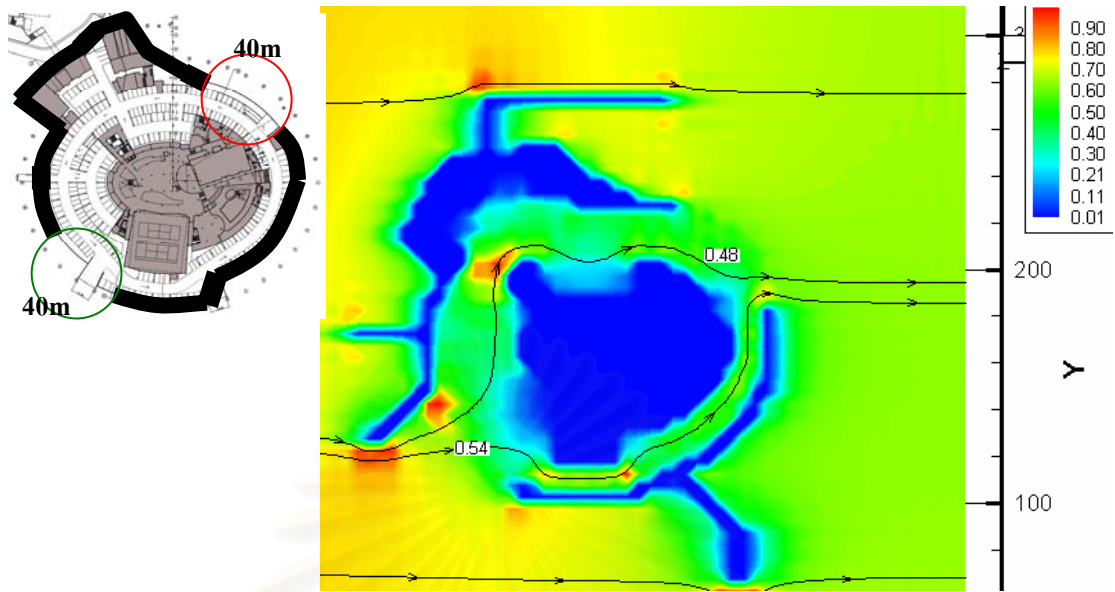
4.1.2.3 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตก



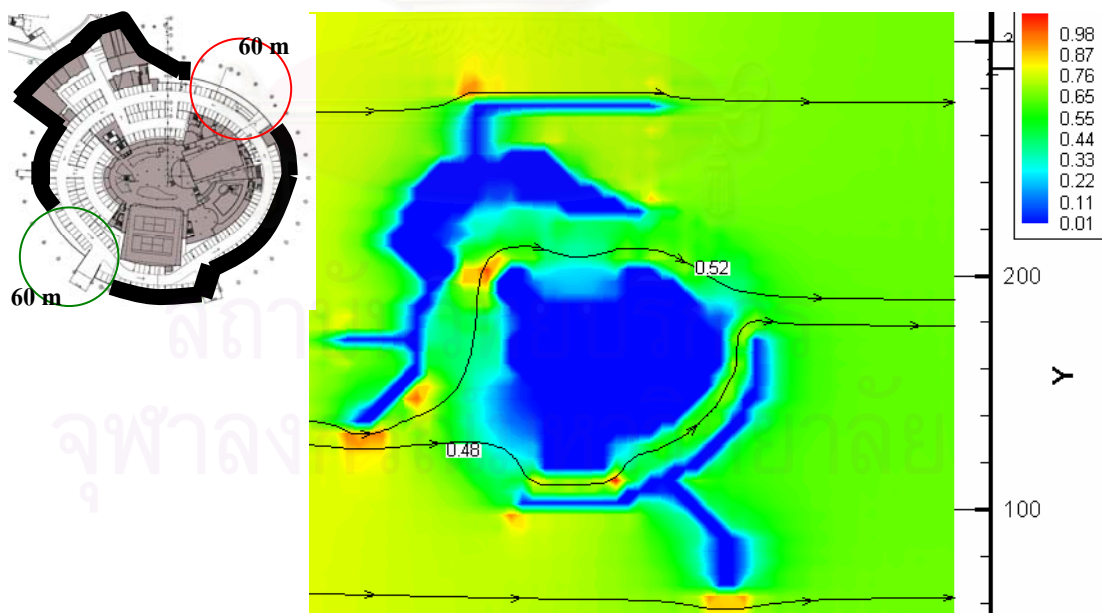
รูปที่ 4.22 แผนแบบทดสอบที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



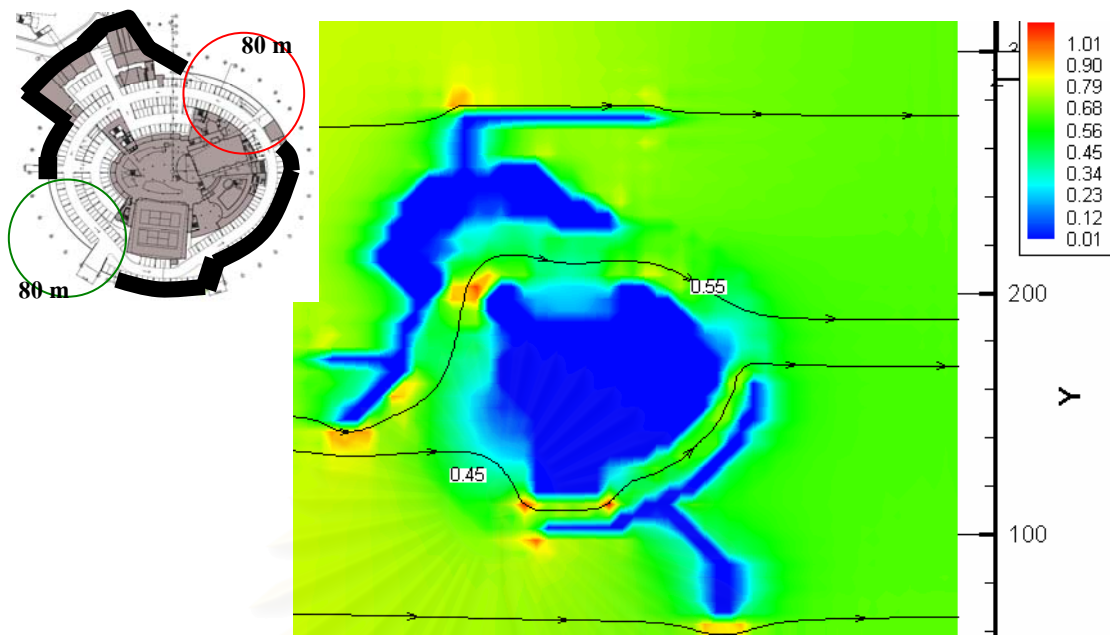
รูปที่ 4.23 แผนแบบทดสอบที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



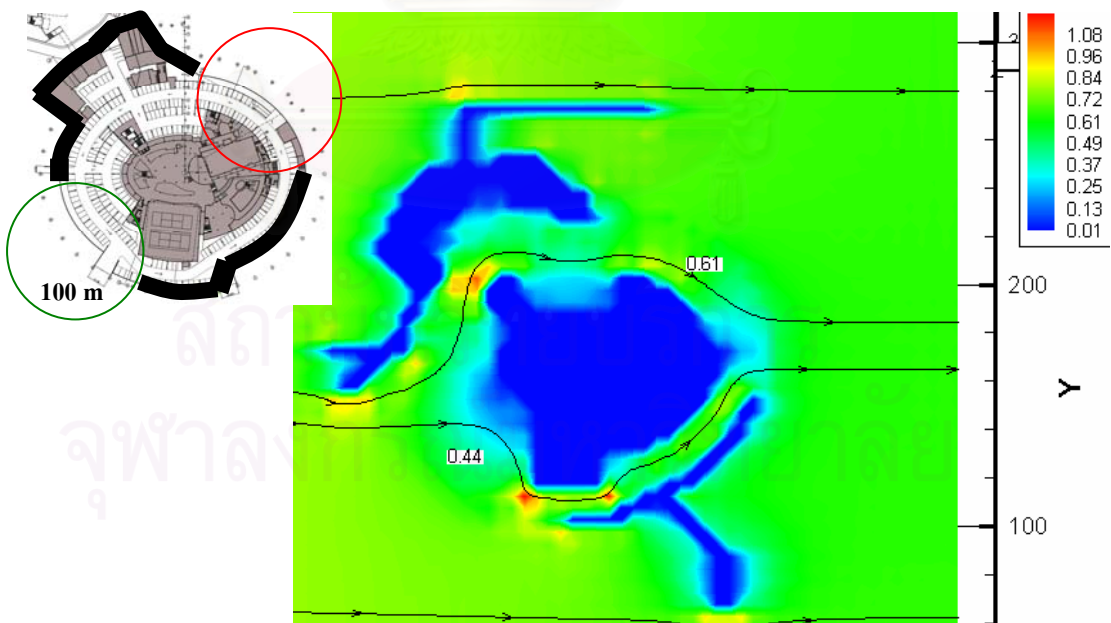
รูปที่ 4.24 แผนแบบทดสอบที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



รูปที่ 4.25 แผนแบบทดสอบที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)

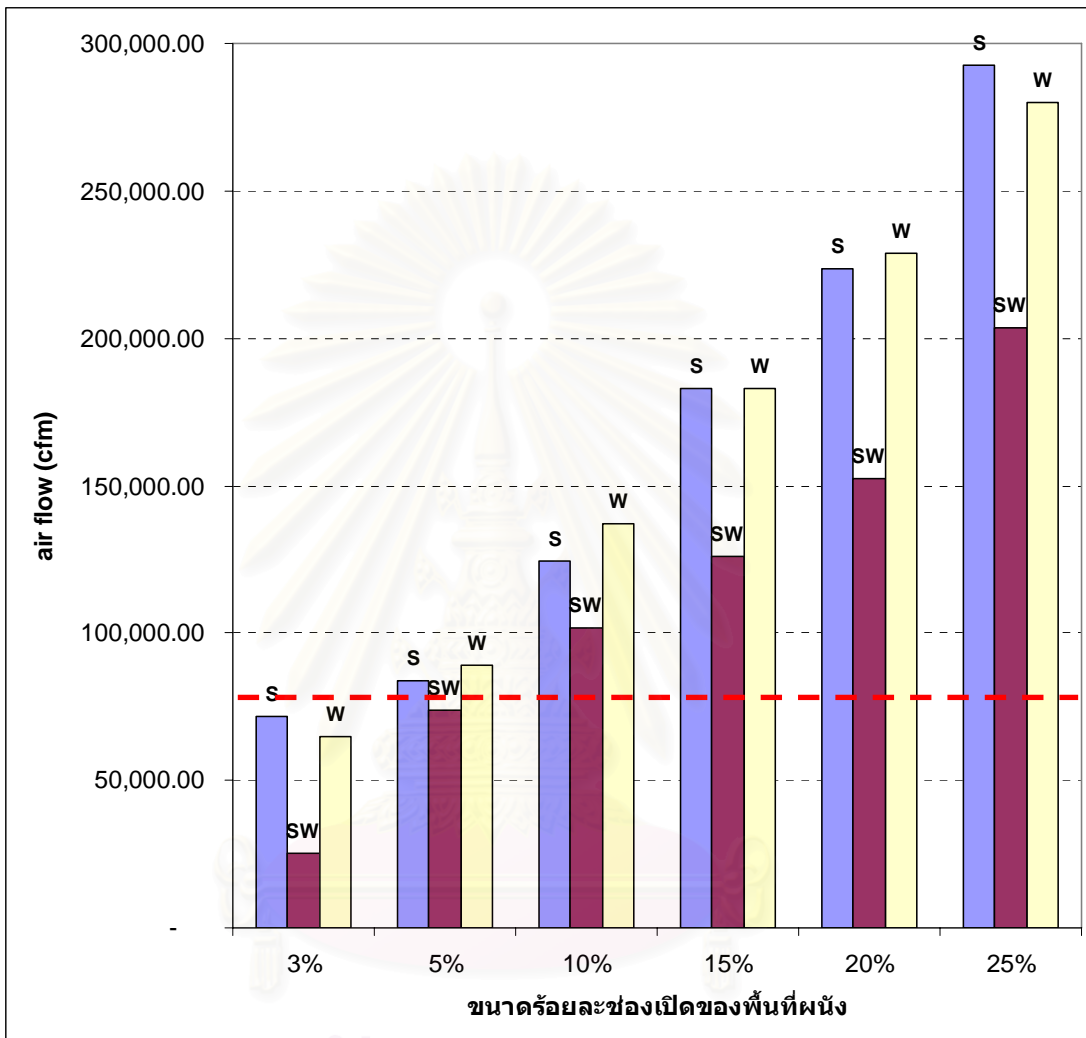


รูปที่ 4.26 แผนนแบบทดสอบที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



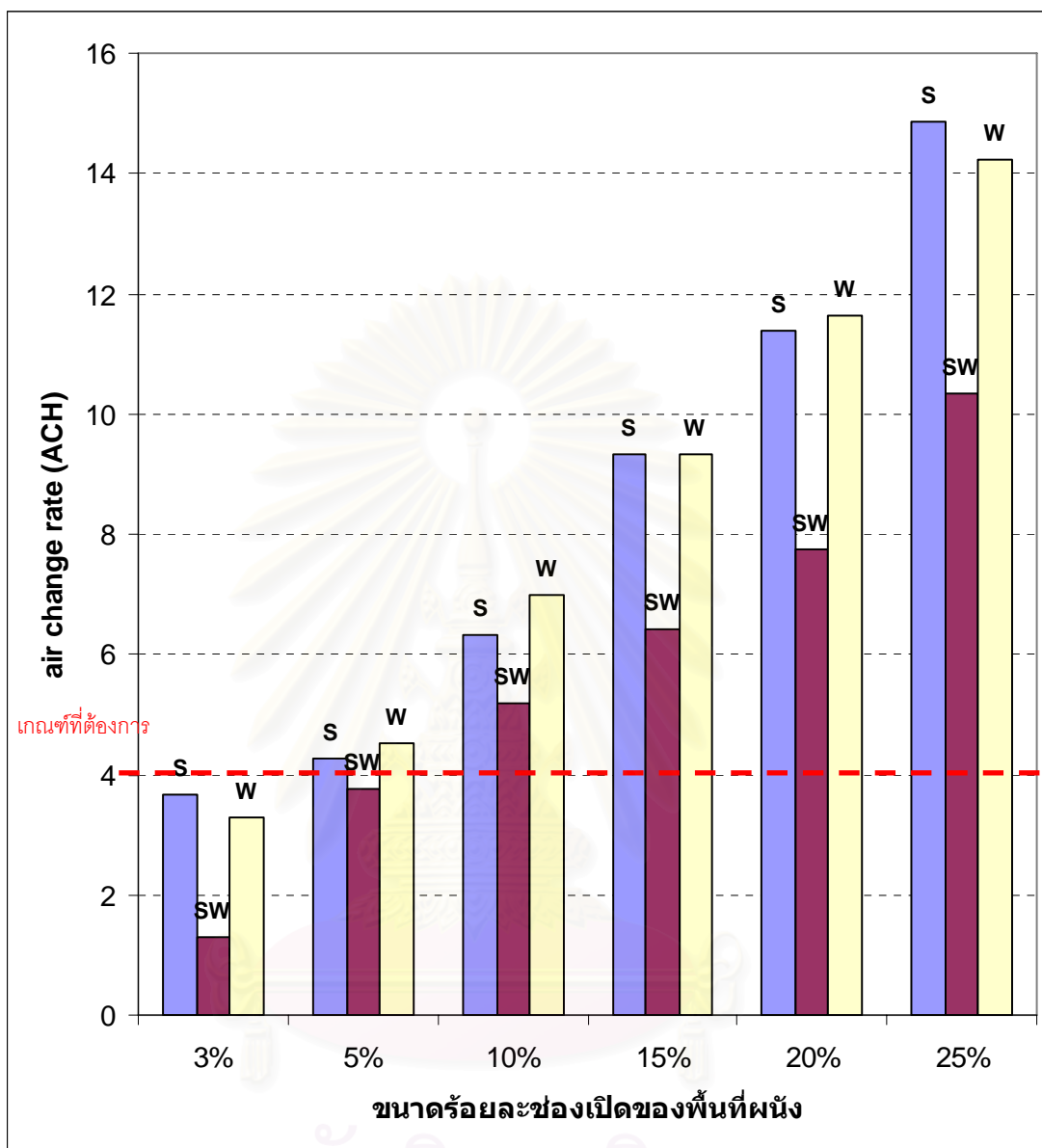
รูปที่ 4.27 แผนนแบบทดสอบที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 25 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)

4.1.2.4 วิเคราะห์ขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตกรถในแต่ละทิศ



แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตกรถในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของแบบทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง เพียงพอกับมาตรฐานการระบายอากาศที่กำหนดในการจำลองมีเพียงทิศทางลมตะวันตกเฉียงใต้ที่ต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย



แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถในแต่ละทิศกับอัตราการเปลี่ยนอากาศของแบบทดสอบ

จากแผนภูมิที่ 4.3 ข้อกำหนดมาตรฐานการระบายอากาศอาคารจอดรถได้ดินไม่ต่ำกว่า 4 ACH/hr จากคำนวณที่ตำแหน่งช่องเปิดลมเข้า พบว่าสัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังเพียงพอกับอัตราการเปลี่ยนอากาศ

การปรับใช้กับอาคารกรณีศึกษา

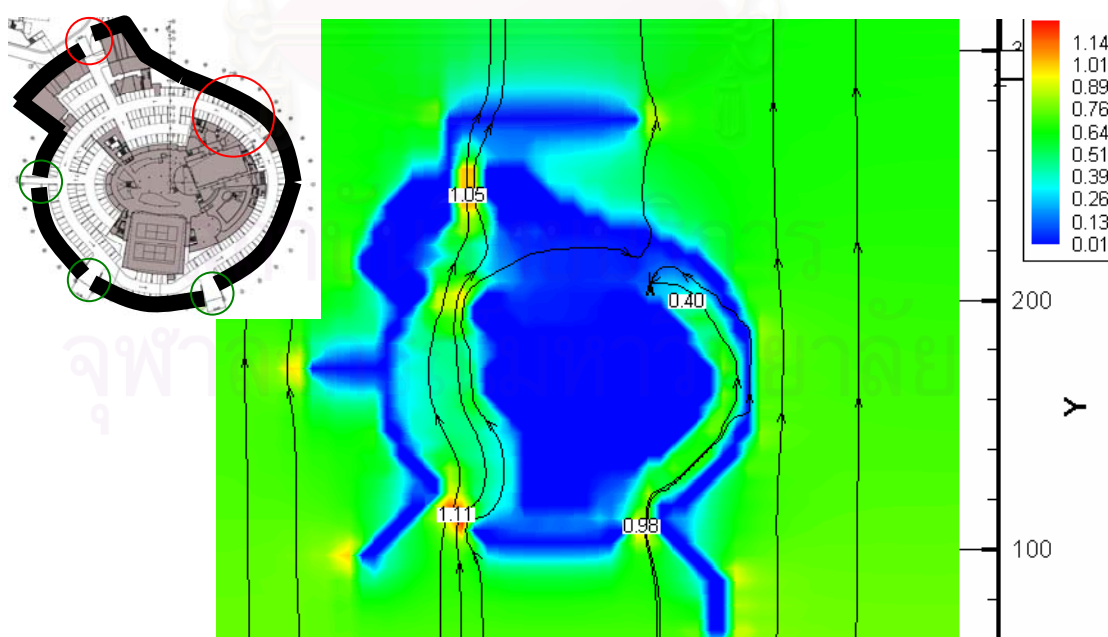
4.2 ศึกษาสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากอาคารกรณีศึกษาที่กำหนดในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ

เนื่องจากตามวัตถุประสงค์ต้องการนำความรู้ที่ได้ศึกษาเรื่องการเคลื่อนไหวของกระแสลมและการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ จากทฤษฎีที่ทำการศึกษาและการทดลองทดสอบตามสมมติฐานจากแบบทดสอบข้างต้น สามารถมาปรับใช้และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับอาคารกรณีศึกษาที่กำหนด เพื่อหาแนวทางการออกแบบปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดให้ใช้ประโยชน์จากธรรมชาติมาสร้างคุณภาพอากาศที่ดีให้ผู้ใช้อาคาร โดยศึกษาจากการคำนวณอัตราการไหลของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ช่องเปิดเข้าร่วมถึงปริมาณการไหลเวียนอากาศภายในเพื่อความทั่วถึงในอาคารด้วย

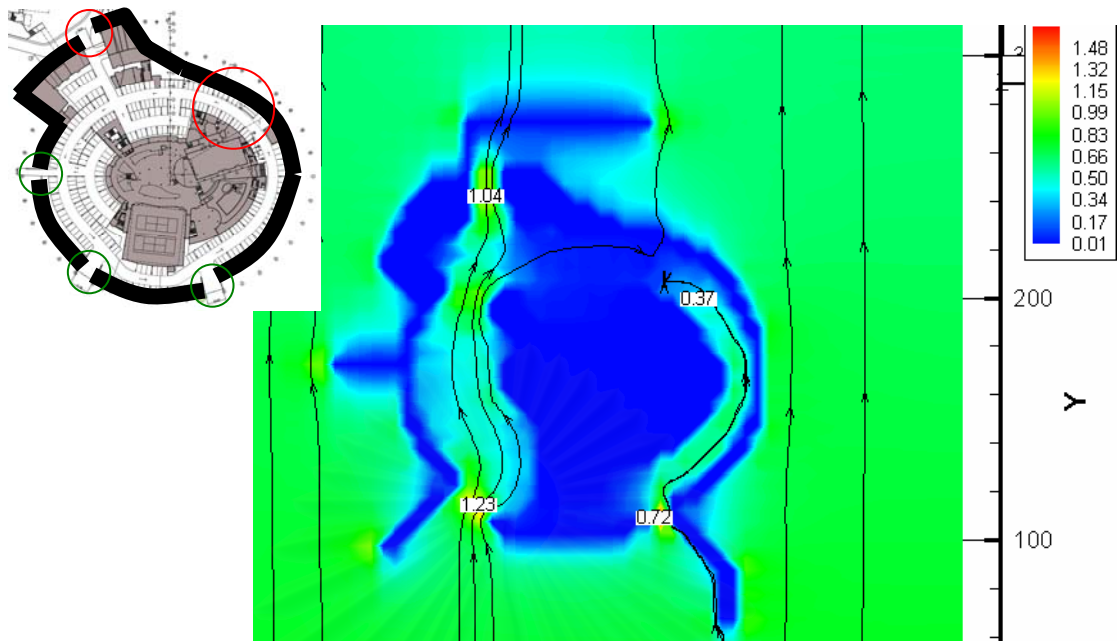
4.2.1 ทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก

โดยการทดสอบต้องการปรับใช้กับสภาพช่องเปิดที่มีของอาคารกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับแบบทดสอบข้างต้นเพื่อหาแนวทางปรับปรุง

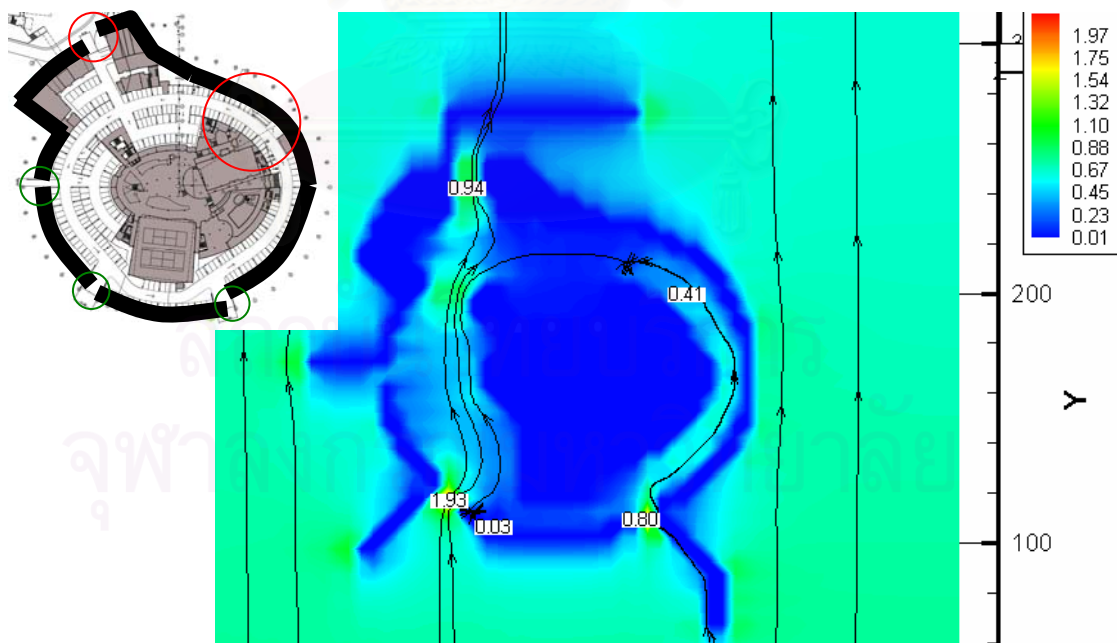
4.2.1.1 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศใต้



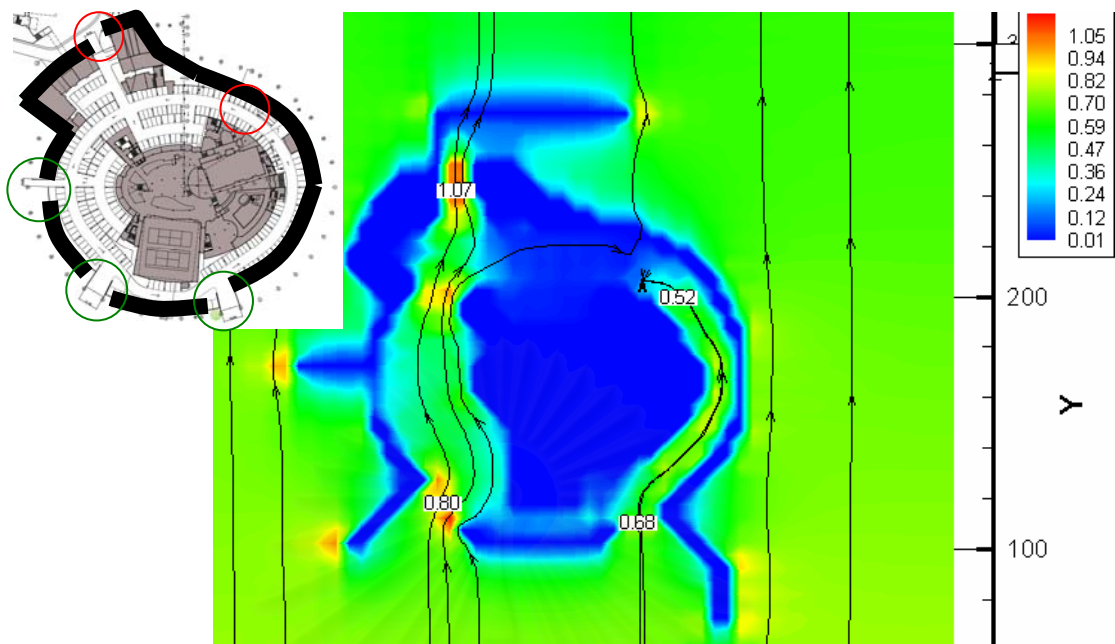
รูปที่ 4.28 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (S)



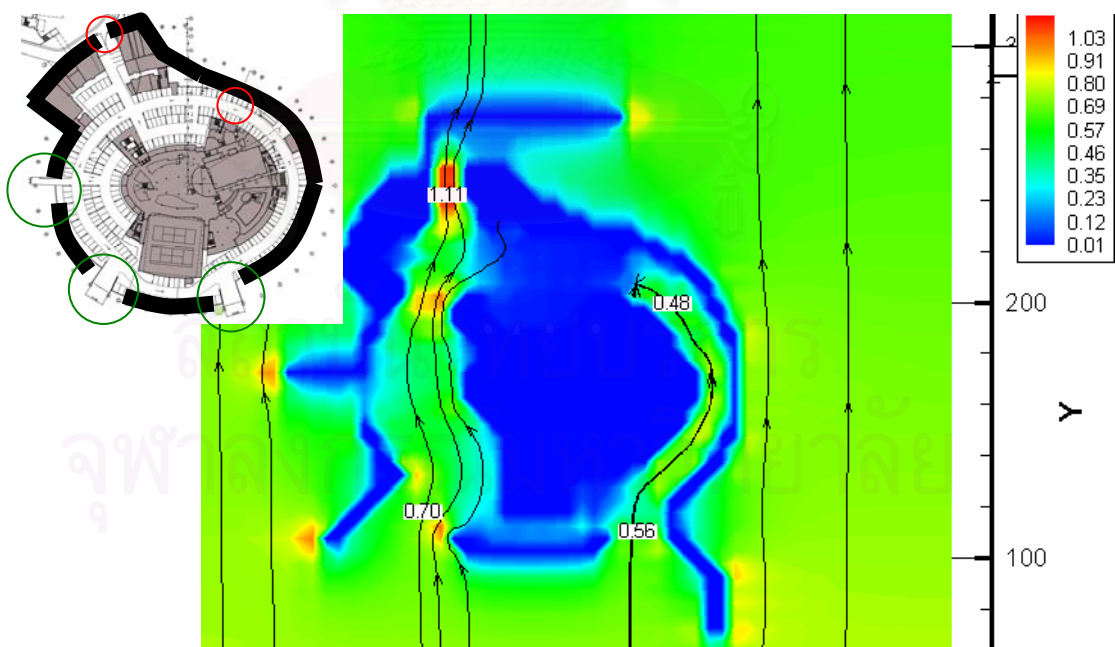
รูปที่ 4.29 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:2 (S)



รูปที่ 4.30 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (S)

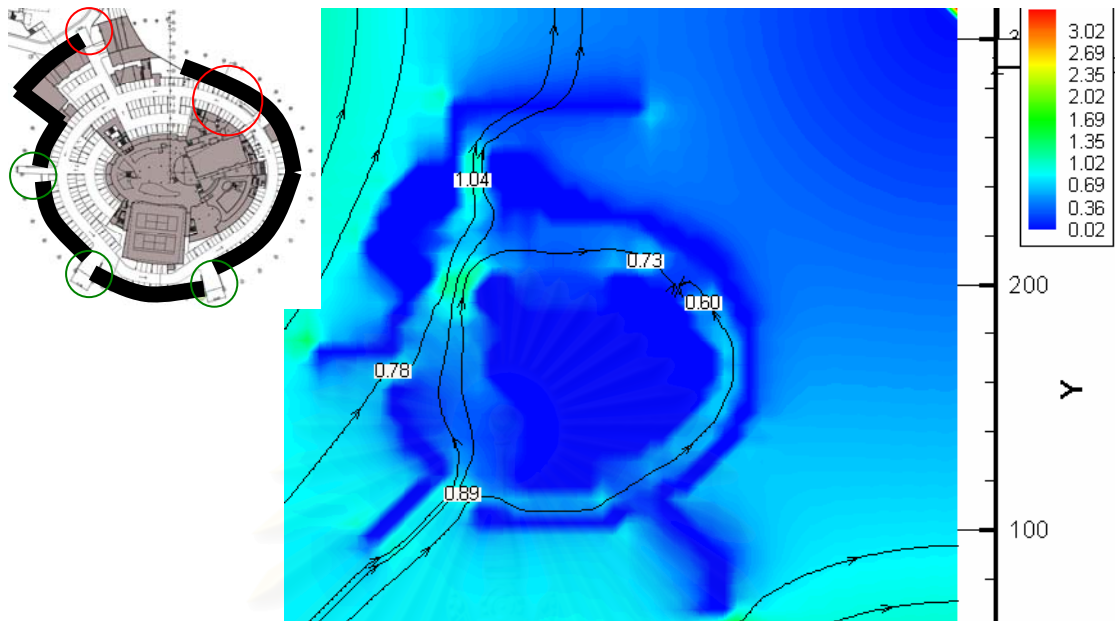


รูปที่ 4.31 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 2:1 (S)

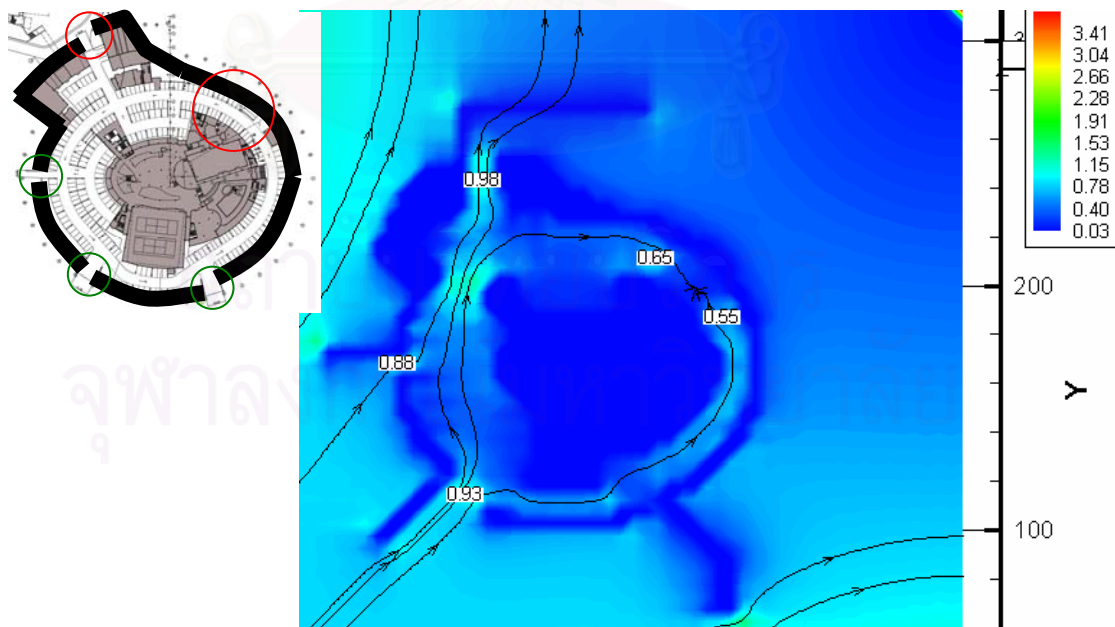


รูปที่ 4.32 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (S)

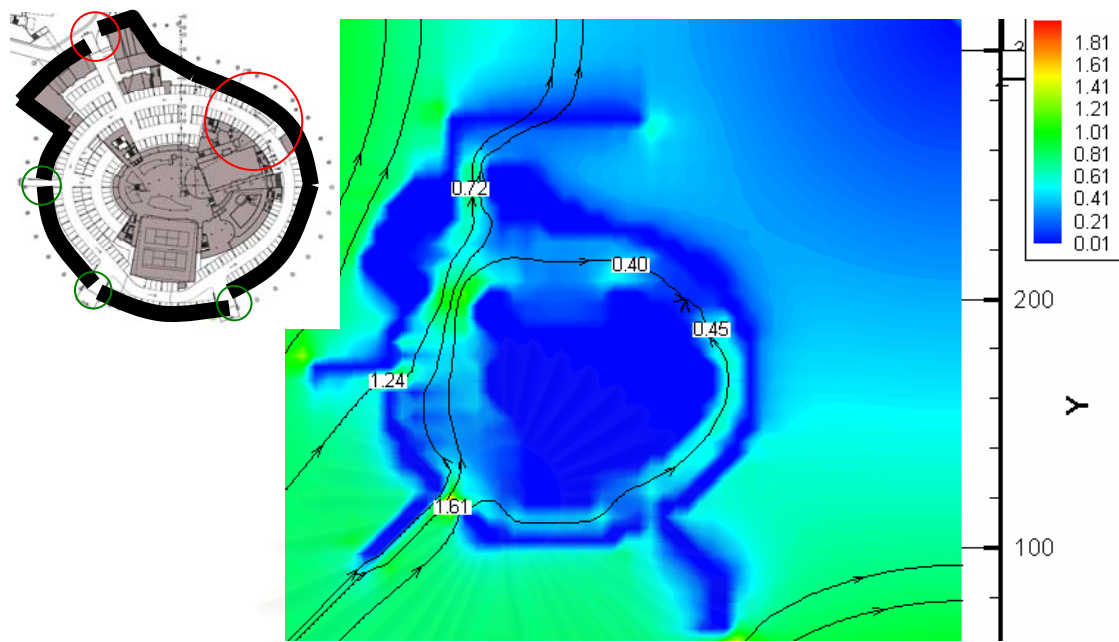
4.2.1.2 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



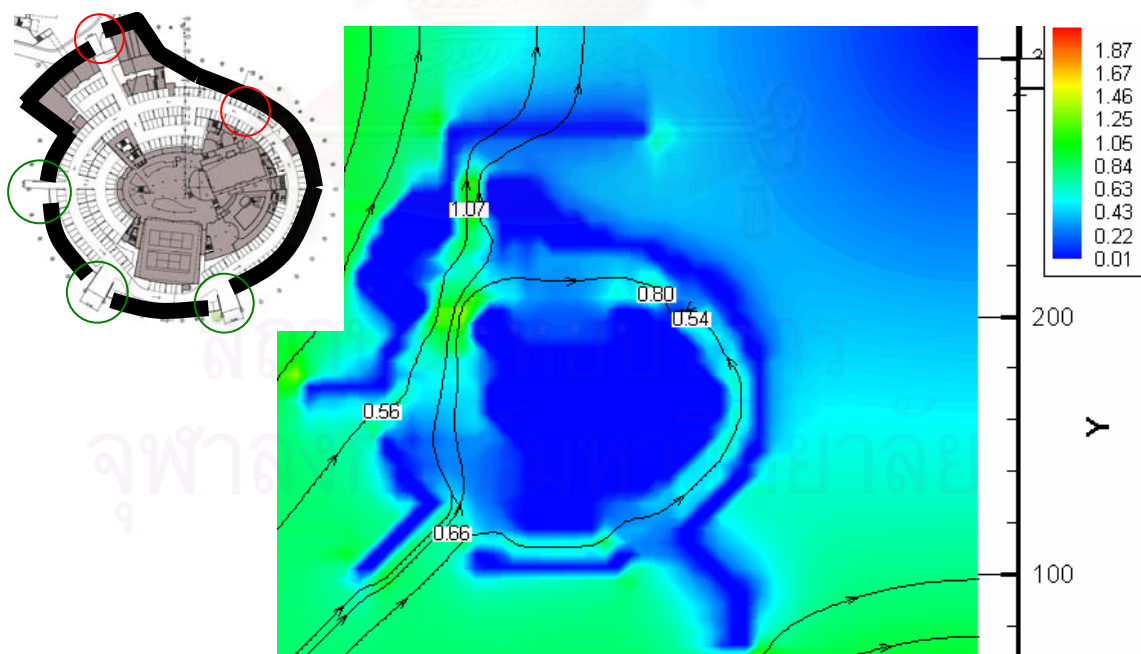
รูปที่ 4.33 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (SW)



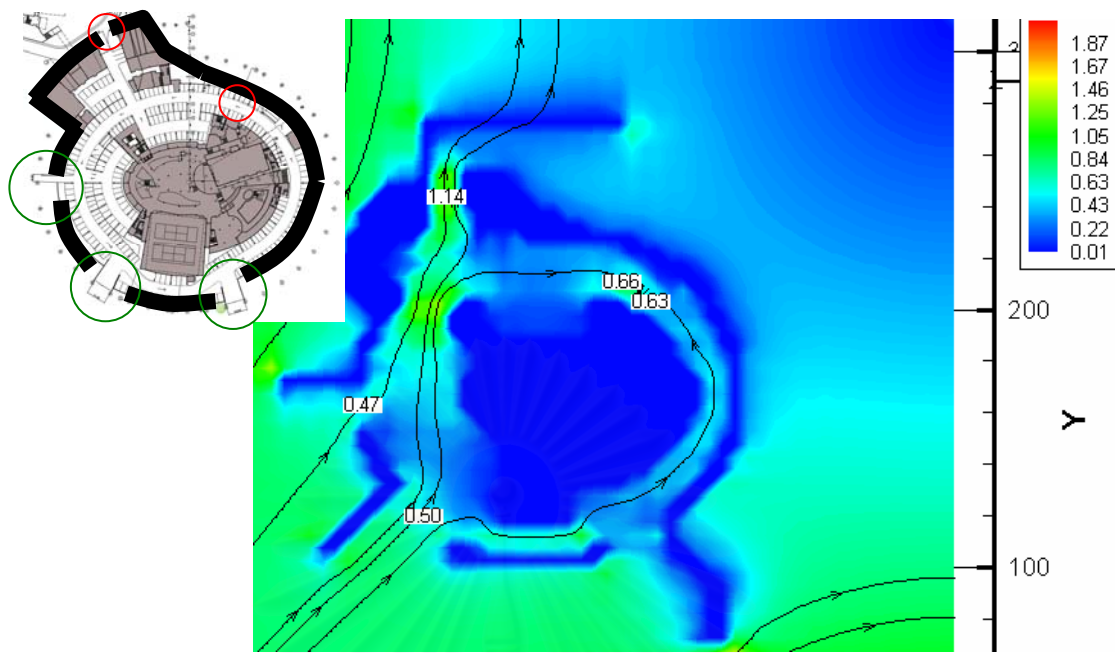
รูปที่ 4.34 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:2 (SW)



รูปที่ 4.35 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (SW)



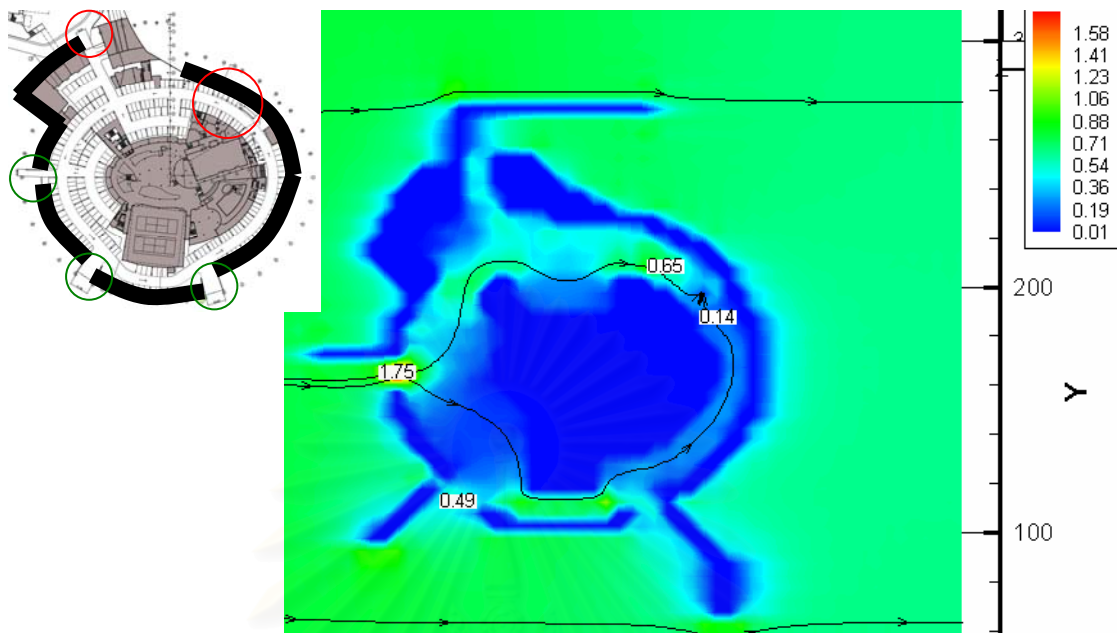
รูปที่ 4.36 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 2:1 (SW)



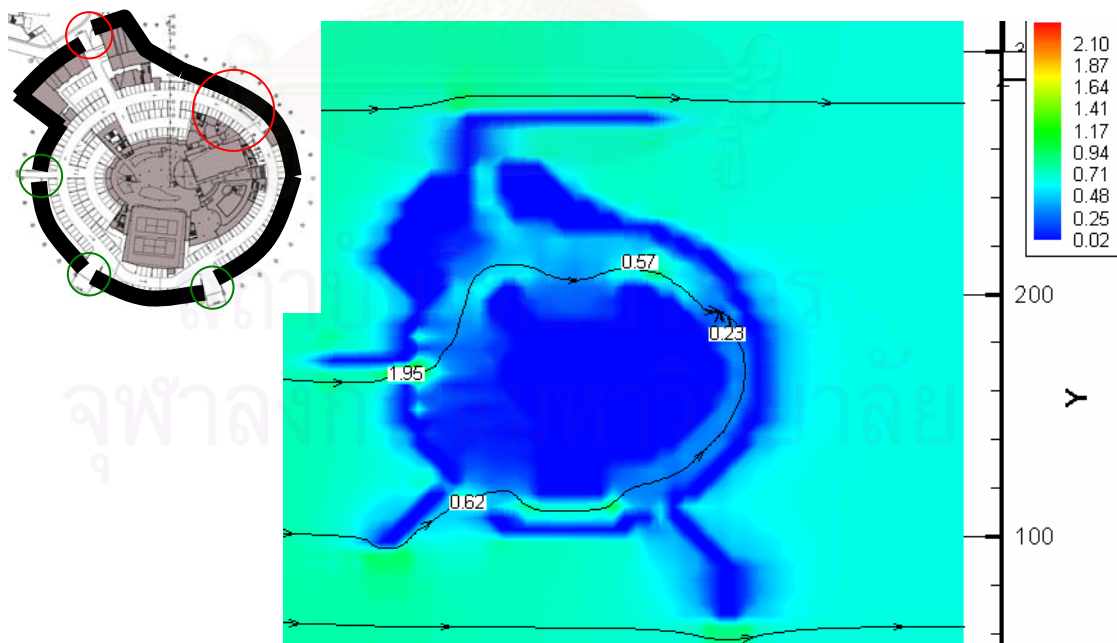
รูปที่ 4.37 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (SW)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

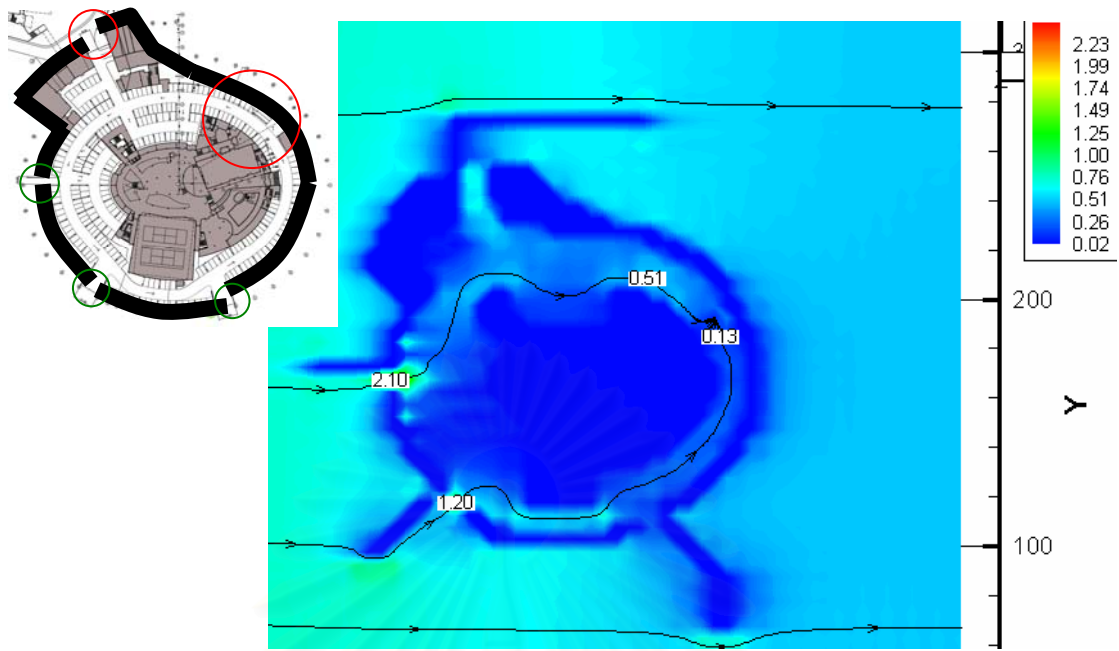
4.2.1.3 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตก



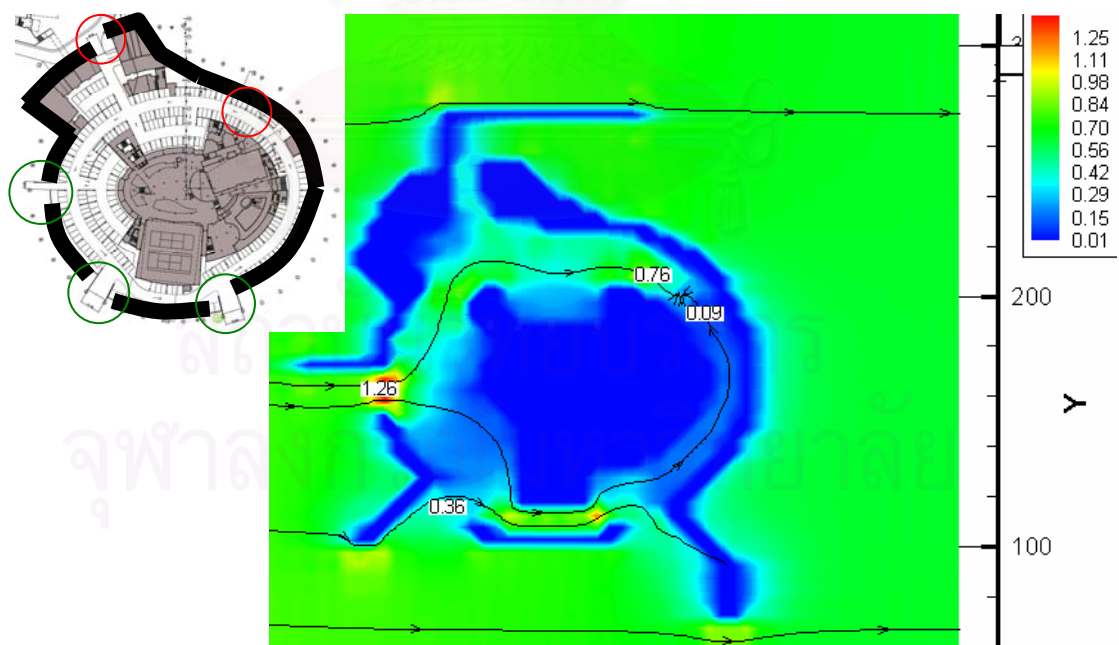
รูปที่ 4.38 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:1 (W)



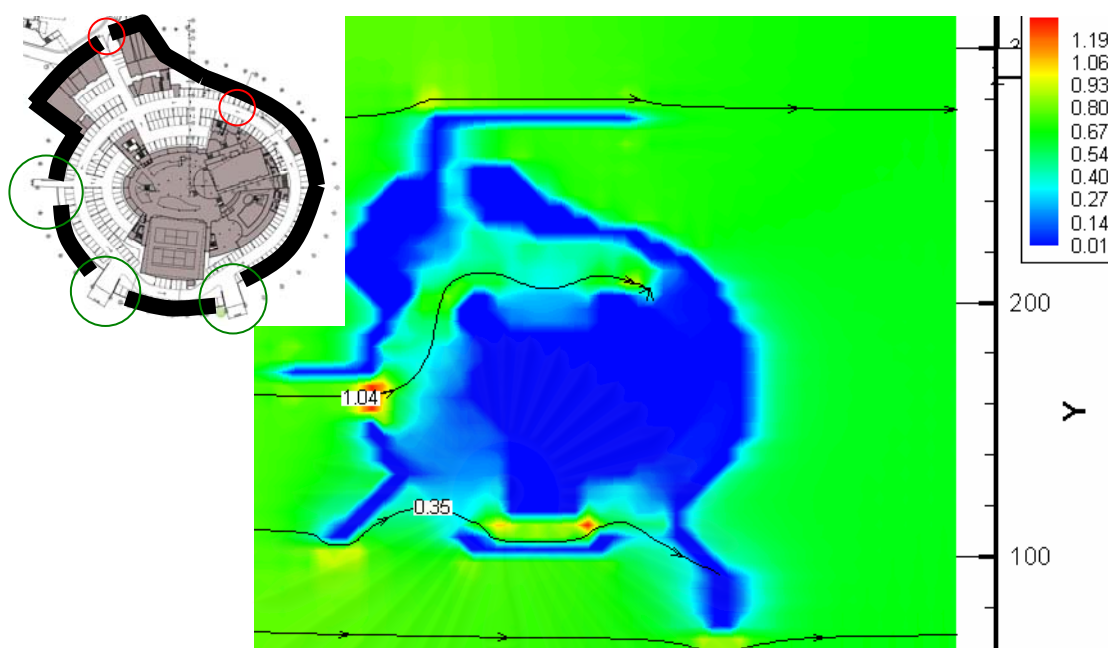
รูปที่ 4.39 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:2 (W)



รูปที่ 4.40 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 1:4 (W)



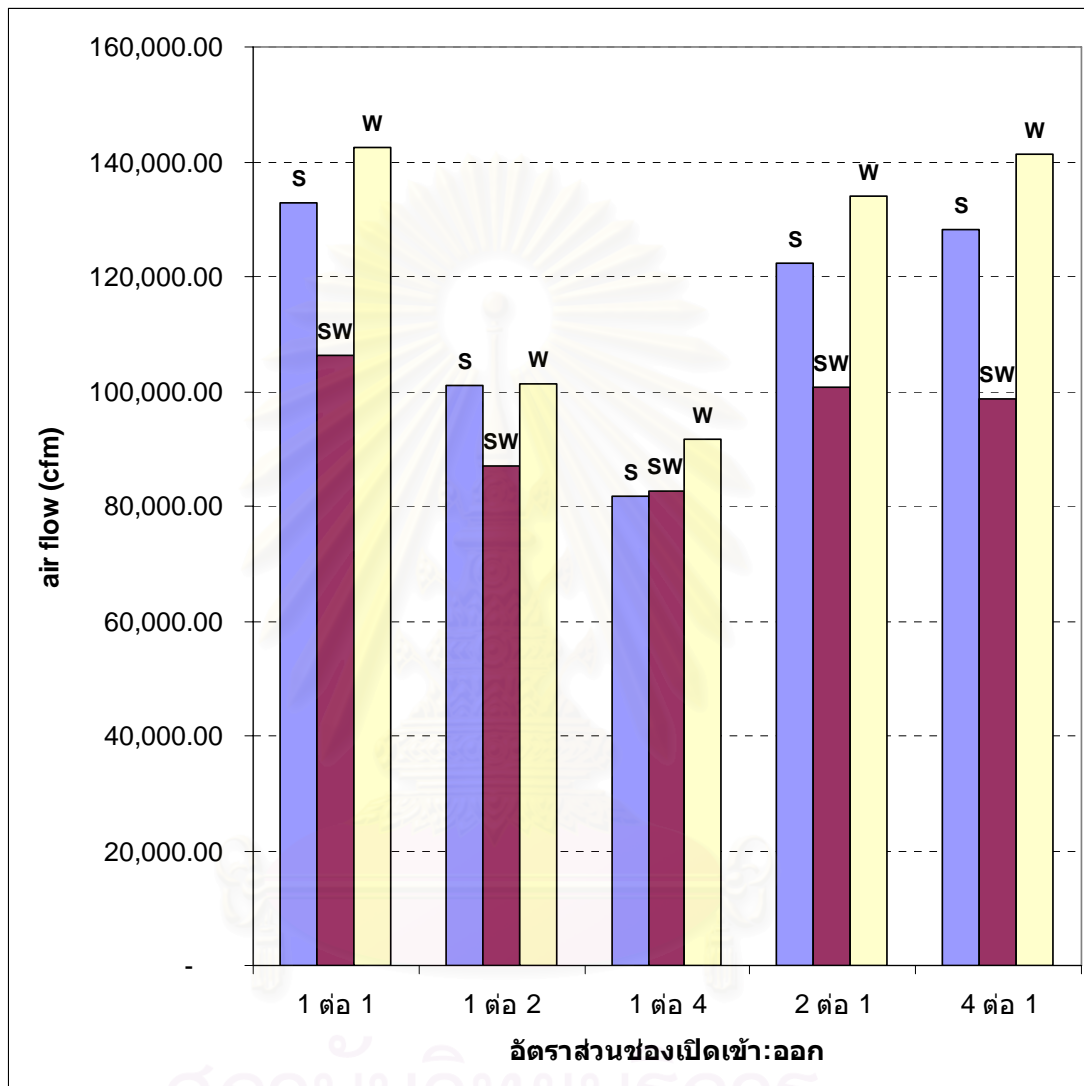
รูปที่ 4.41 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 2:1 (W)



รูปที่ 4.42 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 ช่องเปิดลมเข้า ต่อ ช่องเปิดลมออก คือ 4:1 (W)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.4 วิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศ



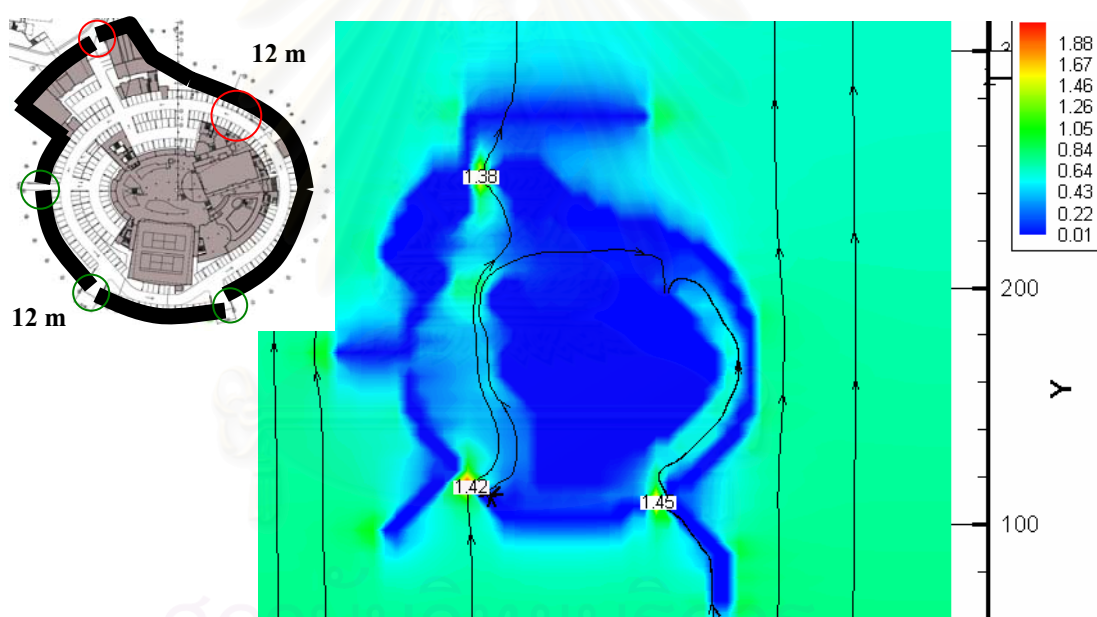
แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกในแต่ละทิศกับ อัตราการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษา

จากแผนภูมิที่ 4.4 พบว่าอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องลมออกมีขนาดเท่ากันเป็นช่องเปิดที่สามารถระบายอากาศและมีปริมาณการไหลเวียนอากาศสูงสุด ถึงจะมีช่องเปิดลมเข้ามากกว่าทางเดียวอย่างอาคารกรณีศึกษาที่ทดสอบ โดยใช้ผลรวมอัตราการไหลของอากาศของทุกช่องเปิดลมเข้าในการเปรียบเทียบ

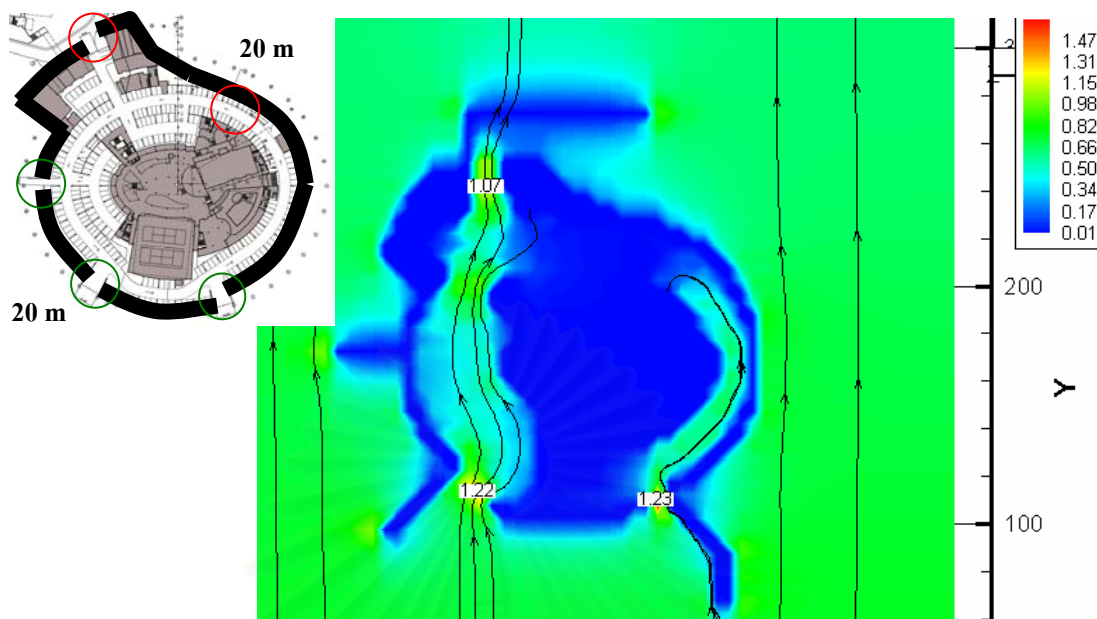
4.2.2 ทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

เพื่อต้องการหาขนาดช่องเปิดที่เพียงพอกับมาตรฐานการระบายอากาศของอาคารจอดรถใต้ดิน โดยคำนึงถึงสภาพช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษาและใช้การเฉลี่ยขนาดช่องเปิดให้เท่ากันในช่องเปิดลมเข้าและใช้ช่องเปิดทางด้านบนเป็นหลักของช่องเปิดลมออก(การกำหนดแบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาในบทที่ 3) โดยนำผลการทดสอบอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกจากการทดสอบข้างต้นเป็นพื้นฐานในการหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม ดังนี้

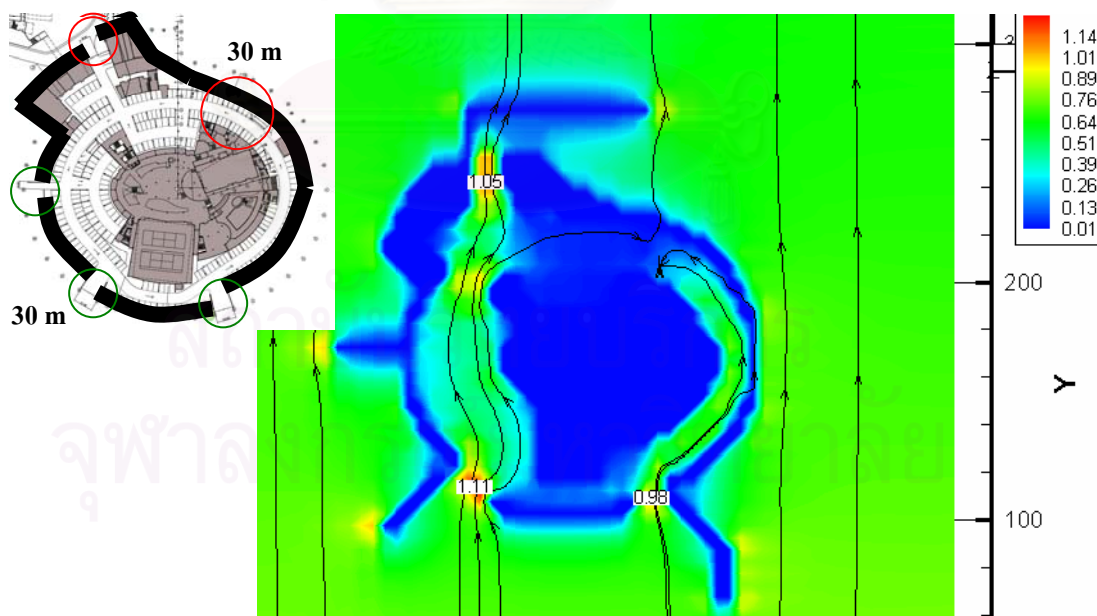
4.2.2.1 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศใต้



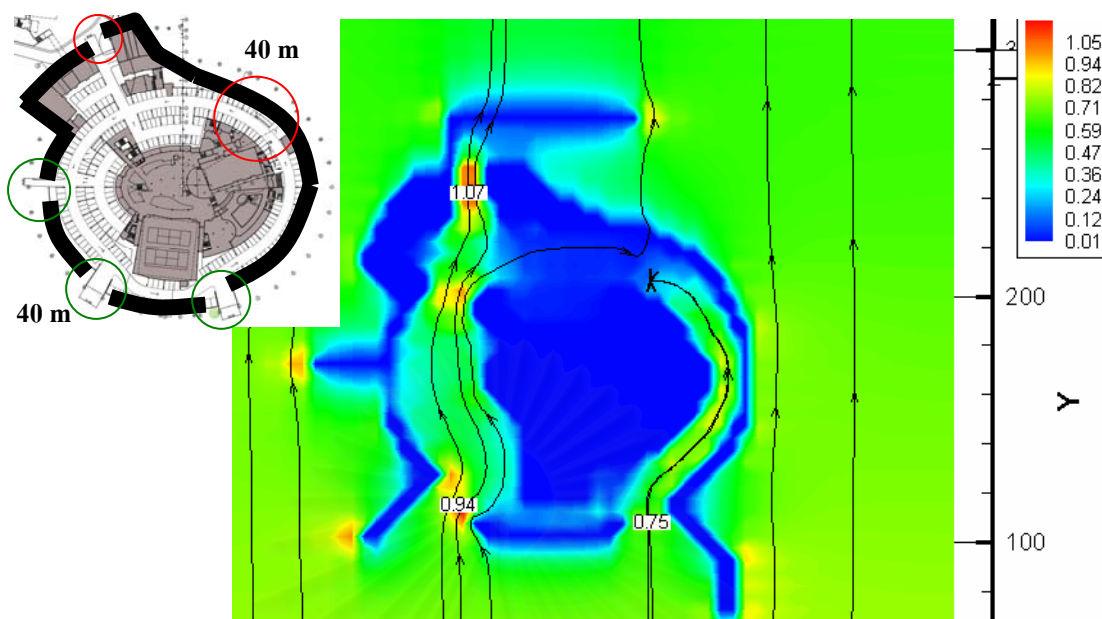
รูปที่ 4.43 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



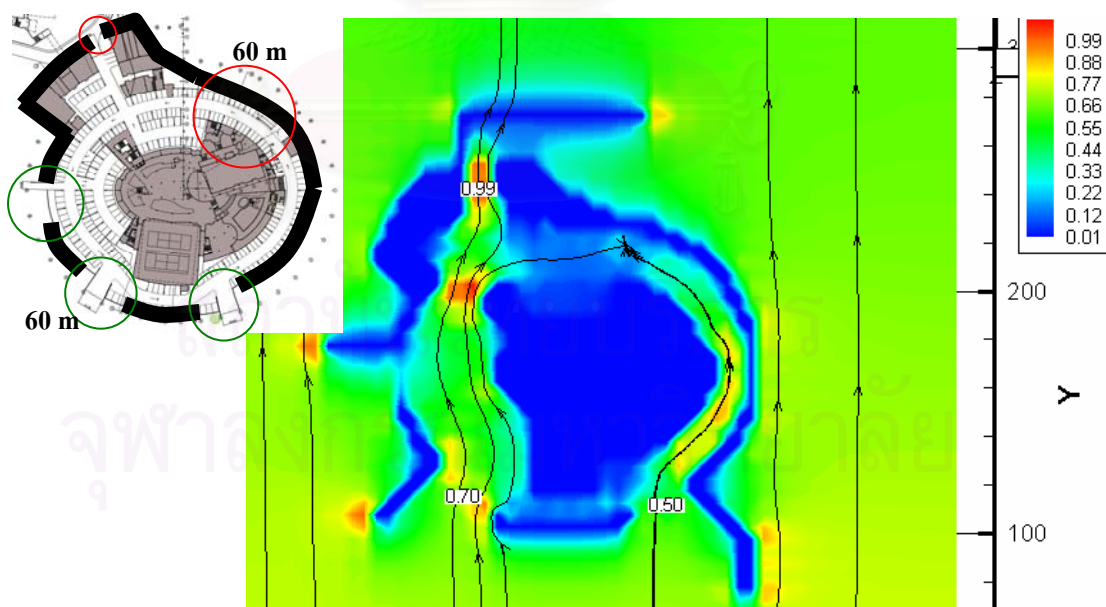
รูปที่ 4.44 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



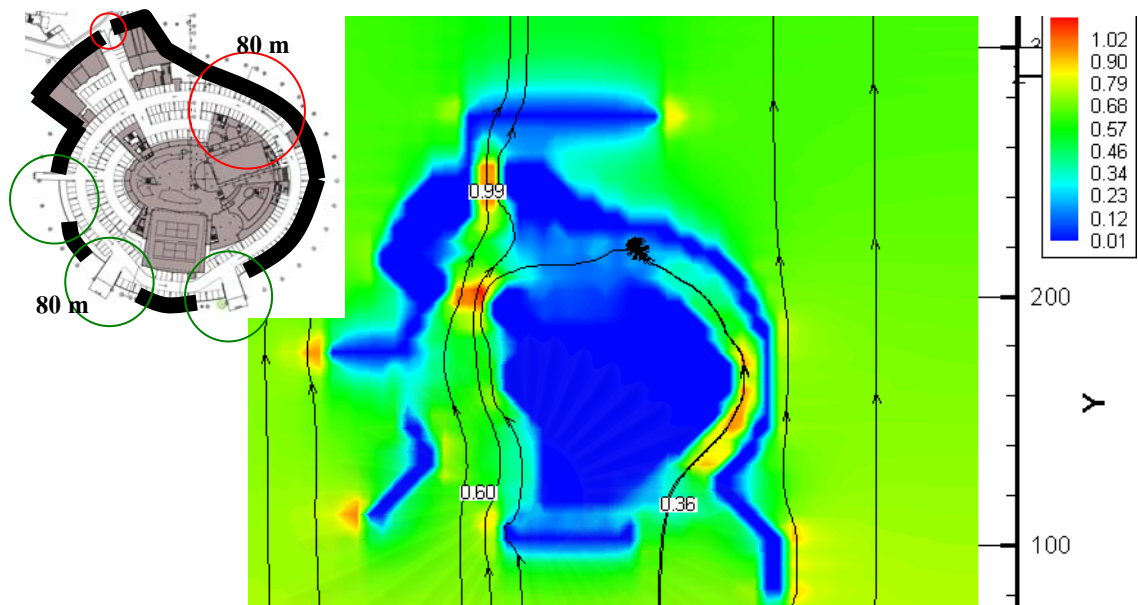
รูปที่ 4.45 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



รูปที่ 4.46 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



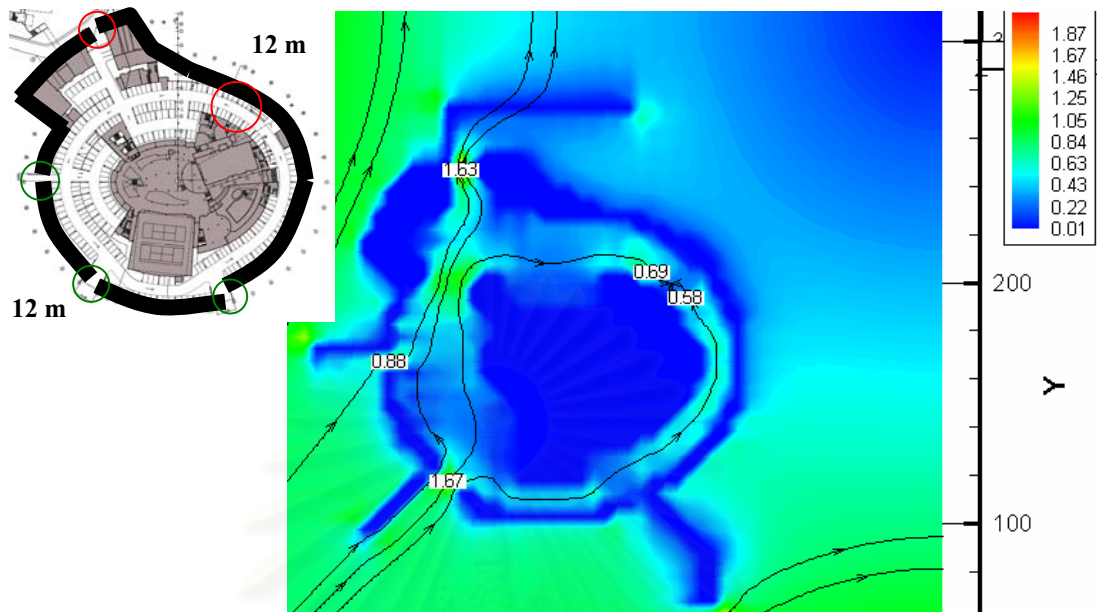
รูปที่ 4.47 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)



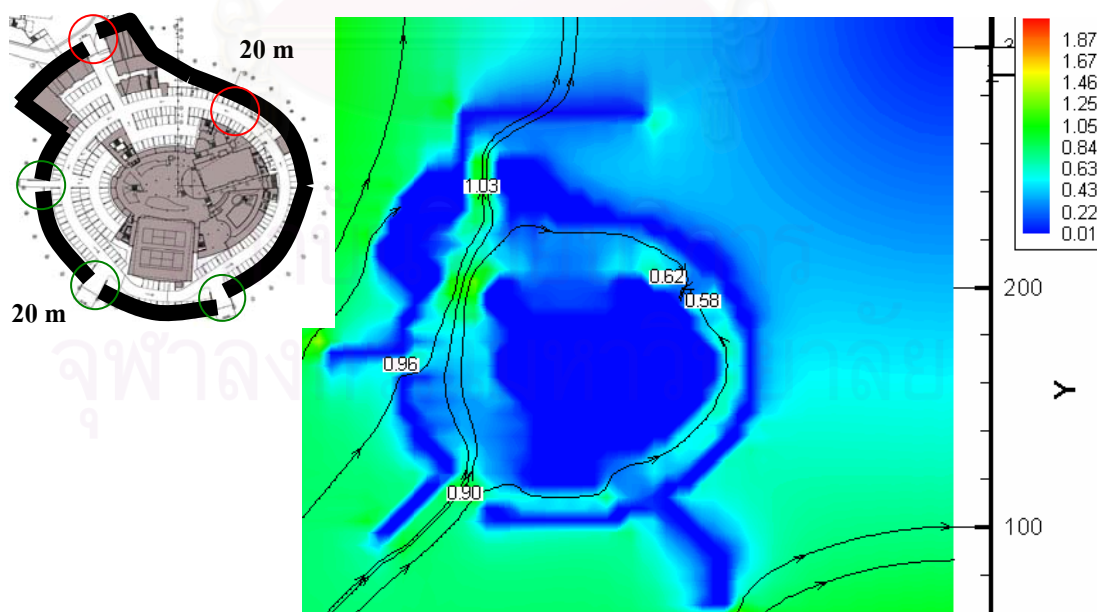
รูปที่ 4.48 แปลนอาคารกรณีศึกษาที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (S)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

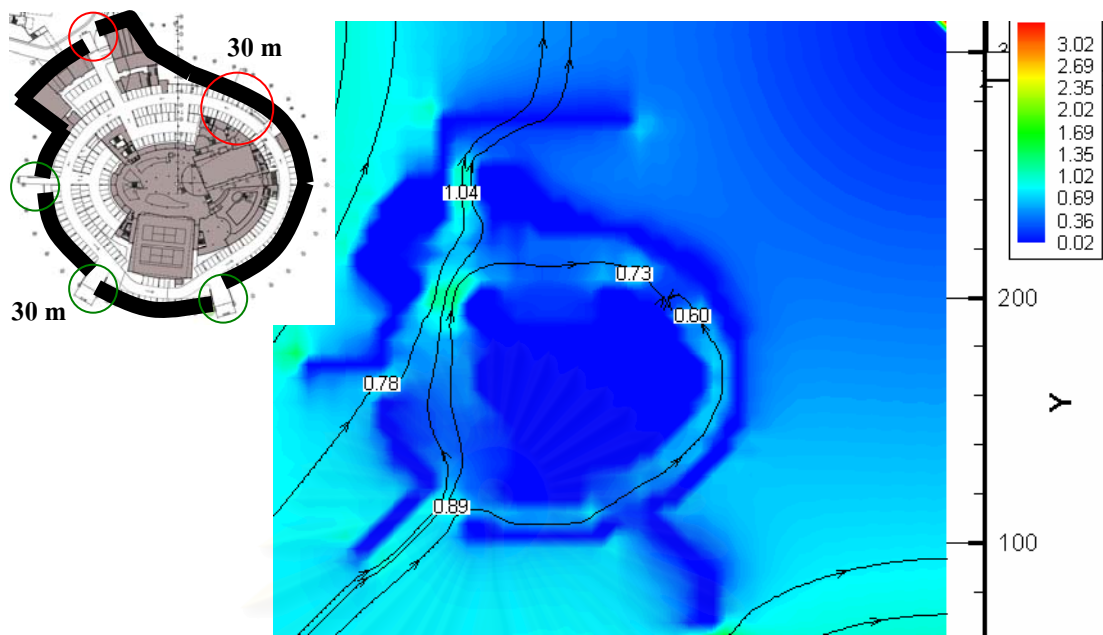
4.2.2.2 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



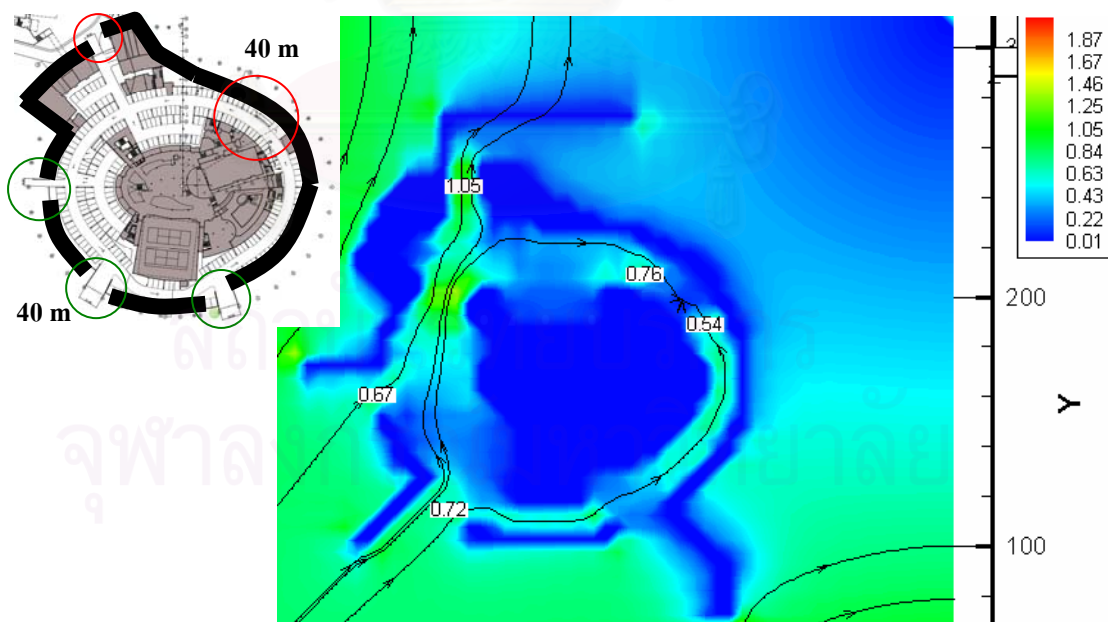
รูปที่ 4.49 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



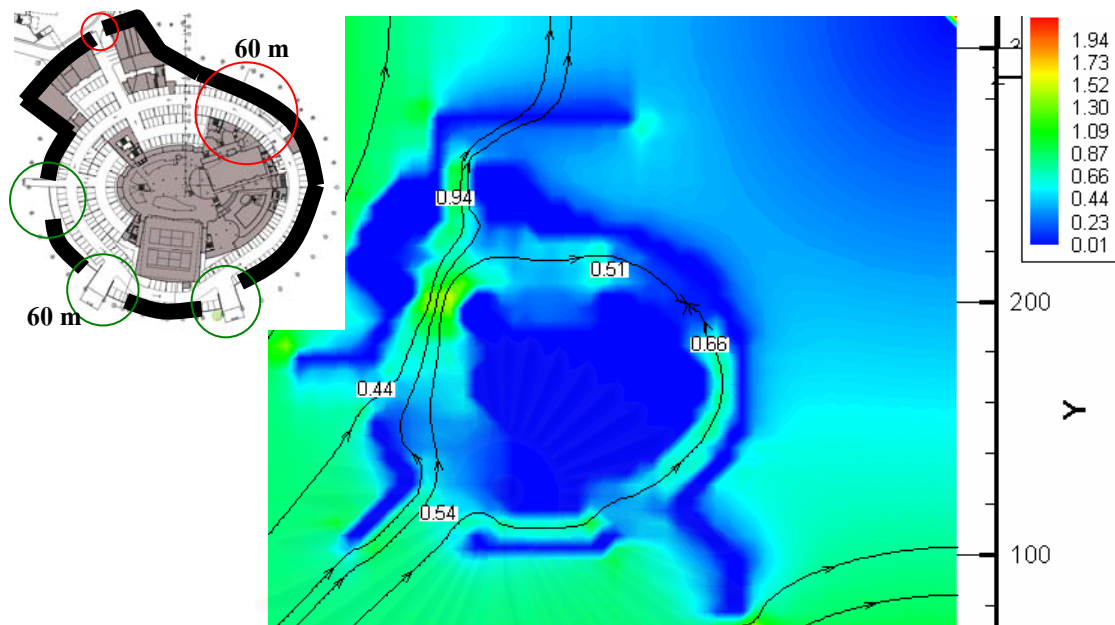
รูปที่ 4.50 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



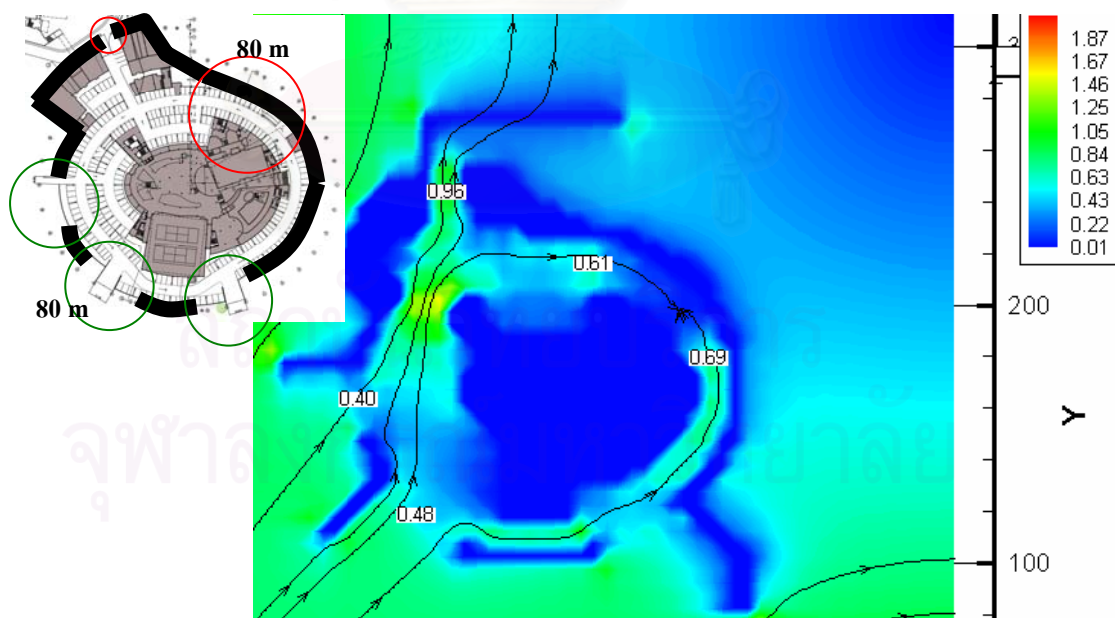
รูปที่ 4.51 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)



รูปที่ 4.52 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

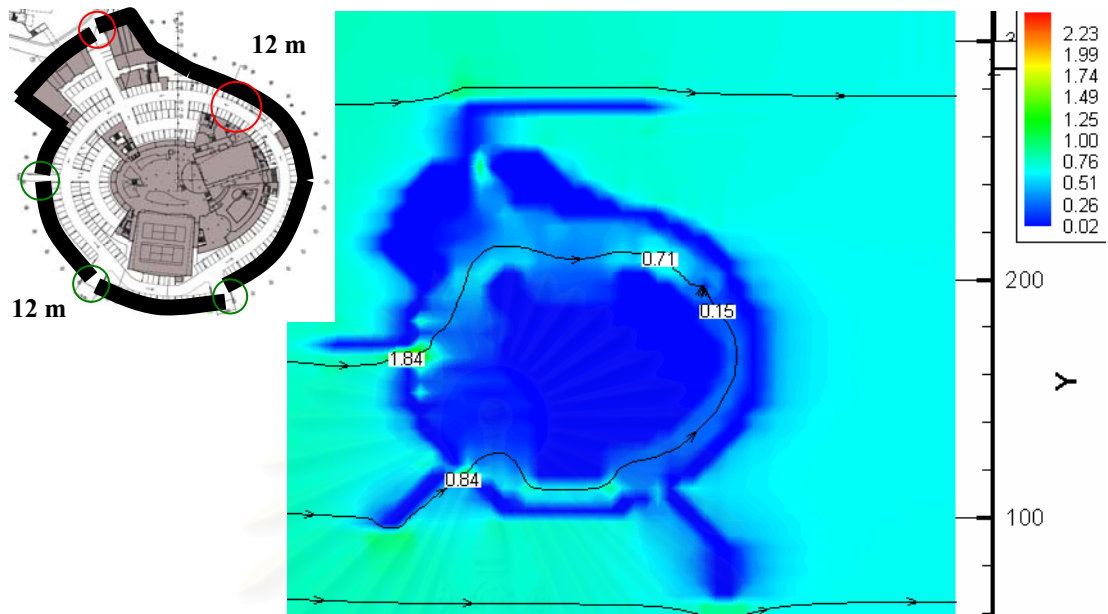


รูปที่ 4.53 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

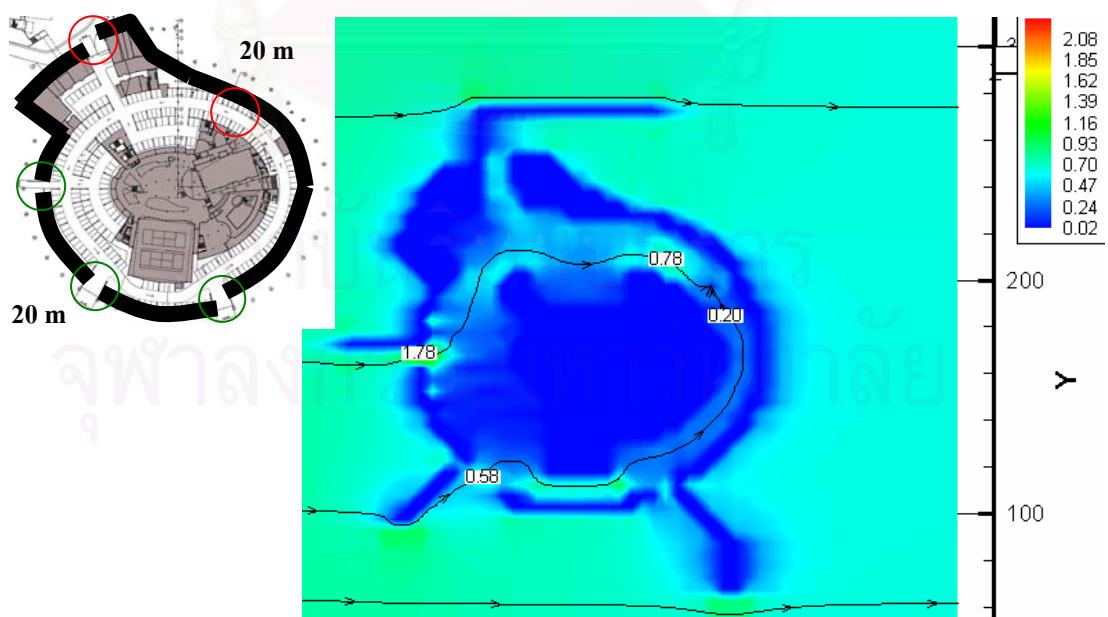


รูปที่ 4.54 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (SW)

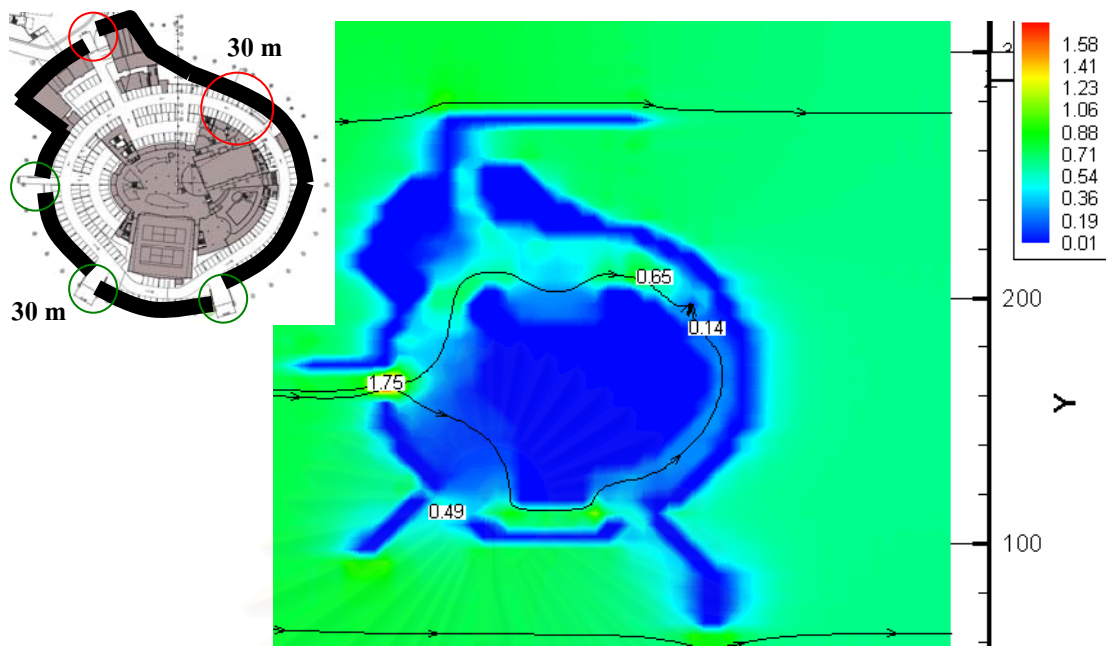
4.2.2.3 การจำลองทิศทางลมผ่านแบบทดสอบทางทิศตะวันตก



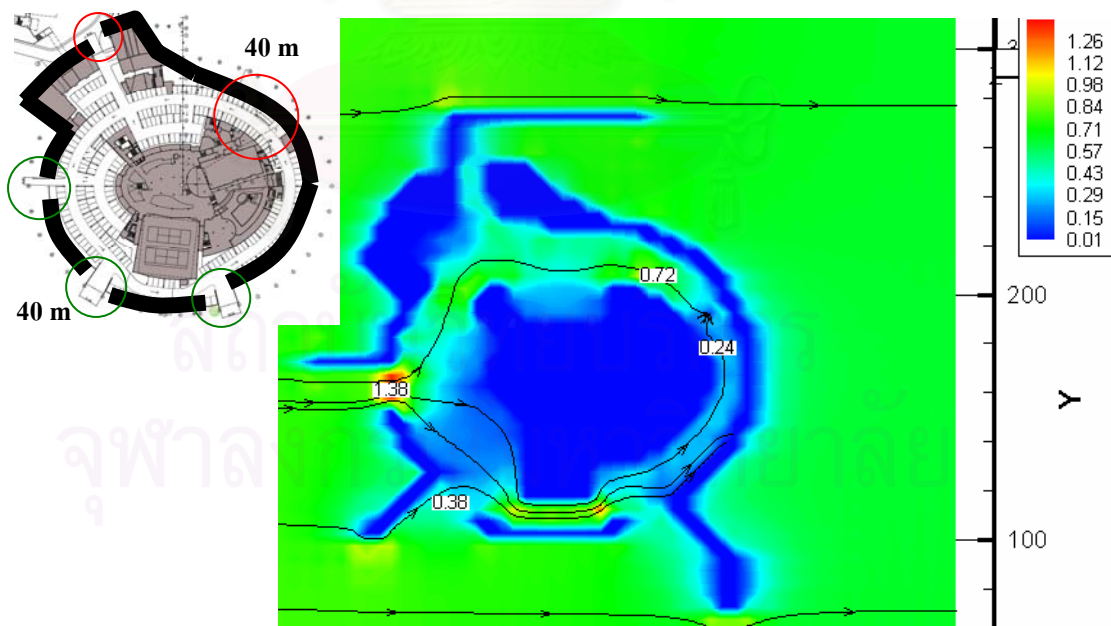
รูปที่ 4.55 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 1 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 3 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



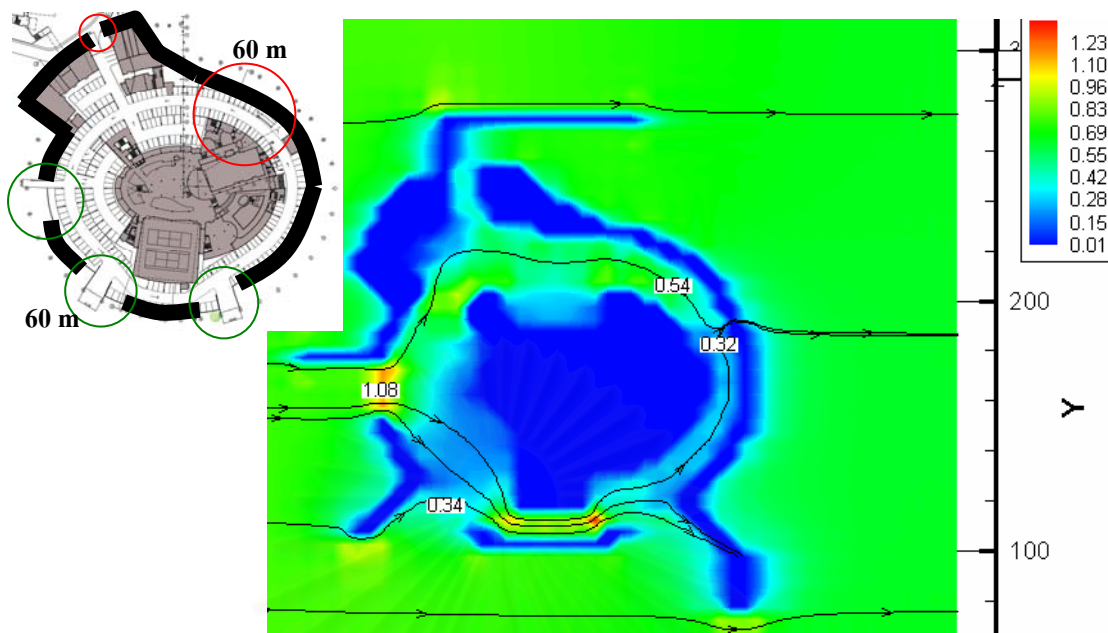
รูปที่ 4.56 แผนอาคารกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



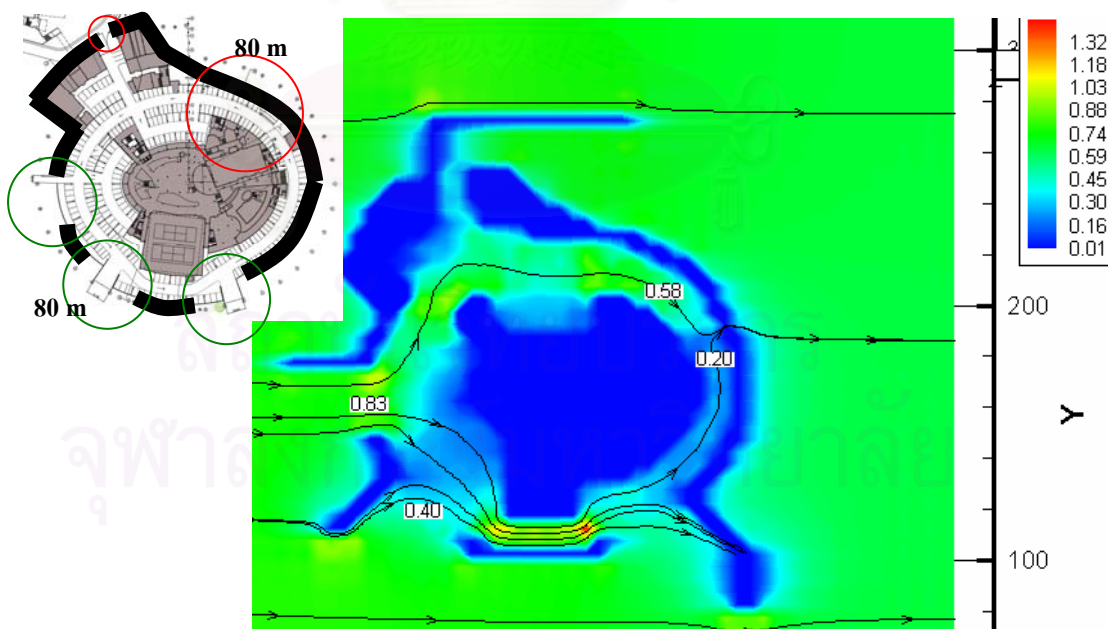
รูปที่ 4.57 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 3 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



รูปที่ 4.58 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 4 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)

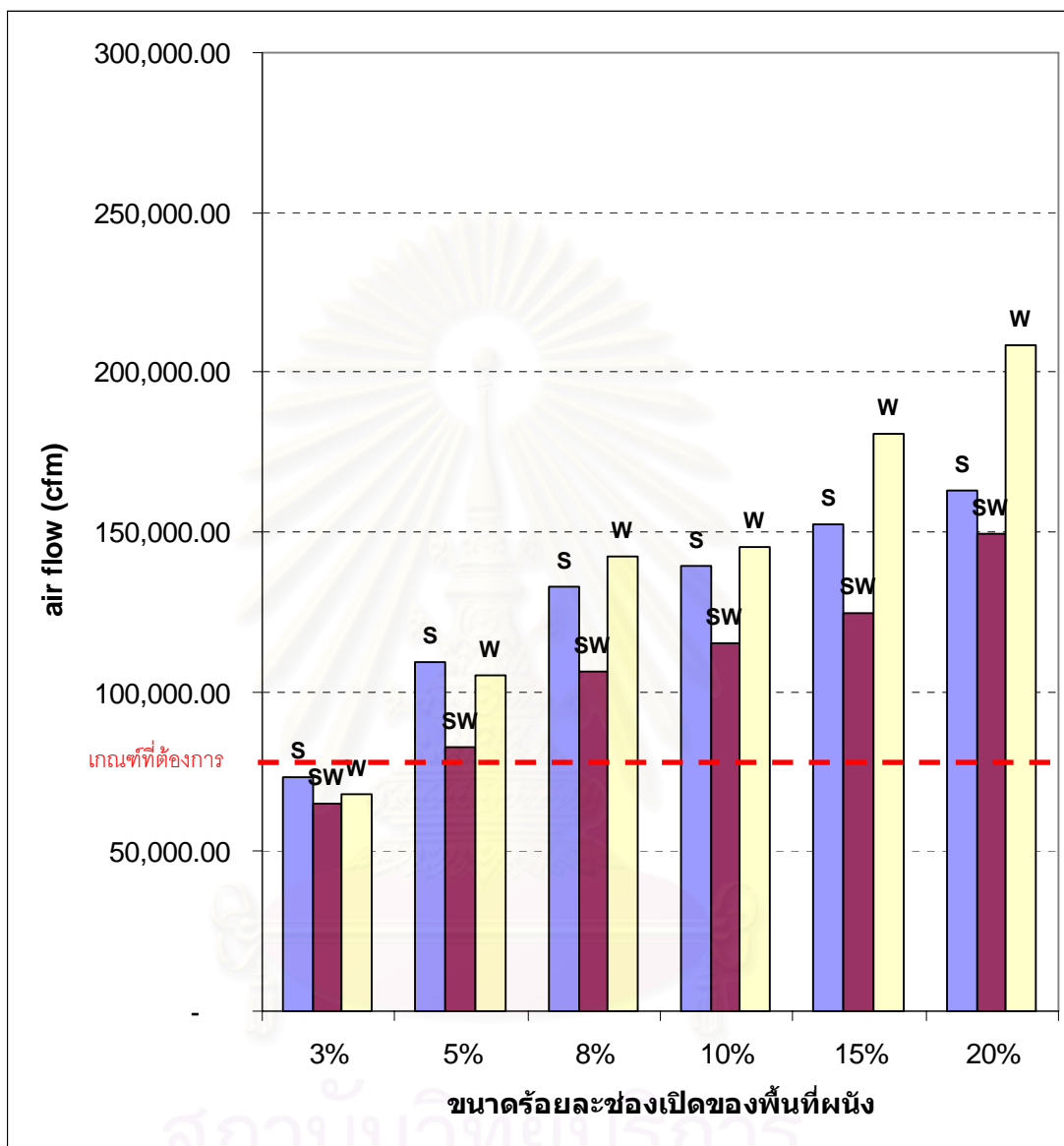


รูปที่ 4.59 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 15 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)



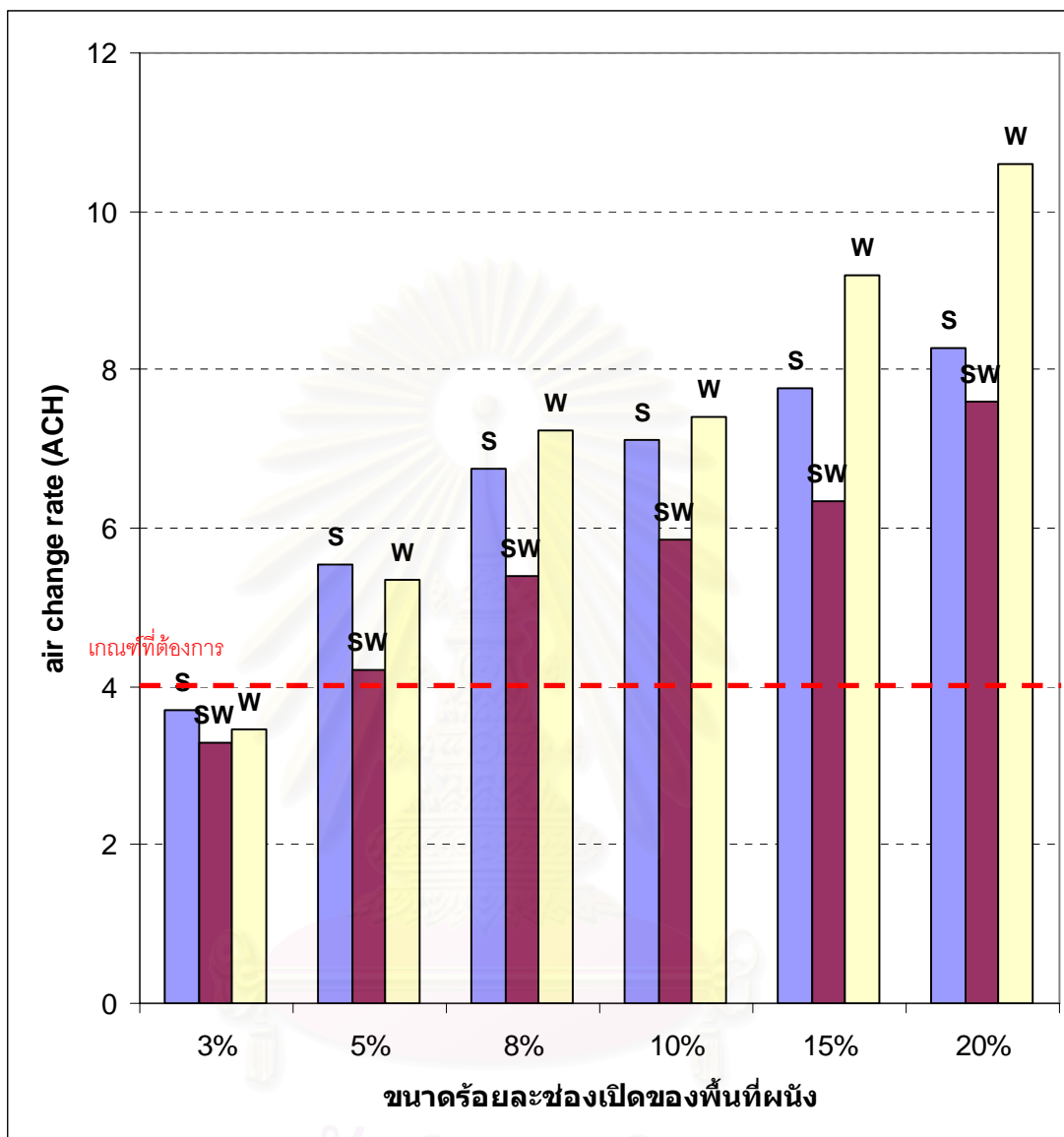
รูปที่ 4.60 แพลนอาคารกรณีศึกษาที่ 6 สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ (W)

4.2.2.4 วิเคราะห์ขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตกรถในแต่ละทิศ



แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอตกรถในแต่ละทิศกับอัตราการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษา

จากแผนภูมิที่ 4.5 ปริมาณอัตราการไหลของอากาศจะเพียงพอตามมาตรฐานที่กำหนดเมื่อมีสัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง ก็สามารถระบายอากาศในอาคารกรณีศึกษาได้ตามกำหนด โดยคำนวณจากช่องเปิดลมเข้าอาคารรวมกัน



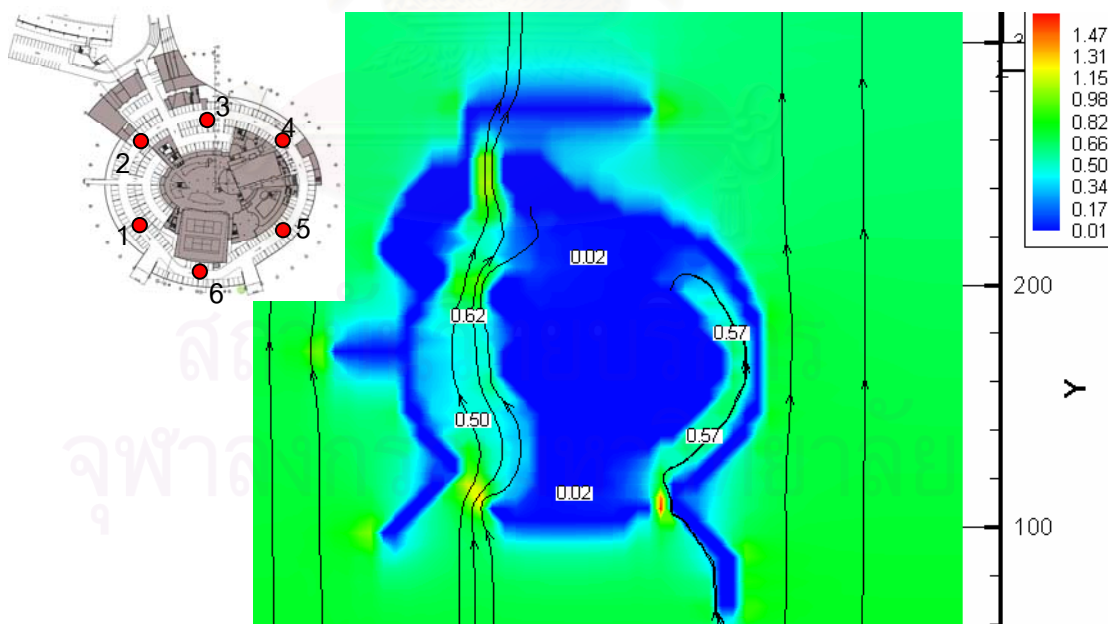
แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถในแต่ละทิศกับอัตราการเปลี่ยนอากาศของอาคารกรณีศึกษา

จากแผนภูมิ 4.6 อัตราการเปลี่ยนอากาศที่กำหนดตามมาตรฐานอาคารจอดรถใต้ดิน ทำให้ต้องมีสัดส่วนช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศจากการทดสอบร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง และสัดส่วนนี้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดกับการจำลองทิศทางลม

4.3 วิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจากอัตราส่วนและขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ

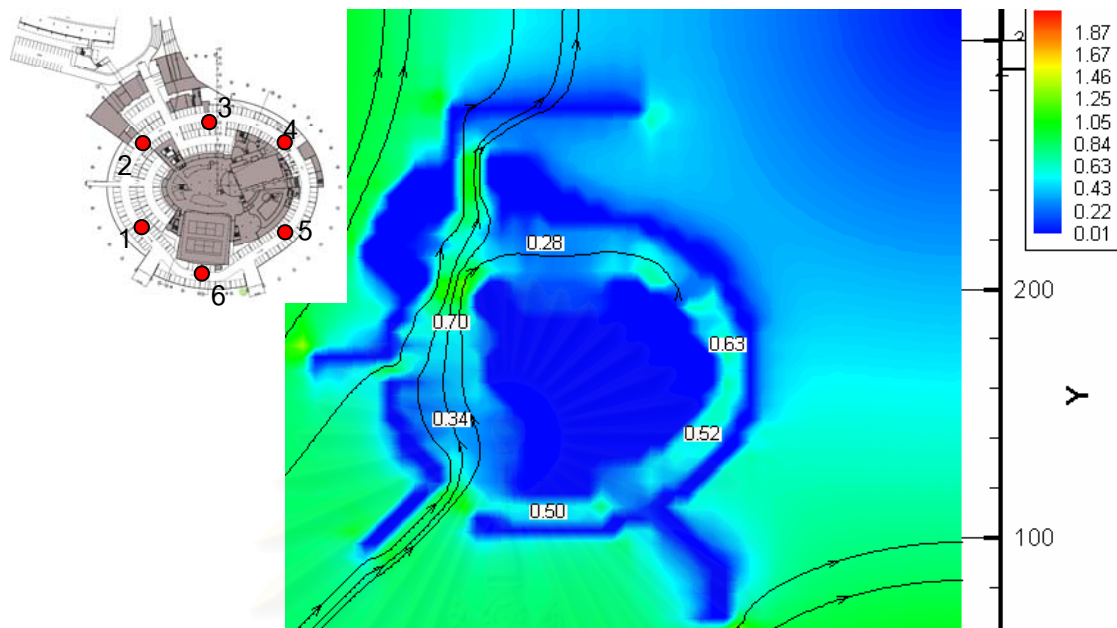
จากการทดสอบหาอัตราส่วนของช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกและหาสัดส่วนร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังอาคารจordan ได้ดินข้างต้น เพื่อหาจุดเหมาะสมของช่องเปิดที่มีปริมาณการไหลของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่จุดสำคัญอีกอย่างในการระบายอากาศเพื่อให้เกิดคุณภาพอากาศที่ดีและปลอดภัยกับผู้ใช้อาคาร ต้องพิจารณาการไหลเวียนอากาศภายในอาคารทั่วถึงเพียงพอที่ผู้ใช้อาคารในตำแหน่งต่างๆสามารถใช้อาคารได้อย่างปลอดภัย จึงกำหนดแบบทดสอบโดยใช้อัตราส่วนช่องเปิดและสัดส่วนช่องเปิดที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบข้างต้น เพื่อทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศในตำแหน่งที่กำหนดขึ้นให้ทั่วถึงครบตามที่กำหนด

4.3.1 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศใต้



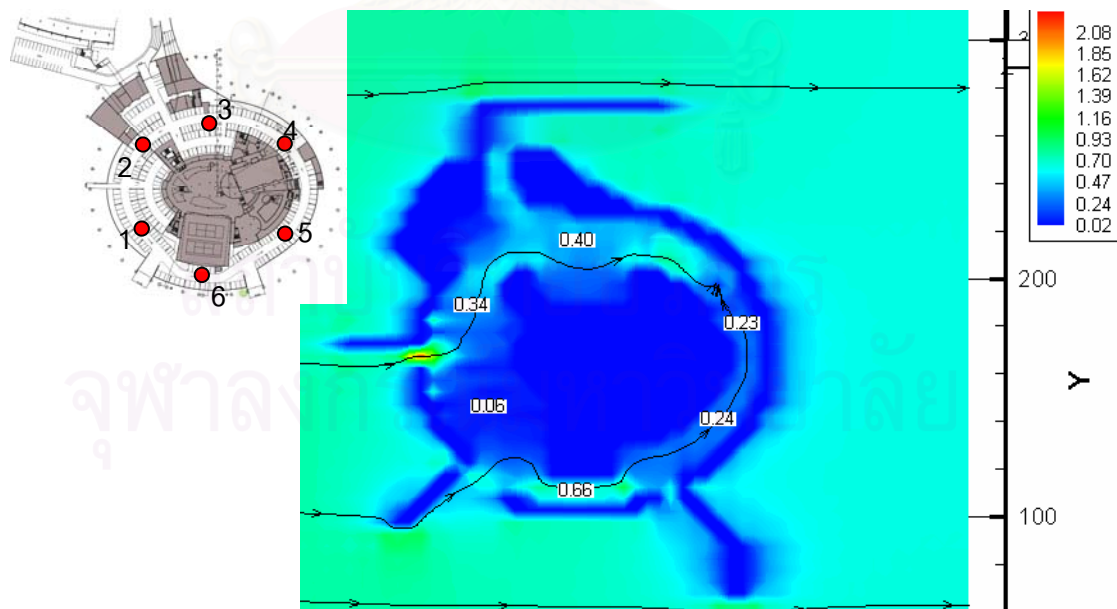
รูปที่ 4.61 แปลนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (S)

4.3.2 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



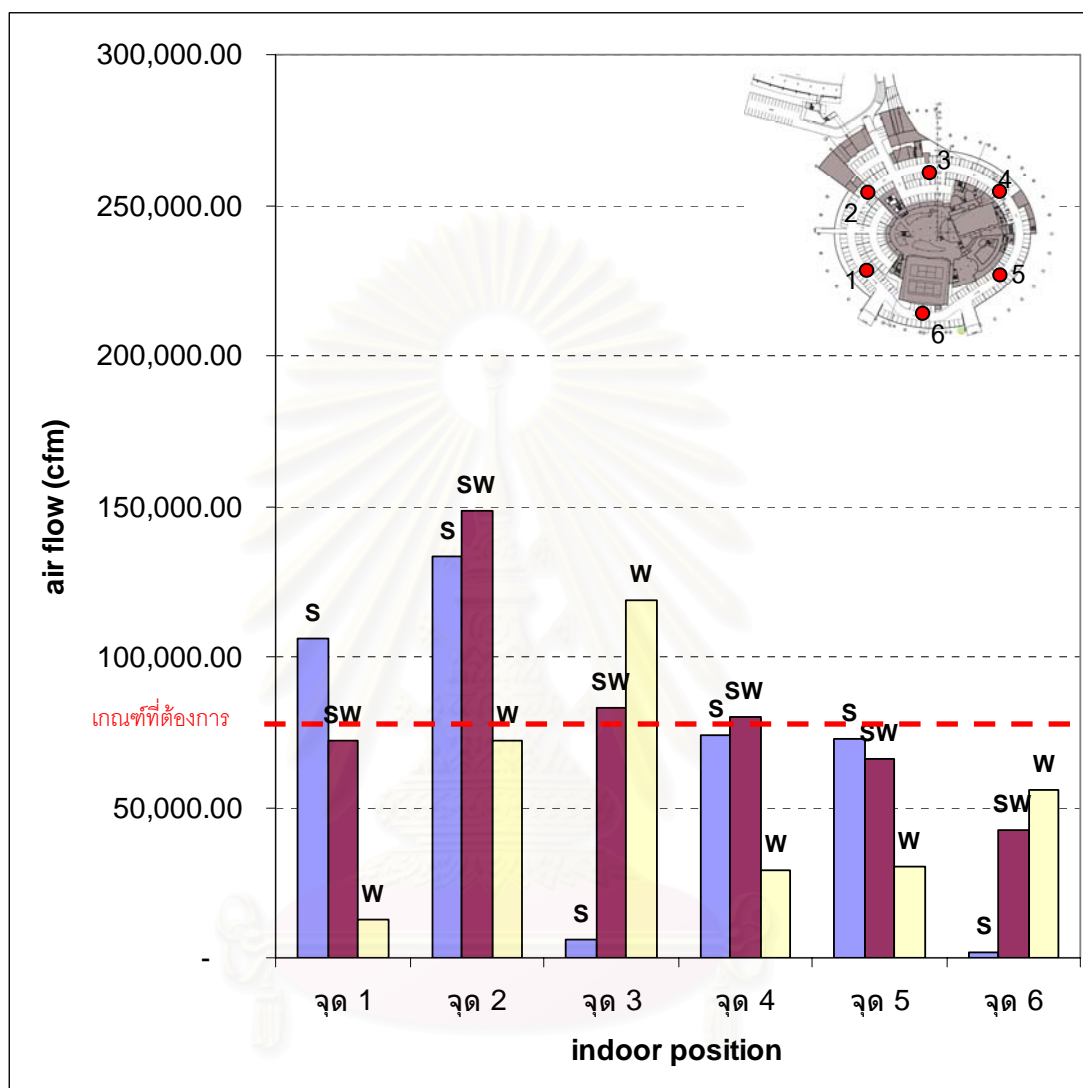
รูปที่ 4.62 แผนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (SW)

4.3.3 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในทางทิศตะวันตก



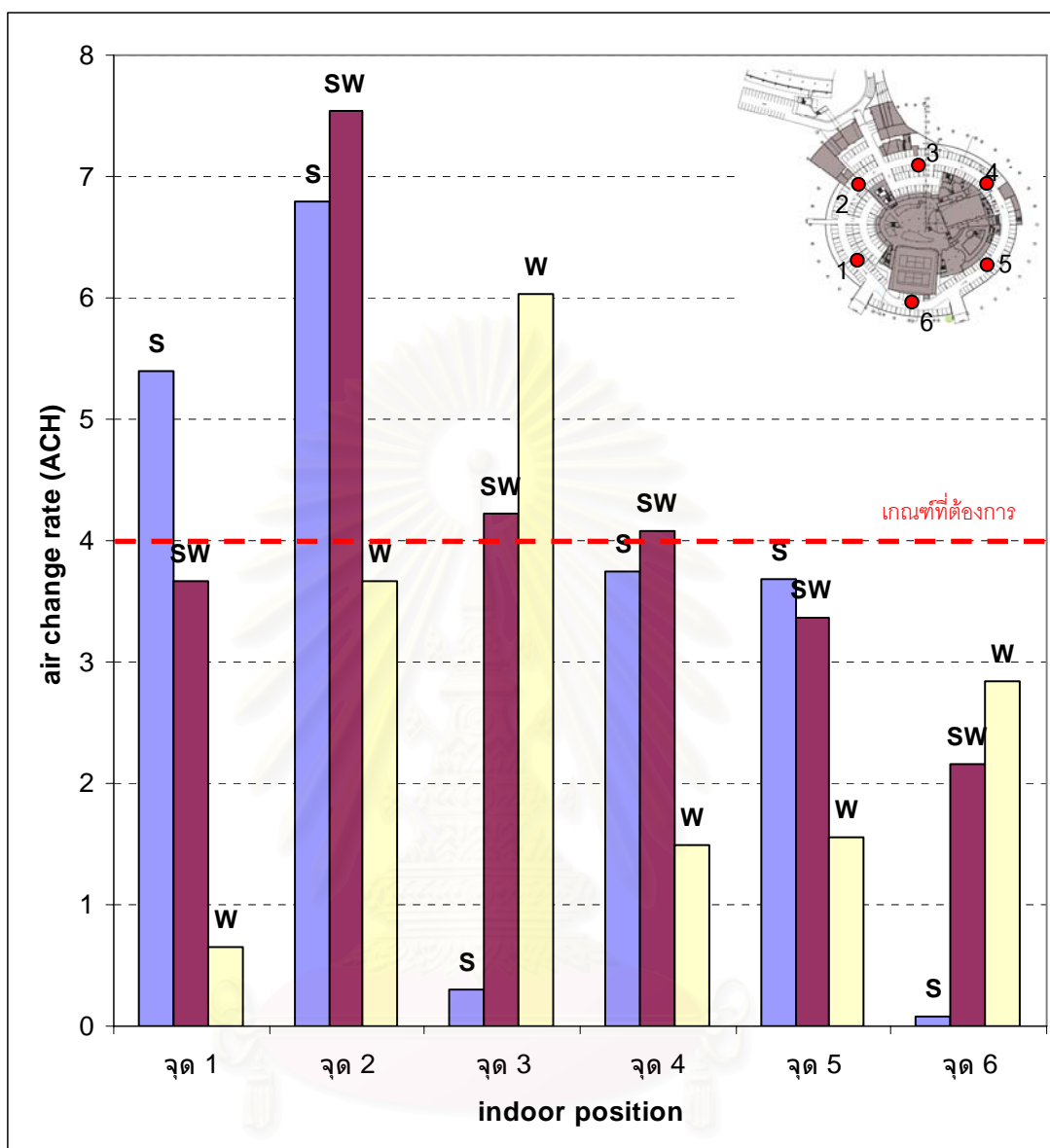
รูปที่ 4.63 แผนอาคารกรณีศึกษาทดสอบความทั่วถึงอัตราการไหลของอากาศ (W)

4.3.4 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในของแต่ละทิศ



แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศภายในของแต่ละทิศของอาคารกรณีศึกษา

จากแผนภูมิที่ 4.7 ทิศทางลมทางทิศใต้ซึ่งมีปริมาณทิศทางเฉลี่ยสูงสุดที่ลมจะมาทางทิศนี้ (จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา 2003 แสดงในตารางที่ 3.1) จะเกิดจุดอับลมอย่างมากที่จุด 3 และจุด 6 ซึ่งทำให้มีลมภาวะ ฝุ่นละอองมาสะสมอยู่ที่บริเวณนี้ได้



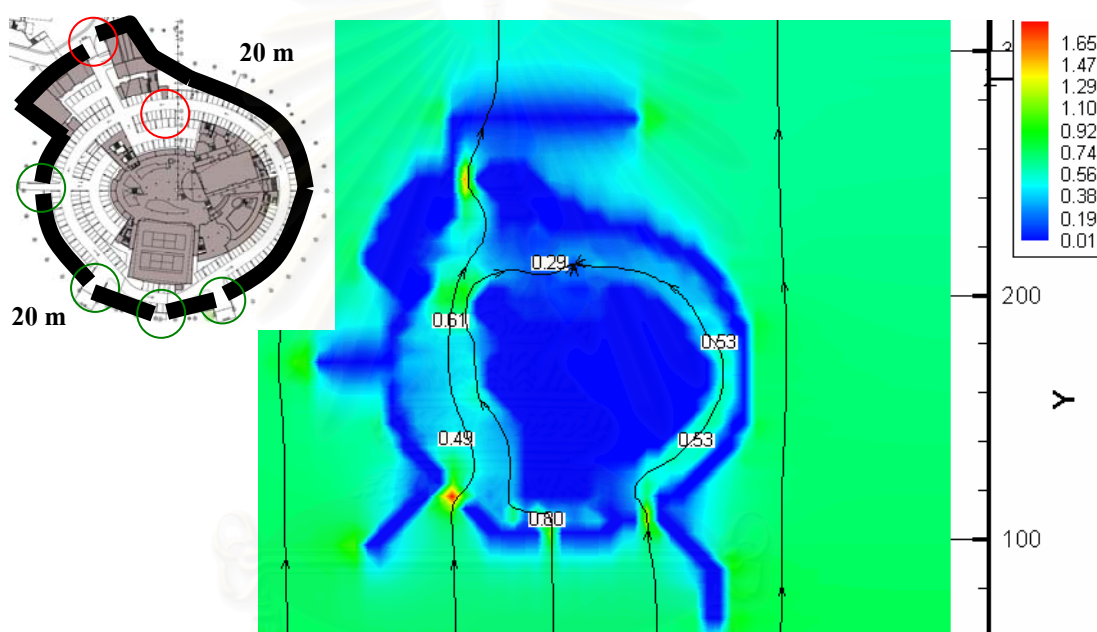
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนอากาศภายในของแต่ละทิศของอาคารกรณีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจากผลวิเคราะห์ของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ

จากผลวิเคราะห์ความทั่วถึงภายในอาคารตามตำแหน่งที่กำหนดข้างต้น จึงทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงและทำให้การระบายอากาศได้ทั่วถึงทั้งหมด

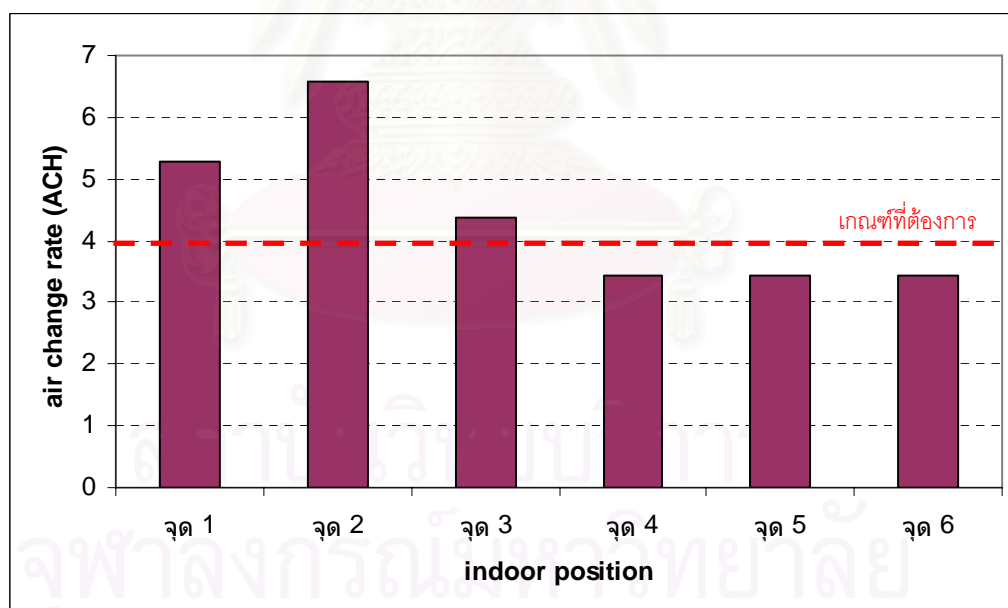
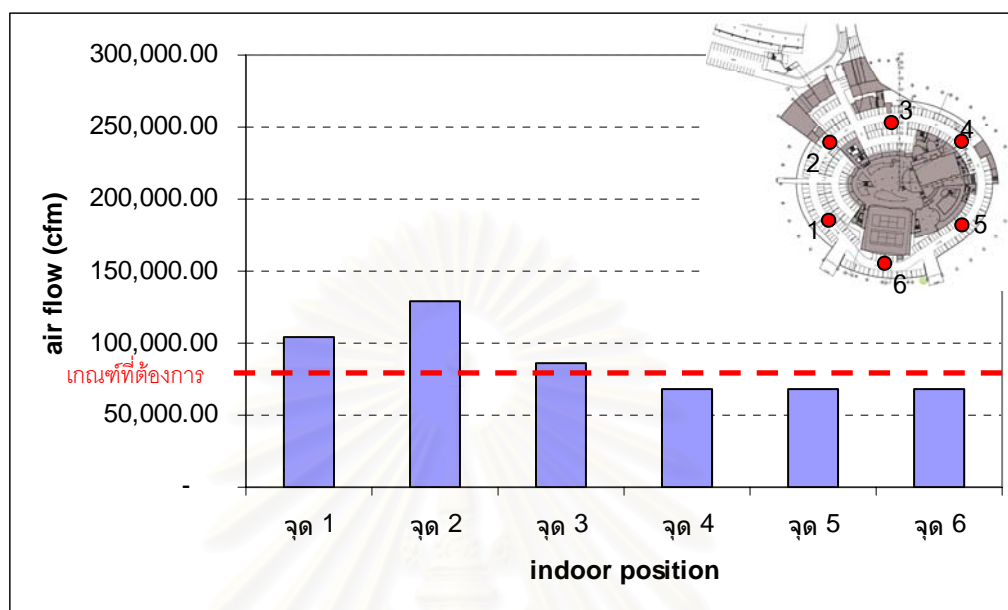
4.4.1 ปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน



รูปที่ 4.64 แพลนอาคารกรณีศึกษาปรับปรุงช่องเปิด

โดยได้เพิ่มช่องเปิดลมเข้าแต่สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดยังมีขนาดเท่าเดิม เพื่อเจือจางมลภาวะที่จุดที่ 6 และเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดลมออกทางด้านบนมาจุดที่ 3 เพื่อดูดอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมและทำให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น

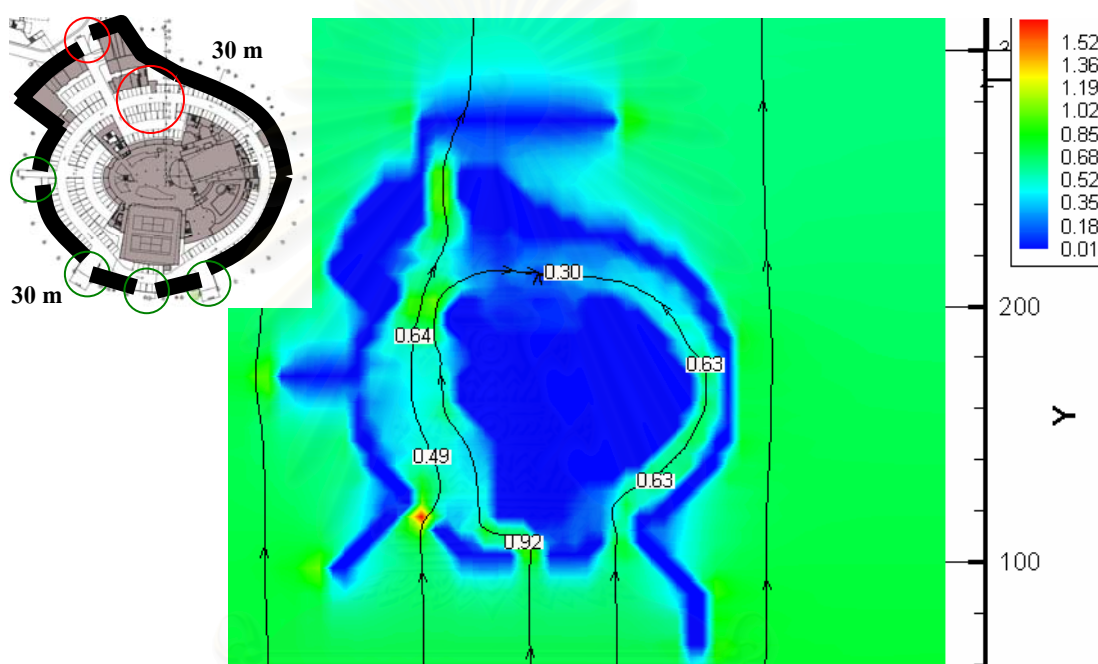
4.4.2 วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน



แผนภูมิที่ 4.9 วิเคราะห์การปรับปรุงช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษา

4.4.3 ปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน(ต่อ)

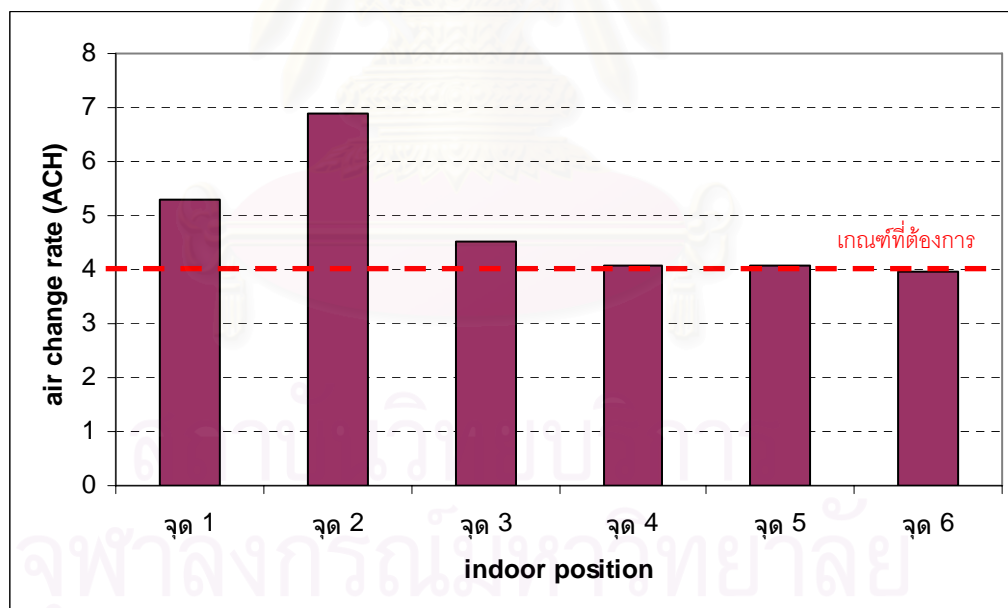
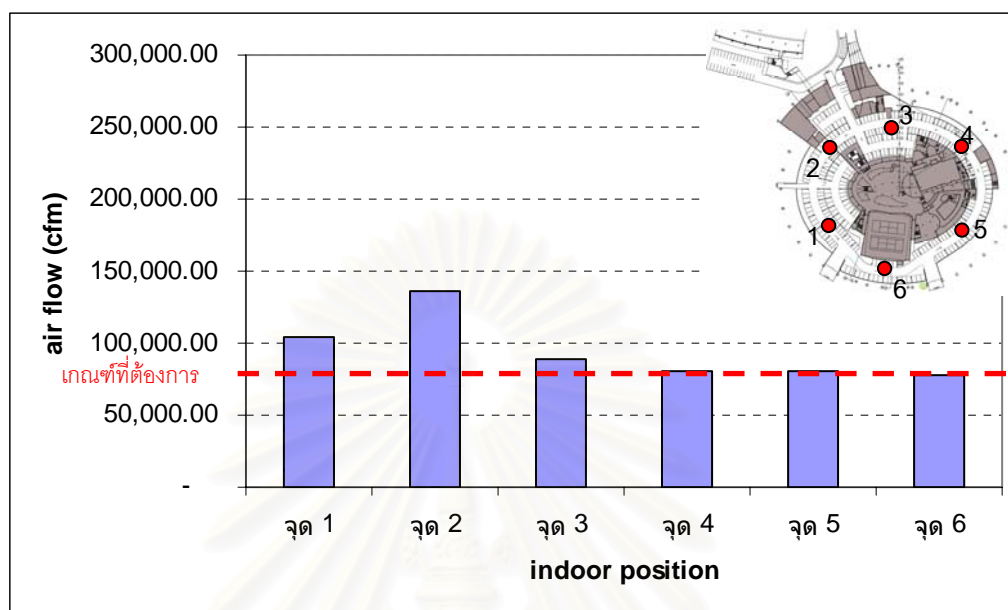
จากผลการจำลองปรับปรุงดังแผนภูมิที่ 4.9 พบว่าสามารถเจือจางมลภาวะและดูดอากาศทำให้เกิดการไหลของอากาศสูงขึ้น แต่ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ตามข้อกำหนดอาคารจอตลอดได้ดินอยู่เล็กน้อยบางตำแหน่ง ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้เกิดความสมบูรณ์โดยการเพิ่มสัดส่วนเป็นร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง



รูปที่ 4.65 แปลนอาคารกรณีศึกษาปรับปรุงช่องเปิด(ต่อ)

จากรูปที่ 4.65 พบว่าอัตราการไหลของอากาศในจุดที่ยังไม่เพียงพอมีปริมาณสูงขึ้นและถึงเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยจะเห็นได้จากผลจำลองและแผนภูมิ

4.4.4 วิเคราะห์การปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศภายใน(ต่อ)



แผนภูมิที่ 4.10 วิเคราะห์การปรับปรุงช่องเปิดของอาคารกรณีศึกษา(ต่อ)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองข้างต้น เป็นการจำลองความเร็วลมที่พัดเข้าสู่อาคารเพื่อต้องการทราบขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม แต่ถ้าพิจารณาถึงความเร็วลมที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวันจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าความเร็วลมจะมีความเร็วลมไม่สม่ำเสมอและอาจจะไม่มีความเร็วลมเยในบ้างช่วงเวลา ทำให้ต้องพิจารณาช่วงเวลาในการระบายอากาศว่ามีช่วงเวลาเท่าใดที่ความเร็วลมไม่เพียงพอ จึงต้องมีการใช้ระบบเครื่องกลมาเสริมนั้นมื่ออัตราการใช้งานจำนวนมากน้อยเพียงใด ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนเวลาในการระบายอากาศที่ใช้ลมธรรมชาติได้และจำนวนเวลาที่ต้องเสริมระบบเครื่องกล

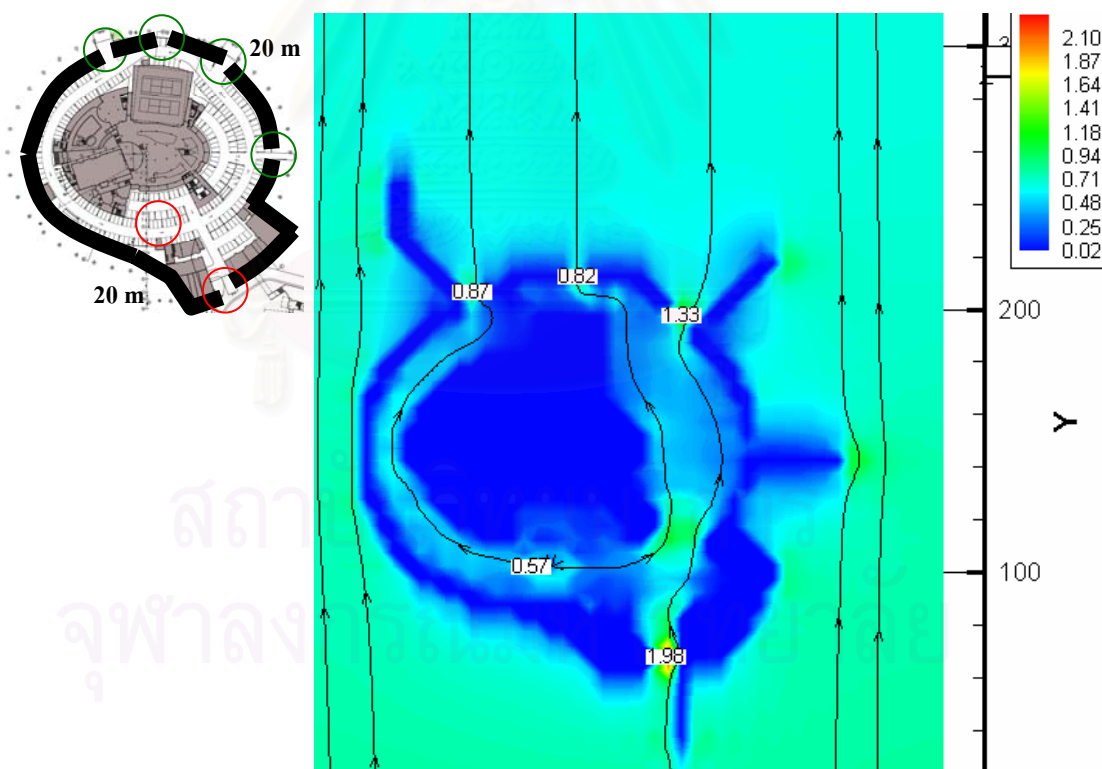
เดือน	จำนวนเวลาที่ใช้ในการระบายอากาศ (ชั่วโมงต่อปี)		
	ใช้ระบายอากาศเพียงพอ	ใช้ระบายอากาศไม่เพียงพอ	ไม่เพียงพอคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
มกราคม	466	278	37.37
กุมภาพันธ์	532	140	20.83
มีนาคม	524	220	29.57
เมษายน	621	99	13.75
พฤษภาคม	572	172	23.12
มิถุนายน	555	165	22.92
กรกฎาคม	473	271	36.42
สิงหาคม	566	178	23.92
กันยายน	430	290	40.28
ตุลาคม	429	315	42.34
พฤศจิกายน	404	316	43.89
ธันวาคม	365	379	50.94
ตลอดทั้งปี	5937	2823	32.23

ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2546 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

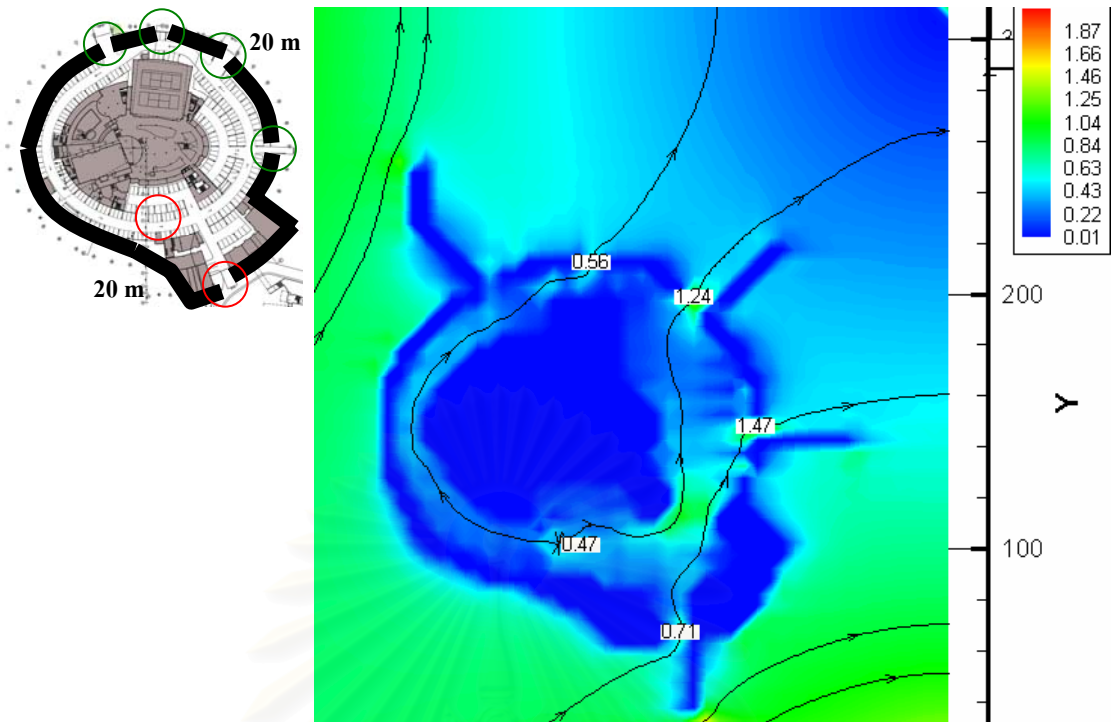
4.5 พิจารณาเพิ่มการจำลองทิศทางลมในแบบทดสอบที่ปรับปรุงเหมาะสม

จากตารางจะเห็นว่าช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม มีจำนวนเวลาที่ใช้การระบายอากาศด้วยลมธรรมชาติได้ดีที่สุดของปี ซึ่งถ้าพิจารณาถึงทิศทางลมในช่วงนี้ที่มีทิศทางเฉลี่ยมาทางทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเป็นส่วนมาก จึงนำแบบทดสอบอัตราส่วนช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกและขนาดร้อยละช่องเปิดที่ได้ผลการทดลองสุดท้ายในการจำลองลมทางทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก เพื่อหาอัตราการระบายอากาศว่าเพียงพอหรือต้องเสริมระบบเครื่องกล จึงจะทำให้อาคารมีคุณภาพอากาศที่ดีและประหยัดพลังงานมากที่สุดเหมาะสมตลอดทั้งปี

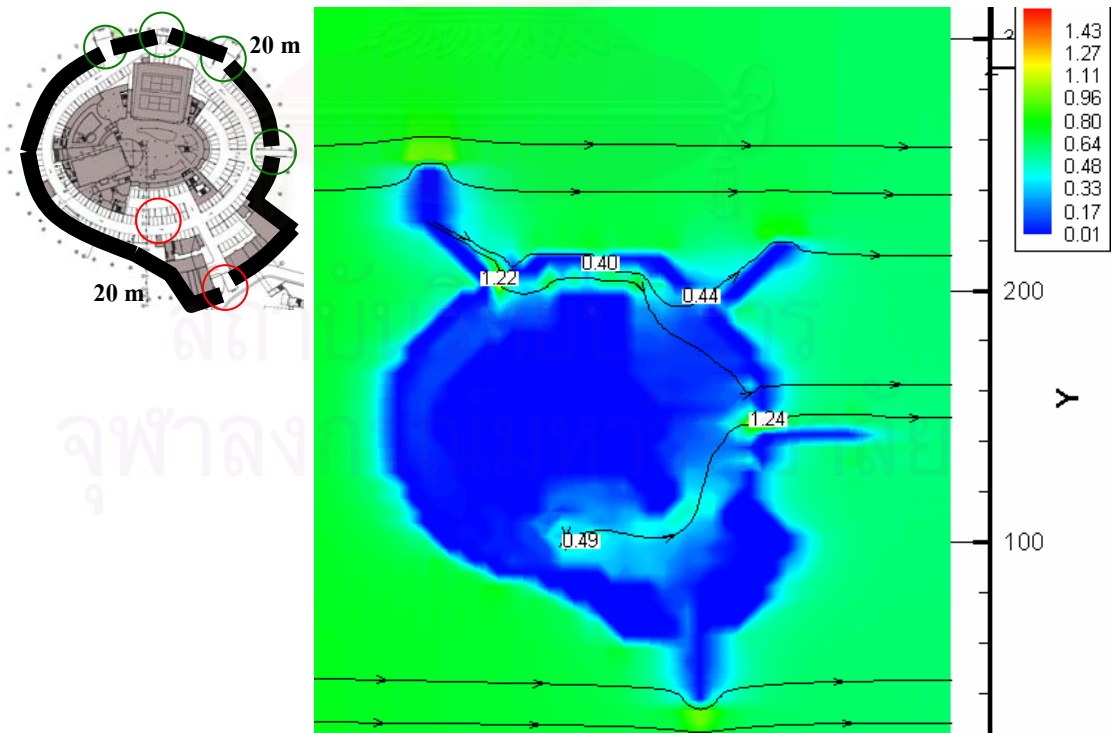
4.5.1 แบบทดสอบอัตราส่วน 1:1 และขนาดช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง



รูปที่ 4.66 แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศเหนือ

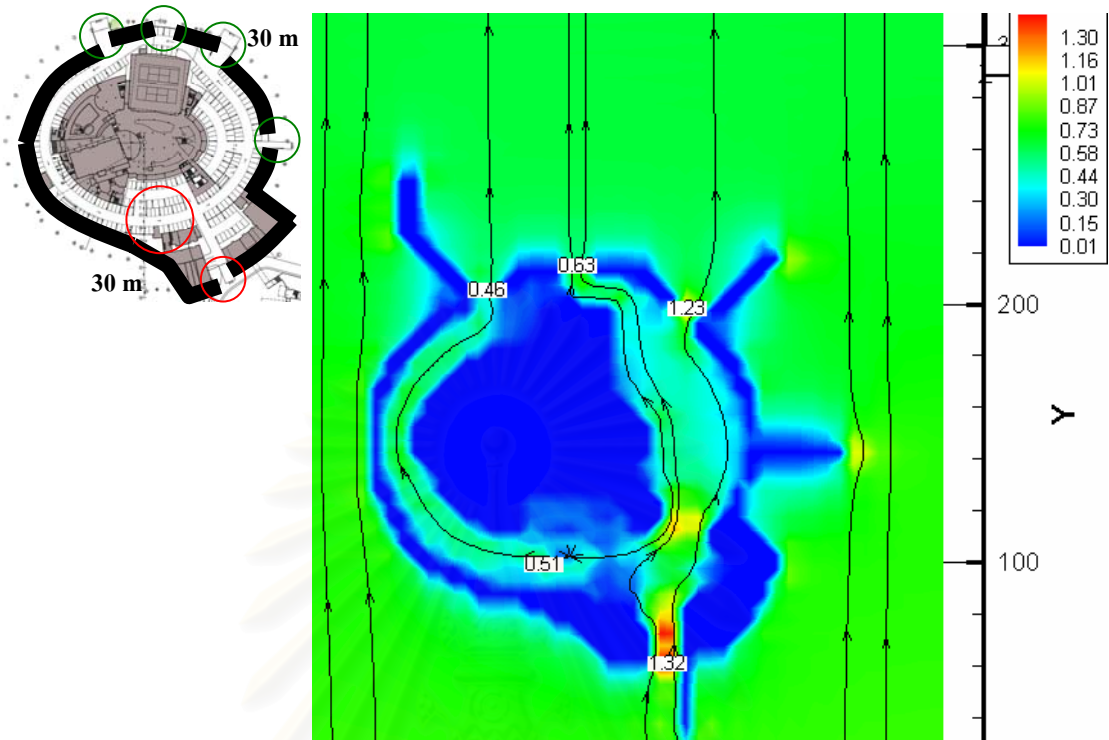


รูปที่ 4.67 แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

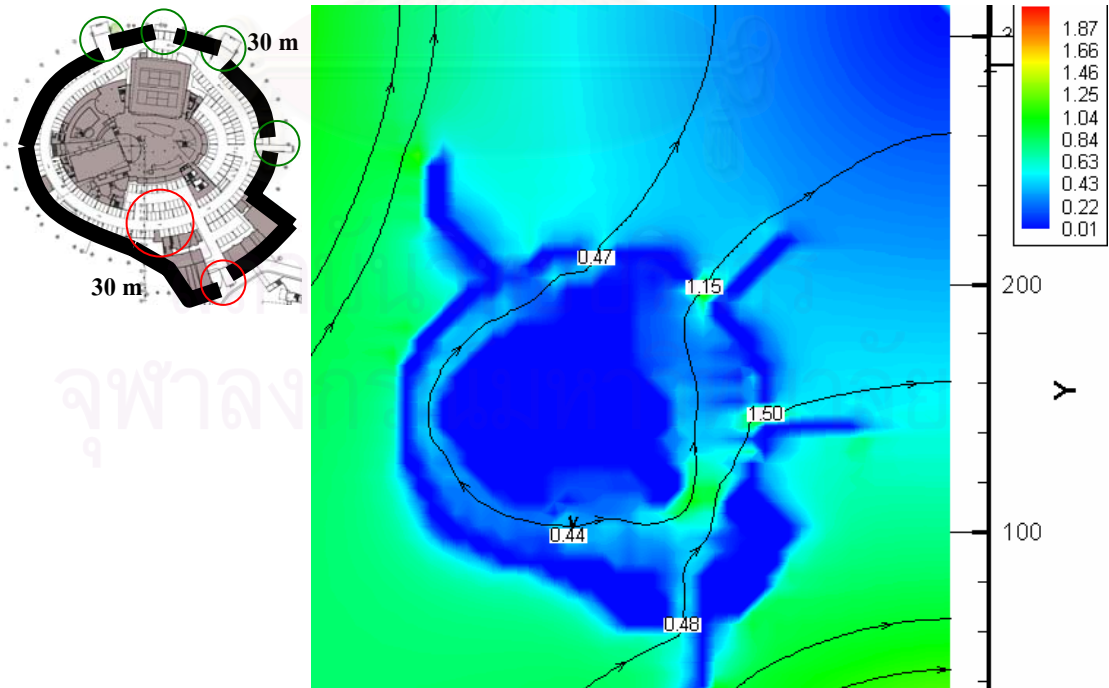


รูปที่ 4.68 แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออก

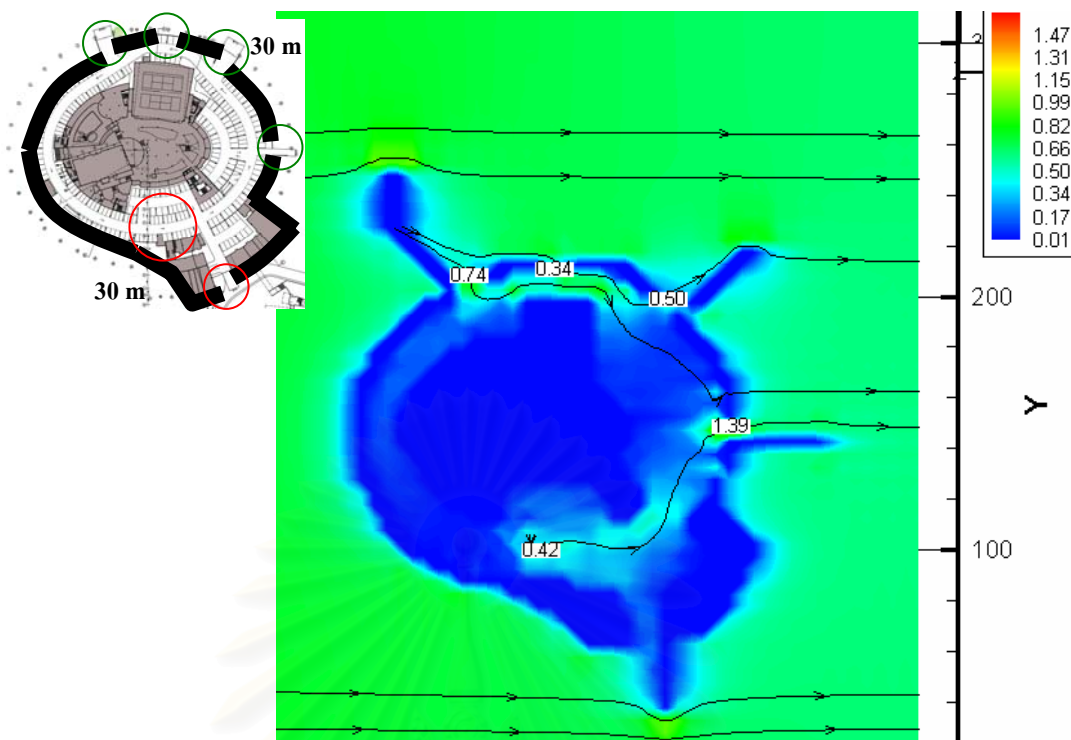
4.5.2 แบบทดสอบอัตราส่วน 1:1 และขนาดช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง



รูปที่ 4.69 แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศเหนือ



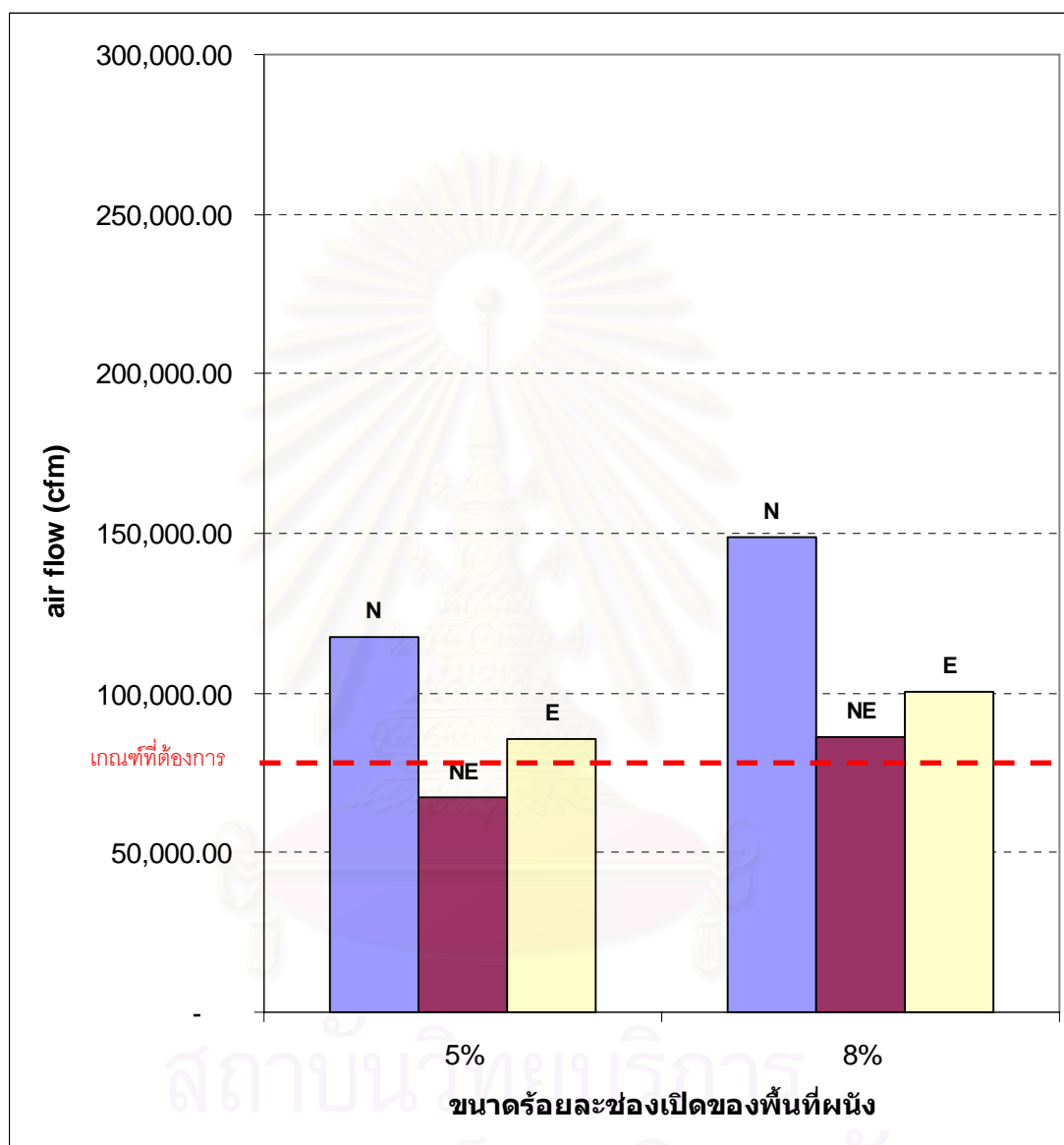
รูปที่ 4.70 แปลนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



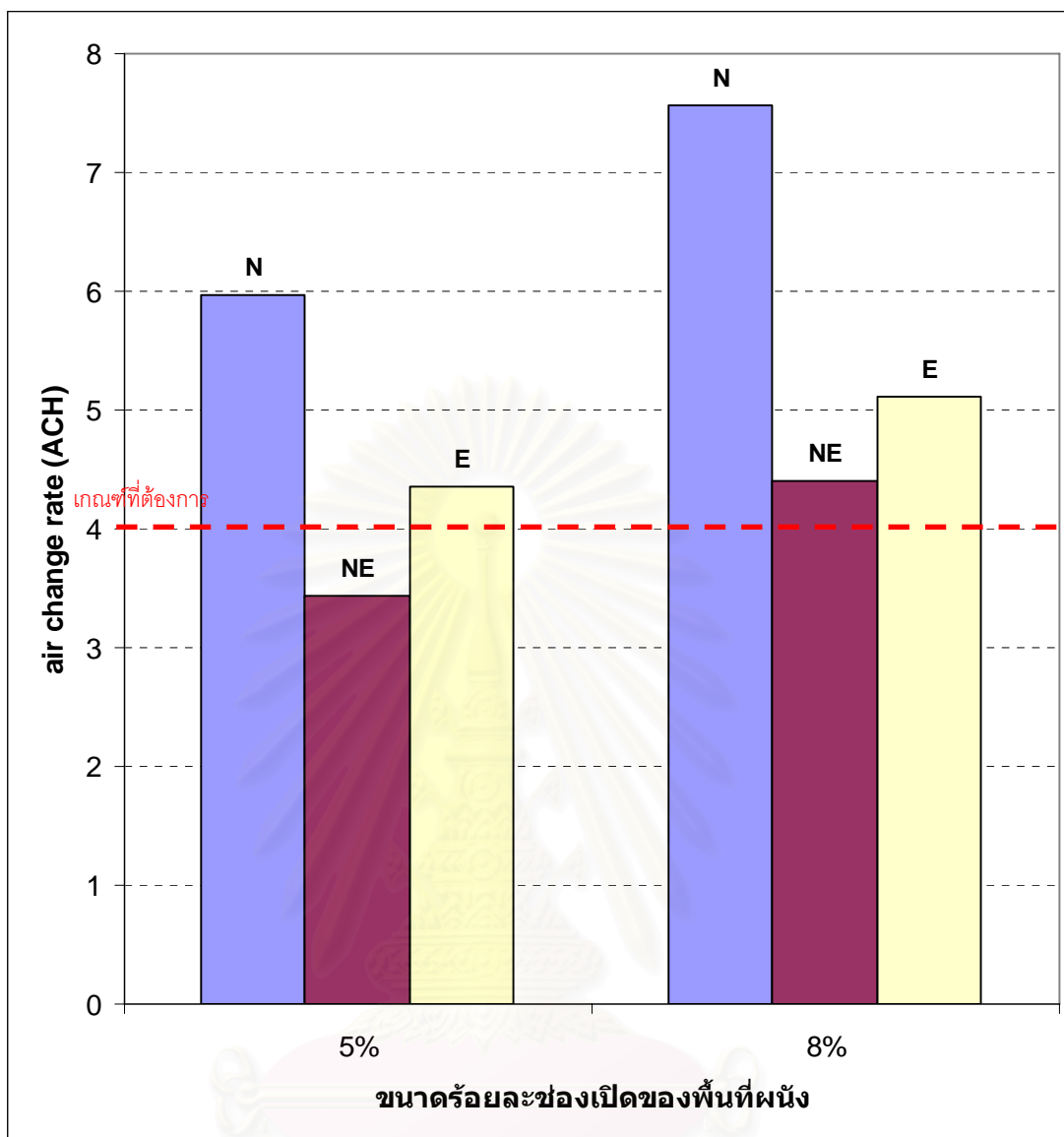
รูปที่ 4.71 แผนอาคารกรณีศึกษาจำลองลมทางทิศตะวันออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 วิเคราะห์แบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางการจำลอง



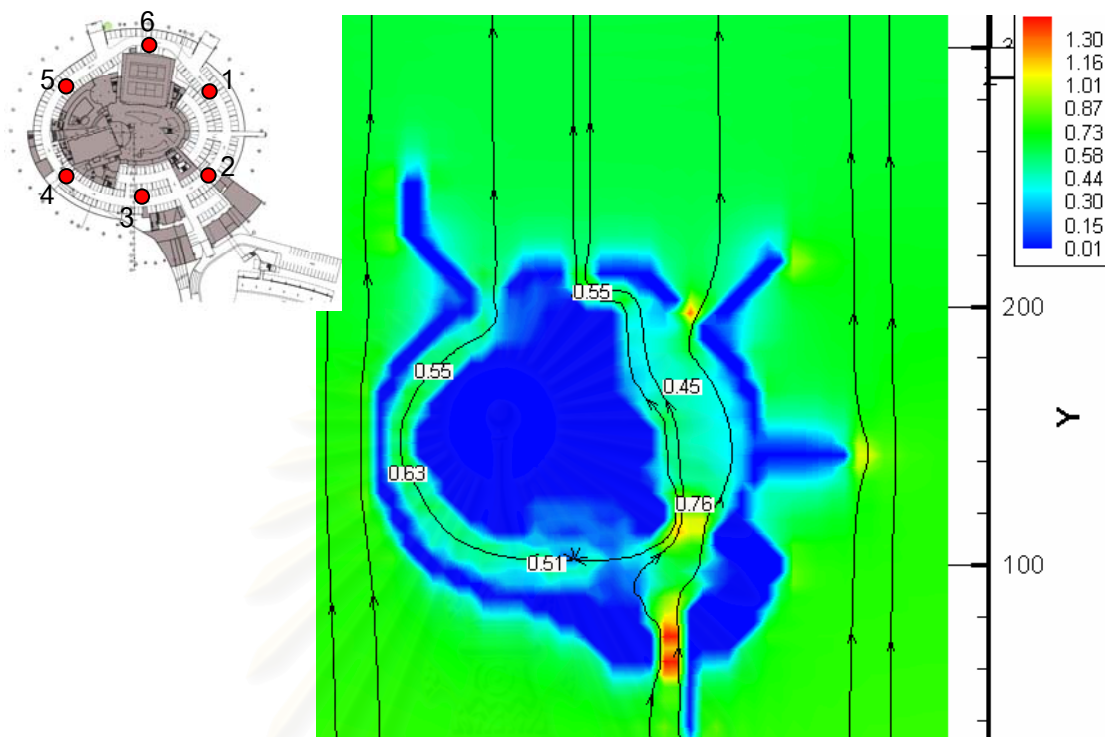
แผนภูมิที่ 4.11 วิเคราะห์แบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางการจำลองเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลของอากาศ



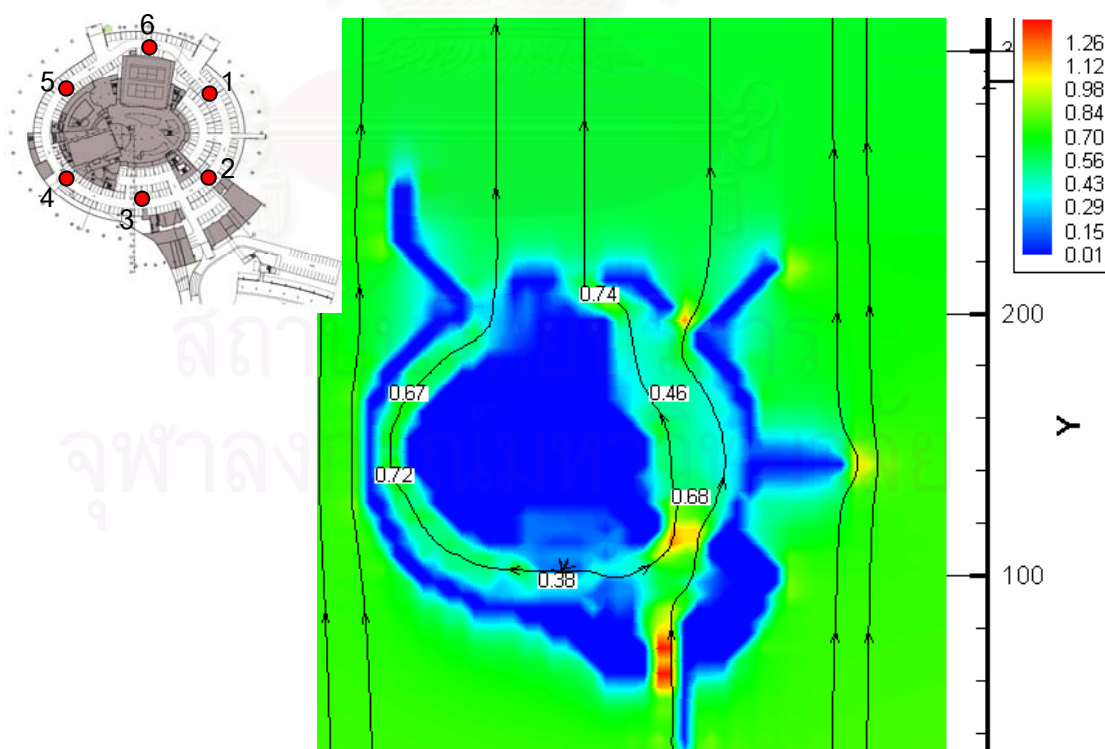
แผนภูมิที่ 4.12 วิเคราะห์แบบทดสอบอาคารกรณีศึกษาเพิ่มทิศทางการจำลองลมเปรียบเทียบกับ อัตราการเปลี่ยนอากาศ

จากแผนภูมิที่ 4.11 และ 4.12 จะพบว่าขนาดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังที่จะเพียงพอตาม เกณฑ์ที่กำหนด ทุกทิศทางตามทิศที่ได้จำลองของแบบทดสอบอาคารกรณีศึกษา

4.5.4 ทดสอบอัตราการไหลของอากาศภายในอาคารส่วนทิศทางที่เพิ่ม

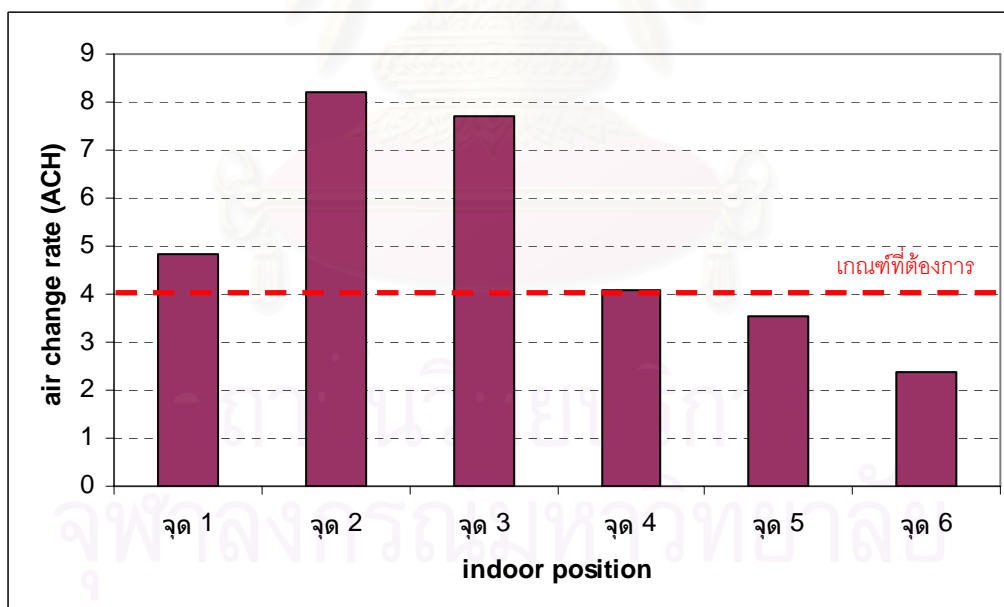
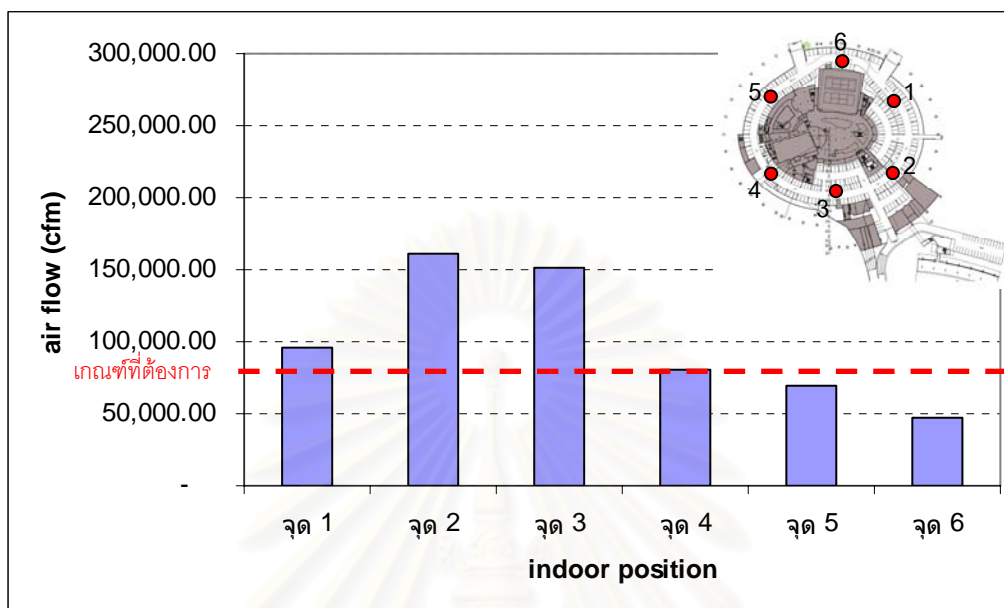


รูปที่ 4.72 อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง

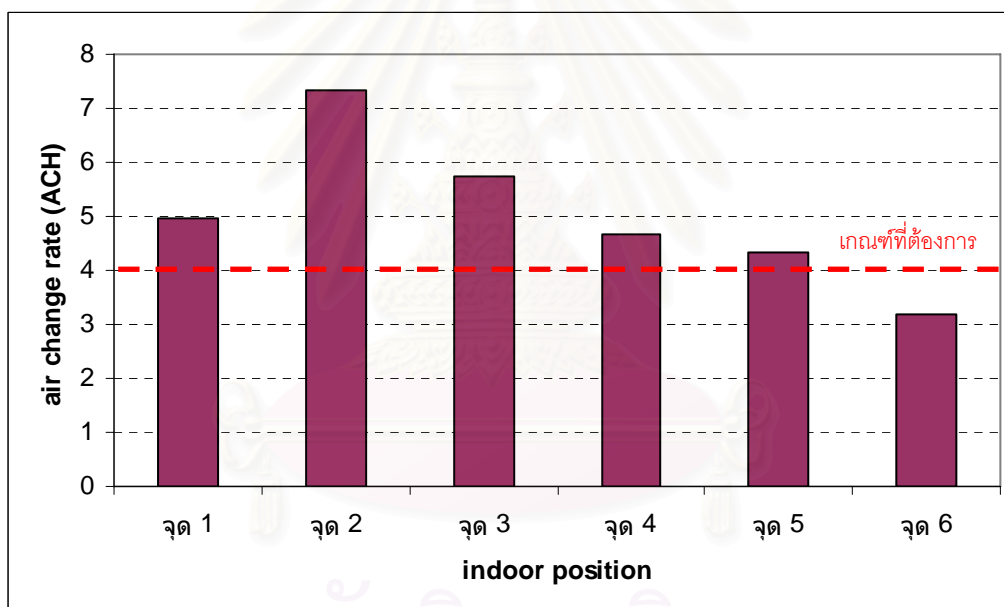
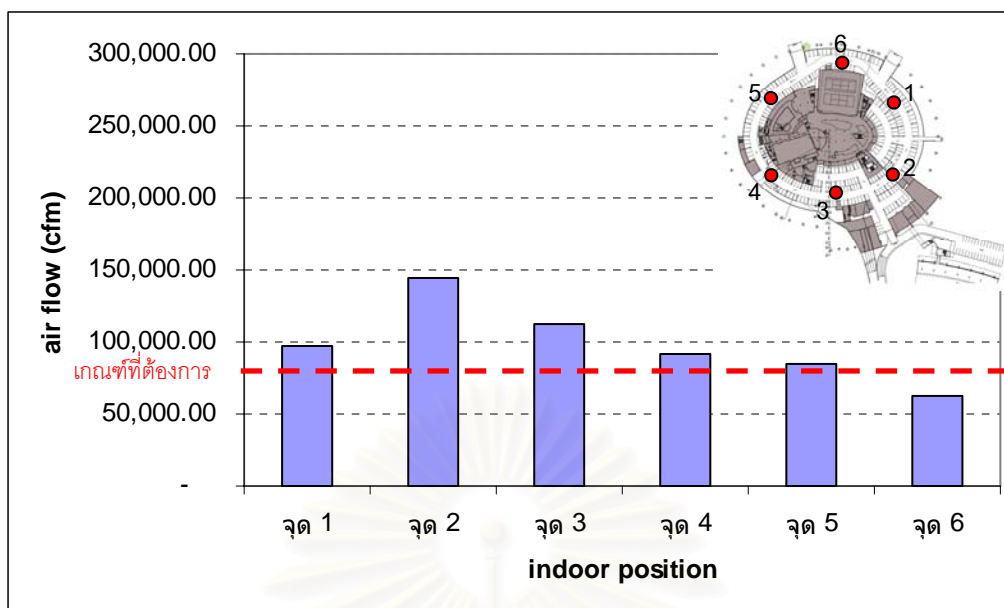


รูปที่ 4.73 อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนัง

4.5.5 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารส่วนทิศทางที่เพิ่ม



แผนภูมิที่ 4.13 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิด
ร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนัง



แผนภูมิที่ 4.14 วิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารของช่องเปิด
ร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนัง

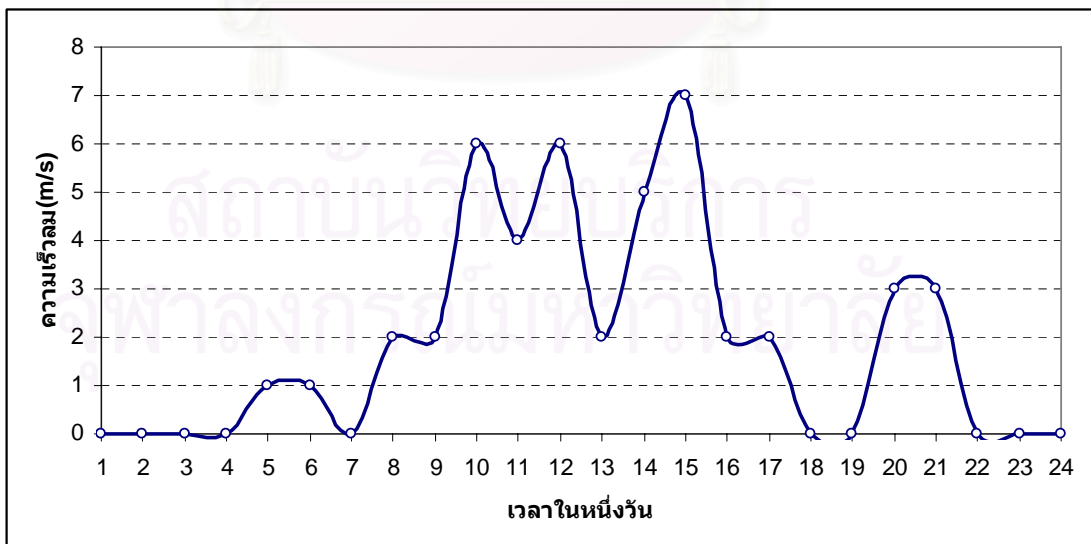
จากการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศภายในอาคารจากขนาดช่องเปิดร้อยละของพื้นที่ผนังในส่วนทิศทางที่เพิ่ม พบว่าช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังเป็นขนาดที่เหมาะสมเพียงพอตามเกณฑ์ที่กำหนด ขนาดเพียงตำแหน่งเดียวและเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปตัวแปรที่มีอิทธิพลในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติและการประยุกต์ใช้ตัวแปรในการออกแบบ

- ความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญโดยการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ความเร็วเฉลี่ย ซึ่งตามธรรมชาติของลมมีความเร็วลมที่ไม่สม่ำเสมอและไม่ต่อเนื่องตลอดเวลาและบางช่วงเวลาในแต่ละวันอาจไม่มีความเร็วลม ทำให้ช่องเปิดที่ได้จำลองสภาพว่าได้มาตรฐานการระบายอากาศไม่ได้ผลตามที่กำหนดไว้
- อัตราส่วนของช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออก สามารถกำหนดความเร็วลมที่ทางเข้าและปริมาณการไหลของอากาศได้ตามลักษณะแต่ละแบบ โดยพิจารณาจากผลจำลองการทดสอบ
- สัดส่วนร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนัง ซึ่งจากผลการจำลองแบบทดสอบจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศแปรผันตามสัดส่วนช่องเปิดที่เพิ่มขึ้น อยู่ที่ความเหมาะสมกับประเภทอาคารและการใช้งานที่ต้องการ



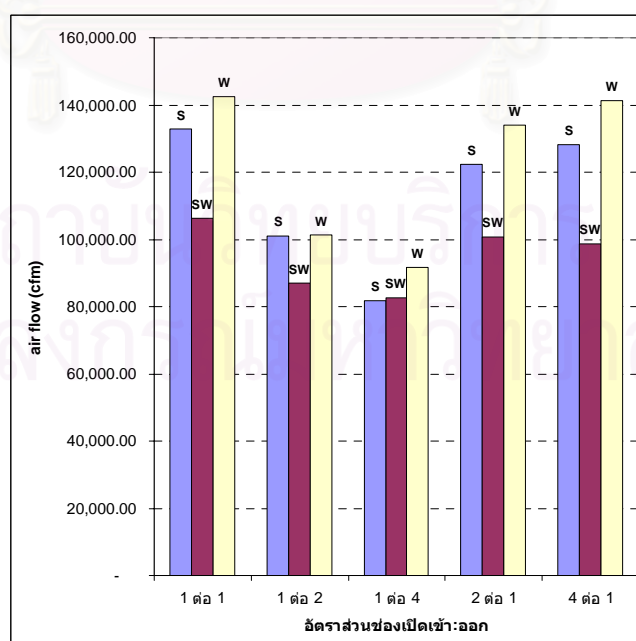
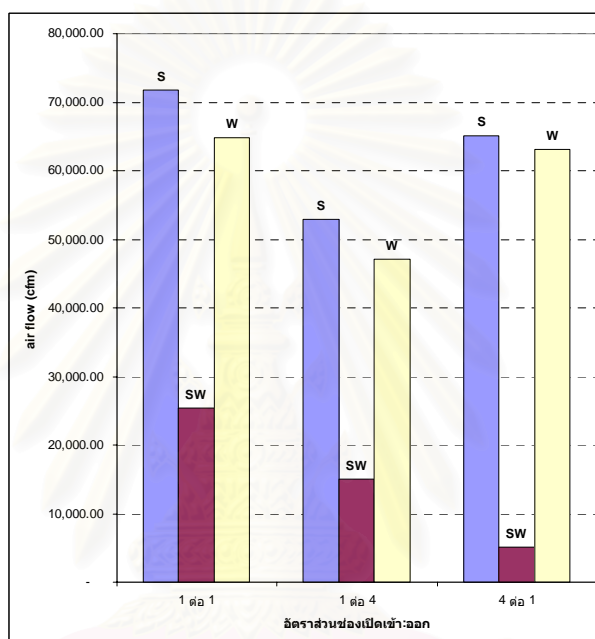
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงตัวอย่างความเร็วลมต่ำสุดและสูงสุดในหนึ่งวัน ของวันที่ 1 มกราคม

พ.ศ.2546 (ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2003)

5.2 สรุปผลจากการศึกษาสภาพการระบายอากาศของแบบทดสอบและอาคารกรณีศึกษา

5.2.1 สรุปผลทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก

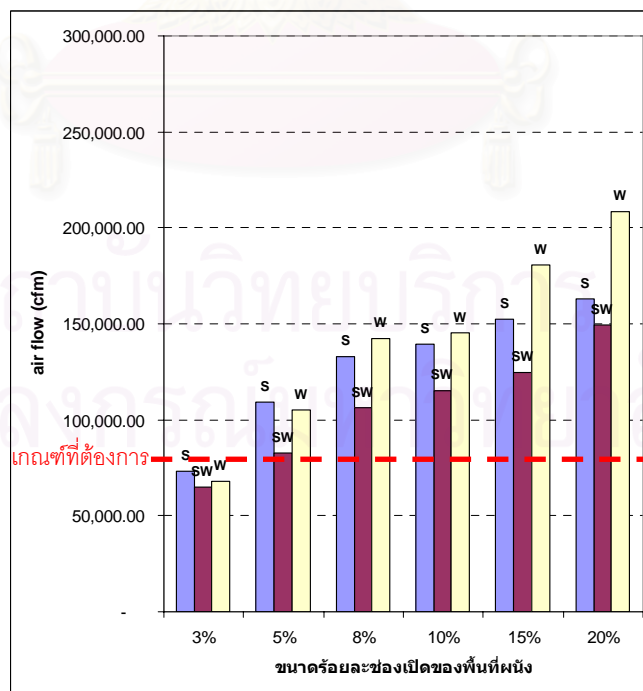
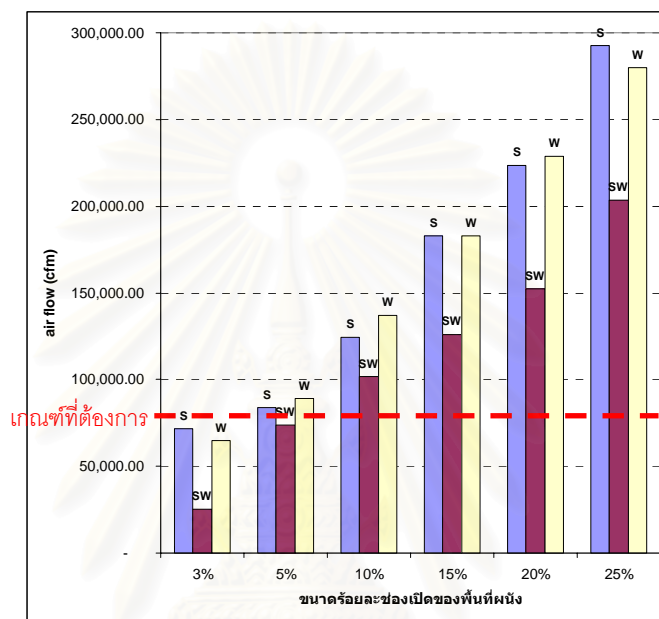
อัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออกที่ได้อัตราการไหลของอากาศสูงสุดทั้งแบบทดสอบและอาคารกรณีศึกษาคือ 1:1



แผนภูมิที่ 5.2 สรุปผลทดสอบอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดลมเข้าต่อช่องเปิดลมออก

5.2.2 สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

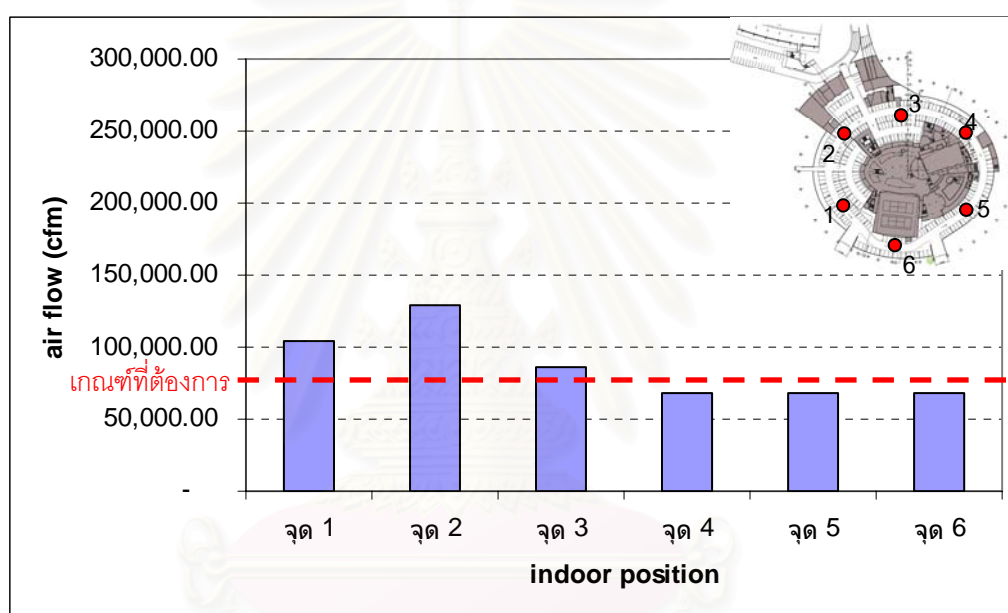
สัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5 ของพื้นที่ผนัง ได้อัตราการไหลของอากาศถึงเกณฑ์มาตรฐานที่ข้อกำหนดตั้งไว้ โดยที่ความเร็วลม 0.8 m/s เป็นความเร็วลมในการจำลองซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปี 2003 ที่เลือกมาเฉลี่ยเฉพาะความเร็วลมเฉลี่ยที่ต่ำสุดในแต่ละเดือน



แผนภูมิที่ 5.3 สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังส่วนจอดรถ

5.3 สรุปผลจากการศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารใต้ดิน

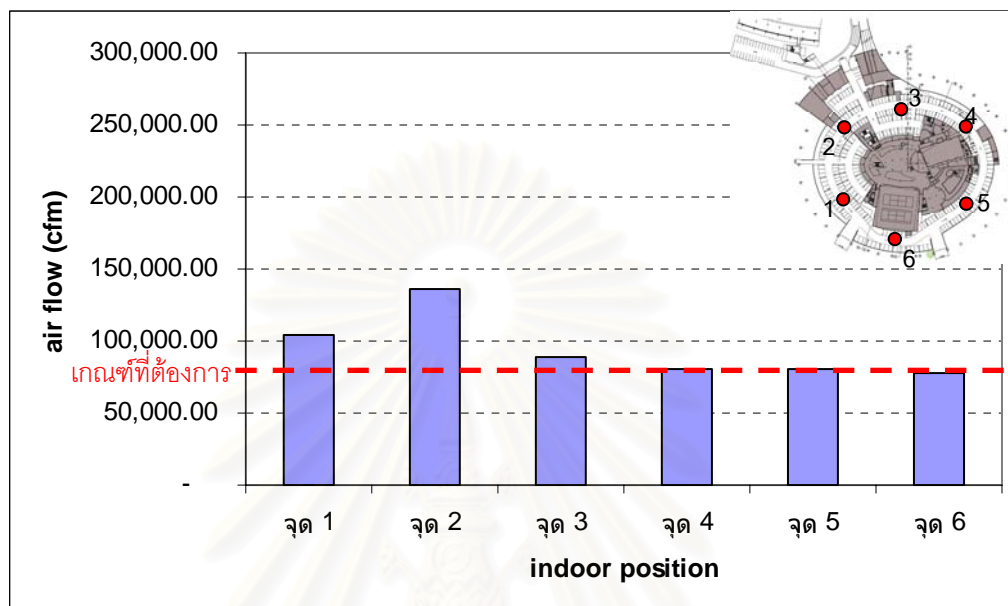
5.3.1 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจากอัตราส่วนและขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ



แผนภูมิที่ 5.4 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

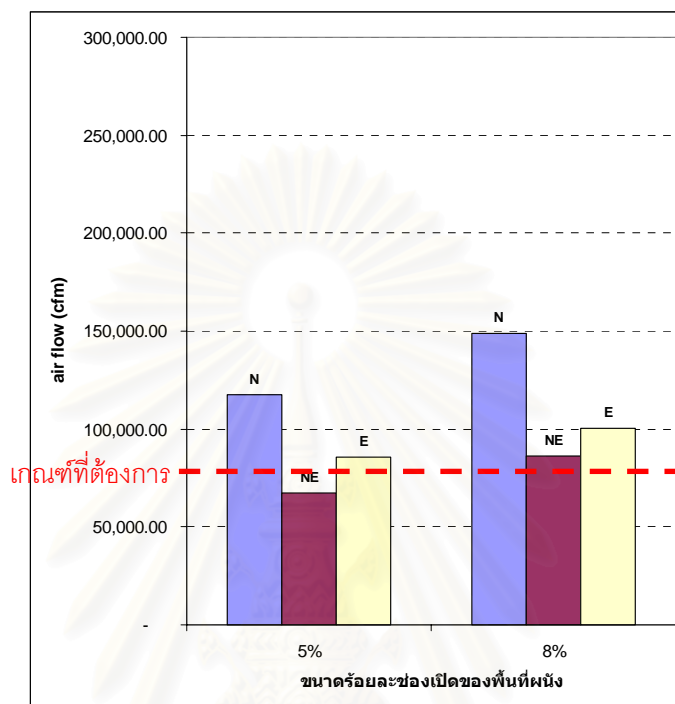
5.3.2 สรุปผลออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด จากผลวิเคราะห์ของอาคารกรณีศึกษาในการจำลองทิศทางลมแต่ละทิศ



แผนภูมิที่ 5.5 สรุปผลออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนด

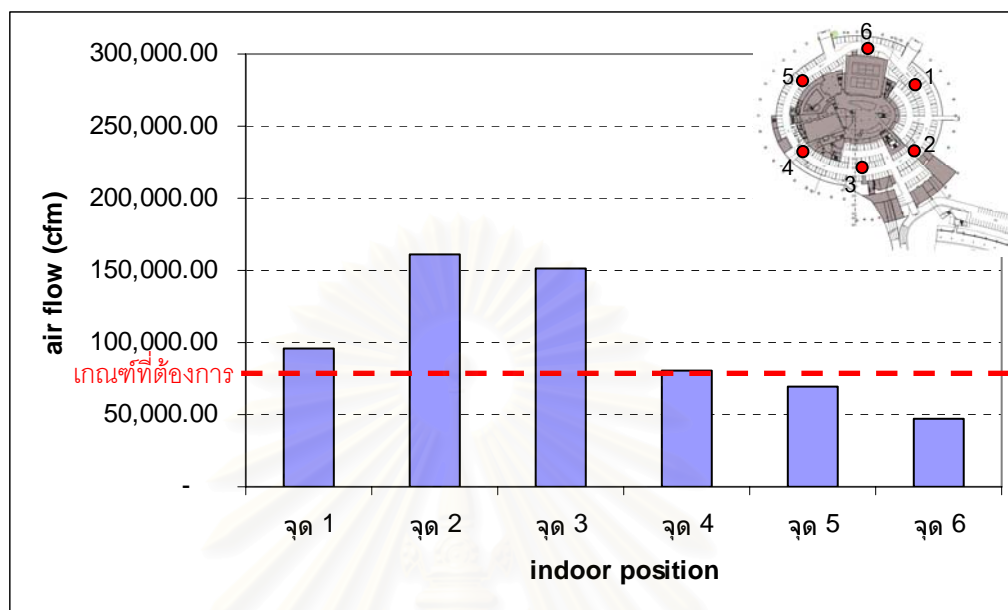
จะพบว่าผลออกแบบปรับปรุงความทั่วถึงของการระบายอากาศในจุดที่กำหนดจะเพียงพอตามเกณฑ์ที่กำหนดทั่วถึงในอาคาร ขนาดช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังเหมาะสมตามความต้องการทุกจุด

5.3.3 สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังที่ผนังที่ปรับปรุงได้ทั่วถึงกับทิศทางลมที่เพิ่มขึ้นในการจำลอง

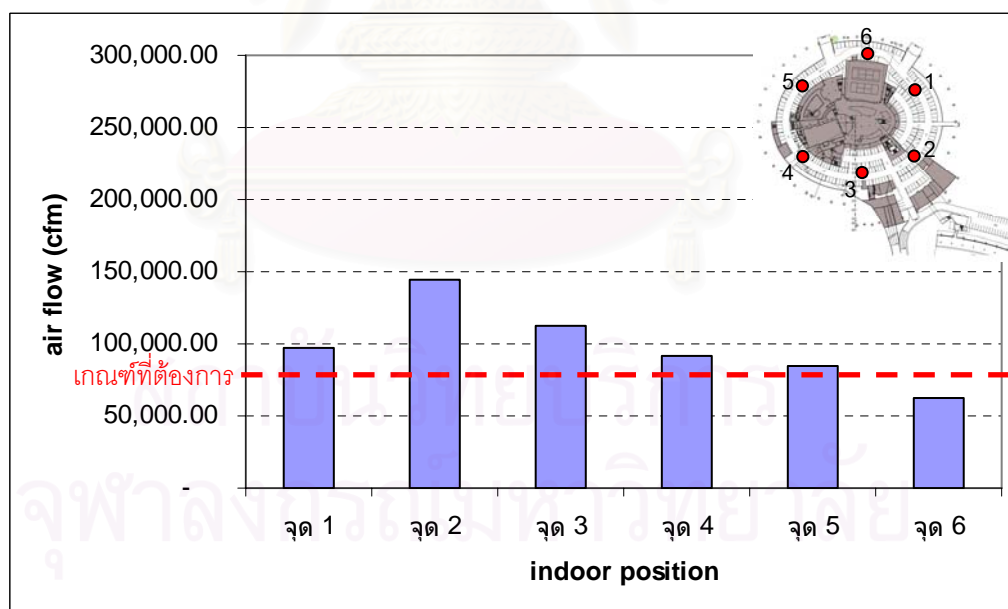


แผนภูมิที่ 5.6 สรุปผลทดสอบขนาดร้อยละช่องเปิดของพื้นที่ผนังในทิศทางที่เพิ่ม

5.3.4 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงในจุดที่กำหนดกับทิศทางลมที่เพิ่มขึ้นในการจำลอง



แผนภูมิที่ 5.7 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของช่องเปิดร้อยละ 8 ของพื้นที่ผนังกับทิศทางที่เพิ่ม



แผนภูมิที่ 5.8 สรุปผลวิเคราะห์ความทั่วถึงของช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังกับทิศทางที่เพิ่ม

จากผลสรุปวิเคราะห์ความทั่วถึงในจุดที่กำหนดในทิศทางที่เพิ่มในการจำลอง ขนาดช่องเปิดร้อยละ 10 ของพื้นที่ผนังที่เพียงพอผ่านเกณฑ์ตามกำหนด อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

5.4 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ

5.4.1 การออกแบบผังบริเวณโดยรอบจะช่วยสร้างให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลมและสามารถบังคับทิศทางลมให้ไปในทิศทางที่ต้องการ รวมถึงการช่วยลดอุณหภูมิอากาศที่สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารก่อนนำเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้ได้ประสิทธิภาพจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นสามารถระบายอากาศได้รวดเร็วและไม่เพิ่มอุณหภูมิภายในให้สูงขึ้น

5.4.2 การออกแบบอาคารบริเวณพื้นที่จวดรถใต้ดิน ถ้าต้องออกแบบให้มีสวนตัวอาคารที่มีระบบปรับอากาศอยู่ที่พื้นที่จวดรถ ควรคำนึงถึงการวางตำแหน่งในบริเวณพื้นที่จวดรถเพราะมีความสำคัญต่อการวางการไหลของกระแสลมในการระบายอากาศและอาจเกิดบริเวณอับลมไม่สามารถระบายมลภาวะออกไปได้ จากการได้ศึกษาวิจัยโดยการจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของอากาศในอาคารกรณีศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเห็นว่าตำแหน่งที่จะตั้งสวนตัวอาคารบริเวณพื้นที่จวดรถมีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศและมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออก อาจต้องทำการศึกษาจำลองแบบทดสอบในกรณีอื่นๆ เช่น การวางตำแหน่งและลักษณะตัวอาคารกับตำแหน่งและสัดส่วนช่องเปิดเข้าและออกเพื่อศึกษาต่อไป

5.4.3 สำหรับช่วงเวลาที่ไม่มีความเร็วลมหรือความเร็วไม่สามารถใช้ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้ตามมาตรฐานข้อกำหนด ต้องเสริมด้วยการระบายอากาศด้วยเครื่องกลควรพิจารณาติดตั้งให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด ทั้งเพื่อการเพิ่มอากาศดีเข้าไปแทนที่หรือเจือจางมลภาวะในช่วงเวลาหนึ่งและเพื่อการดูดอากาศเสียจากตำแหน่งที่เกิดการสะสม โดยพิจารณาได้จากผลการจำลองสภาพการไหลของอากาศเพื่อให้ทราบจุดบกพร่อง

5.4.4 อาคารกรณีศึกษาหลังนี้ค่อนข้างแตกต่างจากอาคารทั่วไปในแง่ของรูปร่างอาคาร เพราะฉะนั้นผลที่ได้กับอาคารอื่นๆอาจจะแตกต่าง แต่เหตุผลที่เลือกอาคารกรณีศึกษานี้ในการทดสอบเพราะเป็นแบบอาคารจริง

5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.5.1 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาจากอาคารกรณีศึกษาเพียงอาคารเดียวซึ่งเป็นการศึกษาเพียงเบื้องต้นทำให้ความหลากหลายของข้อมูลและความน่าเชื่อถือไม่สูงและไม่มีรูปแบบหลากหลายในการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ข้อมูลที่ได้นำมาปรับใช้กับอาคารได้ไม่กว้าง

5.5.2 การแสดงผลการวิจัยจะเห็นแนวการไหลของอากาศเพียงเส้นทางหลักการผ่านเข้าและออก ดังนั้นถ้าเกิดสร้างแบบจำลองให้ลงไปรายละเอียดมากขึ้นทั้งตารางสร้างแบบจำลองอาคารและรายละเอียดอาคารจะสามารถพิจารณาผลของรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมที่มีอิทธิพลจากแรงเสียดทานหรือการกระทบทำให้ได้ข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์ในกรณีอื่นๆ

5.5.3 การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้นำการเคลื่อนที่ของกระแสลมที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งจะสามารถทำให้กระแสลมเคลื่อนที่เป็นการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติโดยอาศัยปล่องระบายอากาศ ถึงแม้ช่วงเวลาใดที่ไม่มีความเร็วตามธรรมชาติก็ยังสามารถระบายอากาศในอาคารด้วยวิธีนี้แทนได้ และถ้าสามารถใช้การระบายอากาศทั้งความแตกต่างความดันอากาศและความแตกต่างของอุณหภูมิให้เหมาะกับช่วงเวลาที่เหมาะสมจะช่วยให้การระบายด้วยวิธีธรรมชาติสมบูรณ์ได้ต่อเนื่อง โดยไม่ต้องใช้ระบบเครื่องกลให้สิ้นเปลืองพลังงาน

5.5.4 ควรมีการศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับความร้อนที่ตามมาจากการนำกระแสลมภายนอกมาระบายอากาศในอาคาร โดยเฉพาะเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารในทางด้านอุณหภูมิและด้านมลภาวะจากภายนอกที่เกิดขึ้นพร้อมกับการไหลของอากาศเข้ามาในอาคาร

5.5.5 ควรมีการศึกษาการลดระดับมลภาวะที่เกิดขึ้นจากแหล่งต่างๆ เช่น ควันพิษจากรถยนต์ ฝุ่นละอองในอากาศ กลิ่นจากการระบายน้ำ ทั้งที่มาจากภายนอกและที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร ด้วยอัตราการระบายอากาศหรือปริมาณการไหลของอากาศว่าต้องการอัตราเพียงใดถึงลดระดับมลภาวะให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร

5.5.6 จากการศึกษาการจำลองสภาพการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล อาจได้ค่าหรือข้อมูลได้ใกล้เคียงเนื่องจากไม่ได้เปรียบเทียบข้อมูลกับการวัดจริงซึ่งมีความซับซ้อนมากในการหาข้อมูล ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงเป็นแนวทางเบื้องต้นและการศึกษาต่อไปควรศึกษาควบคู่กับการวัดจริงด้วย เช่น การใช้อุโมงค์ลม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมอุตุนิยมวิทยา. ข้อมูลสถิติความเร็วลมและทิศทางลมปี 2000-2003. รายงานสถิติความเร็วลม, 2546.

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร. ควบคุมอาคารกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร, 2521.

ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข. การลดปริมาณมลพิษทางอากาศด้วยการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ สำหรับอาคารจอดรถชั้นใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

มาลินี ศรีสุวรรณ. การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2543"

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. อัตราการระบายอากาศตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ภายใต้อ พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522. <http://www.thaihvac.com>, 2548.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. กรุงเทพมหานคร: เฟิสท์ ออฟเซท (1993), 2545.

อรรถจันทร์ เศรษฐบุตร. เอกสารคำสอนหัวข้อลมและการระบายอากาศ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

ภาษาอังกฤษ

Allard,F. Natural Ventilation in Building a Design Handbook. UK: European Commission Directorate General forenergy Altener Program, 1998.

America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.

Awbi, H.B. Ventilation of Buildings. London and New York: E & FN SPON, An Imprint of Routledge, 1998.

Benjamin Stain, John S,Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th ed.USA, 1992.

Brown, G.Z. and Dekay,Mark. Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies. New York: John Willy & Son, Inc., 2001.

Etheridge, David. Building Ventilation: Theory and measurement. Chi Chester: John Wiley & Sons, 1996.

M.Y. Chan & W.K. Chow. Car park ventilation system: performance evaluation. Building and Environment 39, 2004.

Olgay, V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Fourth Printing. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

www.tmd.go.th. เรื่องลม

www.se-ed.com. CFD. Mechanical Technology Magazine 8, 2002.

www.engineeringtoolbox.com. Air properties., 2005



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสถิติความเร็วลม

ตารางที่ ก-1 แสดงข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย(m/s) ปี 2003

เวลา	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1	1.2	2.1	2.2	2.8	2	1.6	1.1	1.8	1.3	1	0.8	0.5
2	1.2	1.4	1.4	2.6	1.5	1.4	1.1	1.9	0.7	0.7	0.7	0.7
3	0.7	1.3	1.5	2.2	1.5	1.7	0.8	1.8	1	0.7	0.9	0.4
4	0.9	1.2	1.1	1.9	1.9	2.1	1	1.5	0.8	0.9	0.9	0.4
5	1.1	1	0.9	1.5	1.7	1	1.5	1.4	0.6	0.8	0.8	0.4
6	1.1	1.2	1	1.2	1.3	1.3	1.5	1.3	0.4	0.7	0.9	0.4
7	1.4	1.7	1.3	1.7	1.7	1.3	1.3	1.5	0.9	1.2	1.1	0.5
8	1.6	2.3	2.2	2.1	2.8	2.4	1.6	1.8	1.7	1.3	2	1.1
9	2.4	3.1	2.3	2.7	3.1	3	1.9	3.4	2.2	2.2	3.1	1.5
10	3	3	2.4	3.5	3.8	3.4	2.5	3.9	2.3	2.8	2.6	1.8
11	3	3.8	3.1	3.3	4.6	3.7	3.2	4.3	3.3	2.9	3	2
12	3.4	3.6	3.4	4.5	4.8	3.9	2.8	3.9	3.8	3.5	3.2	2.8
13	3.6	3.7	4	4.7	4.4	3.8	3.6	4.2	3.9	3.3	3.5	2.7
14	3.3	3.7	3.7	4.8	4.2	4.7	3.9	4.1	3.5	3.1	2.9	2.6
15	3.5	4.1	3.7	5.2	4.6	4.2	3.7	4.2	3.1	3	2.7	2.6
16	2.7	3.7	3.4	5.1	5	4	4.5	3.9	3.3	2.7	2.5	2.3
17	2.1	3	3.4	3.8	4.1	4.2	3.1	4.5	2.4	3	1.5	1.6
18	1.6	3	3.3	3.1	4.2	4.2	3.7	3.4	2.5	2	1.6	1.4
19	1.2	2.7	2.7	3.4	2.8	3.3	2.7	2.9	2.9	1.7	1.2	0.9
20	1.4	2.9	2.3	3.5	2.5	2.4	2.2	2.1	1.7	0.8	1.2	1.5
21	1.3	2.8	2.1	3	2.9	2.6	2	2.8	1.3	1.3	0.8	1.1
22	1.5	2.9	2.3	3	2.3	2.7	1.8	2.1	1.6	1.4	0.9	0.9
23	0.8	2.1	1.7	3	1.8	2	1.4	2.5	1.9	0.6	0.8	0.8
24	0.7	1.8	2	2.6	1.4	1.5	1.1	1.9	1.3	0.8	0.8	0.3
ความเร็วลมเฉลี่ย	1.9	2.6	2.4	3.1	3	2.8	2.3	2.8	2	1.8	1.7	1.3

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2003

ภาคผนวก ข

ข้อมูลสถิติทิศทางลม

ตารางที่ ข-1 แสดงข้อมูลทิศทางลม ปี 2003

เวลา	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1	S	S	S	S	SW	SW	SW	W	W	E,SE	NE	NE
2	S	S	S	S	SW	SW	S	W	SW,W	E	NE	NE
3	S	S	S	SE	SW	W	SW	W	W	E	NE	W
4	S	S	S	S	W	SW,W	SW	W	W	E	NE,E	E
5	S	S	S	S	S	W	S	W	E	S	N	NW,N
6	E	S	S	S	SW	SW	SW	W	W	NW	NE	E
7	E,NE	S,SW	S	S	SW,W	SW	SW	W	W	NW	NE	E
8	E	E,SE	S	S	SW	SW	SW	W	W	NW	NE	E
9	SE	S	S	S	S	SW	SW	SW,W	W	W	NE	E
10	NE	S	S	S	SW	SW	SW	W	W	W	NE	E
11	NE	S	S	S	W	SW	SW	SW	W	SE	E	E
12	E	S	SW	S	S	SW	SW	SW	W	E	NE	E
13	NE	S	S	S	S	SW	SW	W	W	E	N	NE
14	NE	S	S	S	S	S	SW	W	W	SW	NE	NE
15	S	S	S	S	S	S	SW	W	S	S,SW,W	NE	NE
16	S	S	S	S	S	S	S	SW	S	S	NW	E
17	S	S	S	S	S	S	S	SW	S	W	NW	NW
18	S	S	S	S	S	S	S	W	S,SW	SE,S	NW	NW
19	S	S	S	S	S	S	S	SW	S	S	NE,N,NW	NW,SE
20	S	S	S	S	S	S	S	SW	S	SE	NW	NW
21	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	SE	NE	NW
22	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	S	NE	E
23	S	S	S	S,SE	S	SW	SW	SW	W	S	NW	E
24	S	S	S	S	SW	W	SW,W	W	W	S,E	N	NE

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2003

ภาคผนวก ค

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับลม

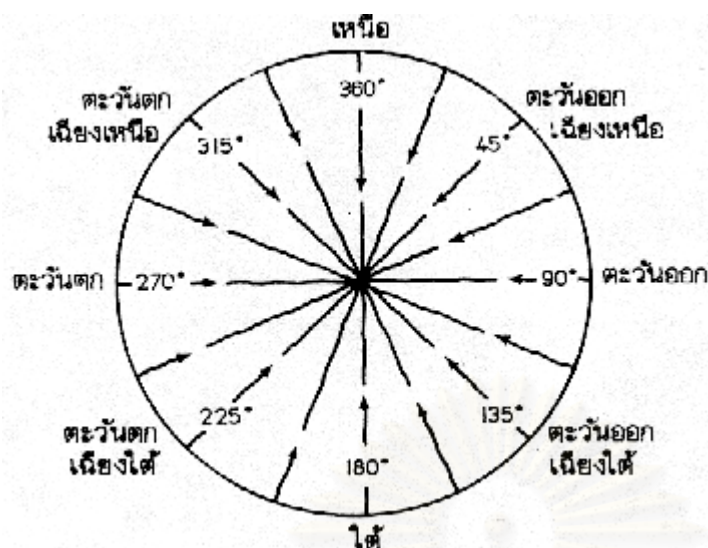
ลม

ลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนกระแสอากาศคือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้นๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่า ลมเหนือ และลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่า ลมใต้ เป็นต้น ในละติจูดต่ำไม่สามารถจะคำนวณหาความเร็วลม แต่ในละติจูดสูงสามารถคำนวณหาความเร็วลมได้

การวัดลม

การวัดลมมีวิธีการวัด 2 วิธี คือ วัดทิศทางลม และวัดความเร็วลม

1. ทิศลม อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัด ทิศลมนิยมวัดทิศทางตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศทางด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศทางนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศทางที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ , ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง

2. ความเร็วลมคือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นส่วนส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม อธิบายดังในรูปของสมการ

$$P = kv^2$$

P = ความกดที่เกิดจากการกระทำของลม

V = ความเร็วลม

K = ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้

ถ้าความกดอากาศมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต ความเร็วลมเป็นนอต (1 นอต หมายถึง 1 ไมล์ทะเล (6,080.20 ฟุต) ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานความเร็วลมที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา) สมการจะเป็น $P = 0.0053 V^2$ โดยประมาณสำหรับผิวพื้นที่ราบเรียบ แต่ถ้าความเร็วลมมีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง ค่า P ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็น $P = 0.004 V^2$ ด้วยเหตุนี้แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลม ทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ โดยที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใดๆ แต่จะสังเกตได้จากปรากฏการณ์ของวัตถุที่อยู่รอบๆ ดังนั้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมขึ้น เรียกว่ามาตราโบฟอร์ต (Beaufort Scale) พลเรือเอก เซอร์ฟรานซิส โบฟอร์ต (Admiral Sir Francis Beaufort) ชาวอังกฤษ เป็นผู้คิดขึ้นใช้ในปี พ.ศ. 2548 สำหรับตรวจลมในทะเล ต่อมาได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ทั้งบนบกและในทะเล มาตราโบฟอร์ต จะใช้เปรียบเทียบกับสิ่ง

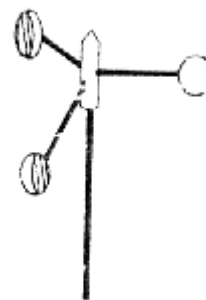
ที่กีดขวางไม่ว่าบนบกและในทะเล โดยสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้แก่ ใบไม้ กิ่งไม้ สายโทรเลข สายโทรศัพท์ ธง สิ่งปรักหักพังต่างๆ และคลื่นในทะเล เกณฑ์ที่ใช้กำหนดความเร็วลม ได้มาจากการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล มาตราโบฟอร์ต เริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นคือ ที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ ไปจนถึงมาตราที่ 17 ลมมีกำลังแรงจัดกลายเป็นพายุเฮอริเคน ปัจจุบันมาตราโบฟอร์ตถูกนำมาใช้น้อยลง โดยเฉพาะสถานีบนบก

เครื่องวัดลม

1. เครื่องวัดทิศทางลม เรียกว่า วินด์เวน (Wind Vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาว ซึ่งมีความยาวเป็นแผ่น ทางตั้งเห็นตัวบังคับให้ปลายศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามา โดยมีแกนของศรลมหมุนไปโดยรอบ และต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า อ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ไปที่หน้าปัดของเครื่อง (รูปที่ 2)
2. เครื่องวัดความเร็วลม เรียกว่า อะนิโมมิเตอร์ (Anemometer) ซึ่งอะนิโมมิเตอร์แบบเก่าแก่ที่สุดคือแบบแผ่นกระดาษ (Pressure Plate Anemometer) ประดิษฐ์โดย โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hook) เมื่อปี พ.ศ. 2210 ประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกน และแกนนี้ติดอยู่กับเสาในแนวตั้ง แผ่นโลหะนี้หมุนรอบแกนได้อย่างอิสระ และตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอ เมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่นโลหะ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะจะกระดกขึ้น มุมที่แผ่นโลหะทำกับแนวตั้งนั้น จะขึ้นอยู่กับความแรงของลม ถ้าลมนั้นแรงมากมุมที่จะทำให้ใหญ่ขึ้น ความเร็วลมอ่านได้จากสเกลที่ทำไว้บนโลหะโค้งที่ติดอยู่กับแกนของแผ่นโลหะ ปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแบบลูกถ้วย (Cup Anemometer) ประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบ ติดอยู่กับเพลาในแนวตั้ง ความกดที่แตกต่างกันจากด้านหนึ่งของลูกถ้วยใบหนึ่ง ไปยังลูกถ้วยอีกใบหนึ่งเป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนรอบๆ เพลา (รูปที่ 3) อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงต่อความเร็วลม การหมุนของลูกถ้วยปกติจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นความเร็วลมผ่านระบบเกียร์ และสามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัด หรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเวลา

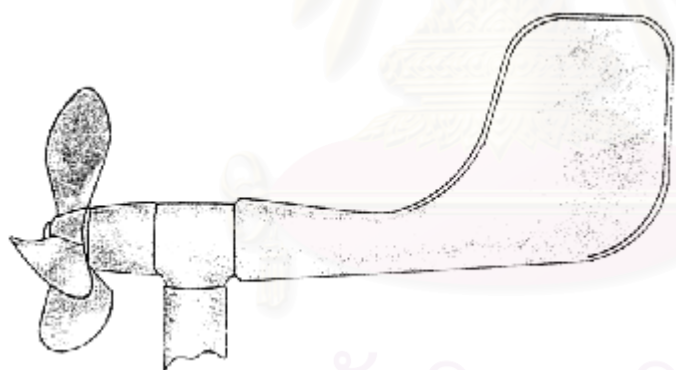


รูปที่ 2 วินต์เวน



รูปที่ 3 อะนิโมมิเตอร์แบบรูปถ้วย

ส่วนเครื่องวัดที่วัดได้ทั้งความเร็วลม และทิศทางลม เรียกว่า แอโรเวน (Aerovane) โดยรวมอะนิโมมิเตอร์และวินต์เวนเข้าด้วยกัน เครื่องมือนี้ใช้ใบมีดที่เป็นใบจักร 3 ใบ วัดความเร็วลม ใบจักรหมุนเป็นอัตราส่วนต่อความเร็วลม จากรูปร่างของเครื่องที่เพียว และมีปีกอยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบมีดหันเข้าหาลม (รูปที่ 4) วินต์เวนจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ บอกรichtung และช่วยให้แกนของใบจักรชี้เข้าหาทิศทางลม ทั้งอะนิโมมิเตอร์และวินต์เวน เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องมือที่ทำการบันทึก

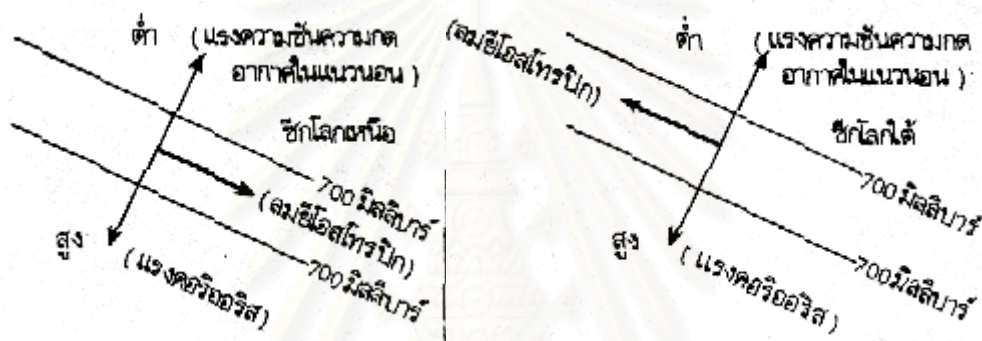


รูปที่ 4 แอโรเวน

เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้เป็นการวัดลมที่พื้นดิน และบอกรichtung หรือความเร็วลมในตำแหน่งคงที่ โดยเฉพาะสิ่งกีดขวางอื่นๆ ก็มีอิทธิพลต่อลม เช่น อาคารต้นไม้ และอื่นๆ ความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก และควรอยู่สูงกว่าหลังอาคาร แต่ในทางปฏิบัติอะนิโมมิเตอร์จะถูกวางไว้ในระดับความสูงต่างๆ ไม่แน่นอน ทำให้การวัดลมมีความผิดพลาดอยู่เสมอ

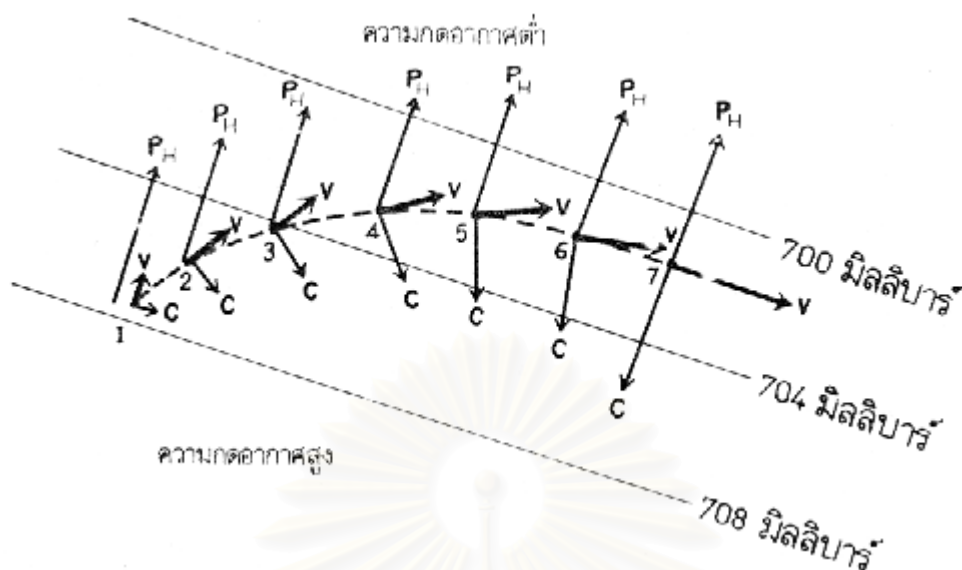
ลมชั้นบน

1. ลมอีโอสโทรฟิก (Geostrophic Wind) เป็นลมที่เกิดจากแรง 2 แรง ที่มากระทำต่อกัน คือ แรงความชันความกดอากาศกับแรงคอริอลิส เนื่องจากการหมุนของโลก แรงทั้ง 2 จะพัดอยู่ในทิศทางตรงข้ามกันและมีความสมดุลกัน ลมนี้พัดขนานกับไอโซบาร์ที่เป็นเส้นตรงและขนานกัน ซีกโลกเหนือ ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายของลม ส่วนในซีกโลกใต้ความกดอากาศต่ำ จะอยู่ทางขวาของลม (รูปที่ 5) แรงความชันความกดอากาศที่จะไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วลม แต่แรงคอริอลิสเป็นปฏิภาค



รูปที่ 5 ลมอีโอสโทรฟิกพัดขนานกับไอโซบาร์ ในซีกโลกเหนือความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายของลม ส่วนในซีกโลกใต้ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางขวาของลมกับความเร็วลม และตั้งฉากกับความเร็วลม

ลมนี้เป็นลมลักษณะชั้นบนอยู่สูงจากพื้นดินตั้งแต่ 1 กิโลเมตร ขึ้นไปเป็นระยะที่ไม่มีแรงฝืด พันจากอิทธิพลของสิ่งกีดขวางธรรมชาติบนพื้นโลก และจะเกิดที่ละติจูดประมาณ 10 หรือ 15 องศาเหนือ เพราะที่ละติจูดต่ำแรงคอริอลิสจะมีค่าน้อย ยิ่งบริเวณศูนย์สูตรแรงนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ รูปที่ 6 แสดงทิศทางของลมอีโอสโทรฟิกในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝืด ในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร อากาศเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ ก่อนที่ลมจะเคลื่อนที่แรงคอริอลิสมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อความแตกต่างของความกดอากาศเกิดขึ้น อากาศจะเคลื่อนที่เริ่มจากตำแหน่งที่ 1 เคลื่อนด้วยความเร็วลมข้ามไอโซบาร์ ซึ่งในขณะที่อากาศเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 7 แรงเฉื่อยค่อยๆ เบนเฉไปทางขวาและความสมดุลของลมจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ 6 ทิศทางของลมยี่ไฮสโทรฟิก ในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝัดในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร

P_H = แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน

C = แรงคอริออลิส

V = ลมยี่ไฮสโทรฟิก

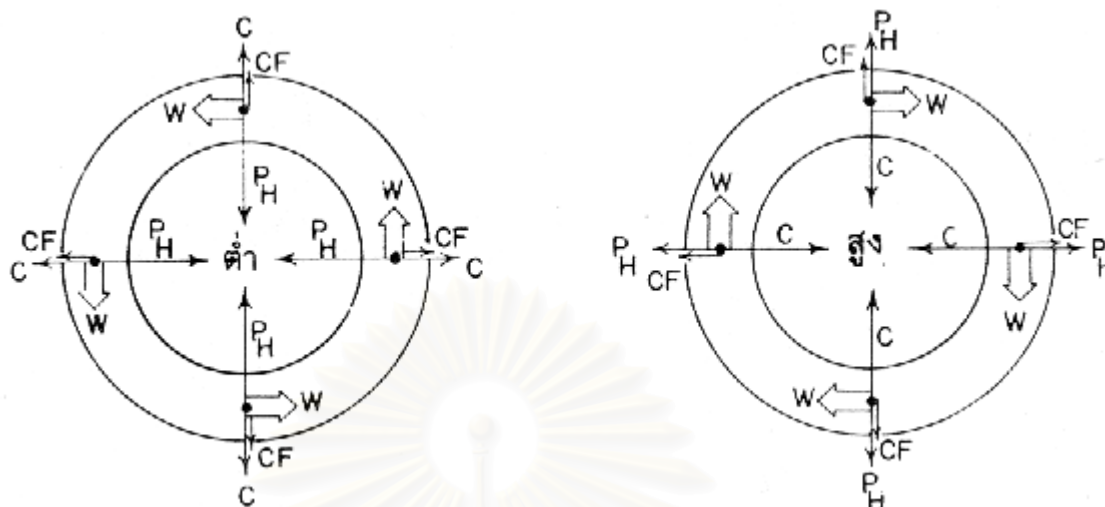
2. ลมเกรเดียนต์ (Gradient Wind) เป็นลมที่เกิดจาแรง 3 แรง กระทำต่อกัน และมีความสมดุลกัน คือ แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน และแรงคอริออลิส (ทั้ง 2 แรงทำให้เกิดลม ยี่ไฮสโทรฟิก) แต่มีแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นอีกแรงหนึ่ง คือแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal Force) ซึ่งเป็นแรงที่ออกจากศูนย์กลางลมนี้ไอโซบาร์จะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง และจะพัดขนานกับความโค้งตามไอโซบาร์ รูปที่ 7 แสดงความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆ บริเวณความกดอากาศต่ำ และความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือ

แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน = P_h

แรงคอริออลิส = C

แรงหนีศูนย์กลาง = CF

ทิศทางลม = W



(ก) บริเวณความกดอากาศต่ำ

(ข) บริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือ

รูปที่ 7 ความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆ

รูปที่ 7 (ก) ระบบความกดอากาศต่ำ แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนเป็นแรงที่เข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศต่ำเสมอ แรงคอริโอลิสเป็นแรงที่อยู่ตรงข้ามกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน ส่วนแรงหนีศูนย์กลางเป็นแรงที่ออกจากศูนย์กลางอยู่ในทิศทางเดียวกับแรงคอริโอลิส ทำให้เกิดความสมดุลกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนหรือ

$$P_h = C + CF$$

เพื่อเกิดความสมดุลของแรงเหล่านี้บนแผ่นภาพต้องจำไว้ว่า แรงคอริโอลิส จะอยู่ทางขวาของทิศทางลม ลมนี้จะพัดขนานกับการหมุนเวียนของศูนย์กลางความกดอากาศต่ำในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ

รูปที่ 7 (ข) ระบบความกดอากาศสูง แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง และแรงหนีศูนย์กลางจะออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง เช่นเดียวกัน ส่วนแรงคอริโอลิสจะเข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศสูง ทำให้เกิดความสมดุล ดังนี้

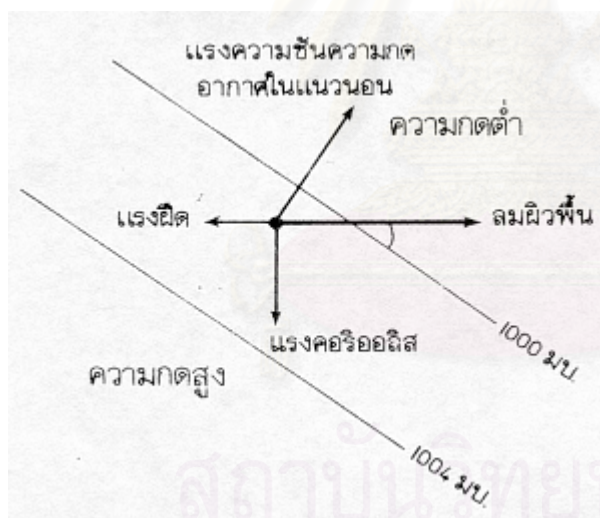
$$P_h + CF = C$$

แรงคอริโอลิสจะอยู่ทางขวาของทิศทางลม ลมนี้จะพัดขนานกับการหมุนเวียนของความกดอากาศสูงในทิศทางตรงตามเข็มนาฬิกา ส่วนในซีกโลกใต้จะกลับตรงกันข้าม คือเมื่อแรงความชัน

ความกดอากาศในแนวนอนเคลื่อนที่ แรงคอริโอลิสจะเริ่มเฉไปทางซ้าย ลมจะพัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาบริเวณความกดอากาศต่ำ และพัดทวนเข็มนาฬิกาบริเวณความกดอากาศสูง

ลมผิวพื้น

ลมผิวพื้น (Surface Winds) คือ ลมที่พัดจากบริเวณผิวพื้นไปยังความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศ และมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วย ในระดับต่ำแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับแรงคอริโอลิส แรงฝัดทำให้ความเร็วลมลดลง มีผลให้แรงคอริโอลิสลดลงไปด้วย ลมผิวพื้นจะไม่พัดขนานกับไอโซบาร์ แต่พัดข้ามไอโซบาร์จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ และทำมุมกับไอโซบาร์ (รูปที่ 8) การทำมุมนั้นขึ้นอยู่กับความหยาบของผิวพื้น ถ้าเป็นทะเลที่ราบเรียบจะทำมุม 10 ถึง 20 แต่พื้นดินทำมุม 20 ถึง 40 ส่วนบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาทึบ อาจทำมุมถึง 90 มุมที่ทำกับไอโซบาร์อยู่ในระดับความสูง 10 เมตรเหนือผิวพื้น ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แรงฝัดลดลง แต่ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น มุมที่ทำกับไอโซบาร์จะเล็กลง ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตร เกือบไม่มีแรงฝัด ดังนั้นลมจึงพัดขนานกับไอโซบาร์



รูปที่ 8 ในระดับความสูง 1 กิโลเมตรแรกจากผิวพื้นที่มีแรงฝัด ลมผิวพื้นพัดข้ามไอโซบาร์ และทำมุมกับไอโซบาร์

การตรวจลมชั้นบน

การตรวจลมชั้นบน วิธีง่ายๆ ใช้ ไพลอตแบลลูน (Pilot Balloon) ในการหยั่งอากาศ เป็นแบลลูนขนาดย่อม อัดด้วยก๊าซไฮโดรเจนหรือก๊าซฮีเลียม แล้วปล่อยแบลลูนให้ลอยขึ้นจากพื้นดิน แบลลูนที่ลอยขึ้นไปในอากาศลอยด้วยอัตราความเร็วที่กำหนดไว้ หลังจากปล่อยแบลลูนไปแล้ว ใช้กล้องส่องทางไกลขนาดเล็ก เรียกว่ากล้องทีโอดอไรต์ (Theodolite) สังเกตแบลลูน โดยหันกล้องตามแบบ

ลลูนตลอดเวลา เพื่อวัดมุมการเคลื่อนที่ของลมแบลลูน วัดมุมในแนวตั้ง (ความสูง) และวัดมุมในแนวนอน (ทิศทาง) การวัดมุมนั้นปกติวัดมุมกันทุกๆ นาที (หรือครึ่งนาที) เนื่องจากสามารถคำนวณหาอัตราการลอยของแบลลูนได้ จึงสามารถคำนวณหาความสูงของแบลลูน จากการคำนวณตามตรีโกณมิติสามารถหาที่อยู่ของแบลลูนและเขียนที่อยู่ลงบนกระดาษพิเศษ การคำนวณหาความเร็วลมและทิศทางลม จะทำกันในระดับความสูงทุกๆ 300 เมตร การตรวจลมวิธีนี้มีข้อเสียก็คือถ้าแบลลูนถูกเมฆบังก็ไม่สามารถเห็นแบลลูน จึงทำการตรวจต่อไปไม่ได้

ไพลอตแบลลูน สามารถใช้ตรวจลมพร้อมกับเครื่องมือที่เรียกว่า เรดิโอสอนด์ (Radiosonde) เป็นการตรวจลมในระดับความสูงจากพื้นดินไปจนถึงระดับ 30 กิโลเมตร เครื่องเรดิโอสอนด์ประกอบด้วยเครื่องส่งใช้ตรวจความกด ความชื้นและอุณหภูมิ กับเครื่องส่งวิทยุ บรรจุอยู่ในกล่องขนาดเล็ก และมีสถานีเครื่องรับวิทยุขนาดย่อมบนพื้นดิน นำกล่องนี้มาผูกติดกับแบลลูนซึ่งมีร่มชูชีพผูกติดไปด้วย (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 เรดิโอสอนด์

แบลลูนที่มีคุณภาพดีจะต้องสามารถลอยขึ้นไปในอากาศได้ในระดับความสูง 24 ถึง 32 กิโลเมตร ก่อนที่แบลลูนจะแตก ภายในเครื่องส่งจะมีวงจรถ่ายของเครื่องวัดที่ใช้ตรวจธาตุประกอบภูมิอากาศ 3 อย่าง แล้วส่งเป็นคลื่นวิทยุมายังสถานีเครื่องรับบนพื้นดิน การคำนวณจะเป็นค่าความถี่ของวิทยุ แล้วเปลี่ยนกลับเป็นค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความกดอากาศ

ระดับความสูงจากพื้นดิน 30 กิโลเมตรขึ้นไป เครื่องตรวจลมชั้นบนเรียกว่า เรวินซอนด์ (Rawinsonde) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และความกดอากาศ โดยใช้วิทยุ หรือเรดาร์หาทิศทางติดตามและรับสัญญาณจากวิทยุ ซึ่งเป็นเครื่องส่งติดอยู่กับลูกแบลลูน แต่ถ้าใช้เรดาร์ต้องมีเป้าสะท้อนคลื่นเรดาร์ผูกติดกับลูกแบลลูนด้วย

ในดินแดนที่ห่างไกลความเจริญของโลก การตรวจวัดลมด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วทำได้ลำบาก การตรวจความเร็วลมและทิศทางลมต้องอาศัยดาวเทียม ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับลมที่เชื่อถือได้มากที่สุดได้มาจากสถานีดาวเทียมพื้นดิน ที่ดาวเทียมโคจรอยู่เหนือที่ตั้งโดยเฉพาะ จากที่สูงนี้ดาวเทียมจะบอกลักษณะการเคลื่อนที่ของเมฆทิศทางเคลื่อนที่ของเมฆจะบอกทิศทางลม และระยะทางที่เมฆเคลื่อนที่ไปในแนวนอนในช่วงเวลาที่กำหนดให้จะบอกความเร็วลม

การหมุนเวียนทั่วไปของบรรยากาศ

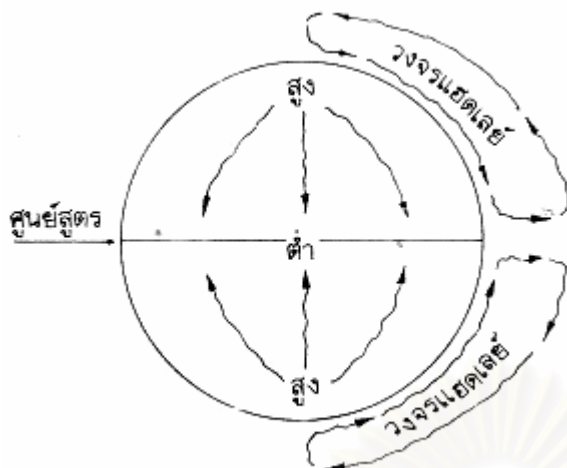
การหมุนเวียนทั่วไปของบรรยากาศ เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอากาศรอบโลก ศึกษาลมที่เกิดขึ้นจริงที่ใดที่หนึ่ง และเวลาใดเวลาหนึ่ง ที่กำหนดให้ อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอากาศทำให้ทราบว่ามีลมถึงพัดรอบโลก และพัดในทิศทางใด ลมที่พัดอยู่ในระบบการหมุนเวียนทั่วไปเป็นลมประจำ ตัวอย่าง เช่น ลมที่พัดประจำในเกาะฮอนโนลูลูลู เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนลมที่พัดประจำในเมืองนิวยอร์กเป็นลมตะวันตก การเคลื่อนที่เฉลี่ยของอากาศเป็นกลไกทำให้เกิดลมดังกล่าว เช่นเดียวกับแบบจำลองที่ความร้อยถูกถ่ายเทพลังงานจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก

สาเหตุที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนทั่วไปนั้น เกิดจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เมื่อโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะต้องส่งพลังงานกลับเข้าสู่อวกาศในปริมาณเท่ากับที่โลกได้รับ อย่างไรก็ตามพลังงานความร้อนที่โลกได้รับในแต่ละละติจูดมีปริมาณไม่เท่ากัน เขตร้อนได้รับความร้อนเกินดุล ส่วนเขตขั้วโลกได้รับความร้อนขาดดุล ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสมดุลจึงต้องมีการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก และถ่ายเทความเย็นจากขั้วโลกมายังศูนย์สูตร

แบบจำลองวงจรเดี่ยว (Single Cell Model) แบบจำลองแบบแรกเป็นแบบจำลอง วงจรเดี่ยว ซึ่งสมมุติว่า พื้นผิวโลกถูกปกคลุมไปด้วยพื้นน้ำเหมือนกันหมด ดังนั้นพื้นดินและพื้นน้ำจะได้รับความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน และถ้าสมมุติต่อไปอีกว่า ดวงอาทิตย์ส่องตรงเหนือศูนย์สูตรตลอดเวลา จะไม่มีฤดูกาลต่างๆ เกิดขึ้น และทำยสุดสมมุติอีกว่า โลกไม่ได้หมุนรอบตัวเอง ดังนั้นแรงที่เกี่ยวข้องมีอยู่เพียงแรงเดียวคือ แรงความชันความกดอากาศ กับการสมมติเหล่านี้ การหมุนเวียนทั่วไปคล้ายกับวงจรขนาดใหญ่ ที่ขับความร้อนออกในแต่ละซีกโลก (รูปที่ 10) วงจรนี้ตั้งขึ้นตามชื่อของนักอุทุนิยมวิทยาชาวอังกฤษคือ จอร์จ แฮดเลย์ (George Hadley) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบการหมุนเวียนที่ขับไล่ความร้อนออกจากดวงอาทิตย์ บริเวณศูนย์สูตรได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ อากาศเหนือศูนย์สูตรจึงลอยตัวขึ้นเป็นเขต ความกดอากาศต่ำ ขณะที่บริเวณขั้วโลกอากาศเย็นตัวลงมาก และจมตัวต่ำลงเป็นเขตความกดอากาศสูง การสนองต่อแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน ทำให้อากาศเย็นจากขั้วโลกไหลลงมายังศูนย์สูตร และอากาศร้อนจากศูนย์สูตรไหลไปยังขั้วโลก

การหมุนเวียนในลักษณะเช่นนี้จะไม่เกิดขึ้นจริงบนพื้นผิวโลก เนื่องจากโลกหมุนรอบ ตัวเอง มีแรงคอริโอลิส เป็นแรงที่ทำให้อากาศที่เคลื่อนที่อยู่ เเฉไปทางขวา ในซีกโลกเหนือ เป็นผลทำให้ ลมผิวพื้นเป็นลมตะวันตกที่ทุกๆ ละติจูด ลมเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับ การหมุนรอบตัวเองของโลก และขึ้นอยู่กับความฝืดของผิวโลกที่ทำให้การหมุนของโลกเคลื่อนที่ช้าลง ส่วนบริเวณละติจูดกลาง การหมุนเวียนแบบนี้ไม่เกิดขึ้น เพราะมีลมประจำพัดมาจากทิศตะวันตก ดังนั้นการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศระหว่างศูนย์สูตรกับขั้วโลกไม่ใช่เป็นแบบจำลองที่แท้จริง เพราะโลกหมุนรอบตัวเอง แบบจำลองวงจรเดี่ยวจะเป็นจริงได้กับการสมมติ 2 ประการ คือ พื้นผิวโลกต้องถูกปกคลุมไปด้วยพื้นน้ำทั้งหมด และดวงอาทิตย์จะส่องตรงเหนือศูนย์สูตรตลอดเวลา

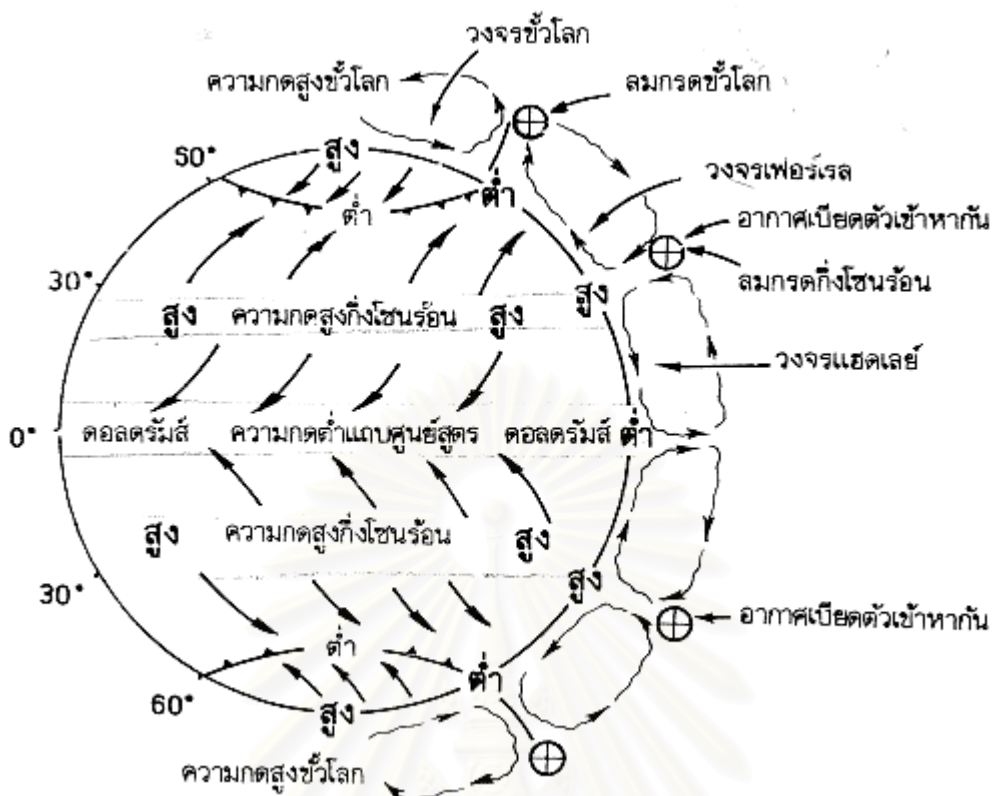
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลองวงจรเดียว

แบบจำลอง 3 วงจร (Three Cell Model) ถ้าโลกหมุนรอบตัวเองระบบการถ่ายเทพลังงาน จะแตกแยกออกเป็นวงจรมีการหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง 3 วงจร (รูปที่ 6.11 ก) แม้แบบจำลอง 3 วงจร จะมีความสลับซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองวงจรมีเดียว แต่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอยู่บ้าง บริเวณเขตร้อนยังคงได้รับความร้อนเกินดุล และบริเวณขั้วโลกก็ได้รับความร้อนขาดดุล ในแต่ละซีกโลกทั้ง 3 วงจร มีการกระจายพลังงานกันใหม่ ที่ขั้วโลกคงเป็นเขตความกดอากาศสูงและที่ศูนย์สูตรยังคงเป็นร่องความกดอากาศต่ำ จากศูนย์สูตรไปถึงละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ การหมุนเวียนของอากาศที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรมีเดียวคือ อากาศเหนือศูนย์สูตรเคลื่อนที่ลงมา ในขณะที่อากาศใต้ศูนย์สูตรเคลื่อนที่ไป (อ้างถึงรูปที่ 11 ก และ 11 ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 ก การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลอง 3 วงจร

พื้นน้ำบริเวณศูนย์สูตรอากาศจะร้อน ความชื้นความกดอากาศในแนวอนอ่อนกำลังลง เป็นเขตสงบหรือลมอ่อน เรียกว่า เขต doldrums อากาศร้อนไหลขึ้นและกลั่นตัวเป็นเมฆก้อนคิวมูลัสขนาดใหญ่ และคายความร้อนแฝงให้กับบรรยากาศ รวมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง ความร้อนนี้ทำให้อากาศร้อนจัดมาก แล้วพลังงานถูกขับออกมาในวงจรแฮดเลย์ อากาศที่ลอยขึ้นไปข้างบนเมื่อลอยขึ้นไปถึงโทรโพพอส ซึ่งทำหน้าที่กีดขวางอากาศที่จะเคลื่อนที่ไปขั้วโลก แรงคอริออลิสทำให้อากาศที่กำลังเคลื่อนที่ไปขั้วโลกเฉไปทางขวาในซีกโลกเหนือและเฉไปทางซ้ายในซีกโลกใต้ ลมชั้นบนเป็นลมตะวันตกทั้ง 2 ซีกโลก ลมตะวันตกนี้ เมื่อมีความเร็วสูงสุดจะชื่อเรียกว่าลมกรดเกิดใกล้ละติจูด 30 และ 60 องศาเหนือและใต้

อากาศเขตร้อน ที่เคลื่อนที่ไปยังขั้วโลกจะมีความหนาแน่นมาก เมื่ออากาศเย็นลง โดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อากาศเหนือศูนย์สูตรจะลอยขึ้นสู่เบื้องบน เมื่ออากาศนั้นเคลื่อนที่ไปถึงละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ อากาศจะจมลง ทำให้ละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ เป็นเขตความกดอากาศสูง เรียกว่า ความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน (หรือแอนติไซโคลน) อากาศที่ลอยอยู่เหนือความกดอากาศสูง จะเคลื่อนตัวลงมาอย่างช้าๆ การที่อากาศเคลื่อนตัวลงมาทำให้ท้องฟ้าแจ่มใส

และอุณหภูมิที่ผิวพื้นจะสูงขึ้น เป็นแหล่งกำเนิดทะเลทรายที่สำคัญของโลก บริเวณความกดอากาศสูงประมาณละติจูดที่ 30 ถึง 35 องศาเหนือและใต้ ความชันความกดอากาศ มีกำลังอ่อนลง เป็นเขตลมสงบหรือลมอ่อน และอากาศจะไหลจมลง จึงทำให้มีอากาศร้อนและแห้ง เรียกว่า เขตฮอรัสละติจูด ตามตำนานเล่ากันว่า สมัยก่อนการใช้เรือเดินทางจากทวีปยุโรปข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกไปทวีปอเมริกานั้น เมื่อเดินทางมาถึงบริเวณนี้ เรือไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงต้องโยนสัมภาระที่บรรทุกมากับเรือทิ้งลงทะเลบ้างไม่ว่าจะเป็นอาหาร เสบียง และ ม้า เพื่อที่จะให้เรือมีน้ำหนักเบาขึ้นและเดินเรือต่อไปได้



รูปที่ 11ข ลมผิวพื้นและระบบความกดอากาศ

บริเวณฮอรัสละติจูด จะมีอากาศเคลื่อนที่ย้อนกลับลงเข้าสู่ศูนย์สูตร เนื่องจากแรงคอริออลิส ทำให้เคลื่อนที่เฉไปจากแนวเดิม ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้เรียกว่า ลมค้า (Trade Winds) ซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูด 5 ถึง 30 ทั้งในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ เป็นลมที่พัดจากเขตความกดอากาศต่ำ ดังนั้นในซีกโลกเหนือเป็นลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้ เป็นลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ เขตลมนี้อ่างฟ้าแจ่มใสไม่ค่อยมีพายุเกิดขึ้น ลมนี้พัดสม่ำเสมอจึงเป็นประโยชน์ต่อการเดินเรือเป็นอย่างมาก ใกล้ศูนย์สูตรเป็นลมค้าเบียดตัวเข้าหากัน (Intertropical Convergence Zone) เป็น

แนวแบ่งระหว่างลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือกับลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ แนวนี้เลื่อนขึ้นเหนือ หรือลงใต้ได้ตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนขึ้นลงของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก และอาจจะมีพายุไซร่อนเกิดขึ้นได้

ขณะเดียวกันที่ละติจูด 30 องศาเหนือหรือใต้ หรือบริเวณฮอริสละติจูดอากาศที่ผิวพื้นไม่ได้เคลื่อนลงไปยังศูนย์สูตรทั้งหมด ยังมีอากาศบางส่วนเคลื่อนเข้าสู่ขั้วโลกทำให้เกิดลมฝ่ายตะวันตก ซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูด 35-60 องศาเหนือและใต้ อยู่ในเขตความกดอากาศต่ำ มีทิศทางไม่แน่นอน ลมแปรปรวนและมีพายุ เป็นบริเวณที่ได้รับลมประจำตะวันตก ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเป็นลมที่มีกำลังลมแรงมาก เพราะในซีกโลกใต้เป็นพื้นน้ำติดต่อกันไม่มีทวีปคั่นอยู่เป็นตอนๆ เช่นเดียวกับซีกโลกเหนือประมาณละติจูดที่ 40-60 องศาใต้ อาจเรียกลมนี้ว่า รอริงฟอร์ดส์ เป็นลมที่ชาวเรือใช้เดินเรือจากมหาสมุทรแอตแลนติกไปยังทวีปออสเตรเลีย เกาะแทสมานเนีย และประเทศนิวซีแลนด์ ส่วนวงจรที่ 2 เป็นวงจรที่เกิดขึ้นในแถบละติจูดกลาง เรียกว่าวงจรเฟอร์เรล ภายในวงจรมฝ่ายตะวันตกไหลขึ้นตรงแนวความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก และอากาศที่ไหลขึ้นบางส่วนจะไหลย้อนกลับเป็นลมชั้นบน ไหลลงไปที่ฮอริสละติจูด อยู่ในเขตความกดอากาศสูงกึ่งไซร่อน และวงจรที่สามคือ วงจรขั้วโลก เป็นวงจรที่เกิดจากแนวความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก ไปถึงขั้วโลก ที่ผิวพื้นมีลมฝ่ายตะวันออกแถบขั้วโลกพัดจากความกดอากาศสูงแถบขั้วโลกมายังแถบความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก (ประมาณ 90-60 องศาเหนือและใต้) เป็นลมอ่อน ท้องฟ้าแจ่มใส ซีกโลกเหนือพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ระหว่างวงจรเฟอร์เรล และวงจรขั้วโลกจะเกิดแนวปะทะอากาศขั้วโลก เป็นแนวที่แบ่งแยกอากาศร้อนที่ไหลขึ้นไปจากวงจรเฟอร์เรลพบกับอากาศเย็นที่ไหลลงมาจากวงจรขั้วโลก

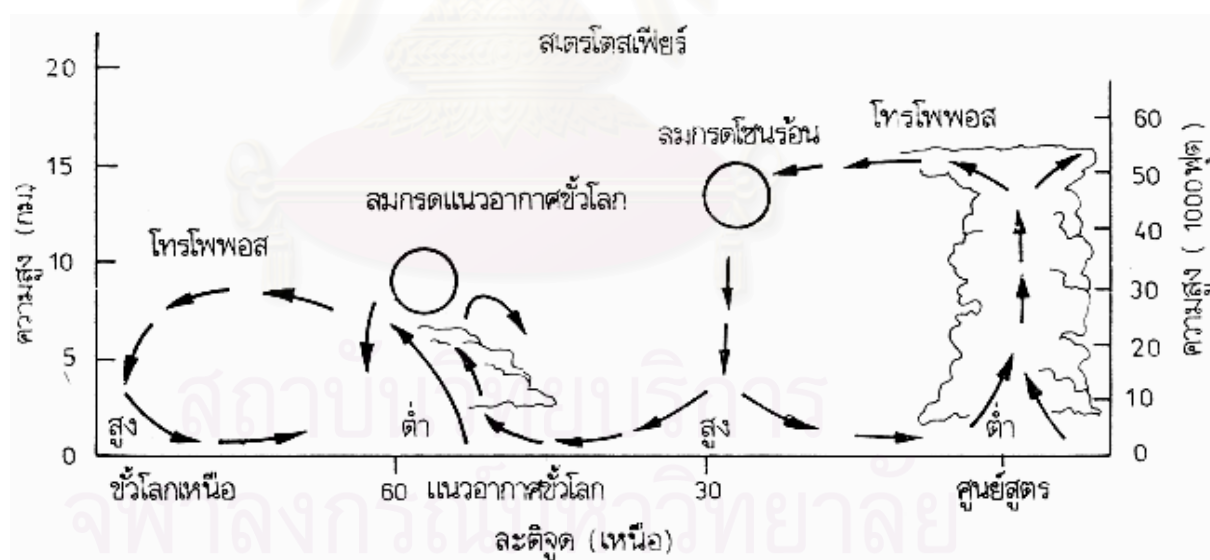
ลมกรด

ลมกรด (Jet Stream) เป็นกระแสลมแรงอยู่ในเขตโทรโพพอส (แนวแบ่งเขตระหว่างชั้นโทรโพสเฟียร์กับชั้นสเตรโตสเฟียร์) เป็นลมฝ่ายตะวันตกที่มีความยาวหลายพันกิโลเมตร มีความกว้างหลายร้อยกิโลเมตร แต่มีความหนาเพียง 2-3 กิโลเมตร เท่านั้น โดยทั่วไปลมกรด พบอยู่ในระดับความสูงประมาณ 10 และ 15 กิโลเมตร แต่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในระดับที่สูงกว่า และในระดับที่ต่ำกว่านี้ได้ ตรงแกนกลางของลมเป็นบริเวณแคบ แต่ลมจะพัดแรงที่สุด ถัดจากแกนกลางออกมา ความเร็วลมจะลดน้อยลง ลมกรดมีความเร็วลมประมาณ 150-300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และที่ระดับความสูงใกล้ 12 กิโลเมตร จะมีความเร็วลมสูงถึง 400 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ลมฝ่ายตะวันตกอื่นๆ มีความเร็วลมเพียง 50-100 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง ลมนี้มีลักษณะเป็นลำคล้ายท่อรูปวงรีขนาดใหญ่ ในฤดูร้อน ความเร็วลมมีน้อย ส่วนในฤดูหนาวความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่ง

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 นักบินพันธมิตรได้อาศัยกระแสลมกรดยิงจรวดจากฐานทัพอากาศมูทรแปซิฟิกไปยังประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 12 ตำแหน่งที่ตั้งโดยเฉลี่ยของลมกรดในเขตโทรโพพอสเป็นการหมุนเวียนทั่วไปในฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ จากแผนภาพนี้พบว่าลมกรดเกิดขึ้นสองบริเวณ ซึ่งทั้งสองบริเวณนี้ตั้งอยู่ในเขตโทรโพพอส จึงมีการไหลคลุกเคล้าของอากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์ และชั้นสเตรโตสเฟียร์ ลมกรดแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ลมกรดบริเวณโซนร้อน (Subtropical Jet) เกิดขึ้นในละติจูดประมาณ 30 องศาเหนือและใต้ ซึ่งเป็นเขตความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน และอยู่เหนือความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อนประมาณ 13 กิโลเมตร
2. ลมกรดบริเวณขั้วโลก (Polar Jet) เกิดขึ้นในละติจูดประมาณ 60 องศาเหนือและใต้ ใกล้กับแนวปะทะอากาศขั้วโลก ซึ่งเกิดจากอากาศหนาวจากขั้วโลกเคลื่อนที่มาพบกับอากาศอุ่นจากเขตร้อน และอยู่เหนือแนวปะทะอากาศขั้วโลกประมาณ 10 กิโลเมตร



รูปที่ 12 ตำแหน่งที่ตั้งโดยเฉลี่ยของลมกรดในเขตโทรโพพอส

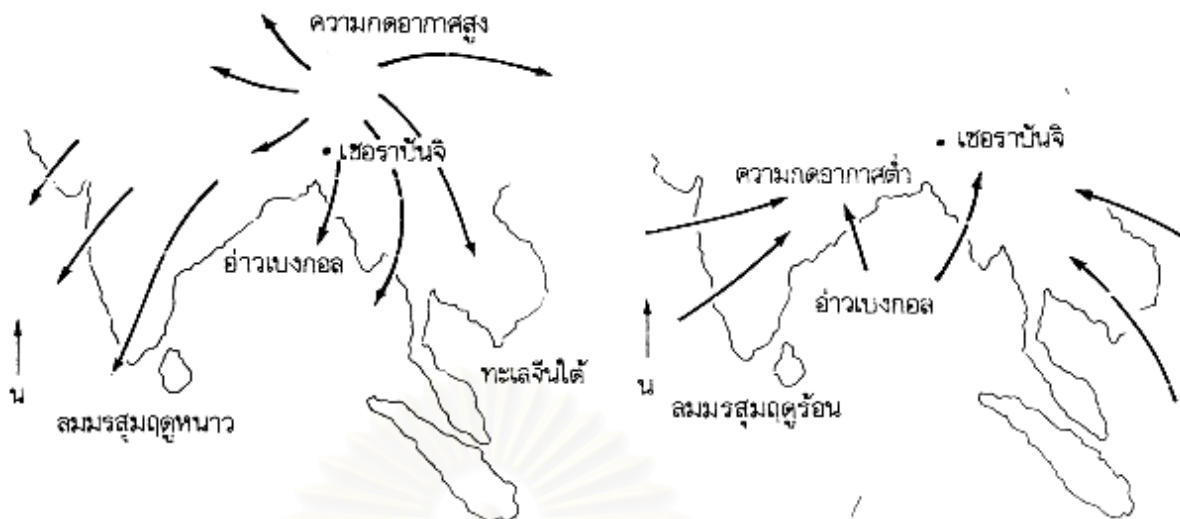
ลมมรสุม

ลมมรสุม (Monsoon) มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุมจึงหมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางกลับการเปลี่ยนฤดูคือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ครั้งแรกใช้เรียกลมนี้ในบริเวณทะเลอาหรับซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน แต่อยู่ในส่วนอื่นๆ ของโลก ลมมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุดคือ ลมมรสุมที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ลักษณะการเกิดลมมรสุม เป็นทำนองเดียวกับการเกิดลมบกลมทะเล ในฤดูหนาวอากาศภายในภาคพื้นทวีปเย็นกว่าอากาศในมหาสมุทรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ภาคพื้นทวีปบริเวณไซบีเรียเป็นเขตความกดอากาศสูง ส่วนบริเวณมหาสมุทรอินเดียเป็นเขตความกดอากาศต่ำ อากาศเหนือบมหาสมุทรอินเดียซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณไซบีเรียจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศบริเวณไซบีเรียจะไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (รูปที่ 13ก) อากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงไซบีเรียเป็นอากาศที่ไหลจมลง และทิศทางลมจะเบนไปทางขวา กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือผ่านเข้าไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียใต้ โดยทั่วไปมีลักษณะอากาศดี และเป็นฤดูที่มีอากาศแห้ง ดังนั้นลมมรสุมฤดูหนาวลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส เป็นลมที่พัดจากฝั่งออกสู่ทะเล

ในฤดูร้อนลมจะพัดเปลี่ยนในทิศทางตรงกันข้าม อากาศภาคพื้นทวีปอุ่นกว่าพื้นน้ำ ซึ่งทำให้ภาคพื้นทวีปเป็นเขตความกดอากาศต่ำ พื้นน้ำเป็นเขตความกดอากาศสูง เกิดลมพัดจากพื้นน้ำที่เป็นเขตความกดอากาศสูงเข้าสู่พื้นดินที่เป็นเขตความกดอากาศต่ำ ในทิศทวนเข็มนาฬิกา กลายเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดจากพื้นน้ำเข้ามา นำเอาความชื้นมาด้วยเป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง (รูปที่ 13 ข)

มรสุมที่มีกำลังแรงจัดที่สุด เกิดขึ้นในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียตะวันออกได้แก่ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนเกาหลี ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะแตกต่างจากเอเชียใต้คือ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวมีกำลังแรงกว่า



รูปที่ 13 (ก) ลมมรสุมฤดูหนาว

(ข) ลมมรสุมฤดูร้อน

และมีทิศทางที่คงที่กว่ามรสุมฤดูร้อน ความเร็วลมตามชายฝั่งในเดือนมกราคม จะมีมากกว่าเดือนกรกฎาคมหลายเท่า ส่วนลมมรสุมในเอเชียใต้ รวมทั้งประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวไม่สามารถแผ่เข้าไปถึงดินแดนเหล่านี้ได้ เพราะมีเทือกเขาหิมาลัยขวางกั้นอยู่ ดังนั้นเอเชียใต้จึงได้รับมรสุมโดยตรงเฉพาะในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น และลมจะมีกำลังแรงในฤดูร้อน แม้แต่ในมหาสมุทร คือฤดูร้อนลมมีความเร็วเฉลี่ย 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนฤดูหนาวลมมีกำลังอ่อน มีความเร็วน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บริเวณที่มีฝนตกหนักเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมฤดูร้อนคือ เมืองเซอร่าบันจิ ทางภาคตะวันออกเฉียงของประเทศอินเดีย มีปริมาณฝนตกในแต่ละปีประมาณ 10,800 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะมีฝนตกในช่วงเดือนเมษายนถึงตุลาคม ฝนที่ตกมีประโยชน์ทางด้านการเกษตร ทำให้พืชผลเจริญเติบโต เนื่องจากบริเวณที่มีฝนอากาศแห้ง แต่ฝนที่ตกลงมามีข้อเสีย เนื่องจากช่วงเวลาที่ฝนตกจะมีความไม่แน่นอนรวมทั้งความแรงของฝน สำหรับประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้งสองฤดู คือ ในช่วงฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนต้นเดือนตุลาคม ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และต่อมาเป็นช่วงฤดูหนาว ประมาณปลายเดือนตุลาคมจนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ลมจะเปลี่ยนทิศเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

นอกจากลมมรสุมที่เกิดขึ้นทวีปเอเชียแล้ว ยังมีลมมรสุมที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนอื่นของโลก เช่น ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย เมื่อลมมรสุมพัดข้ามศูนย์สูตรจะเปลี่ยนทิศทางเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีแนวเขตลมค้าเปียดตัวเข้า

หากันพาดผ่านอยู่ เป็นแนวแบ่งเขตระหว่างลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือของซีกโลกเหนือกับลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ของซีกโลกใต้ รวมทั้งมีลมมรสุมเกิดขึ้นในอ่าวกินีของแอฟริกาตะวันตก บางส่วนของทวีปอเมริกาเหนือ และบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้

ลมท้องถิ่น

ลมท้องถิ่น เป็นลมที่เกิดขึ้นภายในท้องถิ่น เนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ ลมท้องถิ่นแบ่งแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

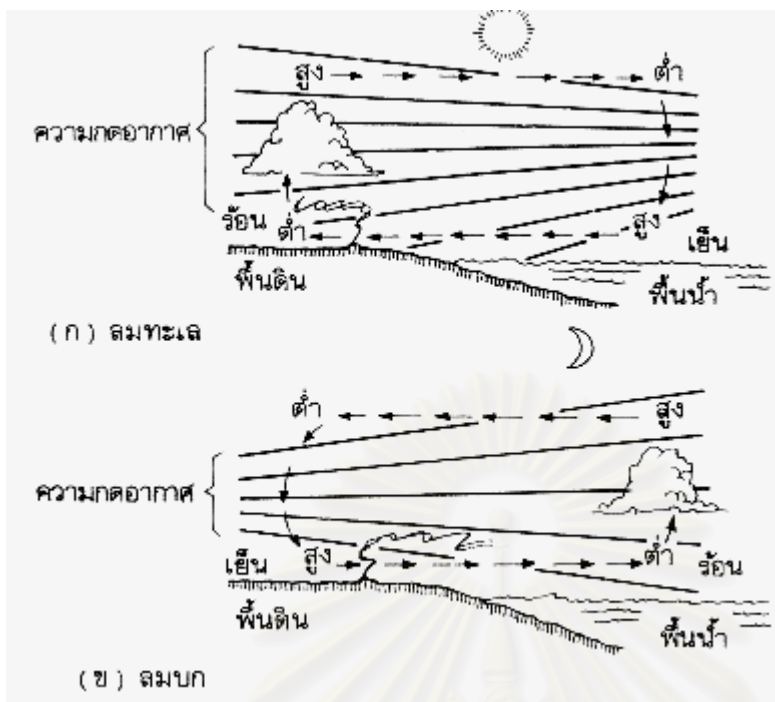
1. ลมบกและลมทะเล เป็นลมที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นดินและพื้นน้ำ เป็นลมที่พัดประจำวัน

ลมทะเล (Sea Breeze) เกิดขึ้นในฤดูร้อนตามชายฝั่งทะเล ในเวลากลางวันเมื่อพื้นดินได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ และอากาศเหนือพื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวลอยขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดลมจากทะเลพัดเข้าหาฝั่งมีระยะทางไกลถึง 16-48 กิโลเมตร และความแรงของลมจะลดลงเมื่อเข้าถึงฝั่ง (14ก)

ลมทะเล มีความสำคัญต่ออุณหภูมิของอากาศในบริเวณชายฝั่ง ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง เช่น ก่อนที่ลมจะพัดเข้าไป พื้นดินมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่เมื่อลมพัดผ่านเข้าไปทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น 22 องศาเซลเซียส ในช่วงบ่าย

ลมบก (Land Breeze) เกิดขึ้นในเวลากลางคืน เมื่อพื้นดินคายความร้อนโดยการแผ่รังสีออก จะคายความร้อนออกได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อนกว่าพื้นดินจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นดินซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นลมพัดจากฝั่งไปสู่ทะเล ลมบก ซึ่งลมบกจะมีความแรงของลมอ่อนกว่าลมทะเล จึงไม่สามารถพัดเข้าสู่ทะเลได้ระยะทางไกลเหมือนลมทะเล โดยลมบกสามารถพัดเข้าสู่ทะเลมีระยะทางเพียง 8-10 กิโลเมตร เท่านั้น (รูปที่ 14ข)

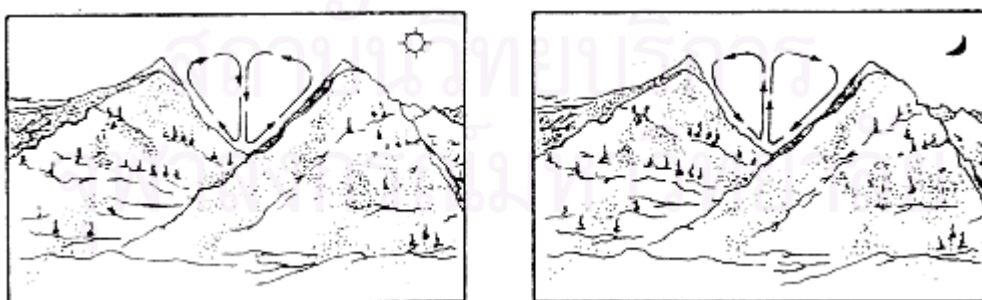
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14

2. ลมภูเขาและลมหุบเขา เป็นลมประจำวันเช่นเดียวกับลมบกและลมทะเล

ลมหุบเขา (Valley Breeze) เกิดขึ้นในเวลากลางวัน อากาศตามภูเขาและลาดเขาร้อน เพราะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ ส่วนอากาศที่หุบเขาเบื้องล่างมีความเย็นกว่าจึงไหลเข้าแทนที่ ทำให้มีลมเย็นจากหุบเขาเบื้องล่างพัดไปตามลาดเขาขึ้นสู่เบื้องบน เรียกว่า ลมหุบเขา (รูปที่ 15ก)



(ก) ลมหุบเขา

(ข) ลมภูเขา

รูปที่ 15

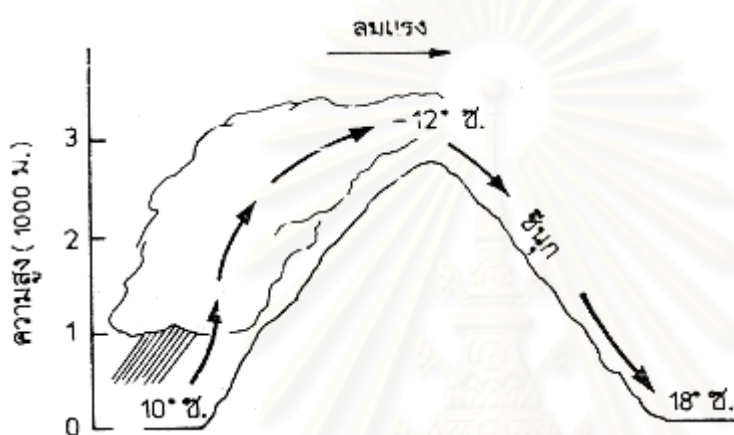
3. ลมพัดลงลาดเขา (Katabatic Wind) เป็นลมที่พัดอยู่ตามลาดเขาลงสู่หุบเขาเบื้องล่าง ลมนี้มีลักษณะคล้ายกับลมภูเขา แต่มีกำลังกว่า สาเหตุการเกิดเนื่องจากลมเย็นและมีน้ำหนักมาก เคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำภายใต้แรงดึงดูดของโลก ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน เมื่อพื้นดินคายความร้อนออก ในฤดูหนาวบริเวณที่ราบสูงภายในทวีปมีหิมะทับถมกันอยู่ อากาศเหนือพื้นดินเย็นลงมาก ทำให้เป็นเขตความกดอากาศสูง (รูปที่ 16) ตามขอบที่ราบสูงแรงความชันความกดอากาศมีความแรงพอที่จะทำให้อากาศหนาว จากที่สูงไหลลงสู่ที่ต่ำได้ บางครั้งจึงเรียกว่าลมไหล (Drainage Wind) ลมนี้มีชื่อแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นต่างๆ เช่น ลมโบรา (Bora) เป็นลมหนาวและแห้ง มีต้นกำเนิดมาจากลมหนาวในสหภาพโซเวียต (ปี พ.ศ. 2534 เปลี่ยนชื่อเป็นเครื่องจักรพหุอิสระ) พัดข้ามภูเขาเข้าสู่ชายฝั่งทะเลเอเดรียติกของประเทศยูโกสลาเวีย จากทิศตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาว เกิดขึ้นได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน แต่จะเกิดขึ้นบ่อยและลมมีกำลังแรงจัดในเวลากลางคืนและลมมิสทรอล (Mistras) เป็นลมหนาวและแห้งเช่นเดียวกับลมโบรา แต่มีความเร็วลมน้อยกว่า พัดจากภูเขาตะวันตกลงสู่หุบเขาโรนทางตอนใต้ของประเทศฝรั่งเศส



รูปที่ 16 ลมพัดลงลาดเขา

4. ลมชินุก (Chinook) เป็นลมที่เกิดขึ้นทางด้านหลังเขา มีลักษณะเป็นลมร้อนและแห้ง ความแรงลมอยู่ในขั้นปานกลางถึงแรงจัด การเคลื่อนที่ของลมเป็นผลจากความกดอากาศแตกต่างกันทางด้านตรงข้ามของภูเขา ภูเขาด้านที่ได้รับลมจะมีความกดอากาศมากและอากาศจะถูกบังคับให้ลอยสูงขึ้นสู่ยอดเขา ซึ่งจะขยายตัวและพัดลงสู่เบื้องล่างทางด้านหลังเขา ขณะที่อากาศลอยต่ำลง อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิอะเดียแบติก จึงเป็นลมร้อนและแห้ง ลมร้อนและแห้งที่พัดลงไปทางด้านหลังเขาทางตะวันออกของเทือกเขารอกกี เรียกว่า ลมซี

นูก บริเวณที่เกิดลมเป็นบริเวณแคบๆ มีความกว้างเพียง 2-3 ร้อยกิโลเมตร เท่านั้น และแผ่ขยายจากทางตะวันออกเฉียงเหนือของมลรัฐนิวเม็กซิโก สหรัฐอเมริกา ไปทางเหนือเข้าสู่แคนาดา ลมที่นูกเกิดขึ้นเมื่อลมตะวันตกชั้นบนที่มีกำลังแรงพัดข้ามแนวเทือกเขาเหนือใต้คือ เทือกเขารอกกี และ เทือกเขาแคสเกต อากาศทางด้านเขาที่ได้รับลมถูกบังคับ ให้ลอยขึ้น อุณหภูมิลดต่ำลง แต่เมื่อลอยต่ำลงไปยังอีกด้านของเขา อากาศจะถูกบีบ ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 17) ถ้าลมที่มีลักษณะอย่างเดียวกับลมซินูก แต่พัดไปตามลาดเขาของภูเขาแอลป์ในยุโรป เรียกว่า ลมเฟห์น (Foehn) และถ้าเกิดในประเทศอาร์เจนตินา เรียกว่าลมซอนดา (Zonda)



รูปที่ 17 ลมซินูก

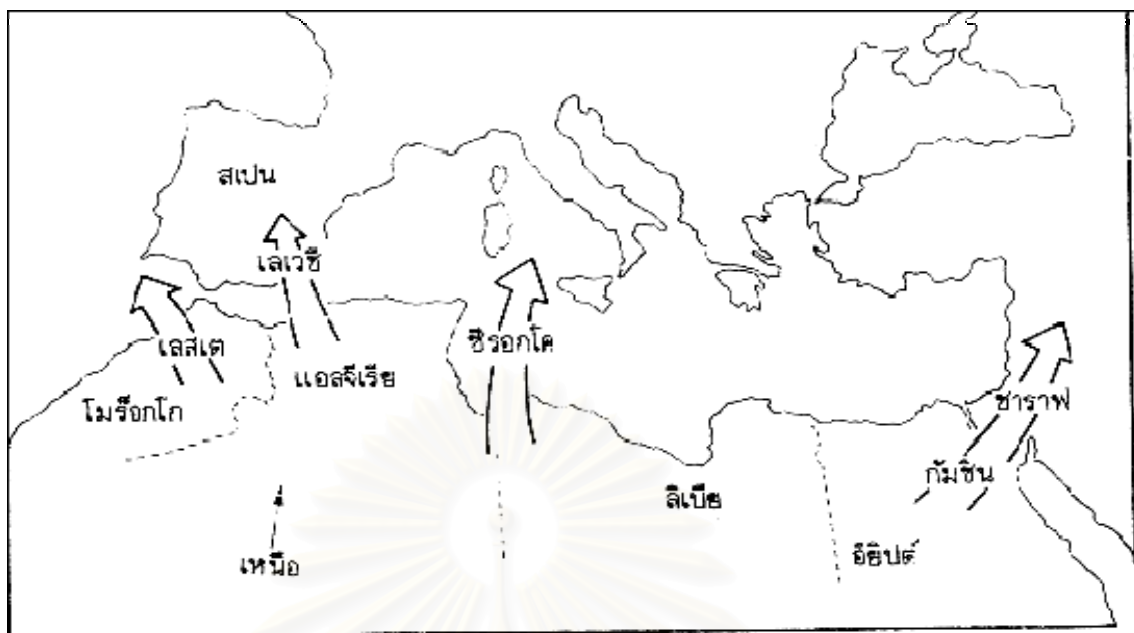
5. ลมซานตาแอนนา (Santa Anna) เป็นลมร้อนและแห้งพัดจากทางตะวันออกเฉียงเหนือ เข้าสู่ภาคใต้มลรัฐแคลิฟอร์เนีย จะพัดผ่านบริเวณทะเลทรายและภูเขา จึงกลายเป็นลมร้อนและแห้ง ลมนี้เกิดขึ้นในเขตความกดอากาศสูงบริเวณเกรตเบซิน และเมื่อพัดผ่านบริเวณใดจะก่อให้เกิด ความเสียหายแก่พืชผลบริเวณนั้น โดยเฉพาะในฤดูใบไม้ผลิ เมื่อต้นไม้ติดผลอ่อนและบริเวณที่มีลมพัดผ่านจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น เมื่อลมนี้พัดเข้าสู่ภาคใต้มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่ไม่มี ลมนี้พัดผ่าน

ลมที่มีลักษณะอย่างเดียวกับลมซานตาแอนนาคือ ลมนอร์เทอร์แคลิฟอร์เนีย (Northern California) เป็นลมที่ทำให้บริเวณหุบเขาภาคกลางตอนเหนือในเขตมลรัฐแคลิฟอร์เนีย มีอุณหภูมิร้อนจัด ตัวอย่างเช่น ลมนี้ได้เกิดในเดือนสิงหาคม 2521 เมื่อความกดอากาศสูงก่อตัวบริเวณเทือกเขาด้านเหนือ เนื่องจากเป็นลมฝายเหนือฤดูร้อน ลมฝายเหนือจะช่วยทำให้อากาศเย็นลง แต่ไม่กรณีของเมืองเวดบลัฟฟ์ ในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย เมื่อลมนี้พัดลงมายังภูเขา อากาศจะถูกบีบ ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ที่เมืองเวดบลัฟฟ์ มีอุณหภูมิสูงถึง 48 องศาเซลเซียส อยู่ถึง 2 วัน ซึ่งแทบ

ไม่น่าเชื่อเลยว่าเมืองเวสต์ลัฟฟ์ ที่ตั้งอยู่ประมาณละติจูดเดียวกับเมืองฟิลาเดลเฟียทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา แต่มีอุณหภูมิสูงกว่ามาก

6. ลมทะเลทราย (Desert Winds) เป็นลมท้องถิ่นเกิดขึ้นในบริเวณทะเลทราย เวลาเกิดจะมาพร้อมกับพายุฝุ่นหรือพายุทราย คือ ลมฮาบูบ (Haboob) มาจากคำ Hebbec ในภาษาอาหรับ แปลว่า ลม ลมฮาบูบ เวลาเกิดจะหอบเอาฝุ่นทรายมาด้วย บริเวณที่เกิดได้แก่ ประเทศชูดานในทวีปแอฟริกา เฉลี่ยจะเกิดประมาณปีละ 24 ครั้ง และบริเวณทะเลทราย ทางตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะทางภาคใต้ของมลรัฐแอริโซนา

นอกจากนี้ยังมีลมทะเลทรายประเภทอื่นๆ ที่เกิดขึ้นทางด้านเหนือของทวีปแอฟริกา ลมเหล่านี้มีต้นกำเนิดจากบริเวณทะเลทรายสะฮารา และมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามบริเวณที่ลมพัดผ่าน ปกติลมที่พัดผ่านทางเหนือของทวีปแอฟริกา เป็นลมที่มาจากทางเหนือ อย่างไรก็ตามเมื่อมีพายุเกิดขึ้นอาจจะพัดมาจากตะวันตกของทวีปแอฟริกา หรือมาจากใต้ของประเทศสเปน ก็ได้ (รูปที่ 18) เช่น ลมเลสตี (Leste) เป็นลมร้อนและแห้ง พัดมาจากทางตะวันออกหรือตะวันออกเฉียงใต้ จะพายุฝุ่นทรายมาด้วย พัดอยู่ในประเทศมอริสโก และพัดลงสู่มหาสมุทรแอตแลนติก และเมื่อลมนี้พัดข้ามทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และพัดเข้าสู่ทางใต้ของประเทศสเปนจะมีชื่อเรียกว่า เลเวชี (Levechee) ลักษณะลมนี้จะเป็นลมร้อนและแห้ง เนื่องจากพัดผ่านน้ำเป็นช่วงสั้นๆ ส่วนบริเวณศูนย์กลางความกดอากาศต่ำแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน มีลมพัดจากทางใต้หรือตะวันออกเฉียงใต้เป็นลมร้อนและแห้ง มีต้นกำเนิดจากทะเลทรายสะฮารา และพัดข้ามตอนเหนือของทวีปแอฟริกา ในบางครั้งลมจะพัดเอาฝุ่นจากทะเลทรายมาด้วยคือ ลมซีรอกโค (Serocco) ลมนี้เมื่อพัดข้ามทะเลเมดิเตอร์เรเนียนจะเก็บความชื้น และเมื่อพัดมาถึงเกาะซิซิลี และภาคใต้ของประเทศอิตาลี จะยังคงเป็นลมร้อน แต่ความชุ่มชื้นมีมากขึ้น ลมพายุที่เกิดขึ้นไกลไปทางตะวันออกเฉียงใต้คือ ลมกัมซิน (Khumsin) เป็นลมร้อนและแห้งพัดมาจากทางใต้นำเอาฝุ่นทรายมาด้วย เป็นลมที่พัดอยู่ในประเทศอียิปต์ ทะเลแดง และ ซาอุดีอาระเบีย และเมื่อพัดเข้าสู่ประเทศอิสราเอลมีชื่อเรียกว่า ลมซาราว (Sharav) ลมที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นลมร้อนและแห้ง ทำให้บริเวณที่มีลมเหล่านี้พัดผ่านมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โดยมีน้อยกว่าร้อยละ 10 ลมพายุเหล่านี้ในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนมักไม่ค่อยเกิดในฤดูร้อน แต่จะเกิดในฤดูใบไม้ผลิ หรือฤดูใบไม้ร่วง



รูปที่ 18 ลมท้องถิ่นที่เกิดขึ้นทางเหนือของทวีปแอฟริกา

7. ลมตะเภาและลมว่าว เป็นลมท้องถิ่นในประเทศไทย โดยลมตะเภาเป็นที่พัดจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือคือ พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง พัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นลมที่นำความชื้นมาสู่ภาคกลางตอนล่าง ในสมัยโบราณลมนี้ จะช่วยพัดเรือสำเภาซึ่งเข้ามาค้าขายให้แล่นไปตามลำน้ำเจ้าพระยา และพัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรืออาจจะเรียกว่าลมข้าวเบา เพราะพัดในช่วงที่ข้าวเบากำลังออกรวง

ที่มา: www.tmd.go.th/

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรสันต์ ชื่นชีพ เกิด 23 มกราคม 2521 ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต จากมหาวิทยาลัยรังสิต ปี 2544 ประสบการณ์ในการทำงาน บริษัทแลนด์ แอนด์ เฮาส์ จำกัดมหาชน โครงการหมู่บ้านในเครือ ตำแหน่งผู้ควบคุมงานก่อสร้าง เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย