การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลในช่องเปิดที่ซับซ้อน (การไหลแบบราบเรียบ)

CALCULATION OF DISCHARGE COEFFICIENT IN COMPLEX OPENING (LAMINAR FLOW)

ธีรพงษ์ บุญเติม[1], ประพันธ์ ตันตยาภิรม[1] และ เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์[*1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10300
* ติดต่อ: โทรศัพท์: 02 218 6622, โทรสาร: 02 252 2889
E-mail: chirdpun@hotmail.com

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพในการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเพื่อการประหยัดพลังงานของอาคารนอกจากจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและการจัดวางตัวของช่องเปิดให้เหมาะสมแล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องเปิดที่ใช้ เนื่องจากความสามารถในการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องเปิดแต่ละช่อง ดังนั้น การพัฒนาฐานข้อมูลเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลในช่องเปิดต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับช่องเปิดที่ซับซ้อนจึงมีความสำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อยอดการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลในช่องเปิดที่ซับซ้อน โดยการเพิ่มความหลากหลายของช่องเปิดที่ซับซ้อนตลอดจนการเพิ่มมุมกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศให้มากขึ้น เพื่อปรับปรุงสมการที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่มีอยู่เดิมให้มีความแม่นยำมากขึ้นและใช้ได้กับช่องเปิดซับซ้อนที่หลากหลายมากขึ้น โดยให้สภาวะเริ่มต้นของอากาศมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบและพัฒนาจนเป็นการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลเทียบกับมุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศสำหรับช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ มี 2 ลักษณะคือ ลักษณะของการกระจายตัวรูประฆังคว่ำ และลักษณะการกระจายตัวรูปตัว M รวมทั้งพบว่าจำนวนช่องเปิดภายในจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล ทั้งนี้ได้มีการใช้ตัวประกอบรูปร่าง (shape factor) เป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆ กัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล โดยสมการที่ได้มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.90195 สำหรับช่องเปิดที่วางตัวในแนวตั้ง และเท่ากับ 0.90980 สำหรับช่องเปิดที่วางตัวในแนวนอน

คำหลัก: การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ, สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล, ช่องเปิดที่ซับซ้อน, ตัวประกอบรูปร่าง

Abstract

The efficiency in applying natural ventilation for energy saving in building depends not only on the appropriate position and orientation of building opening but also the configuration of opening itself. Different air flow characteristics could be happened depend on each type of the opening. Therefore database development on the discharge coefficients for different types of opening especially for the complex opening is vital.

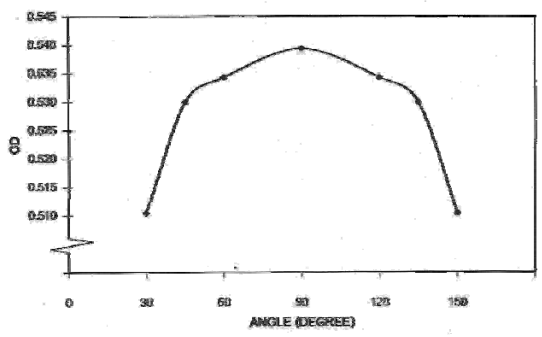
This research carries on the forth going research in calculating the discharge coefficient in complex opening by adding more types of complex opening as well as more air flow directions to the opening in order to modify the discharge coefficient equations to gain more accuracy and can be used

for more types of openings The initial air flow is set to be laminar and developed until the flow is fully developed. The result found is that there are 2 characteristics of discharge coefficient distribution with respect to the air flow direction for different types of opening. One is the inverted bell type distribution and the other is the M type distribution. Moreover the number of internal opening varies inversely with the discharge coefficient. The shape factor is applied in order to identify different types of complex opening. The mathematical model is set up to determine the equations for calculating the discharge coefficient. The equations received are accurate with coefficient of determination equal to 0.90195 for vertical opening and 0.90980 for horizontal opening.
Keywords: Natural ventilation, discharge coefficient, complex opening, shape factor.

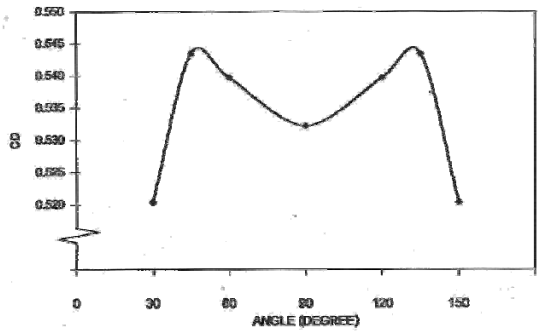
1. บทนำ

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ จัดว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานให้กับระบบปรับอากาศของอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสูงที่การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีบทบาทที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติให้มากที่สุดนั้นจะต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการเข้าช่วย เช่น การวางตำแหน่งที่ตั้งของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ ทิศทางลมตลอดจนทิศทางของแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลตลอดทั้งปี รวมทั้งลักษณะและการกำหนดตำแหน่งช่องเปิดในอาคารเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ โดยทั้งสถาปนิกและวิศวกรจะต้องทำงานร่วมกันในการออกแบบอาคารและจัดวางระบบทางด้านวิศวกรรมอาคาร เพื่อให้อาคารได้ทั้งความสวยงามและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แล้ว การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดในอาคารอย่างแม่นยำก็เป็นสิ่งสำคัญ [1-2] อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลซึ่งจำเป็นในการคำนวณยังมีอยู่น้อย และไม่เพียงพอในการเอื้ออำนวยให้สถาปนิกมีความยืดหยุ่นที่เพียงพอในการจัดวางรูปแบบของช่องเปิดซึ่งส่งผลต่อรูปลักษณ์ภายนอกของอาคาร งานวิจัย [3-4] ได้ทำการทดลองในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลสำหรับช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ และการวางตัวทำมุมใด ๆ กับทิศทางการไหลโดยใช้ข้อมูลช่องเปิด 32 รูปแบบรวมทั้งได้กำหนดค่าตัวประกอบรูปร่าง (Shape Factor) เพื่อบ่งบอกถึงความแตกต่างของช่องเปิดในลักษณะต่าง ๆ กันในเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการสร้างสมการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลผ่านช่องเปิด โดยช่องเปิดที่ใช้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม มุมที่ทำการทดลองอยู่ในช่วง 30-90 องศา อย่างไรก็ตาม จากการพล็อตกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่ได้กับมุมของช่องเปิด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมุมช่องเปิดเท่ากับ 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ (1) และ (2)

การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วดังกล่าวส่งผลให้ในมุมใช้งานของช่องเปิดที่ต่ำกว่า 30 องศา สมการที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนและไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน [3-4] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ขยายผลการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมช่วงการใช้งานในช่วงต่ำกว่า 30 องศา เพื่อให้ได้สมการที่ครอบคลุมมุมการใช้งานของช่องเปิดและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวรูประฆังคว่ำของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล [3-4]



รูปที่ 2 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวรูปตัว M ของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล [3-4]

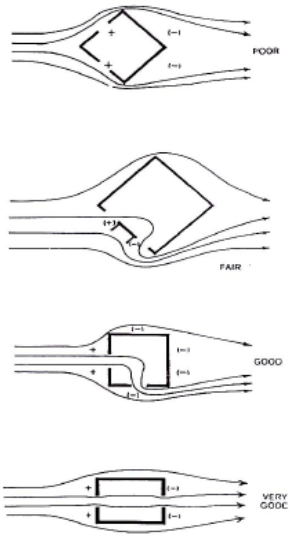
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติคือการไหลของอากาศที่ถูกกำหนดโดยทิศทางลมและอุณหภูมิของอากาศผ่านช่องเปิดของอาคารภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งนี้ เราสามารถควบคุมการไหลดังกล่าวผ่านช่องเปิดของอาคารเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภายในอาคาร 3 ลักษณะคือ

1. เพื่อรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร
2. เพื่อเสริมสร้างสภาวะสุขสบายเชิงความร้อน
3. เพื่อรักษาสภาพความเย็นและการระบายความร้อนให้กับโครงสร้างของอาคาร

2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นการใช้กระแสลมทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการพาความร้อนออกไปจากตัวอาคาร โดยปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปนั้นจะเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างค่าความจุความร้อนของอากาศ อัตราการเคลื่อนตัวของอากาศ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร รูปที่ 3 แสดงลักษณะการไหลของอากาศผ่านอาคารโดยวิธีธรรมชาติ

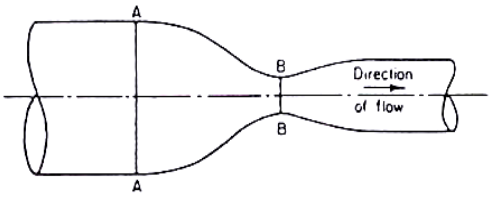


รูปที่ 3 แสดงการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ **[5]**

จากรูปจะเห็นว่าลักษณะการไหลของอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่ดีนั้นเทียบเคียงได้กับการไหลผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อ (รูปที่ 4)

โดยมีสมมติฐานที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้

1. เป็นการไหลแบบคงตัว (Steady Flow)
2. เป็นการไหลตลอดเส้นแสดงการไหล (Stream line)
3. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงเสียดทาน
4. ความเร็วสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด AA และ BB
5. ความดันสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด AA และ BB
6. ความสูงที่ AA และ BB เท่ากัน ($Z_{AA} = Z_{BB}$)



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการไหลของอากาศผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อ [5]

ถ้ากำหนดให้

P_1, P_2 = ความดันสัมบูรณ์ที่ AA และ BB

V_1, V_2 = ความเร็วเฉลี่ยที่ AA และ BB

ρ_1, ρ_2 = ความหนาแน่นของอากาศที่ AA และ BB

A_1, A_2 = พื้นที่หน้าตัดที่ AA และ BB

ค่าอัตราส่วน $A = A_1/A_2$

ความแตกต่างระหว่างค่าความดัน P_1 และ P_2 จะขึ้นกับค่าอัตราส่วนระหว่างค่า A_1 และ A_2 อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วน P_2/P_1 จะมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง ดังนั้น จากสมการเบอร์นูลี่และสมการความต่อเนื่อง จะได้สมการแสดงอัตราการไหลเชิงปริมาตรในทางทฤษฎี ดังนี้

$$\dot{Q}_t = A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - A^2)}} \qquad (1)$$

ในทางปฏิบัติ ค่าอัตราการไหลจริง ($\dot{Q}_a$) มักจะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลทางทฤษฎี ($\dot{Q}_t$) และค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลจริงต่ออัตราการไหลในทางทฤษฎี ($\dot{Q}_a / \dot{Q}_t$) มีชื่อเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Discharge Coefficient, C_D) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการชี้บ่งถึงประสิทธิภาพในการไหลผ่านช่องเปิดว่าสามารถให้อัตราการไหลผ่านมากน้อยเท่าไร [6]

$$C_D = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_t} \qquad (2)$$

2.2 วิธีการวัดอัตราการไหลในท่อที่มีสิ่งกีดขวาง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลในการทดลองนี้ คือ Orifice โดยความหนาที่เหมาะสมควรจะน้อยกว่าค่าที่ให้มาในตารางที่ 1 เมื่ออุณหภูมิของของไหลในท่อไม่เกิน 315 ^{o}C [7-10]

ตารางที่ 1 ความหนาที่เหมาะสมของ Orifice ที่ขนาดท่อต่าง ๆ

ขนาดของท่อ	ความหนา Orifice, นิ้ว
3 นิ้ว ลงมา	3/32 $\pm$ 1/32
4 ถึง 6 นิ้ว	5/32 $\pm$ 1/32
7 ถึง 8 นิ้ว	1/4 $\pm$ 1/16
10 นิ้ว ขึ้นไป	3/8 $\pm$ 1/8

3. การทดลอง

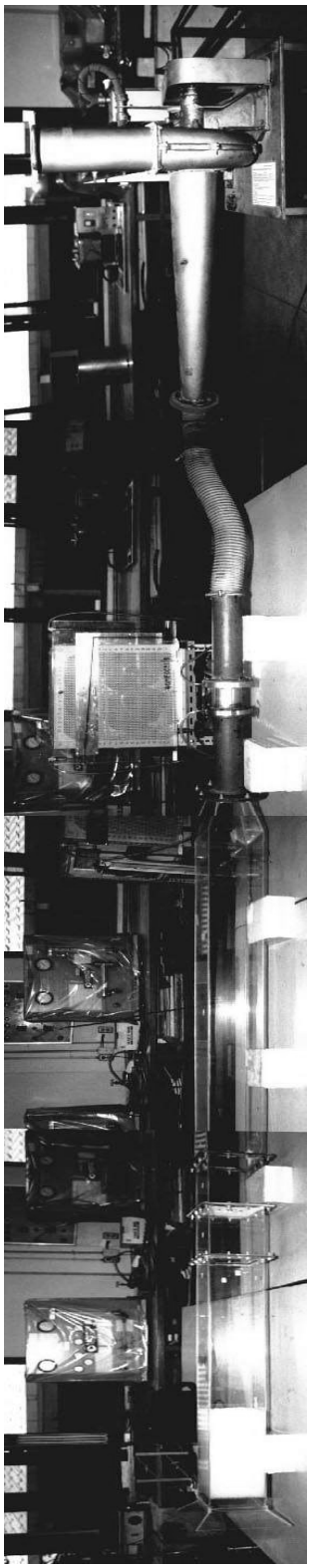
ชุดทดลองที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วยท่อพลาสติกยาว หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 15 x 15 เซนติเมตร^2 (รูปที่ 5) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทางเข้าของชุดทดลอง, ส่วนที่ใช้ทดลอง (เปลี่ยนมุม) ซึ่งจัดทำเป็นท่อพลาสติกยาวหน้าแปลนเป็นมุม 15, 30, 45, 60 และ 90 องศากับทิศทางการไหล และส่วนทางออกที่ต่อกับชุดอุปกรณ์วัดความเร็วและชุดพัดลมดูดอากาศ ซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบกันเป็นชุดทดลอง โดยจะมีชุดจัดเรียงการไหลของอากาศ (Flow Straightener) ที่บริเวณทางเข้า เพื่อจัดเรียงการไหลของอากาศให้เป็นระเบียบ และให้อากาศมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนท่อตรงยาวเพื่อให้เป็นการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ก่อนเข้าสู่ส่วนที่ใช้ทดลองต่อไป

แบบจำลองหน้าต่างที่ใช้ในการทดลองมีทั้งสิ้น 14 รูปแบบ โดยแบ่งเป็น

1. ช่องเปิดที่มีรูปร่างภายนอกและการแบ่งพื้นที่ช่องเปิดภายในเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จำนวน 8 รูปแบบ
2. ช่องเปิดที่มีรูปร่างภายนอกเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่การแบ่งพื้นที่ช่องเปิดภายในเป็นรูปสามเหลี่ยม จำนวน 6 รูปแบบ

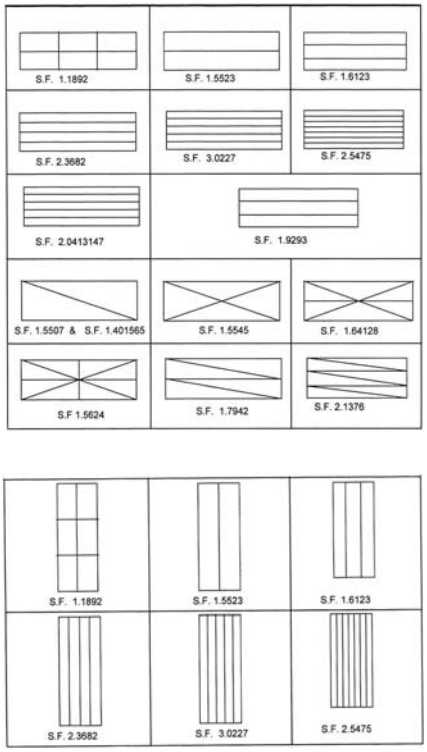
ตัวอย่างช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 6 ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เปลี่ยนรูปแบบของช่องเปิด
2. เปลี่ยนมุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศตั้งแต่ 15, 30, 45, 60 และ 90 องศา



รูปที่ 5 แสดงชุดที่ใช้ในการทดลอง

3. วัดค่าความดันตกคร่อมชุดทดลอง และวัดค่าความดันตกคร่อมชุดอุปกรณ์วัดความเร็ว
4. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล



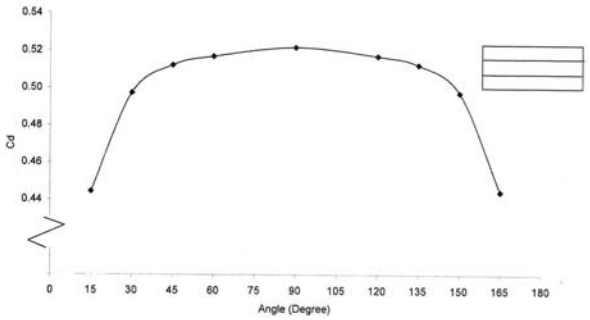
รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ข้อมูลจากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

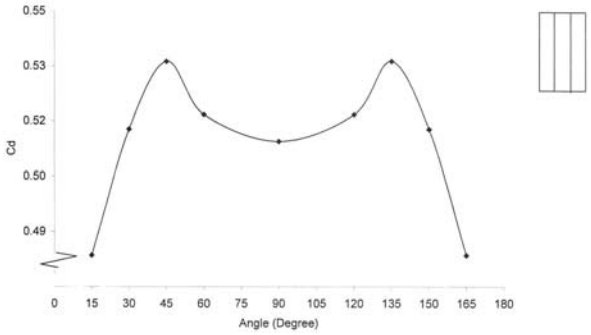
1. ลักษณะการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุมทิศทางการไหลของอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

ก. การกระจายตัวรูประฆังคว่ำ ซึ่งจะเกิดกับช่องเปิดที่มีรูปแบบภายนอกเป็นรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตัวในแนวนอน



รูปที่ 7 การกระจายตัวรูประฆังคว่ำของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่ทิศทางการไหลต่าง ๆ

ข. การกระจายตัวรูปตัว M ซึ่งจะเกิดกับช่องเปิดที่มีรูปแบบภายนอกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 8 การกระจายตัวรูปตัว M ของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่ทิศทางการไหลต่าง ๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่า การกระจายตัวรูปตัว M จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลสูงสุดที่มุมทิศทางการไหล 2 มุม คือ ประมาณ 45 และ 135 องศา ในขณะที่การกระจายตัวรูประฆังคว่ำจะให้ค่าสูงสุดที่มุมทิศทางการไหล 1 มุม คือ ประมาณ 90 องศาและมีลักษณะของกราฟที่ค่อนข้างจะราบเรียบ ดังนั้นเพื่อให้ได้การระบายอากาศที่สูงสุด ควรจัดวางช่องเปิดในแนวนอนให้ตั้งฉากกับทิศทางการไหล ในขณะที่ช่องเปิดในแนวตั้งควรวางตัวช่องเปิดในทิศ 45 หรือ 135 องศากับทิศทางการไหล

2. ช่องเปิดที่มีรูปร่างภายนอกเหมือนกันแต่มีจำนวนช่องเปิดภายในที่แตกต่างกัน พบว่ายิ่งจำนวนช่องเปิดภายในเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลจะยิ่งมีค่าลดลง (รูป 9 และ 10)

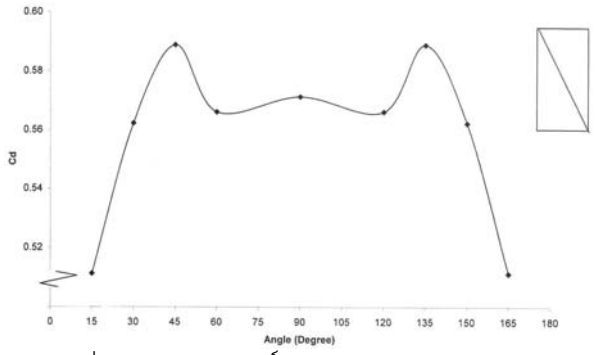
3. ช่องเปิดที่รูปแบบภายนอกของช่องเปิดมีลักษณะเดียวกันและมีจำนวนช่องเปิดภายในเท่ากัน แต่รูปแบบการแบ่งช่องเปิดภายในแตกต่างกันซึ่งสามารถแสดงความแตกต่างดังกล่าวในเชิงคณิตศาสตร์ได้โดยอาศัยค่าตัวประกอบรูปร่าง (shape factor, SF) ดังนี้

$$SF = \frac{\textit{เส้นรอบรูปของช่องเปิด}}{\textit{เส้นรอบรูปของวงกลมที่เทียบเท่ากับช่องเปิด}} \quad (3)$$

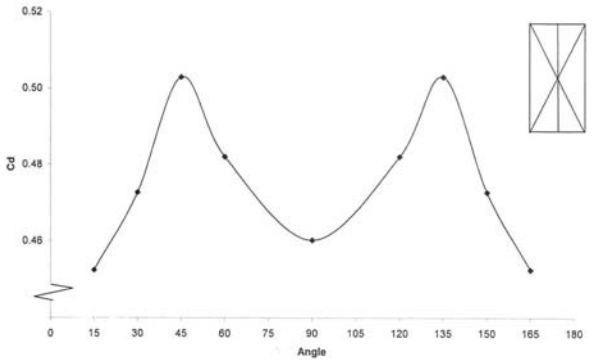
$$SF = \frac{SF_1 + SF_2 + SF_3 + \ldots\ldots + SF_{n-1} + SF_n}{n} \quad (4)$$

พบว่าช่องเปิดที่มีค่าตัวประกอบรูปร่างที่ต่ำจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่สูงกว่า (รูป 11และ 12)

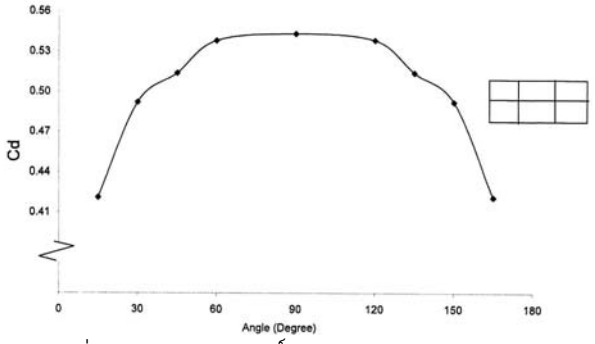
4. ในช่วงมุม 15-30 องศาซึ่งเป็นช่วงมุมเอียงน้อย ๆ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าน้อยมาก



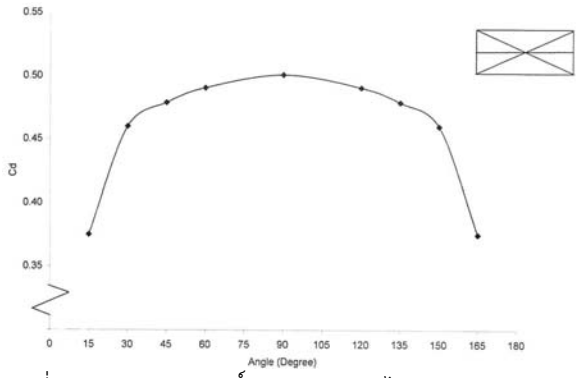
รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของช่องเปิดที่มีช่องเปิดภายใน 2 ช่อง



รูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของช่องเปิดที่มีช่องเปิดภายใน 6 ช่อง



รูปที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของช่องเปิดที่มีค่าตัวประกอบรูปร่าง = 1.189233



รูปที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของช่องเปิดที่มีค่าตัวประกอบรูปร่าง = 1.64128

5. สมการและการทดสอบ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ได้ถูกนำไปรวมกับข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย [3-4] เพื่อเพิ่มฐานข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาสมการที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล โดยตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลได้แก่

1. รูปแบบการวางตัวของช่องเปิด
2. รูปแบบการแบ่งช่องเปิดภายใน หรืออีกนัยหนึ่งความแตกต่างของค่าตัวประกอบรูปร่าง
3. จำนวนช่องเปิดภายใน
4. มุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศ

ทั้งนี้ รูปแบบการวางตัวของช่องเปิดจะมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น สมการที่ได้จะมี 2 สมการสำหรับการวางตัวของช่องเปิดในแนวตั้งและในแนวนอน โดยสมการจะขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบรูปร่าง จำนวนช่องเปิดภายในและมุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศ กรรมวิธีสมการถดถอยถูกนำมาใช้กับฐานข้อมูลที่ได้ในการวิจัยเพื่อสร้างสมการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล ดังนี้

1. สมการสำหรับลักษณะการกระจายตัวรูประฆังคว่ำ

-จากฐานข้อมูลของงานวิจัยในครั้งนี้

$$C_D = e^{-0.03656\left(SF^{1.3}N^{0.75}\right)} Sin\left(\begin{matrix}1.938A^5 - 8.3253A^4 + 13.555A^3\\ -10.552A^2 + 4.0412A\end{matrix}\right) \quad (5)$$

-จากการรวมฐานข้อมูล

$$C_D = e^{-0.0315\left(SF^{1.25}N^{0.8}\right)} Sin\left(\begin{matrix}1.677A^5 - 7.3982A^4 + 12.39A^3\\ -9.9032A^2 + 3.8595A\end{matrix}\right) \quad \mathbf{(6)}$$

2. สมการสำหรับลักษณะการกระจายตัวรูปตัว M

-จากฐานข้อมูลของงานวิจัยในครั้งนี้

$$C_D = e^{-0.02494\left(SF^{1.4}N^{0.9}\right)} Sin\left(\begin{matrix}3.7421A^5 - 14.936A^4 + 22.027A^3\\ -15.199A^2 + 5.0486A\end{matrix}\right) \quad (7)$$

-จากการรวมฐานข้อมูล

$$C_D = e^{-0.02115\left(SF^{1.25}N^{0.95}\right)} Sin\left(\begin{matrix}4.4662A^5 - 17.682A^4 + 25.571A^3\\ -16.911A^2 + 5.2013A\end{matrix}\right) \quad (8)$$

โดยที่ C_D = ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล

A = มุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น เรเดียน โดยจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0 - $\pi/2$ เรเดียน (0 - 90 องศา)

N = จำนวนช่องเปิดภายใน

SF = ค่าตัวประกอบรูปร่างเฉลี่ยของช่องเปิดที่มีรูปแบบซับซ้อน

การประมวลผลทางสถิติเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการ (5), (6), (7) และ (8) มีดังนี้

สมการ (5):

Coefficient of Determination, r^2 = 0.917023

Average of Percent Error = 3.41%

สมการ (6):

Coefficient of Determination, r^2 = 0.909800

Average of Percent Error = 3.57%

สมการ (7):

Coefficient of Determination, r^2 = 0.948119

Average of Percent Error = 3.17%

สมการ (8):

Coefficient of Determination, r^2 = 0.901950

Average of Percent Error = 3.22%

สำหรับค่ามุมที่ช่องเปิดกระทำกับทิศทางการไหลซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าในช่วง 0 - 90 องศาสำหรับใช้ในสมการนั้น แต่เนื่องจากช่องเปิดมีความสมมาตรต่อมุมที่กระทำ ดังนั้น สมการที่ได้สามารถที่จะนำไปใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลได้ตั้งแต่มุม 0 - 180 องศา โดยที่มุม 120, 135, 150 และ 165 องศา เราจะใช้มุม 60, 45, 30 และ 15 องศา มาใช้ในคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลแทนตามลำดับ

6. สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ช่องเปิดไม่ว่าจะมีรูปแบบภายนอกใดถ้ามีค่าตัวประกอบรูปร่างสูงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลที่น้อยลง โดยค่าตัวประกอบรูปร่างที่มีค่ามากขึ้นมาก ๆ การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบรูปร่างจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลไม่มากเท่ากับตอนที่ค่าตัวประกอบรูปร่างมีค่าน้อย ๆ ทุกมุมที่กระทำต่อการไหลของอากาศ ดังนั้น การเลือกใช้ช่องเปิดที่มีค่าตัวประกอบน้อยหรือช่องเปิดที่มีการแบ่งช่องเปิดภายในไม่มากจะส่งผลดีต่อการระบายอากาศในอาคาร

2. ช่องเปิดที่จัดวางในแนวนอนควรมีทิศตั้งฉากกับการไหลในขณะที่ช่องเปิดที่จัดวางในแนวตั้งสามารถที่จะวางในทิศ 45 หรือ 135 องศากับทิศทางการไหล เพื่อให้ได้การระบายอากาศสูงสุด

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้เมื่อรวมเข้ากับฐานข้อมูลเดิมทำให้ได้สมการที่มีช่วงการใช้งานสำหรับมุมทิศทางการไหลที่กว้างขึ้นและทำให้การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การจำลองสภาวะการระบายอากาศภายในอาคารถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Chastain, J.P. and Colliver, D.G. (1987). Computation of Discharge Coefficient for Larminar Flow in Rectangular and Circular Openings, ASHRAE Transaction, vol. 93 part 2, 1987, pp. 2259-2283.

[2] Harris J. Sobin. (1981). Window Design for Passive Ventilative Cooling: An Experimental Model-Scale Study, Passive Cooling, 1981, pp. 191-195.

[3] Chirdpun Vitooraporn, Nuttavut Walaikanok. (2002). Natural Ventilation: Calculation of Discharge Coefficient in Complex Opening (Larminar Flow), paper presented in *ACRA-2002, 1st Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning 2002*, Kobe, Japan.

[4] Nuttavut Walaikanok. (2001). *Natural Ventilation: Calculation of Discharge Coefficient in Complex Opening (Larminar Flow)*, Master Thesis, Dept. of Mech. Eng., Chulalongkorn University.

[5] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (1993). *1993 ASHRAE Handbook Fundamentals*, Atlanta Georgia.

[6] Kayser, J.C. and Shambaugh, R.L. (1991). Discharge Coefficient for Compressible Flow Through Small Diameter Orifice and

Convergence Nozzle, Chemical Engineering Science, vol. 46 no. 7, 1991, pp. 1697-1711.

[7] Reid F. Stearns, Russell R. Johnson, Robert M Jackson and Charles A. Larson. (1951). *Flow Measurement with Orifice Meter*, D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey.

[8] Ower, E. and Pankhurst, R.C. (1977). *The Measurement of Air Flow*, *5th Edition*, Oxford, Pergamon Press.

[9] Linford, A. (1961). *Flow Measurement & Meters*, *2nd Edition*, E & F.N. Spon, London.

[10] Robert W. Fox and Alan T. Mcdonald, (1994). *Introduction to Fluid Mechanics, 4th Edition*, New York, John Wiley, New York.