การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ในอาคารตึกแถว

A Study of the Effectiveness of Applying Downdraught Ventilation in Row Houses

อาจารย์ดรุณี มงคลสวัสดิ์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

รายงานนี้แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ในอาคารตึกแถวที่อยู่ในพื้นที่แออัด โดยเบื้องต้นได้ทำการทดสอบองค์ประกอบอาคารที่ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่จากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างก่อน ได้แก่ ที่ดักลม ปล่องลมและเส้นทางการเคลื่อนที่ของลม จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ และทดสอบตึกแถวที่มีการประยุกต์ใช้ที่ดักลมแบบต่างๆ 3 แบบ ได้แก่ แบบปล่องลมเข้าเดี่ยว 2 ชุด, แบบปล่องลมเข้าเดี่ยวผสมกับ แบบปล่องรวม และแบบใช้หลังคาดักลม ขนาดตึกแถวที่ทดสอบมีขนาดกว้าง 6 เมตร ลึก 12 เมตร สูง 3 ชั้นครึ่ง ทำการทดสอบแบบ 2 มิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณของไหล (ANSYS5.4 : Computational Fluid Dynamics – CFD) และแบบ 3 มิติโดยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม ผลการทดสอบพบว่า เมื่อให้ความเร็วลมเริ่มต้น ในพื้นที่มีค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมเฉลี่ยภายในตึกแถวทั้ง 3 กรณีจะมีค่าเป็น 32, 27 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนตึกแถวที่ไม่ได้มีการใช้เทคนิคดังกล่าว วัดความเร็วลมเฉลี่ยภายในได้เป็น 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นความเร็วลม สำหรับเขตกรุงเทพมหานครซึ่งมีความเร็วลมภายนอกเฉลี่ยตลอดปี 1.1 เมตร/วินาที จะได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารประมาณ 0.4 เมตร/วินาที ซึ่งค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อได้นำผลไปเปรียบเทียบกับจังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีความเร็วลมภายนอกเฉลี่ยตลอดปี 2.2 เมตร/วินาที ทำให้ได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย ภายในอาคารเป็น 0.7 เมตร/วินาที

Abstract

This paper presents the results of a study of the effectiveness of applying downdraught ventilation in row houses in high density urban area. Previously, three of building components consisting of wind catcher, wind tower and flow path, which are all important elements in order to create downdraught effect, were investigated. Following the results of the previous analysis, three different types of row house design which were integrated with downdraught ventilation, i.e. type 1 - two single inlets, type 2 – one single inlet and one dual inlet, and type 3 – roof as a wind catcher, were proposed and experimented. The typical row house used in these experiments is 6 m wide, 12 m long and has 3½ storey. All case studies were investigated by 2 dimensional models on computer simulation (ANSYS5.4 : Computational Fluid Dynamics - CFD) and 3 dimensional models in wind tunnel. The final results showed that average wind speeds measured in row house models are 32, 27 and 30% of the original wind speed, accordingly. On the other hand, for the row house without downdraught technique, the average wind speed is only 25%. As a result, while the original wind speed of Bangkok is 1.1 m/s, the calculated average wind speed in a row house is 0.4 m/s which is rather low. However, compared with Phuket province where higher wind speed is available, while its original wind speed is 2.2 m/s, the calculated average wind speed in a row house is 0.7 m/s which is high enough to be effective.

1. บทนำ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งกล่าวถึงอาคารพาณิชย์กึ่งพักอาศัย หรือ ตึกแถวที่อยู่ในพื้นที่หนาแน่นของเมือง และมักมีปัญหาเรื่องการระบายอากาศ เพราะไม่สามารถเปิดช่องเปิดรับอากาศบริสุทธิ์ได้เต็มที่ อันเนื่องมาจากมลภาวะทางเสียง ฝุ่นควัน หรือแม้แต่ตัวอาคารโดยรอบเองที่เป็นอุปสรรคในการพัดพาของลม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ เพื่อเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการระบายอากาศภายในตึกแถวดังกล่าว

2. วิธีการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์

2.1 การระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์

การระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ หมายถึง การเคลื่อนที่ของอากาศจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความกดดันอากาศ ซึ่งต้องอาศัยที่ดักลมและปล่องลมเป็นองค์ประกอบสำคัญ สำหรับอาคารตึกแถวมีข้อได้เปรียบ คือ มีการจัดพื้นที่ใช้สอยใน แนวตั้งทำให้ตึกแถวมีความสูงเพียงพอที่จะเกิดการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ได้ โดยมีปล่องบันไดที่เชื่อมห้องในชั้นต่างๆ จากชั้นล่างไปจนถึงชั้น หลังคา จึงทำให้สามารถใช้ที่ดักลมเพื่อรับลมที่มีความเร็วสูงเหนือระดับหลังคาแล้วจ่ายลมผ่านช่องบันไดได้ [1] ประสิทธิภาพในการระบายอากาศ จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดและลักษณะของที่ดักลม ปล่องลมและเส้นทางการเคลื่อนที่ของลมเป็นหลัก

2.2 ที่ดักลม และปล่องลม

การใช้ที่ดักลมและปล่องลมร่วมกัน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นระบบ กล่าวคือ เมื่อมีลมพัดผ่านอาคาร ที่ดักลมจะดักอากาศเย็นเข้ามาภายในแล้วเคลื่อนที่ผ่านปล่องลมซึ่งจะทำหน้าที่ ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลม ที่ปล่องลมนี้จะมีช่องเปิดเพื่อจ่ายอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่พื้นที่ใช้งาน จากนั้นอากาศจะเคลื่อนที่ออกทางช่องลมออกต่อไป ที่ดักลมและปล่องลมนี้แบ่งได้เป็น 3 แบบหลักดังรูปที่ 1 [2]

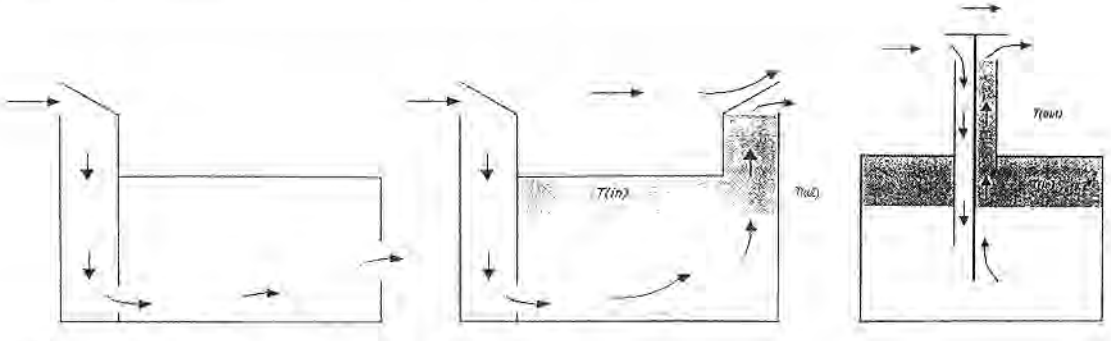
2.3 ประสิทธิภาพในการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ได้แก่ รูปร่างและขนาดของที่ดักลม ปล่องลม รูปแบบของ ช่องลมเข้า–ลมออก วัสดุก่อสร้างของปล่องลม พื้นที่ปล่องลมที่ได้รับแสงแดด ความสูงของห้องและ อุปกรณ์ช่วยอื่นๆ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจะขึ้นอยู่ กับขนาดช่องลมเข้าและขนาดของปล่องเป็นหลัก ความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศจะเกิดจากรูปร่าง ของเส้นทางเดินอากาศและอุณหภูมิที่ต้านทาน (หรือส่งเสริม) การเคลื่อนที่ของอากาศ เช่นกรณีที่เกิด การเคลื่อนที่ของอากาศแบบ stack effect นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย การกรองอากาศ และการป้องกันเสียงรบกวน ที่จำเป็นในการใช้งานจริง และเป็นข้อจำกัดในการระบายอากาศด้วย [3]

3. วิธีการทดลอง

3.1 ทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สร้างแบบจำลองรูปตัดหน่วยทดลอง 2 มิติ ในคอมพิวเตอร์ ของแบบตึกแถวทางเลือกทั้ง 3 แบบ ทดลองด้วยโปรแกรมคำนวณของไหล ANSYS5.4 (Computational Fluid Dynamics : CFD) กำหนดความเร็วลมในการทดลอง 2 เมตร/วินาที และให้ลมพัดตั้งฉากกับช่องเปิด ข้อดีและข้อเสียของการทดลองแบบ 2 มิติ คือ การสร้างและแก้ไขแบบจำลองทำได้ง่าย จึงเป็นวิธีที่ช่วยประหยัดงบประมาณและเวลาในการทดลองได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลเป็นรูปภาพให้เข้าใจได้ง่าย แต่การทดลองแบบ 2 มิตินี้



รูปที่ 1 รูปแบบหลักของที่ดักลมและปล่องลม

ผลที่ได้จะแสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศเฉพาะในแนวตัดอาคารที่เรากำหนดเท่านั้น ผลการทดลองที่ได้จึงยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรม อย่างไรก็ตาม การทดลอง 3 มิติในคอมพิวเตอร์ก็สามารถ ทำได้แต่มีความซับซ้อนในการ ป้อนข้อมูลและต้องอาศัย ความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์มาก

3.2 ทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม

ขั้นแรกทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณลมในพื้นที่กรณีศึกษาก่อน โดยจัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ บริเวณที่ตั้งในรัศมี 100 เมตร มาตราส่วน 1:100 ซึ่งเป็นมาตราส่วนแนะนำ [4] วัดความเร็วลม ณ ที่ตั้งที่ระดับความสูงทุกๆ 10 เมตร ขั้นที่สองทำการทดลองเพื่อศึกษาความเร็วลมในแบบ ตึกแถวทางเลือกทั้ง 3 แบบ โดยจัดทำหุ่นจำลอง 3 มิติ ของแบบตึกแถวดังกล่าว มาตราส่วน 1:20 จะได้พื้นที่ หน้าตัดหุ่นจำลองไม่เกิน 10% ของพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม [4] วัดความเร็วลมทุกพื้นที่ 1 ตร.ม. ที่ระดับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่มีการใช้งาน

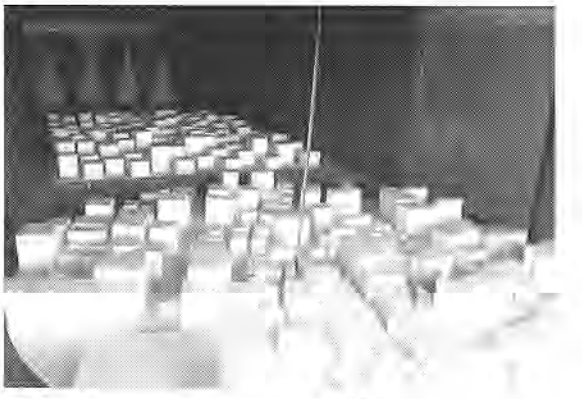
อุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบมีขนาด กว้าง 2.05 เมตร สูง 1.15 เมตร ลึก 9.40 เมตร วัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลมแบบ Hot wire (Airflow Meter KM4003 บริษัท Kane-May, UK) หน่วยเป็น เมตร/วินาที ตั้งความเร็วลมเริ่มต้นในอุโมงค์ลมเป็น 2.0 เมตร/วินาที วัดจริงได้ 1.7 เมตร/วินาที แล้วนำผลที่ได้ไปแปลค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

ข้อดีและข้อเสียของการทดลองด้วยหุ่นจำลอง 3 มิติ คือ เป็นวิธีที่ให้ผลใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่ต้องมีการกำหนด พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลอง : พื้นที่หน้าตัดอุโมงค์ลม ให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ผนังอุโมงค์ลมมีผลต่อการเคลื่อนที่ของลมในบริเวณทดสอบ ขณะเดียวกันก็ต้องกำหนดมาตราส่วนของหุ่นจำลองให้ มีขนาดใหญ่พอที่จะใส่หัวเซ็นเซอร์วัดความเร็วลมได้ การทดสอบด้วยอุโมงค์ลมมีความลำบากและใช้เวลานาน เนื่องจากหัวเซ็นเซอร์ที่ใช้มีจำนวนจำกัดจึงไม่ สามารถวัดความเร็วลมทุกจุดในเวลาเดียวกันได้ อีกทั้งตัวผู้วัดเองจะต้องอยู่นอกบริเวณหน้าตัดของอุโมงค์ลมเพื่อ มิให้รบกวนการเคลื่อนที่ของลมซึ่งทำให้การวัดทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้การบันทึกภาพลมขณะทำการทดสอบด้วยอุโมค์ลม ยังมีข้อจำกัดอยู่ วัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลองจะต้องใสเพื่อให้เห็นพฤติกรรมของลมภายในซึ่งอาจแสดงให้เห็นได้ด้วยการปล่อยควันพร้อมกับกระแสลมซึ่งจะต้องควบคุมความเร็วลมในการทดสอบไม่ให้เบาจนควันลอยสูงและไม่ให้แรงจนควันฟุ้ง นอกจากนั้นการบันทึกภาพควันด้วยกล้องยังต้องใช้ความ แม่นยำสูง วิธีที่สอง คือการขึงเชือกผูกไหมพรมให้เคลื่อนที่ ตามกระแสลมขณะทำการทดสอบ แต่เป็นวิธีที่ ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลาในการทำหุ่นจำลองนาน

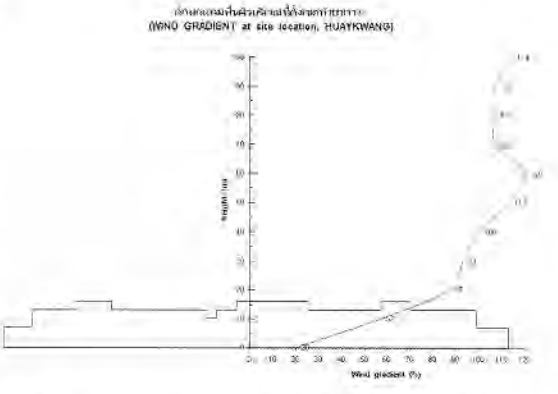
4. ผลการทดลอง

4.1 ความเร็วลมในพื้นที่กรณีศึกษา

การวัดความเร็วลม ณ ที่ตั้ง (กรณีศึกษา : เขตห้วยขวาง) ที่ความสูงทุก 10 เมตร แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อม ความหนาแน่นและความสูงของกลุ่มอาคารมีผลต่อความเร็วลมโดยรอบ โดยความเร็วลมบริเวณใกล้พื้นดินจะค่อนข้างต่ำ ต่อเมื่อพ้นระดับความสูงของกลุ่มอาคารโดยรอบไปแล้วลมจึงมีความเร็วสูงขึ้น จากรูปที่ 3 ความเร็วลมที่ระดับพื้นดินวัดได้เป็น 20%, ที่ระดับความสูง 10 เมตร เป็น 57% และที่ระดับความสูง 20 เมตร (พ้นระดับหลังคาไปแล้ว) ความเร็วลมเป็น 87%



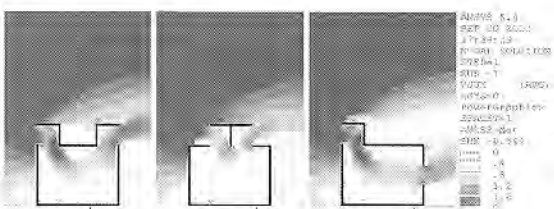
รูปที่ 2 แสดงการวัดความเร็วลม ณ ที่ตั้ง



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงความเร็วลมที่วัดได้ (%) ณ ระดับความสูงทุก 10เมตรจากหุ่นจำลองบริเวณเขตห้วยขวาง

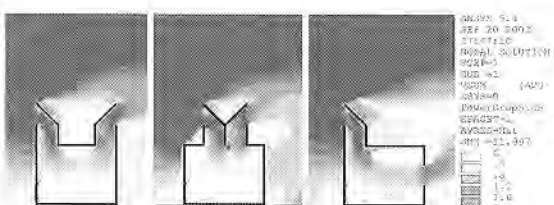
4.2 ผลการทดลองแบบตึกแถวทางเลือก

ในขั้นแรก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของที่ดักลมเบื้องต้น 6 แบบ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ที่ดักลมแบบหลังคาแบน และแบบหลังคาเอียง โดยทำการทดลองเป็นหน่วยย่อย เพื่อเลือกแบบที่ดักลมที่ให้ผลที่ดีที่สุดมาพัฒนาต่อ จากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้ในตึกแถวต้นแบบที่ยกมาเป็นกรณีศึกษา



แบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3

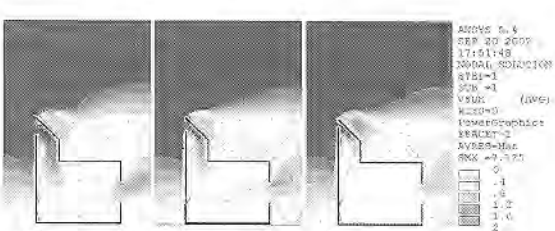
รูปที่ 4 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาแบน



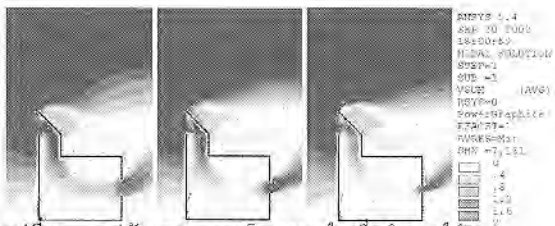
แบบที่ 4 แบบที่ 5 แบบที่ 6

รูปที่ 5 รูปตัดแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศภายในหน่วยทดลองที่ดักลมแบบหลังคาเอียง

จากการทดลองพบว่าที่ดักลมแต่ละแบบ มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปและสามารถนำมาพัฒนาต่อไปได้ทั้ง 6 แบบ โดยแบบที่นำมาประยุกต์ได้ง่ายที่สุดคือแบบที่ 6 จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำที่ดักลมดังกล่าว ไปทดลองเรื่องความลึกและสัดส่วนช่องเปิดต่อไป



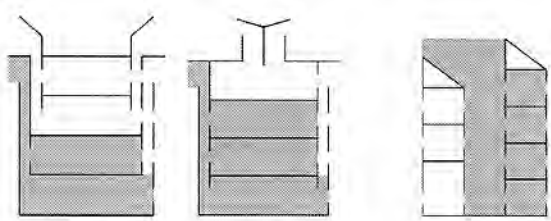
รูปที่ 6 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมเข้าเล็กลง



รูปที่ 7 รูปตัดแสดงความเร็วลมภายในเมื่อกำหนดให้สัดส่วนช่องลมออกเล็กลง

จากภาพแสดงให้เห็นว่า การลดขนาดช่องเปิดลมเข้ามีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ภายในมากกว่าการลดขนาดช่องเปิดลมออก อย่างไรก็ดี การกำหนดให้ช่องลมเข้าและช่องลมออกมีขนาดเท่ากัน จะทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในได้ดีที่สุด

จากผลการทดลองเบื้องต้นทั้งหมด สามารถนำมาสรุปเป็นหลักในการออกแบบตึกแถวทางเลือกได้ 3 แบบ โดยในการทดลองขั้นสุดท้าย ได้กำหนดให้มีอาคารตึกแถวขนาดเท่ากัน ความสูง 16 เมตร ตั้งขนานอยู่ด้านหน้า ตึกแถว และมีถนนตรงกลางกว้าง 6 เมตร กำหนดให้ทิศทางลมที่ใช้ทดสอบพัดตั้งฉากกับช่องเปิดลมเข้า



แบบทางเลือกที่ 1 แบบทางเลือกที่ 2 แบบทางเลือกที่ 3

รูปที่ 8 ตึกแถวแบบทางเลือก

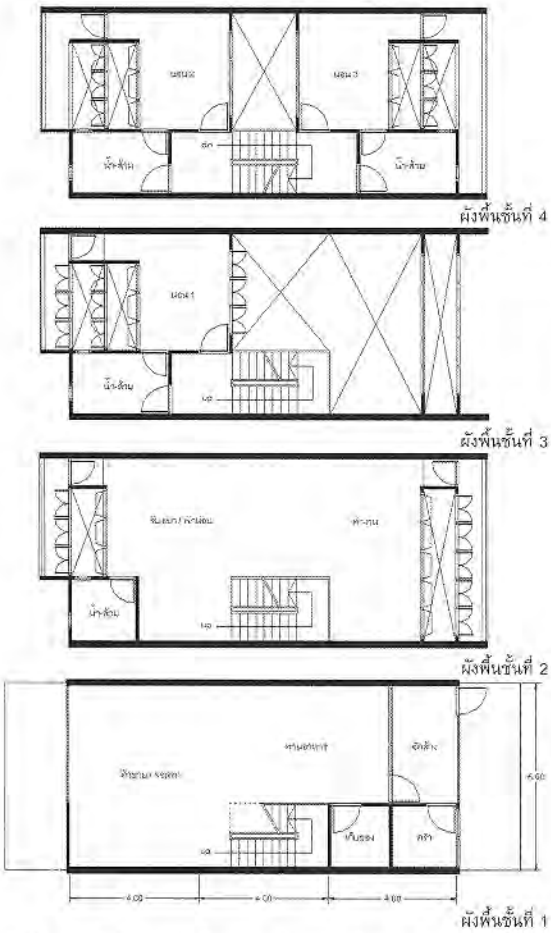
รูปที่ 8 แสดงหลักการกำหนดรูปแบบตึกแถวที่นำมาทดสอบ การกำหนดความสูงของที่ดักลมของตึกแถวขึ้นอยู่กับความสูงของอาคารและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ในที่นี้ใช้ความสูงที่ระดับหลังคาซึ่งสูงพอที่จะรับลมได้โดยไม่มีอุปสรรคอื่นขวางกระแสลม อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบดีว่ายิ่งที่ระดับความสูงมาก ก็ยิ่งมีความเร็วลมมากขึ้น แต่ในการนำที่ดักลมมาประยุกต์ใช้จะต้องคำนึงถึงแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นตามความสูงของปล่องซึ่งจะทำให้ความเร็วลมที่ได้ลดลง และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การดูแลรักษา ความสวยงาม และข้อจำกัดทางกฎหมายด้วย

ตึกแถวแบบทางเลือกที่ 1

กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

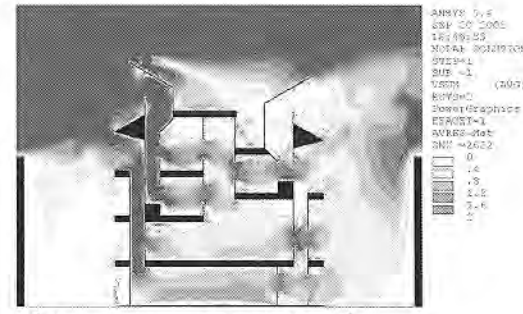
กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 และ 4

กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 3



รูปที่ 9 ผังพื้นอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1

ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดภายในปล่อง ทุกชั้น สามารถดักลมเข้าสู่ตัวอาคารได้ บริเวณปล่องจะเป็นส่วนรีดลมทำให้ลมที่เข้ามามีความเร็วสูงมากกว่า 100% แล้วจ่ายเข้าอาคารแต่ละชั้น โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 40–50% ของความเร็วลมเริ่มต้น ส่วนการทดลองกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ที่มีการแยกเปิดช่องเปิดภายในปล่องทีละชั้น โดยใช้บานเปิดแบบผลักออก เพื่อให้มีลักษณะเป็นที่ดักลมภายในอีกชั้นหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าปริมาณลมที่เข้ามาในแต่ละชั้นมีมากขึ้น ความเร็วลมสูงขึ้น โดยเฉพาะในชั้นที่ 2 ที่จากเดิมมีความเร็วลมประมาณ 30–40% ก็เพิ่มขึ้นเป็น 50–60% เนื่องจากปริมาณลมทั้งหมดที่ดักได้ ถูกจ่ายเข้ามาในชั้นอาคารที่เปิดช่องเปิดไว้อย่างเต็มที่



รูปที่ 10 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 1



รูปที่ 11 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 2



รูปที่ 12 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดง ความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 1 กรณีที่ 3

ผลการทดลองด้วยหุ่นจำลอง กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น

ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุดประมาณ10-20%

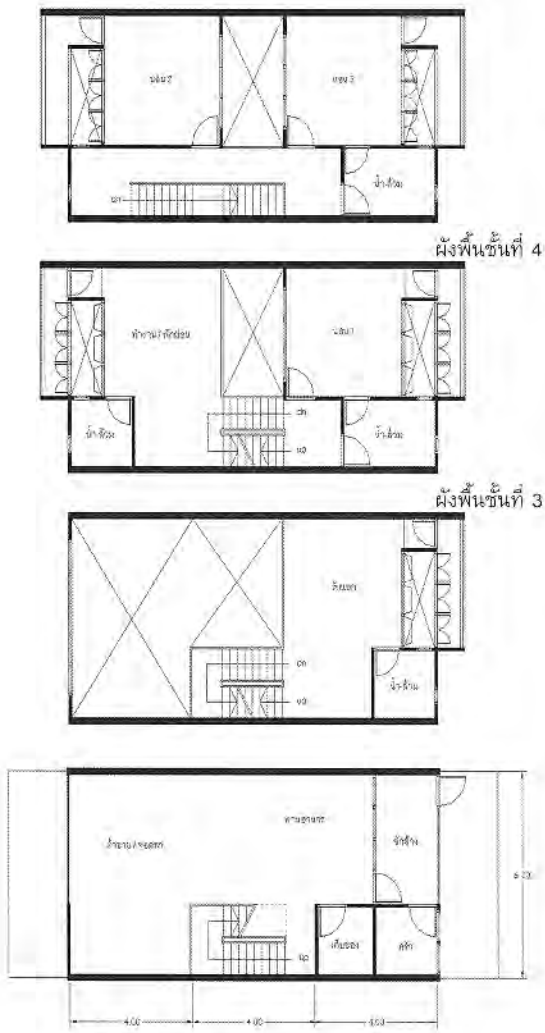
ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 20%

ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 30–40%

ชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 40–50%v

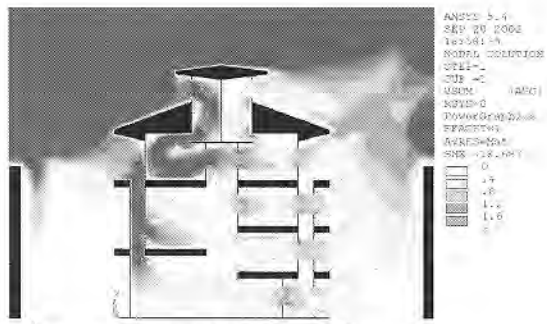
ความเร็วลมภายในอาคารจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามความสูงอาคาร เนื่องจากมีระยะปล่องที่สั้นกว่า และที่ดักลมชั้นบนดักลมได้มากกว่า สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 และ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องแบบแยกชั้น จะได้ค่าความเร็วลมสูงกว่ากรณีที่ 1 ประมาณ 10%

ตึกแถวแบบทางเลือกที่ 2
กรณีที่ 1 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น
กรณีที่ 2 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2
กรณีที่ 3 : เปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1



รูปที่ 13 ผังพื้นอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2

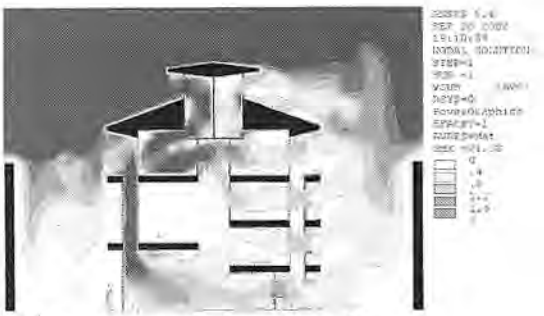
ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 1 ชั้น 4 จะได้รับลมปริมาณมาก และมีความเร็วสูง โดยเฉพาะห้องส่วนหน้าที่มีความเร็วลมสูงเกิน 100% ของความเร็วเริ่มต้น ส่วนใน 3 ชั้นล่าง ความเร็วลมจะต่ำกว่า โดยเฉพาะส่วนห้องด้านหลัง ความเร็วลมจะต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด ความเร็วลมภายในทั้งอาคารยกเว้นชั้น 4 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0–40% สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 ที่มีการแยกเปิดช่องเปิดภายในปล่องทีละชั้น สำหรับ 3 ชั้นล่าง พบว่า ความเร็วลมในส่วนห้องด้านหน้าจะสูงขึ้นอีกประมาณ 10–20% แต่ความเร็วลมในส่วนห้องด้านหลังกลับลดลง ซึ่งสรุปได้ว่าเป็นเพราะการแยกเปิดช่องเปิดภายในทีละชั้น ทำให้พื้นที่รวมของช่องเปิดลมเข้ามีขนาดเล็กลง ในขณะที่พื้นที่รวมของช่องเปิดลมออกมีขนาดเท่าเดิม ความเร็วที่ผ่านเข้ามาจึงสูงขึ้น



รูปที่ 14 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงความเร็วลมภายในอาคาร ตึกแถวแบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 1



รูปที่ 15 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 2

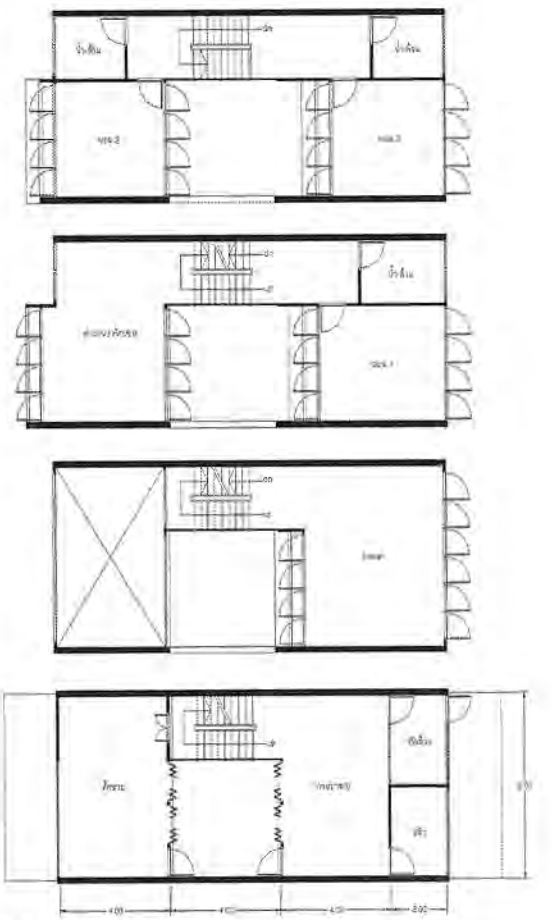


รูปที่ 16 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 2 กรณีที่ 3

ผลการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น
ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 20%
ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 10-20%
ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 20%
ชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 40–50%

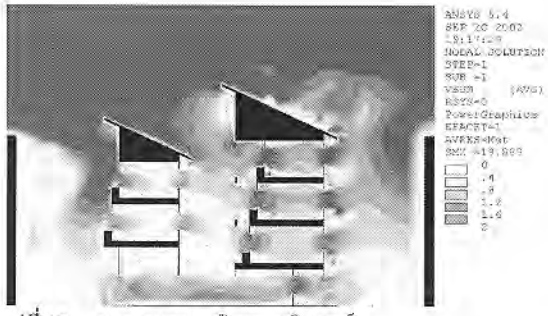
สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 2 จะทำให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในส่วนด้านหน้าอาคารสูงขึ้นพอสมควร ส่วนด้านหลังมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับกรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในชั้นที่ 1 จะสูงขึ้น แต่บริเวณชั้นลอย ค่าความเร็วลมเฉลี่ยจะต่ำลง

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

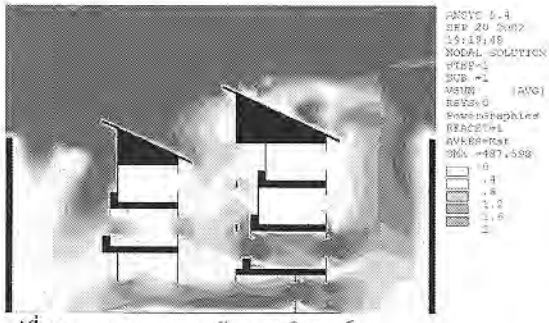


รูปที่ 17 ผังพื้นอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3

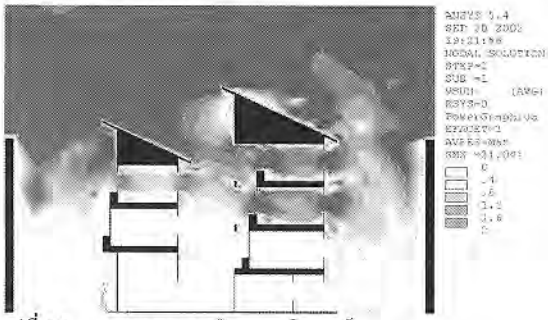
ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า ตึกแถวแบบที่ 3 กรณีที่ 1 เปิดช่องเปิดทุกชั้น สามารถดักลมเข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าการทำหลังคาแบบการเปิดพื้นที่โล่งตรงกลาง ทำให้เพิ่มพื้นที่ช่องเปิดลมเข้าได้มากขึ้น ส่วนอาคารด้านหลังจะได้รับลมมากกว่าด้านหน้า เนื่องจากความสูงของหลังคาที่ดักลมได้มากกว่า ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารด้านหน้าเป็น 30–40% ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารด้านหลังเป็น 50–60% สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 พบว่า ความเร็วลมภายในอาคารสูงขึ้นมาก โดยเฉพาะอาคารด้านหลัง เพราะปริมาณลมที่ดักได้ถูกแบ่งจ่ายให้อาคารเพียง 2 ชั้นสำหรับกรณีที่ 4 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหลัง พบว่าความเร็วลมภายในสูงขึ้นกว่ากรณีเปิดช่องเปิดทุกชั้น อีกประมาณ 10% โดยชั้นบนจะมีความเร็วลมสูงกว่าชั้นล่างเล็กน้อย ส่วนกรณีที่ 5 เปิดช่องเปิดเฉพาะอาคารด้านหน้า พบว่าปริมาณลมในอาคารด้านหน้ากลับต่ำลงมาก เหลือเพียง 0–20% เท่านั้น



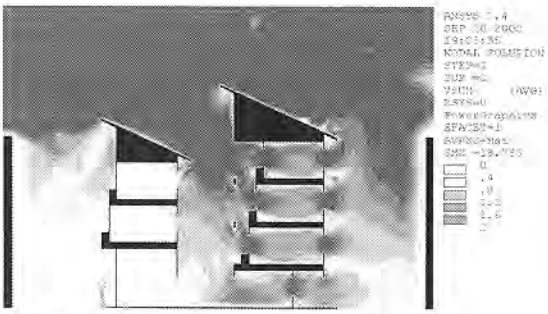
รูปที่ 18 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 1



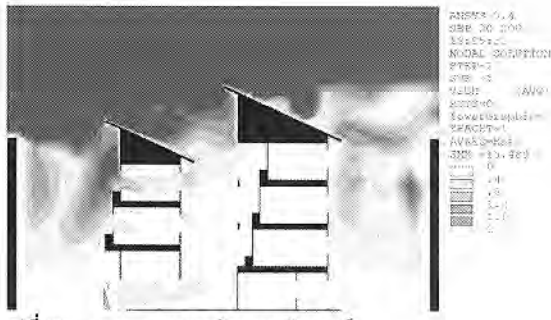
รูปที่ 19 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 2



รูปที่ 20 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 3



รูปที่ 21 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 4



รูปที่ 22 ผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงความเร็วลมภายในอาคารตึกแถว แบบทางเลือกที่ 3 กรณีที่ 5

ส่วนผลการทดลองด้วยหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม กรณีที่ 1 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องทุกชั้น
ชั้นที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 30%
ชั้นที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 20 - 30%
ชั้นที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 30 - 40%
และชั้นที่ 4 มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 40 – 50%

สำหรับการทดลองในกรณีที่ 2 เมื่อเปิดช่องเปิดภายในปล่องเฉพาะชั้นที่ 1 และ 2 ค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากกรณีที่ 1 มากนัก สำหรับใน กรณีที่ 3 เมื่อเปิดช่องเปิดเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในอาคารด้านหน้ากลับต่ำลงเล็กน้อย ในขณะที่ความเร็วลมเฉลี่ยในอาคารด้านหลังสูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนกรณีที่ 4 และ 5 ผลการทดลองปรากฏว่า เมื่อปิดช่องเปิดอาคารทั้งหมด ไม่ว่าด้านหน้าหรือด้านหลัง ความเร็วลมภายในอาคารจะลดลง สำหรับกรณีที่ 4 ความเร็วลมเฉลี่ยลดลงไม่มากนัก แต่สำหรับกรณีที่ 5 ความเร็วลมลดลงมากเมื่อเทียบกับการเปิดช่องเปิดทั้งหมด

5. สรุปผลการทดลอง

จากตาราง แบบทางเลือกที่ 1 มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารสูงที่สุด และมีความสม่ำเสมอของปริมาณลมมากกว่าแบบอื่น เนื่องจากมีความสมดุลในการจ่ายลมมากกว่าอย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในแง่ของการใช้พื้นที่ใช้สอยภายใน แบบที่ 1 จะเสียพื้นที่สำหรับปล่องมากที่สุด ในการทดลองแบบทางเลือกทั้งสามกรณีแยกชั้นช่องเปิด เห็นได้ชัดว่าสามารถช่วยให้ความเร็วลมภายในสูงขึ้น ซึ่งในการใช้งานจริงผู้ใช้อาคารควรพิจารณาการเปิด – ปิดหน้าต่างในชั้นต่างๆ ตามเวลาการใช้งาน สำหรับการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในของแบบทางเลือกทั้ง 3 แบบ เป็นแบบวางชั้นเหลื่อมกัน

นอกจากจะช่วยให้เกิดการกระจายลมภายในแต่ละชั้นแล้ว ยังเป็นการแบ่งพื้นที่ใช้สอยด้วยการใช้ระดับพื้นที่ต่างกัน หลีกเลี่ยงการกั้นผนังภายในให้น้อยที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงผลเปรียบเทียบความเร็วลมภายในแบบตึกแถวทางเลือกที่ 1, 2 และ 3

แบบที่	กรณีศึกษา	ความเร็วลมเฉลี่ย (%)					
		ชั้น1	ชั้น2	ชั้น3	ชั้น4	เฉลี่ย	
1	กรณีที่ 1	23	18	47	36	31	
	กรณีที่ 2	-	27	-	45	36	32
	กรณีที่ 3	12	20	55	27	29	
2	กรณีที่ 1	23	15	19	47	26	
	กรณีที่ 2	-	21	25	-	23	27
	กรณีที่ 3	24	13	-	-	19	
3	กรณีที่ 1	24	26	36	26	28	
	กรณีที่ 2	33	29	38	-	33	30
	กรณีที่ 3	-	-	35	27	31	
	กรณีที่ 4	12	26	31	25	31	
	กรณีที่ 5	18	-	26	30	25	

เมื่อนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร แบบทางเลือกที่ 1 เท่ากับ 32% จากตารางที่ 1 มาคำนวณหาค่าความเร็วลมจริงในกรุงเทพมหานครจะได้เป็น 0.4 เมตร/วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วลมในภูเก็ต จะได้เป็น 0.7 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมที่มนุษย์ สัมผัสได้ จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ได้ดังนี้

5.1 สภาพแวดล้อม และปริมาณลม ณ ที่ตั้ง

เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ เป็นเทคนิคการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดอันดับแรกที่ต้องพิจารณา คือ ปริมาณลมในพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศเป็นสำคัญ ส่วนในพื้นที่ตั้งอาคาร ก็ควรพิจารณาสภาพแวดล้อมรอบอาคารเป็นหลัก รวมถึงความจำเป็นในการนำเทคนิคนี้ไปใช้

5.2 การวางผังอาคาร

ในกรณีที่มีการใช้ที่ดักลมในอาคารหลายหลังในพื้นที่เดียวกัน จำเป็นต้องอาศัยการวางผังอาคารที่มีที่ดักลมให้สัมพันธ์กับทิศทางลมโดยไม่บังลมกันเอง เพื่อให้สามารถดักลมได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ กระบวนการนำลมเข้ามาจากที่ดักลมสู่ภายในตัวอาคาร ต้องคำนึงถึงการจัดพื้นที่ใช้สอยภายในให้สัมพันธ์กันด้วย

5.3 สัดส่วนอาคาร

การกำหนดอัตราส่วนความกว้าง : ความลึกของอาคาร มีผลมากต่อประสิทธิภาพของการระบายอากาศ เพราะความเร็วของกระแสลมที่เข้ามาภายในอาคารจะอ่อนแรงลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ นอกจากนี้สำหรับการเคลื่อนที่แบบดาวน์ดราฟต์ ควรกำหนดความสูงของที่ดักลมให้สามารถดักลมในที่สูงได้ ในขณะเดียวกันความสูงของอาคารก็ไม่ควรมากเกินไป เพราะจะทำให้ชั้นล่างๆ มีความเร็วลมอ่อนมาก หากอาคารมีความสูงหรือความลึกมากควรพิจารณาใช้ที่ดักลมมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป อัตราส่วนอาคารตึกแถวที่เหมาะสมสำหรับ การระบายอากาศและการจัดพื้นที่ใช้สอย คือ ความกว้าง : ความลึก เป็น 1 : 2 หรือ 1 : 3 ยิ่งอาคารมี ความลึกมาก ความเร็วลมเฉลี่ยภายในก็ยิ่งอ่อนลง ทั้งนี้หากอาคารมีความลึกมาก ควรมีพื้นที่เปิดโล่งตรงกลาง

5.4 องค์ประกอบของที่ดักลม และการกระจายลมภายใน

การใช้เทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ ต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

- ที่ดักลม ควรมีรูปร่างลักษณะที่สามารถดักลมได้มากและ หลายทิศทางในกรณีที่มีทิศทางลมไม่แน่นอน และควรมีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่สัมพันธ์กับตัวอาคารด้วย

- ปล่องลม ขนาดปล่องลมและขนาดช่องจ่ายลมภายในต้องมีความสัมพันธ์กับความสูงของชั้นอาคารด้วย ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีเรื่องความเร็วลมที่สัมพันธ์กับความกดดันอากาศจะแสดงว่า ขนาดปล่องลม และขนาดช่องเปิดภายในควรมีขนาดเล็กลงจากชั้นบนลงล่าง เพื่อให้ปริมาณและความเร็วลมที่เข้าสู่ตัวอาคารสมดุลกัน [5] แต่จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเปิดช่องเปิดเล็กในชั้นล่างจะทำให้ปริมาณลมในชั้นล่างน้อยลงไปด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่าการให้ช่องเปิดภายในมีขนาดเท่ากัน จะมีความเหมาะสมมากกว่า รวมถึงในแง่ของการใช้งานจริง ด้วย

- การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของลม ยิ่งลักษณะเส้นทางตั้งแต่ช่องเปิดลมเข้า ปล่องลม ภายในอาคาร ไปจนถึงช่องเปิดลมออก มีความเรียบง่ายมากเท่าไหร่ ความเร็วลมที่ลดลงอันเกิดจากแรงเสียดทานก็จะน้อยลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงอาจทำได้ยาก เนื่องจากมีการกั้นผนัง และการจัดวางเครื่องเรือนที่ยิ่งทำให้เกิด แรงเสียดทานมากขึ้นในกรณีนี้ การเลือกใช้วัสดุที่มีลักษณะโปร่งให้ลมเคลื่อนที่ ผ่านได้ก็จะช่วยแก้ปัญหาได้บ้าง

5.5 การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในและองค์ประกอบอาคาร

การจัดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารพักอาศัย ตามหลักการระบายอากาศ [6] ควรแบ่งประเภทพื้นที่ออกเป็น

- พื้นที่ที่ต้องการอากาศบริสุทธิ์ ได้แก่ ห้องนอน ห้องทำงาน ห้องนั่งเล่น ห้องรับแขก ห้องทานอาหาร เป็นต้น

- พื้นที่ที่ต้องการถ่ายเทอากาศเสีย ได้แก่ ห้องครัว ห้องเก็บของ ห้องน้ำ และที่จอดรถ เป็นต้น

ดังนั้น การจัดพื้นที่ใช้สอยจะต้องมีการจัดกลุ่มให้สัมพันธ์กับการเปิดช่องเปิดลมเข้าออกด้วย เช่น วางพื้นที่ที่ต้องการอากาศบริสุทธิ์ไว้ในส่วนต้นลม และวางพื้นที่ที่ต้องการถ่ายเทอากาศไว้ในส่วนปลายลม เป็นต้น

5.6 การควบคุมการใช้งาน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีที่มีการเปิดช่องเปิดทุกชั้นพร้อมกัน จะทำให้ปริมาณลมที่ดักได้ถูกแบ่งออกเป็นหลายส่วน ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละชั้นก็จะน้อยตามไปด้วย เมื่อพิจารณาการใช้งานจริงในตึกแถว ส่วนใหญ่มีการใช้งานเป็นเวลา มิได้ใช้พื้นที่ทุกชั้นพร้อมกันหมด ดังนั้นการเลือกเปิดช่องเปิด ตามเวลาและพื้นที่ใช้งาน จะช่วยลดปริมาตรห้องที่ถูกแบ่งลมออกไปได้ เป็นผลให้ความเร็วลมภายในชั้นที่เปิดช่องเปิดสูงขึ้น

6. ปัญหา และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพ ในการนำเทคนิคการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์มาประยุกต์ใช้กับอาคาร ตึกแถว ยังมีข้อจำกัด ปัญหาในการใช้งานจริงและประสิทธิผลด้านคุณภาพอากาศที่นำเข้ามา ที่งานวิจัยนี้ไม่สามารถครอบคลุมเนื้อหาดังกล่าวได้ จึงขอยกมาเป็นข้อเสนอแนะ สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

6.1 รูปแบบที่ดักลม

รูปแบบที่ดักลมที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดนี้ เป็นที่ดักลมรูปแบบพื้นฐานทั่วไปซึ่งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ ปัญหาหลักของที่ดักลมที่นำมาทดลอง คือ ความยืดหยุ่นในการใช้งาน เนื่องจากธรรมชาติของลมที่ไม่ได้พัดมาจากทิศทางเดียวตลอดเวลา การออกแบบที่ดักลมแบบติดตายย่อมเป็นข้อจำกัดในการรับลม ดังนั้นหากสามารถพัฒนาที่ดักลมให้สามารถปรับทิศทางได้ตามทิศทางลมที่เปลี่ยนไป จะช่วยให้ดักลมได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าความเร็วลมที่วัดได้ในอาคารยังค่อนข้างต่ำอยู่ ยิ่งปริมาณลมในพื้นที่ต่ำก็ยิ่งทำให้ความเร็วลมภายในต่ำไปด้วย สำหรับกรณีนี้ การเพิ่มความเร็วลมภายในอาจทำได้โดยการลดขนาดปล่องลมลง ในขณะที่ให้ขนาดช่องเปิดลมเข้า และช่องเปิดลมออกมีขนาดใหญ่เท่ากัน ปล่องลมที่เล็กลงจะช่วยรีดอากาศให้มีความเร็วสูงขึ้น

อัตราส่วนระหว่างขนาดช่องลมเข้า : ปล่องลม : ขนาดช่องจ่ายลมภายในที่เหมาะสมควรได้มีการศึกษาต่อไป

6.2 ประสิทธิภาพของลม

เนื่องจากเนื้อหาในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการนำอากาศใหม่เข้ามาผลัดเปลี่ยนภายในอาคาร ซึ่งเป็นการลดปริมาณสิ่งเจือปนในอากาศเพื่อสร้างสุขลักษณะที่ดีในการอยู่อาศัยเป็นหลัก [7] จึงมิได้ครอบคลุมถึงการสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัย เนื่องจากเรื่องความสบายนั้นยังมีตัวแปรอื่นที่ต้องพิจารณาร่วมด้วย นอกจากนี้จากผลการวิจัยที่ปรากฏว่าในบางกรณีหรือบางช่วงเวลาปริมาณและความแรงลมที่ดักได้ อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ ผู้ใช้งานอาจพิจารณาใช้วิธีการระบายอากาศแบบกลร่วมด้วย เช่น การใช้พัดลมดูดอากาศ ในกรณีนี้ ปริมาตรอากาศที่ระบายได้ จะเท่ากับอัตราการดูดของพัดลม

6.3 พื้นที่ใช้สอยภายในที่ลดลง

เนื่องจากการระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ต้องอาศัยองค์ประกอบในการเคลื่อนที่ของอากาศ คือ ปล่องเป็นหลัก ลักษณะปล่องนี้จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศ กล่าวคือ มีลักษณะเหมือนช่องท่อตลอดความสูงของอาคาร ยิ่งอาคารมีความสูงมากยิ่งต้องเสียพื้นที่ในการทำปล่องมากขึ้น จนอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งสถาปนิกเองจะต้องใช้การออกแบบแก้ปัญหาดังกล่าว

6.4 การดูแลรักษา และปัจจัยอื่น ๆ

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

เอกสารอ้างอิง

[1] Givoni, B. 1988. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York : Van Nostrand Reinhold.

[2] Riain, C.N. and Kolokatroni, M. 2000. The Effectiveness of Ventilation Stacks in Enhancing Natural Ventilation in Non-domestic Buildings. **Architecture City Environment : Proceedings of PLEA**. 2:77-82.

[3] Riain, C.N. and Kolokatroni, M. 2000. The Effectiveness of Ventilation Stacks in Enhancing Natural Ventilation in Non-domestic Buildings. **Architecture City Environment : Proceedings of PLEA**. 2:77-82.

[4] Barlow, J.B. et.al. 1999. **Low-speed Wind Tunnel Testing**. 3rd ed. New York : John Wiley & Sons.

[5] Robinson, D. et. al. 1992. The Design and Control of Buildings with Passive Downdraught Evaporative Cooling. **Sustaining the Future Energy Ecology Architecture : Proceedings of the Sixteenth International PLEA Conference**. 1:453-458.

[6] Lars-Goran Mansson and Svennberg, S.A. 1992. **Demand Controlled Ventilating Systems Source Book**. Stockholm : Ljunglofs Offset AB.

[7] Awbi, H.B. 1998. Ventilation. **Architecture : Comfort and Energy**. Oxford : Elsevier. 157-188.