



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรู้นกับการกระจายลมในงานปรับอากาศแบบเพดานยก

An Investigation on Open Area Ratio of Perforated Plate and air distribution for Raised Floor air Conditioning System

นามผู้วิจัย นายเมธี ดวงสร้อยทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สมาน เจริญกิจพูลผล, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณกับการกระจายลมในงานปรับอากาศ
แบบพื้นยก

An Investigation on Open Area Ratio of Perforated Plate and air distribution for
Raised Floor air Conditioning System

โดย

นายเมธี ดวงสร้อยทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมธี ดวงสร้อยทอง 2557: การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนกับการกระจายลมในงานปรับอากาศแบบพื่นยก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D. 79 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนกับการกระจายลมในงานปรับอากาศแบบพื่นยก โดยนำโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาช่วยในการวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนที่ได้ทำการปรับปรุงค่า อัตราส่วนพื้นที่เปิดควบคู่กับการศึกษาด้วยวิธีการทดลอง เพื่อมุ่งเน้นการทำให้ค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ในการศึกษาจะทำการสร้างแบบจำลองระบบปรับอากาศห้องพื่นยก โดยมีลักษณะเป็นกล่องขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 80x160x20 ลบ.ซม. ซึ่งผนังด้านข้าง และด้านล่างเป็นผนังทึบ ผนังด้านบนประกอบด้วยแผ่นพรุนวางเรียงตัวในแนวยาว 2 แถว แต่ละแถวมี 7 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาดเท่ากับ 20x20 ตร.ซม. โดยมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิด 17.7% อัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนที่ค่าความเร็วทางเข้า 4 เลขเรย์โนลด์ คือ 3.7781×10^4 , 7.5968×10^4 , 1.0537×10^5 และ 1.3868×10^5 ค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวัดจะนำไปใช้เปรียบเทียบกับความถูกต้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD ผลที่ได้มาใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนในโปรแกรม CFD เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้อัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการศึกษาพบว่าค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าแตกต่างกันมากโดยอัตราการไหลบริเวณพื้นที่ด้านหน้าและด้านหลังเทียบจากทิศทางลมเข้าจะมีค่าอัตราการไหลที่มากกว่าบริเวณตรงกลางห้องสูงถึง 30% แม้จะมีการเพิ่มอัตราการไหลบริเวณทางเข้าก็พบว่าจะยังไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ส่วนการวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนด้วยโปรแกรม CFD เทียบกับค่าที่วัดได้ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลแต่ละแผ่นเฉลี่ยไม่เกิน 11% อย่างไรก็ตามหลังจากทำการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนแต่ละแผ่นสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าแตกต่างกันกับค่าเฉลี่ยกลางน้อยกว่า 10% ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนกับตำแหน่งการวางแผ่นพรุนไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื่นยกที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกับแบบจำลองนี้ เพื่อนำไปพัฒนาให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ลายมือชื่อ นิสิต

ลายมือชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Methee Duangsoythong 2014: An Investigation on Open Area Ratio of Perforated Plate and air distribution for Raised Floor air Conditioning System. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chawalit Kittichaikarn, Ph.D. 79 pages.

This research presents an investigation on a correlation of open area ratio of perforated plate and air distribution for the raised floor air conditioning systems. The commercial software in Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to analyze the air flow through perforated plate after the pressure loss coefficient is adjusted. Experiments were also carried out to validate these computational results. In this research, the model of raised floor room with a size of $80 \times 160 \times 20 \text{ m}^3$ was built. It has 2 rows of perforated plates and each row has 7 perforated plates installed on top. In addition, each perforated plate has an open area of 17.7% and $20 \times 20 \text{ cm}^2$ in size. The measurements of flow velocity through perforated plate were made due to 4 different inlet velocities. These measurements were used to adjust the open area ratio of the perforated plates so that they could give a uniform distribution of air flow across perforated plate.

From the results obtained, it was found that the air flow across each perforated plate were significantly different. The air flow rates from the perforated plates which are nearest and furthest from CRAC are higher than those in the middle by 30%. This problem could not be solved even though the inlet velocity of the air flow was increased. However by varying the open area ratio of each perforated plate, the flow rate of the air from the middle perforated plates could be increased. With this technique, the air flow rate from each perforated plate is different to the average value by only 10%. Therefore the correlation between open area ratio and air flow distribution obtained in this research could be used to improve the efficiency of the raised floor air conditioning system.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต กิตติชัยการ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาและวางแผนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ได้มีส่วนในการให้คำชี้แนะที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท SITEM ที่สนับสนุนอุปกรณ์และให้ข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศแบบพ่นยกของศูนย์เก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ,คุณแม่ และภรรยาที่ให้ความสนใจสำหรับการเรียนรวมทั้งการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

เมธี ดวงสร้อยทอง
พฤษภาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	67
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลองและการวิเคราะห์	69
ภาคผนวก ค แสดงผลการทำ Grid Independence	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาวะอากาศที่แนะนำสำหรับระบบระบายอากาศของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์	17
2	ตารางแสดงสภาวะเงื่อนไขขอสำหรับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	33



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงรูปแบบการวางแผ่นพอรันทั้ง 5 แบบ	4
2	เครื่องมือวัดปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรัน	5
3	ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์กับการวัดค่าในห้องศูนย์ข้อมูลจริง	6
4	แผนภาพแสดงปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรันแต่ละแผ่นตามขนาดความสูงของใต้พื้นที่	7
5	แผนภาพแสดงปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรันแต่ละแผ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของแผ่นพอรัน	7
6	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์แรงดันและปริมาณลมในรูปแบบของตัวแปรไร้หน่วย	9
7	แสดงรูปแบบห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่ทำการทดสอบโดย 2 รูปแบบวางเครื่องCRAC ที่ต่างกัน	10
8	ภาพแสดงผลเปรียบเทียบการทำนายด้วยวิธีทางคอมพิวเตอร์แบบ 1 มิติกับแบบ 3 มิติ	10
9	แสดงรูปแบบการจ่ายลมแบบระบบของ“DataCool”	11
10	แสดงการวางตัวแผ่นพื้นที่ยกและเครื่องปรับอากาศ	11
11	แสดงปริมาณลมรวมที่ออกจากแผ่นพอรันแต่ละแผ่นเทียบกับแรงดันใต้พื้นที่ในกรณีที่มีการseal ช่องว่างระหว่างแผ่นพื้นที่ยก	12
12	แสดงการวางตัวของตู้ Rackและเครื่องปรับอากาศในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์	13
13	แสดงค่าผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ Rack กับผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ระดับความสูง 1.75 เมตรจากพื้นที่ยก	13
14	แสดงค่าของอุณหภูมิทางเข้าเมื่อเพิ่มระดับความสูงของเพดานที่ 2.7 (9 ft), 3.6 (12 ft), 5.1(17 ft) และ6.6 (22 ft) เมตรตามลำดับ	15
15	แสดงแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่	16
16	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเย็นใต้พื้นที่ยกภายใต้ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ที่ระดับความสูง 0.2 m จากระดับใต้พื้นที่ยก	17
17	แสดงการปรับปรุงพื้นที่ยกโดยให้ด้านหลังห้องมีความสูงใต้พื้นที่ยกที่น้อยกว่าด้านหน้า	17
18	การเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบของการไหลแบบปั่นป่วน	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ขนาดและแบบจำลองพื้นที่ของห้องข้อมูล	23
20	(a)รูปที่เจาะด้วยวิธี laser cut และ (b)แสดงรูปของแผ่นพรุณที่วางตัวอยู่ในแบบจำลองพื้นที่ของห้องข้อมูล	24
21	ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์	25
22	รูปพัดลม KDD 10/10 550 w 4 P	25
23	แสดงแผนภูมิการทำงานของพัดลม KDD 10/10 550w 4P	26
24	แสดงเครื่องมือที่วัดความเร็ว KIMO VT200	27
25	แสดงกรวยช่วยวัดปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุณ	27
26	แผนผังการวิจัยการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุณ	28
27	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	30
28	แบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของห้องระบบปรับอากาศแบบพื้นที่ยกจำลอง	31
29	แสดง grid แบบ unstructured tetrahedral ที่สร้างโดยโปรแกรม gambit	32
30	การกำหนดรูปแบบเงื่อนไขขอบเขตของระบบปรับอากาศแบบพื้นที่ยกจำลอง	33
31	CRAC ที่จ่ายลมขนานกับพื้นยก	36
32	CRAC ที่จ่ายลมตั้งฉากกับพื้นยก	36
33	แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	37
34	แสดงตำแหน่งการวางตัวของแผ่นพรุณในแบบจำลองระบบห้องปรับอากาศแบบพื้นที่ยก	38
35	ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นกับค่าเฉลี่ยกลางที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	38
36	แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 3.7781×10^4 , 7.5968×10^4 , 1.0537×10^5 และ 1.3868×10^5	39
37	แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์กับค่าที่วัดได้จากการทดลอง	40
38	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	41
39	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรุณที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 7.5968×10^4	41
41	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรมอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 3.7781×10^4	43
42	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 3.7781×10^4	44
43	แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 3.7781×10^4	44
44	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรมอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.0537×10^5	45
45	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.0537×10^5	46
46	แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.0537×10^5	46
47	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรมอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.3868×10^5	47
48	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.3868×10^5	48
49	แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ยกที่ใช้แผ่นพรมที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ททางเข้า 1.3868×10^5	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 3.7781×10^4 , 7.5968×10^4 , 1.0537×10^5 และ 1.3868×10^5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	49
51	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแถวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4	50
52	แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ 10% และ 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4	53
53	แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ 25% และ 35% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4	54
54	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิด 10%, 17.7%, 25% และ 35% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4	55
55	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดในช่วงแผ่นที่5ถึงแผ่นที่10(บริเวณตรงกลาง)ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	56
56	แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ 25%, 30%, 40% และ 60%	57
57	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ 25%, 30%, 40% และ 60%	57
58	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแถวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพื้นที่เปิดในทุกแผ่นให้เหมาะสมที่สุด	57
59	แผนภูมิแสดงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณแต่ละแผ่นที่เหมาะสมที่สุด	58
60	แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ปรับปรุง	60
61	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ปรับปรุง	60
62	แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการจ่ายลมบริเวณทางเข้า ของแผ่นพรุณที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 10 % เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
63	แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรที่ได้ปรับเปลี่ยนวิธีการจ่ายลมจากทางด้านบน ของแผ่นพรุณที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 10 % และเลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	62
64	แสดงเวคเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรที่ได้ปรับเปลี่ยนวิธีการจ่ายลมจากทางด้านบน ของแผ่นพรุณที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 10 % และเลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4	62
65	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นเมื่อมีพื้นที่เปิด 10 % และเลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4 ระหว่างการจ่ายลมด้วยทิศทางขนานพื้นที่ยกกับทิศทางลงตั้งฉากพื้นที่ยก	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

dx, dy, dz	=	อนุพันธ์ในแนวแกน X, Y, Z
D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นพรุณ
f	=	อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ
f_x, f_y	=	แรงอื่นๆในแนวแกน
g	=	Gravitational acceleration
G_b	=	พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการลอยตัว
G_k	=	พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากความเร็วเฉื่อย
k	=	พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุณ
\dot{m}	=	อัตราการไหลของมวลอากาศที่ผ่านตู้เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์
ΔP	=	ความดันตกคร่อม
Re	=	เลขเรย์โนลด์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Greek symbols

ε = การกระจายพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

$\alpha_k, \alpha_\varepsilon$ = Inverse effective Prandtl numbers สำหรับ k และ ε

μ = ความหนืดจลน์

μ_t = ความหนืดจลน์ของความปั่นป่วน

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

σ_k = ค่า Prandtl number ของ k

σ_ε = ค่า Prandtl number ของ ε

คำย่อ

ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CFD = Computational Fluid Dynamics

CRAC = Computer Room Air Conditioning

การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนกับการกระจายลมในงาน ปรับอากาศแบบเพนยอก

An Investigation on Open Area Ratio of Perforated Plate and air distribution for Raised Floor air Conditioning System

คำนำ

ในปัจจุบันที่โลกเกิดวิกฤติทางภัยธรรมชาติมากมายซึ่งสาเหตุก็มาจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่ง ที่ทุกคนพึงตระหนัก การใช้พลังงานก็เช่นกันทั้งภาครัฐและเอกชนเริ่มมีการจัดทำนโยบายประหยัด พลังงาน อีกทั้งเกี่ยวข้องไปถึงการออกแบบระบบต่างๆภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพ และใช้ พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดดังนั้นด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นเป้าหมายหลักของการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

ศูนย์ข้อมูลหรือเรียกว่าData Center เป็นพื้นที่ที่ใช้จัดวางระบบประมวลผลกลาง และระบบ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กร มีหน้าที่หลักคือ เป็นศูนย์กลางในการจัดเก็บ ประมวลผลข้อมูล ต่างๆของหน่วยงาน เพื่อที่จะให้หน่วยงานอื่นที่อยู่คนละสถานที่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่เป็นได้ สะดวก และเพื่อความปลอดภัยในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งพบว่าการใช้งาน Data Center มีแนวโน้มที่ สูงขึ้นตามการเติบโตของเทคโนโลยีสารสนเทศ และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ โดย กลุ่มธุรกิจที่ให้ความสำคัญ ได้แก่ กลุ่มธนาคาร โทรคมนาคม ผู้ให้บริการด้านอินเทอร์เน็ต และ หน่วยงานราชการ โดยส่วนใหญ่ภายในศูนย์ข้อมูลจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์หลายชนิด เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server), เครื่องประมวลผลขนาดใหญ่ (Main frame), เครื่องบันทึก ข้อมูล (Storage), เครื่องสำรองไฟ(UPS), อุปกรณ์เครือข่าย (Network switch), สายสัญญาณ (Data cabling system) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ก็จะเป็แหล่งสร้างความร้อนออกมาสู่ห้องเป็นจำนวน มาก

ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่าห้อง Data Center อาจจะมีขนาด 1 ห้อง, 1 ชั้นหรือทั้งอาคาร ระบบปรับอากาศสำหรับ Data Center มีหลายรูปแบบแต่นิยมคือระบบปรับ อากาศแบบเพนยอกซึ่งระบบปรับอากาศแบบเพนยอก จะเป็นแบบระบบที่มีการยกพื้นสูงประมาณ 0.4 – 1 เมตร พื้นห้องจะทำเป็นแผ่นพื้นที่มีลักษณะเป็นแผ่นพรุนและแผ่นปิด มีขนาด 0.61x0.61 ตาราง เมตร วางเรียงกันในบริเวณที่ต้องการ ให้อากาศเย็นไหลขึ้นมาที่ด้านล่างของเพนยอกนี้จะใช้เป็นที่ สำหรับเดินสายไฟ และสายของระบบ network และยังเป็นทีสำหรับจ่ายลมเย็น สำหรับระบบปรับ อากาศบางรูปแบบ ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่มักจะประกอบไปด้วย ตู้ Rack ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีขนาด ความสูง 19 นิ้ว และภายในตู้ Rack นี้จะบรรจุอุปกรณ์ computer server, harddisk สำรองข้อมูล, อุปกรณ์ hardware สำหรับระบบ Network ตู้ Rackบางรูปแบบ ที่มี computer หรือ hardware ต่างๆ บรรจุอยู่ภายในจะมีระบบระบายอากาศของตัวเองอยู่แล้วโดย

จะดูดอากาศเย็นจากด้านหน้าผ่านcomputer หรือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อระบายความร้อน และอากาศร้อนจะถูกส่งไปยังด้านหลังจึงทำให้การวางตัวของตู้ Rack ของห้อง มักจะวางหันหน้าในแนวเดียวกันเป็นแถวๆ โดยมักจะเว้นพื้นที่ด้านหน้า และด้านหลังประมาณ1-1.5เมตร(2-3 แผ่น perforated) เพื่อให้มีอากาศเข้าออกได้สะดวก และสะดวกต่อการบำรุงรักษา

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพ่นยึกที่ไม่ถูกต้องนั้น เกิดมาจากขาดองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่าการสูญเสียความดันของแผ่นพ่นยึกของพ่นยึกซึ่งค่าโดยส่วนใหญ่ที่ได้มาก็จะมาจากผู้ผลิต และมีรูปแบบให้เลือกไม่มากนักจึงไม่สามารถที่จะออกแบบการวางหรือพื้นที่ที่จะใช้งานได้มากนัก ดังนั้นการศึกษาค่าตัวแปรต่างๆของแผ่นพ่นยึกไม่ว่าจะเป็นเปอร์เซ็นต์การเปิด(ปริมาณรูพ่นยึกของแผ่น) รูปแบบของรูแผ่นพ่นยึก รูปแบบของการเสริมความแข็งแรง และค่าตัวแปรต่างๆของห้อง Data center ซึ่งมีผลต่อความดันใต้พ่นยึก ซึ่งตัวแปรเหล่านั้นมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอากาศภายใต้พ่นยึกและอากาศที่ไหลภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ ปัจจัยเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบระบบปรับอากาศให้มีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพที่ดีทำให้ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องเผื่อไหลความเย็นให้มากไว้ก่อน ทำให้ไม่สามารถประหยัดพลังงานได้ตามต้องการ และยังเป็นภาระสิ้นเปลืองต้นทุนเริ่มต้นอีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพ่นยึกกับการกระจายตัวของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพ่นยึกแต่ละแผ่นให้มีค่าที่สม่ำเสมอขึ้น เพื่อที่จะระบายความร้อนให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดภายในห้อง สำหรับการทดลองที่ทำการขึ้นจะเป็นการหาค่าของแผ่นพ่นยึกของผู้ผลิตในปัจจุบัน แล้วทำแบบจำลองของแผ่นพ่นยึกที่รูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะนำมาทดสอบกับแบบจำลองของห้อง Data center ที่รูปแบบของแผ่นพ่นยึกต่างๆเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพ่นยึกให้เหมาะสมกับรูปแบบห้องต่างๆต่อไป ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะนำไปสู่องค์ความรู้ที่จะใช้ในการพิจารณาการเลือกใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพ่นยึกให้เหมาะสม และยังเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบห้องData center เช่น ความสูงของพ่นยึก, ขนาดของห้อง, รูปแบบการวางตัวของตู้ Rack ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นองค์ความรู้ สำหรับใช้กับการออกแบบระบบปรับอากาศของห้อง Data center และเป็นการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุณกับการกระจายตัวของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นในระบบการปรับอากาศแบบพ้้นยก
2. สร้างแบบจำลองของห้องปรับอากาศแบบพ้้นยก เพื่อดูการกระจายตัวของลมที่มีผลต่อการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุณ
3. สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของห้องปรับอากาศแบบพ้้นยก เพื่อดูการกระจายของลมหลังจากที่ได้มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุณ
4. ศึกษาการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุณกับระบบการปรับอากาศแบบพ้้นยกเพื่อการกระจายตัวของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นให้สม่ำเสมอ

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

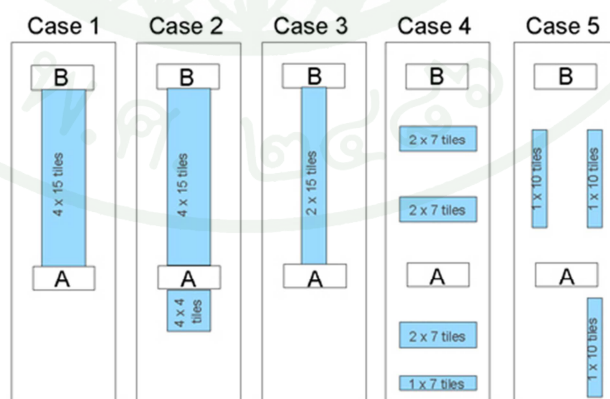
Idelchik (1994) ได้นำเสนอสมการความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุน K_{tile} ดังแสดงในสมการที่ 1

$$K_{tile} = \frac{1}{f^2} \left(1 + 0.5(1-f)^{0.75} + 1.414(1-f)^{0.375} \right) \quad (1)$$

โดยค่า f คือ อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุน

Roger *et al.* (2001) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการไหลของอากาศเย็นที่ผ่านพรุนสำหรับระบบปรับอากาศแบบพ่นเย็นโดยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แล้วนำผลที่ได้มาสอบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง โดยทำการเปลี่ยนรูปแบบการวางแผ่นพรุนหลายรูปแบบ พบว่าการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถทำนายปริมาณการไหลของอากาศที่ออกจากแผ่นพรุนของระบบปรับอากาศแบบพ่นเย็นได้ และยังได้ศึกษาความสัมพันธ์อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนกับพื้นที่เปิดของแผ่นพรุน และความสูงใต้พ่นเย็นพบว่าเมื่อพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนน้อยลงและความสูงใต้พ่นเย็นเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกัน

รูปแบบที่ได้ทำการทดลองมีทั้งหมด 6 รูปแบบ โดยเลือกใช้พื้นที่ในห้องขนาด 0.6x20 ตารางเมตร ใช้เครื่อง CRAC จำนวน 2 เครื่องของ Liebert Model FD411C และให้มีการวางแผ่นพรุนระหว่างเครื่อง CRAC 2 เครื่องทั้งหมด 5 รูปแบบและการทดสอบก็ยังคงมีการเปิดเครื่อง CRAC เครื่องทั้ง 2 ไม่พร้อมกันอีกด้วยดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบการวางแผ่นพรุนทั้ง 5 แบบ

ที่มา: Roger *et al.* (2001)

จากภาพที่ 2 แสดงวิธีการวัดค่าความเร็วลมที่ออกจากแผ่นพรุณโดยใช้เครื่อง Alnor Velometer measurement



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องมือวัดปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุณ

ที่มา: Roger *et al.* (2001)

ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการชดเชยค่าของความดันสูญเสียของเครื่องมือวัดตามสมการด้านล่าง

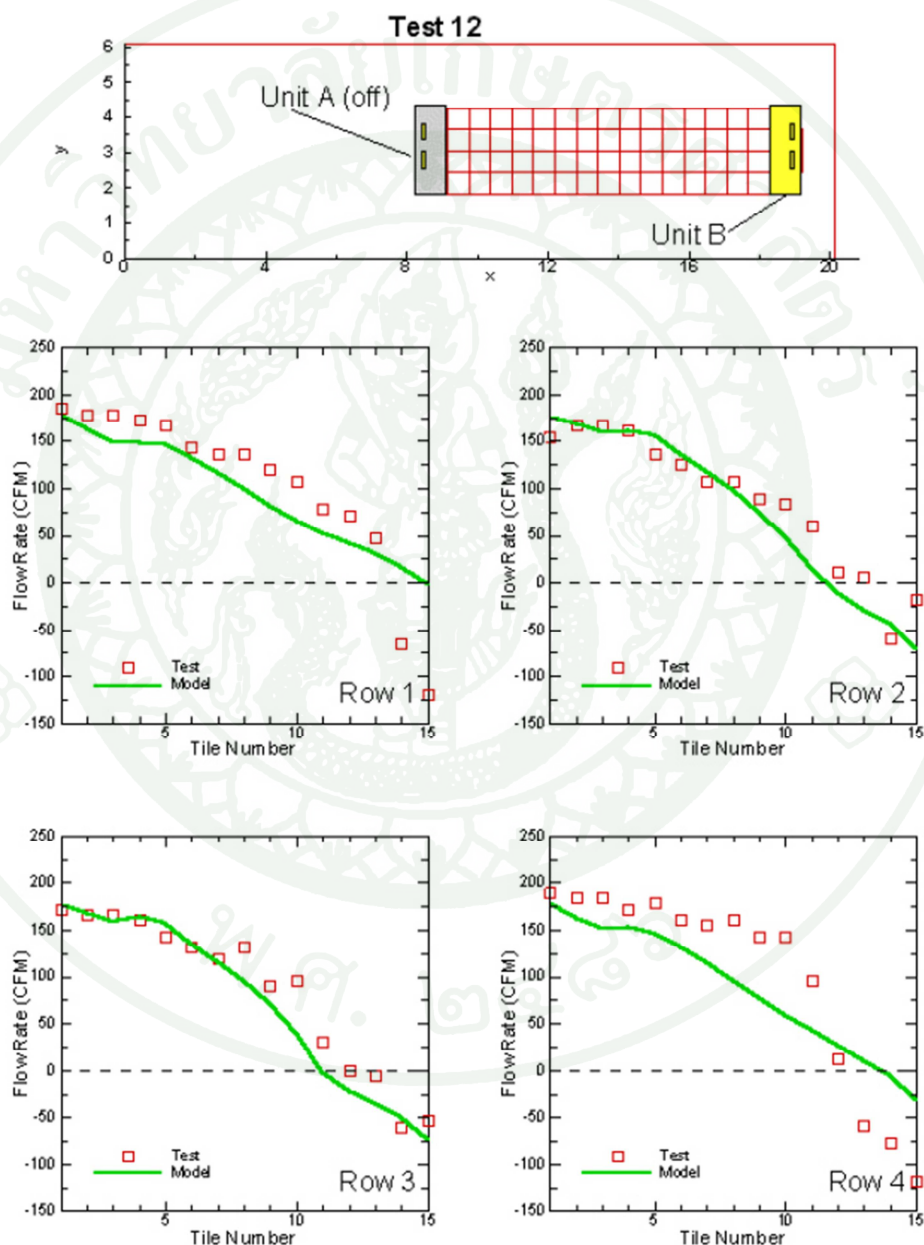
$$\Delta P = k_{tile} V_{actual}^2 \quad (2)$$

$$\Delta P = (k_{tile} + k_{instrument}) V_{measured}^2 \quad (3)$$

ดังนั้น

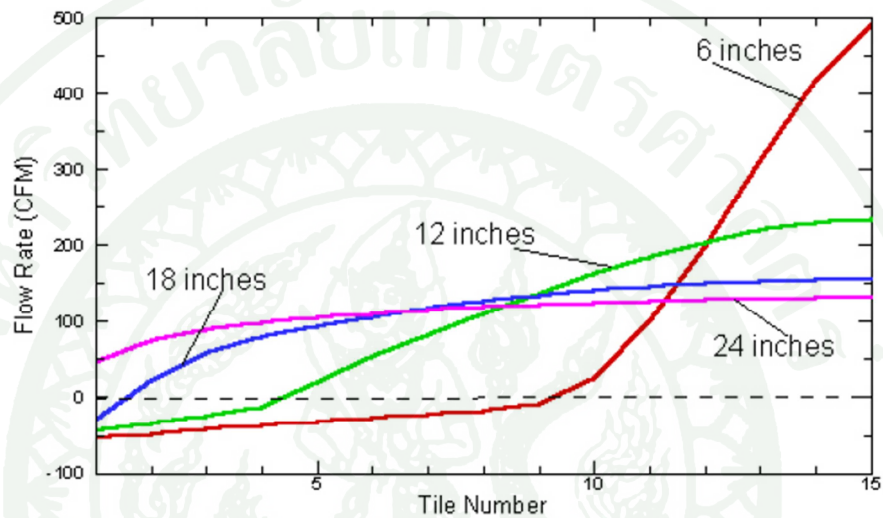
$$V_{actual} = \left(\frac{k_{tile} + k_{instrument}}{k_{tile}} \right)^{1/2} V_{measured} \quad (4)$$

ผลของการทำนายปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรมโดยใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลทั้งหมดพบว่ามีความใกล้เคียงกับการทดลอง จากภาพที่ 3 คือตัวอย่างของการเปรียบเทียบผลการทดลองเทียบกับการทำนายด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหล โดยผู้วิจัยได้ทำการเปิดเครื่อง CRAC เพียงเครื่องเดียว ปริมาณลมที่ออกจากแผ่นจะมีค่าลดลงเมื่อเข้าใกล้เครื่อง CRAC ที่เปิดอยู่ และยังพบอีกด้วยว่าที่แผ่นพรมที่ใกล้เครื่อง CRAC มักจะเกิด backflow(ทิศทางของลมพุ่งลงใต้พื้น ยก)

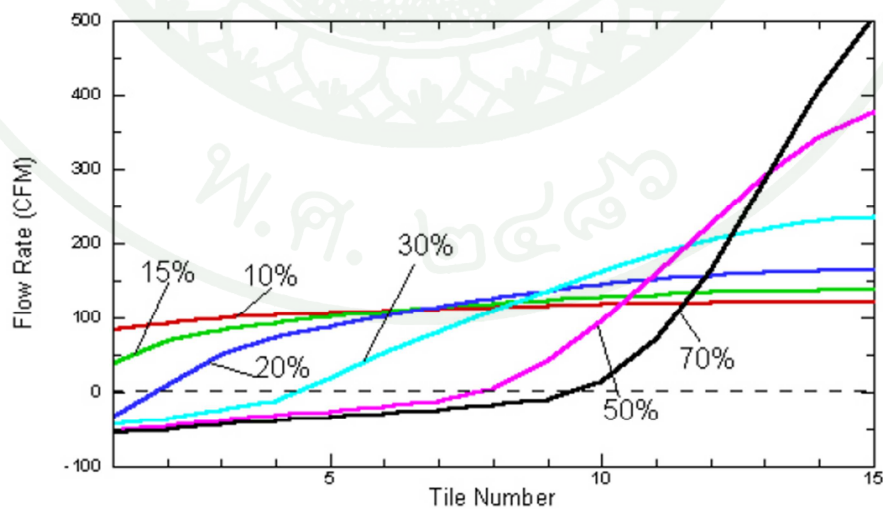


ภาพที่ 3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลกับการวัดค่าในห้องศูนย์ข้อมูลจริง

จากภาพที่ 4 และ 5 ผู้วิจัยใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลศึกษาผลกระทบของความสูงของพื้นยกและพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณกับอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณ ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อห้องปรับอากาศแบบพื้นยกมีขนาดได้พื้นยกที่สูงขึ้นทำให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าห้องที่มีความสูงได้พื้นยกน้อยๆ อีกทั้งการใช้เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณมีค่าน้อยลงก็จะทำให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นแต่ละแผ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงได้พื้นยก



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ

Kailash *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายตัวของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพอรุนโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 1 มิติ โดยผู้วิจัยสนใจในตัวแปร ความสูงของพื้นยก ขนาดของห้องพื้นยก เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพอรุนและได้ทำเปรียบเทียบผลการทำนายผล ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 1 มิติกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ ในห้องศูนย์ข้อมูล 2 รูปแบบซึ่งผลที่ได้คือการทำนายด้วยวิธีทั้ง 2 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

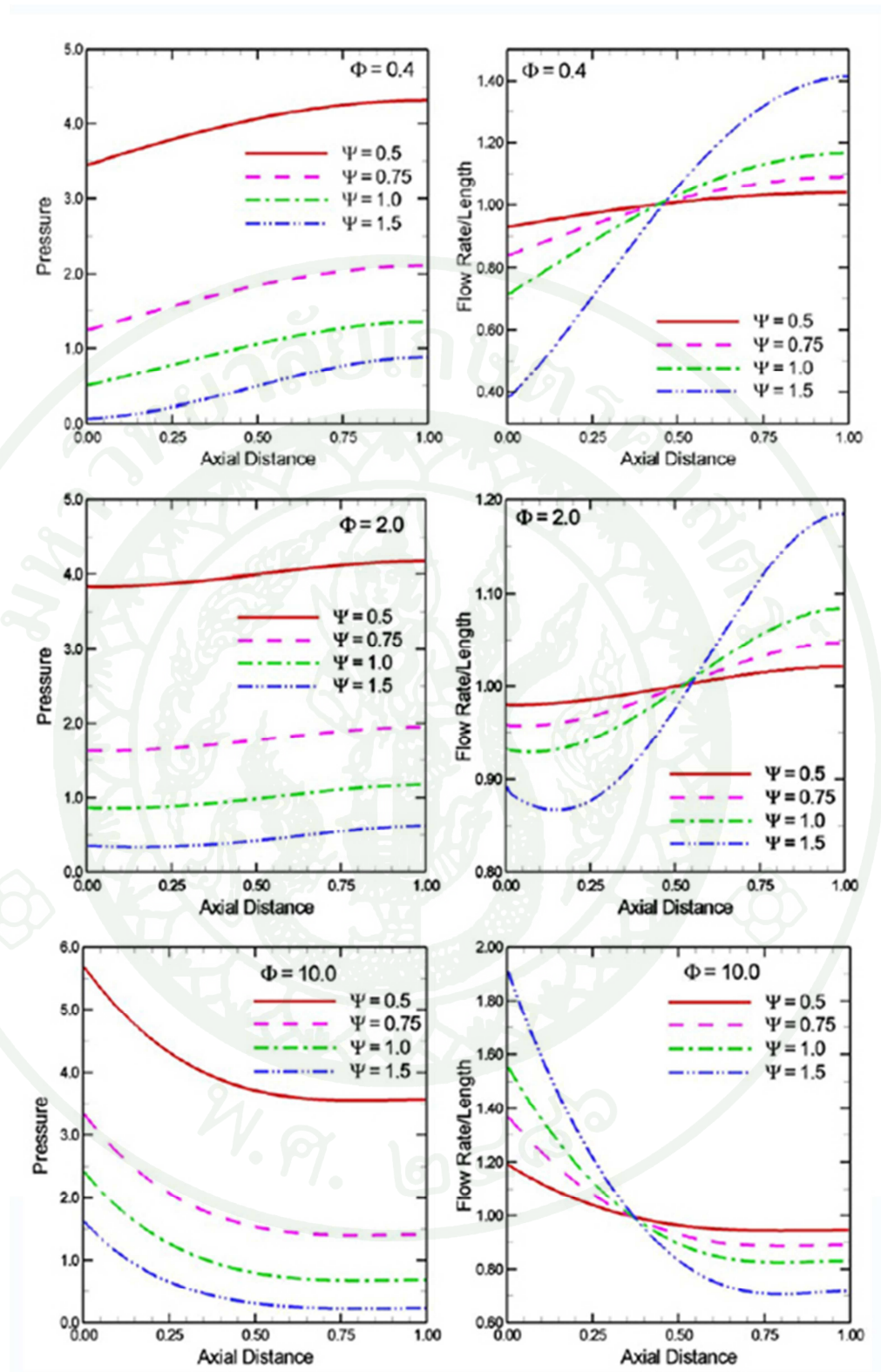
ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้หน่วย โดยใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆรวมเหลือ 2 ตัวแปร คือ

$$\text{Pressure Variation Parameter } \psi = \frac{n}{\sqrt{K}} \quad \text{----- (5)}$$

$$\text{Friction Resistance Parameter } \phi = \frac{4fL}{d_h} \quad \text{----- (6)}$$

โดย	n	คือ	อัตราส่วนของพื้นที่ของแผ่นกับพื้นที่หน้าตัดของพื้นยก
	K	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพอรุน
	F	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิวของพื้นยก
	L	คือ	ความยาวของห้อง
	d_h	คือ	ค่า hydraulic diameter ของพื้นยก

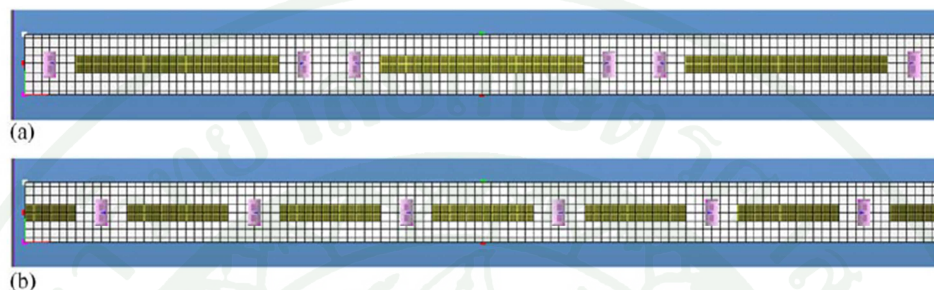
ภาพที่ 6 เป็นตัวอย่างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้หน่วยกับความดันที่เกิดได้ พื้นยกกับปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุน แผนภูมิด้านซ้ายได้แสดงถึงแรงดันที่เกิดขึ้นใต้พื้นยกตามขนาดความยาวของห้อง และแผนภูมิด้านขวาแสดงปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนตามความยาวของห้อง ซึ่งพบว่าที่ค่า ψ น้อยซึ่งหมายถึงพื้นที่เปิดของแผ่นพอรุนน้อยก็จะทำให้เกิดแรงดันใต้พื้นยกที่สูง แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า ϕ ซึ่งเป็นเรื่องของความยาวและความสูง ก็มีผลกระทบน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของความดัน ซึ่งยังเป็นผลให้ความดันใต้พื้นยกเสมือนมีแรงดันเท่ากันทั้งหมด ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมแผ่นพอรุนจึงมีค่าใกล้เคียงกันส่งผลให้ปริมาณลมที่ออกมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมออีกด้วย



ภาพที่ 6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์แรงดันและปริมาณลมในรูปแบบของตัวแปรไร้หน่วย

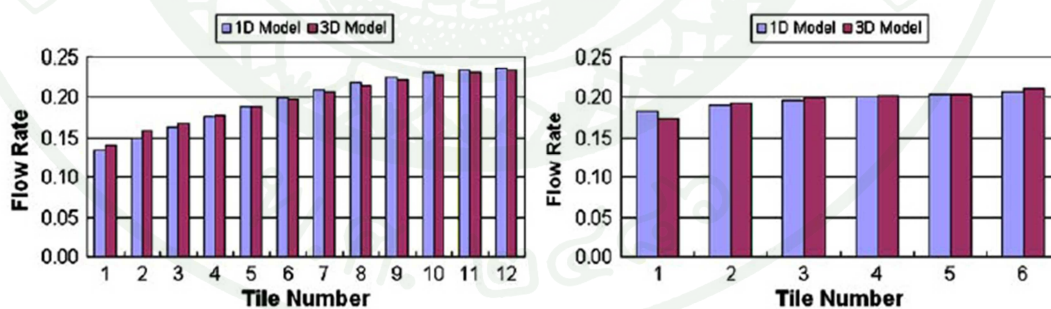
ที่มา: Kailash *et al.* (2006)

นอกจากนี้ยังได้นำการทดสอบกับแบบจำลองด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์ 1 มิตินี้ไปเปรียบเทียบกับการทำงานแบบ 3 มิติ โดยใช้ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์(Data Center) 2 รูปแบบที่มีการวางเครื่อง CRAC ที่ต่างกันตามภาพที่ 7 โดยบริเวณสีเขียวเป็นบริเวณที่มีการวางแผ่นพอรุน ส่วนสีม่วงเป็นตำแหน่งที่เครื่อง CRAC วางอยู่โดยแบบแรกเรียกว่า “Back-to-Back arrangement “ แบบที่สองเรียกว่า “ distributed arrangement “



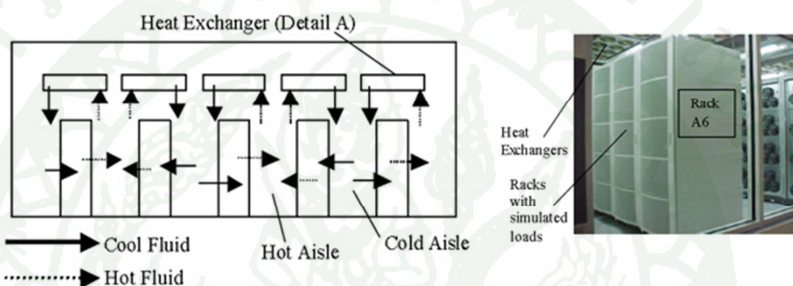
ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่ทำการทดสอบโดย 2 รูปแบบวางเครื่อง CRAC ที่ต่างกัน

ผลที่ได้พบว่าการทำงานปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์ 1 มิตินี้มีความใกล้เคียงการทำงานแบบ 3 มิติตามภาพที่ 8 โดยรูปด้านซ้ายมือแสดงผลการทำงานสำหรับกรวางตัวแบบ “Back-to-Back arrangement” และด้านขวามือเป็นแบบ “ distributed arrangement “



ภาพที่ 8 ภาพแสดงผลเปรียบเทียบการทำงานด้วยวิธีทางคอมพิวเตอร์แบบ 1 มิติกับแบบ 3 มิติ

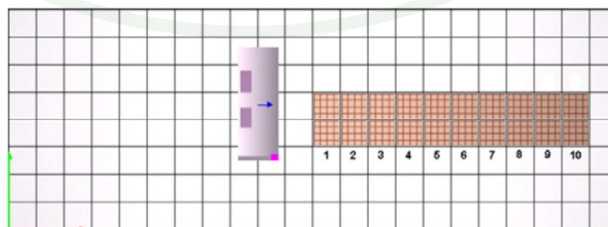
Chandrakant *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาวิธีการจ่ายลมสำหรับห้อง Data center อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งระบบนี้เรียกว่า “Data Cool” ดังแสดงในภาพที่ 9 พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลกับโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลของการกระจายตัวของอากาศเย็น และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เพื่อที่จะเป็นทางเลือกสำหรับระบบปรับอากาศของห้อง Data center อีกรูปแบบหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Flovent เทียบผลการวิเคราะห์กับการทดลองในห้องขนาดกว้างxยาวxสูง 7.5x5.5x3.96 ลูกบาศก์เมตร และภายในห้องประกอบด้วยตู้ Rack จำนวน 3 ตู้ ในแต่ละตู้จะประกอบไปด้วย 4 ส่วน และกำหนดให้ load แต่ละส่วนมีค่า 3600 วัตต์ ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Flovent พบว่าค่าของอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ของตู้ Rack ที่ระดับความสูง 3 ค่าคือ 0.5, 1 และ 2 เมตรมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดลอง และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 12 %



ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบการจ่ายลมแบบระบบของ “Data Cool”

ที่มา: Chandrakant *et al.* (2001)

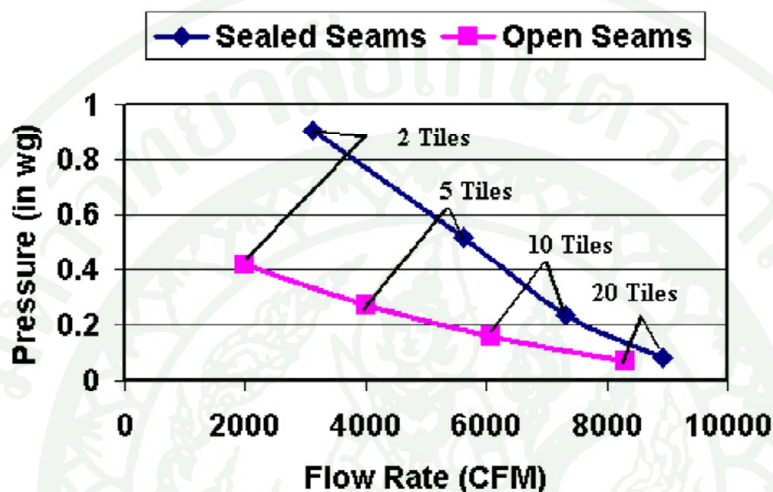
Amir *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการรั่วของลมซึ่งออกจากรอยต่อของการวางแผ่นพื้นยกของห้อง Data center โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองในห้อง Data center ที่มีขนาด 44x16 ฟุตที่ประกอบด้วยแผ่นพื้นยกจำนวน 160 แผ่น และได้พื้นยกสูง 16.5 นิ้ว ซึ่งภายในพื้นที่นี้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ Liebert model FD 411C จำนวน 1 เครื่อง ความสามารถในการจ่ายปริมาณลม 10,200 cfm ที่แรงดันที่ 0.5 in-wg ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงการวางตัวแผ่นพื้นยกและเครื่องปรับอากาศ

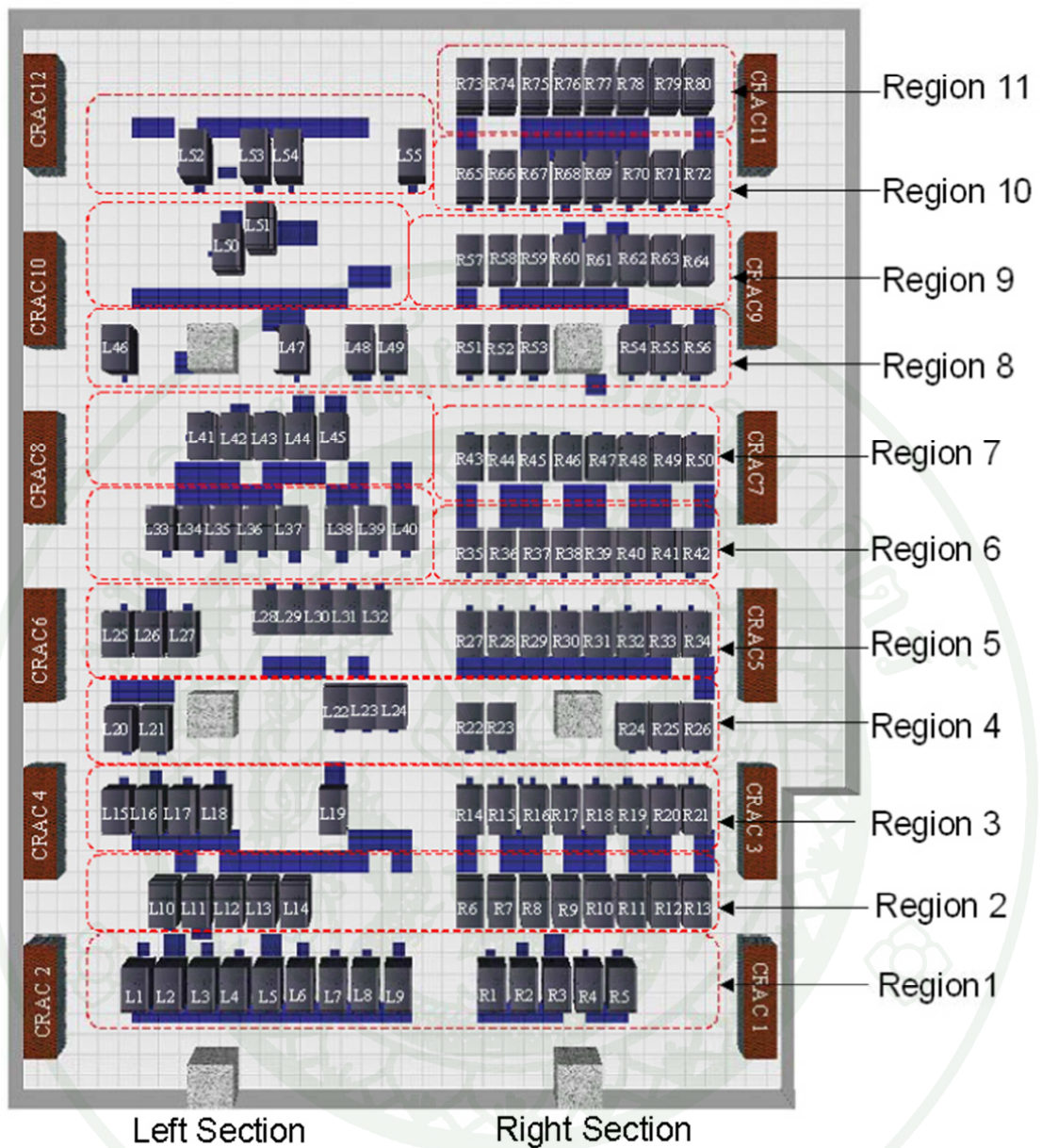
ที่มา: Amir *et al.* (2005)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยวัดค่าปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนปกติเทียบกับการ seal ช่องว่างระหว่างแผ่นพอรุนด้วยเครื่องมือ flow hood(Model CFM870) ผลิตโดย Shortridge Instrument คู่กับวัดแรงดันใต้พื้นยกด้วย static pressure probe โดยพบว่าค่าปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนที่ไม่มี การ seal จะลดลง 5 - 10% เมื่อเทียบกับห้องที่มีการ seal แผ่นพอรุนทุกแผ่น แต่กลับพบว่าเครื่องปรับอากาศจะทำปริมาณลมได้ลดลงเมื่อแรงดันใต้พื้นยกเพิ่มขึ้นจากสาเหตุที่ลดปริมาณแผ่นพอรุนตามแผนภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณลมรวมที่ออกจากแผ่นพอรุนแต่ละแผ่นเทียบกับแรงดันใต้พื้นยกในกรณีที่มีการ seal ช่องว่างระหว่างแผ่นพื้นยก

Shrivastava *et al.* (2009) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่มีปริมาณการปล่อยความร้อนมากกว่า 500 วัตต์ต่อตารางฟุต โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์เทียบกับค่าที่เก็บจากห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดกว้างxยาวxสูง 232 x 322x 2.74 ลูกบาศก์เมตร และใต้พื้นยกสูง 0.711 เมตร ซึ่งภายในห้องนี้มีเครื่องปรับอากาศจำนวน 12 เครื่อง(Liebert Model 740C) มีความสามารถในการทำงานที่ 13,694 cfm /เครื่องและแผ่นพอรุนที่มีเปอร์เซ็นต์เปิด 40% และมีตู้ Rack ของ IBM Model p690 มีภาระ 6.7 kW จำนวน 101 ตู้และ Model p655 มีภาระ 19 kW จำนวน 19 ตู้ตั้งแสดงในภาพที่ 12 ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุนด้วยเครื่องมือ Alnor velometer และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบมือถือของ Omega HH23 type T thermocouple



ภาพที่ 12 แสดงการวางตัวของตู้ Rack และเครื่องปรับอากาศในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยพบว่าค่าอุณหภูมิทางเข้าตู้ Rack จากการวิเคราะห์มีค่าแตกต่าง $\pm 7^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในภาพที่ 13

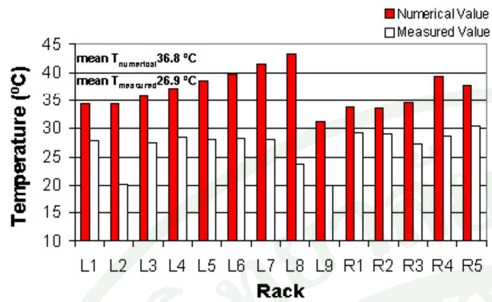


Figure 4(a). Num. & Exp. Comparison for Region 1.

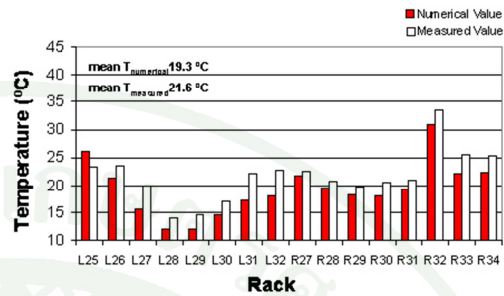


Figure 4(e). Num. & Exp. Comparison for Region 5.

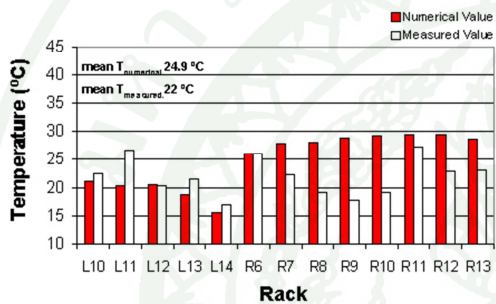


Figure 4(b). Num. & Exp. Comparison for Region 2.

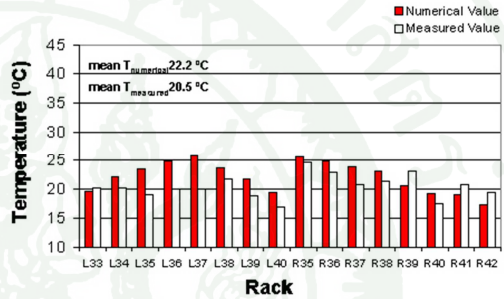


Figure 4(f). Num. & Exp. Comparison for Region 6.

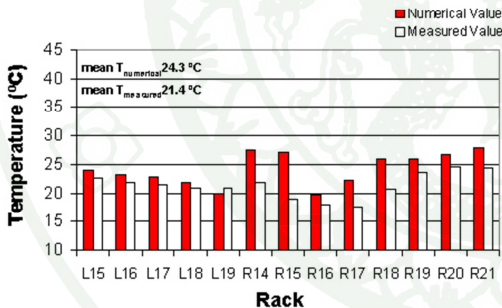


Figure 4(c). Num. & Exp. Comparison for Region 3.

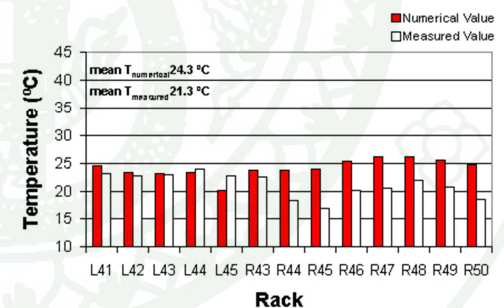


Figure 4(g). Num. & Exp. Comparison for Region 7.

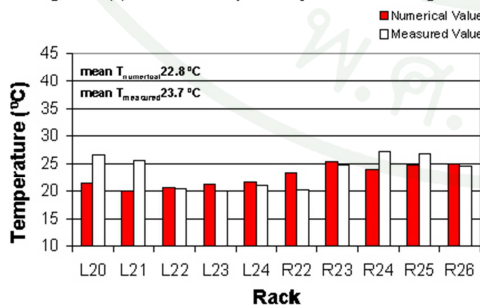


Figure 4(d). Num. & Exp. Comparison for Region 4.

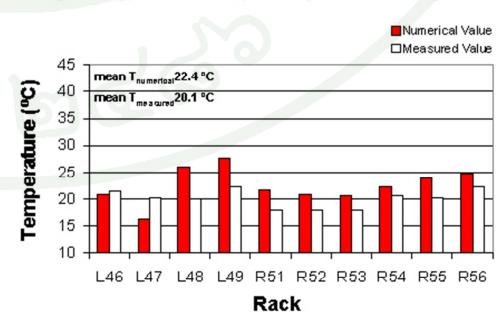


Figure 4(h). Num. & Exp. Comparison for Region 8.

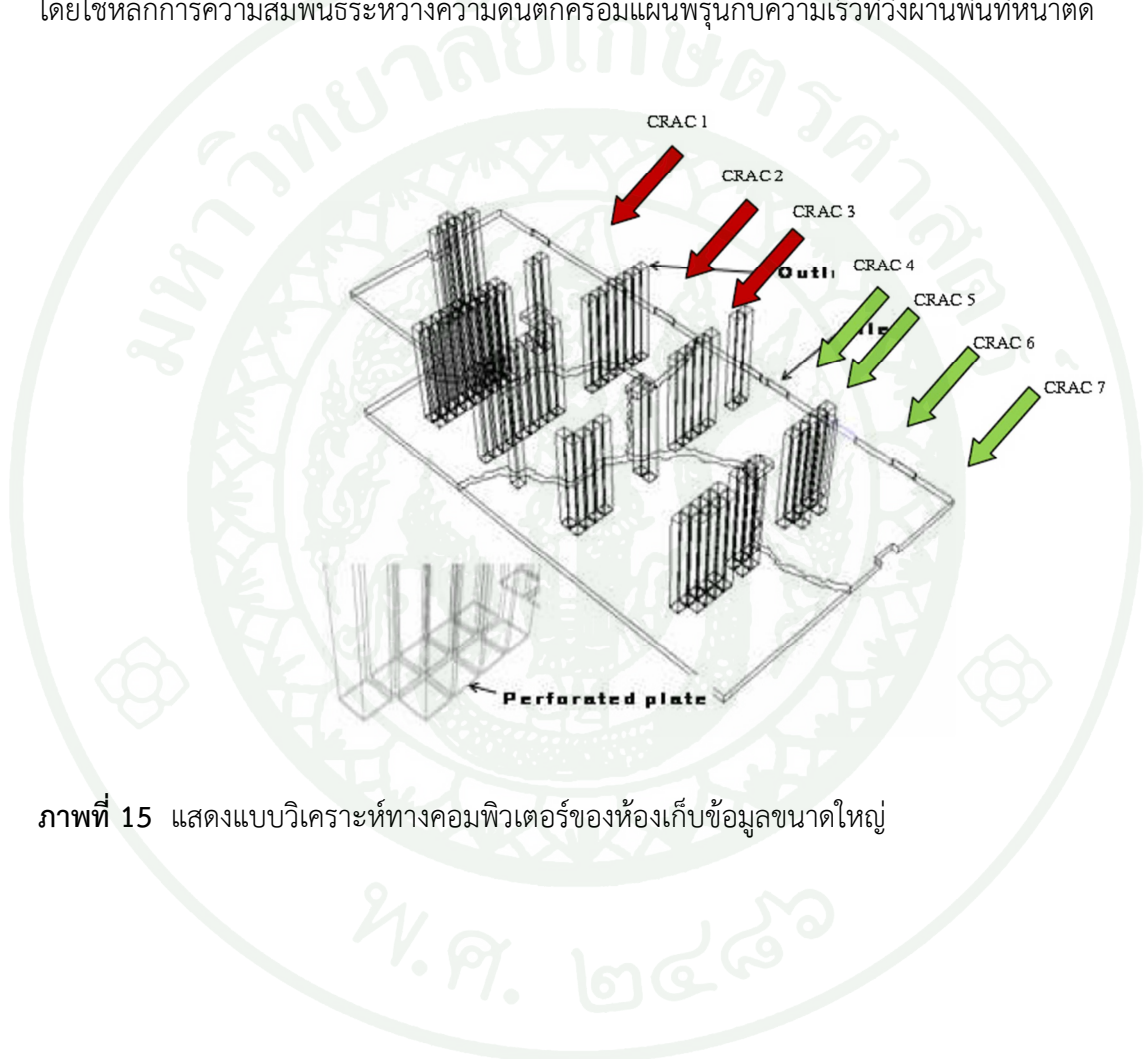
ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ Rack กับผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ระดับความสูง 1.75 เมตร จากพื้นยก

ผู้วิจัยยังได้ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มความสูงของเพดานกับการระบายความร้อนของตู้ Rack พบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของเพดานจาก 2.7 เมตรเป็น 3.6 เมตรทำให้อุณหภูมิก่อนเข้าสู่ Rack มีอุณหภูมิลดลงทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มความสูงทำให้โอกาสที่ลมร้อนที่ถูกระบายออกจะมาผสมกับลมเย็นก่อนที่จะเข้าสู่ Rack เป็นไปได้ยากขึ้น แต่ถ้ามีการเพิ่มความสูงของเพดานเกิน 3.6 เมตรไปแล้วผลที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 14

Rack	9ft	12ft	17ft	22ft
L1	34.4	28.1	27.9	28.0
L7	41.4	34.4	27.1	27.9
L8	43.3	31.3	26.8	27.3
R4	39.3	32.3	27.1	26.3
L14	15.5	19.6	20.6	21.5
R18	26.0	25.5	25.1	23.6
L21	20.0	19.2	22.3	22.9
R26	25.1	25.0	25.5	25.5
L32	20.7	20.7	20.8	22.7
R32	26.4	28.2	27.1	26.3
L40	19.4	16.7	17.3	15.3
R50	25.0	24.5	23.0	22.3
R51	21.5	22.9	21.0	23.3
R57	27.5	25.9	21.6	23.8
L55	26.0	26.0	24.7	23.9
R73	25.6	26.9	25.1	24.4

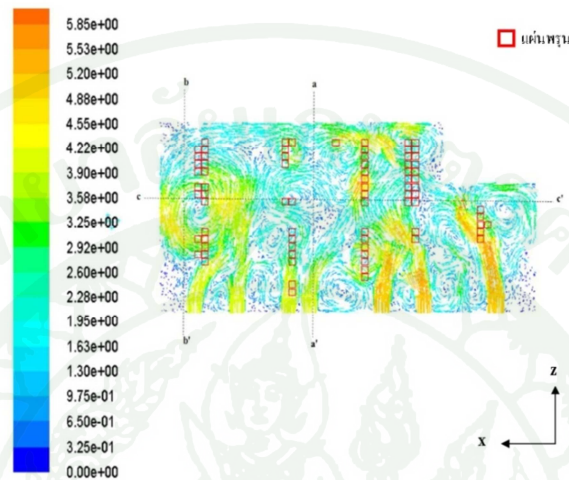
ภาพที่ 14 แสดงค่าของอุณหภูมิทางเข้าเมื่อเพิ่มระดับความสูงของเพดานที่ 2.7(9ft), 3.6 (12 ft), 5.1(17 ft) และ 6.6 (22 ft) เมตร ตามลำดับ

อาชว์ (2554) ทำการศึกษาการไหลของอากาศใต้พื้นยกของห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหล Ansys 13 และใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Standard k-ε โดยงานวิจัยได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์การไหลของอากาศเย็นในห้องเก็บข้อมูลของธนาคารแห่งหนึ่งขนาด 37.33 m x 16.18 m x 0.44 m โดยมีเครื่องปรับอากาศทั้งหมดจำนวน 7 เครื่องแต่ละเครื่องสร้างอัตราไหลสูงสุดที่ 13,000 m³/h โดยแต่ละเครื่องจ่ายอัตราไหลไม่เท่ากัน และห้องเก็บข้อมูลมีแผ่นพรุนทั้งหมด 78 แผ่น มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25 % ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้วิธีการสร้างแผ่นพรุนเสมือนโดยใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมแผ่นพรุนกับความเร็วที่วิ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด



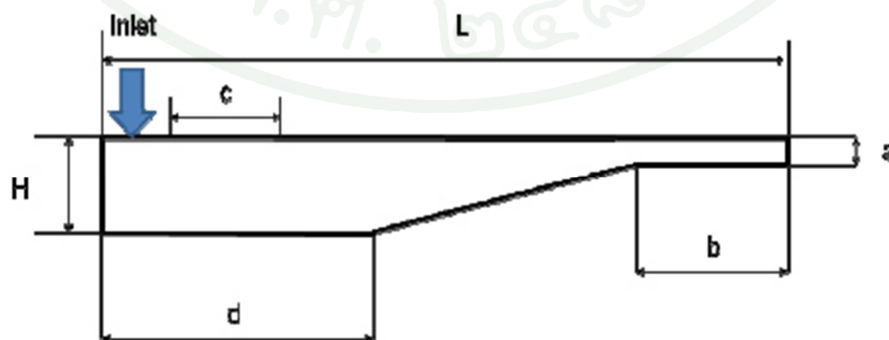
ภาพที่ 15 แสดงแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

พบว่าค่าอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุณที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% อยู่ที่ 84.5% ของแผ่นพรุณทั้งหมด แต่ก็ยังพบพื้นที่ที่อัตราการไหลออกจากแผ่นพรุณน้อยซึ่งก็มีสาเหตุมาจากการไหลวนภายใต้พื้นยก ทำให้เกิดแรงดันต่ำกว่าพื้นที่บริเวณอื่นดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายใต้ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ที่ระดับความสูง 0.2 m จากระดับใต้พื้นยก

การวิจัยอีกส่วนผู้วิจัยทำการปรับความสูงใต้พื้นยกโดยทำให้ด้านหน้า และด้านหลังของพื้นยกมีความสูงที่ไม่เท่ากัน โดยจะทำslope เอียงจากด้านหน้าไปทางด้านหลัง ดังภาพที่ 17 เพื่อที่จะทำให้แรงดันใต้พื้นยกมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งก็จะมีผลต่ออัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณมีค่าใกล้เคียงกันตามมาด้วย พบว่าการเลือกอัตราส่วนต่างๆของใต้พื้นยก เช่น ความยาวของห้อง(L) ความสูงของพื้นห้อง(H) ความสูงของพื้นห้องที่ต้องการจะเปลี่ยน(a) ซึ่งถ้าเลือกค่าดังกล่าวที่เหมาะสมแล้วก็จะทำให้สามารถอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



ภาพที่ 17 แสดงการปรับปรุงพื้นยกโดยให้ด้านหลังห้องมีความสูงใต้พื้นยกที่น้อยกว่าด้านหน้า

มาตรฐานระบบปรับอากาศสำหรับห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

สมาคมวิศวกรการทำความร้อน, การทำความเย็น และ การปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ ASHRAE ได้กำหนดมาตรฐาน 2 ข้อ สำหรับการทำความเย็นของอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ภายในศูนย์ข้อมูล ซึ่งเป็นการกำหนดเงื่อนไขของอากาศที่จะเข้าไปทำความเย็น

1.อนุญาตให้อุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปทำความเย็น ให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 59 – 90 °F (15 – 32 °C) ซึ่งไม่ใช่ช่วงที่จะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับการทำงานของอุปกรณ์ช่วงสั้นๆ

2.แนะนำให้อุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปทำความเย็น ให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 64 – 81 °F (18 – 27 °C) ซึ่งเป็นช่วงการทำงานที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดระยะเวลาการทำงาน

ตารางที่ 1 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานที่แนะนำให้ใช้ ของเงื่อนไขของอากาศ ที่เข้าไปทำความเย็นให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 1 สภาวะอากาศที่แนะนำสำหรับระบบระบายอากาศของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

	2004 Version	2008 Version
Low End Temperature	20°C (68°F)	18°C (64.4°F)
High End Temperature	25°C (77°F)	27°C (80.6°F)
Low End Moisture	40% RH	5.5°C DP (41.9°F)
High End Moisture	50% RH	60% RH & 15°C DP (59°F DP)

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ทฤษฎีด้านพลศาสตร์ของไหลสามารถนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์การไหลของอากาศภายในศูนย์ข้อมูลได้ แม้วางยังต้องมีการปรับปรุงเรื่องความแม่นยำอยู่ก็ตาม แต่วิธีการนี้ก็ได้รับการยอมรับ และนำไปใช้อ้างอิงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในส่วนนี้จะอธิบายพื้นฐานความรู้ของการไหล และการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัย การไหลของอากาศเย็นหลายลักษณะ ที่เกิดขึ้นภายในศูนย์ข้อมูล

พลศาสตร์ของไหล

การศึกษาพฤติกรรมของการไหลของของไหลจะจำกัดขอบเขตของการศึกษาด้วยปริมาตรของของไหลเล็กๆ (Control volume: C.V.) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหลของของไหลในพิกัดหรือระนาบสามมิติ (x,y,z) ประกอบด้วย สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum equation)

สมการอนุรักษ์มวล

สมการอนุรักษ์มวลในรูปสมการอนุพันธ์โดยใช้สัญลักษณ์เวกเตอร์ดังแสดงในสมการที่ 9

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (7)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

สมการที่ 8a และ 8b แสดงถึงสมการเชิงอนุพันธ์โมเมนตัมของมวลของไหลในทิศแกน x และ แกน y

ในทิศแกน x

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \text{div}(\vec{V}) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[u \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \rho f_x \quad (8a)$$

ในทิศแกน y

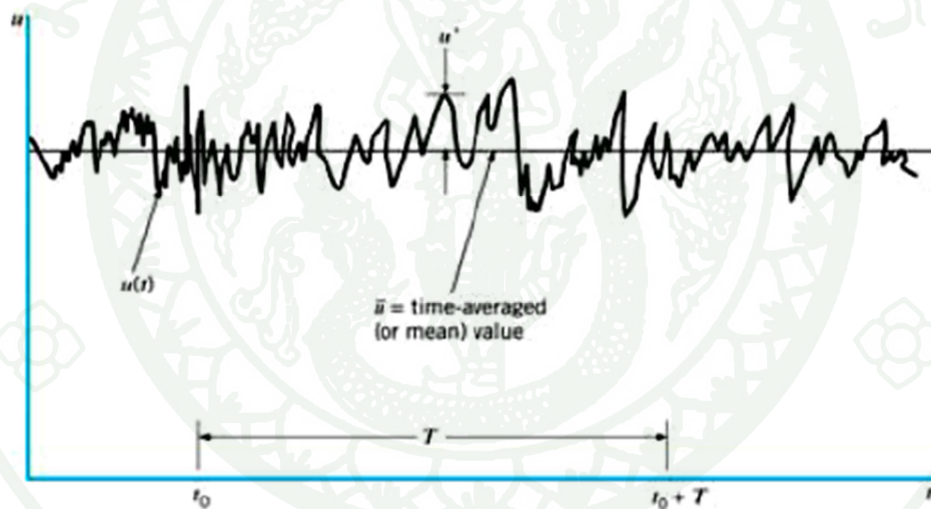
$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \text{div}(\vec{V}) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[u \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \rho f_y \quad (8b)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะเรียกกลุ่มสมการที่เกิดขึ้นจากสมการอนุรักษ์ ว่าระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-stokes equations) ซึ่งเป็นระบบสมการตัวแทนการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นจริง โดยจะเห็นได้ว่าสมการเหล่านี้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ ดังนั้นการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์โดยตรงนั้นเป็นงานที่ยุ้งยากซับซ้อน แต่เราสามารถนำเอาวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical method) มาช่วยในการหาคำตอบของสมการนี้ได้ ซึ่งเป็นที่มาของ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือ Computational Fluid Dynamics (CFD) และในลำดับต่อไป จะอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับอธิบายปรากฏการณ์การไหลแบบต่างๆ

แบบจำลองความปั่นป่วนของการไหล

การไหลที่ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) สูงกว่าค่าเลขเรย์โนลด์วิกฤต (Re_{crit}) สถานะการไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน ซึ่งการไหลจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหลอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นการแก้ปัญหการไหลแบบปั่นป่วนทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธีเชิงตัวเลขจึงเป็นเรื่องยาก และใช้เวลาในการคำนวณนาน ดังนั้นนักวิจัยจึงพยายามจำลองความไม่เป็นระเบียบของการไหลแบบปั่นป่วนเพื่อใช้กับวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนเหล่านั้น เราจำเป็นต้องทราบพฤติกรรม และคุณสมบัติพื้นฐานของความปั่นป่วนในการไหลของของไหล และสมการค่าเฉลี่ยของเลขเรย์โนลด์

ความเร็วและคุณสมบัติต่างๆของการไหลแบบปั่นป่วนจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังภาพที่ 18 โดย $u(x, y, z, t)$ เป็นคุณสมบัติของของไหล และเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบของการไหลแบบปั่นป่วน

ที่มา: Versteeg and Malalasekera (1995)

แบบจำลองความปั่นป่วน แบบ Standard $k - \epsilon$

แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Standard $k - \epsilon$ เป็นแบบจำลองกึ่งการทดลอง โดย turbulent viscosity เป็นฟังก์ชันของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulence kinetic energy, k) และ อัตราการกระจายพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (dissipation of turbulence kinetic energy, ϵ) โดยมีสมการส่งถ่าย 2 ชุดเป็นสมการของ k และ ϵ (FLUENT User's Guide, 2001) อย่างละชุด

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (9)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \epsilon \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \text{grad } \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (10)$$

โดย G_k คือพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากความเร็วเฉลี่ย, G_b คือพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการลอยตัว (Buoyancy), Y_M คือค่าการกดอัดได้ ซึ่งมีผลต่อความปั่นป่วนในการไหล, $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ และ $C_{3\epsilon}$ เป็นค่าคงที่, σ_k และ σ_ϵ คือค่า turbulence Prandtl number ของ k และ ϵ ตามลำดับ แบบจำลองของค่า turbulent viscosity, μ_t คือ

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (11)$$

ซึ่ง C_μ เป็นค่าคงที่ โดยทั่วไปค่าคงที่ในสมการการถ่ายเทข้างต้น จะมีค่าเป็น

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

อุปกรณ์และวิธีการ

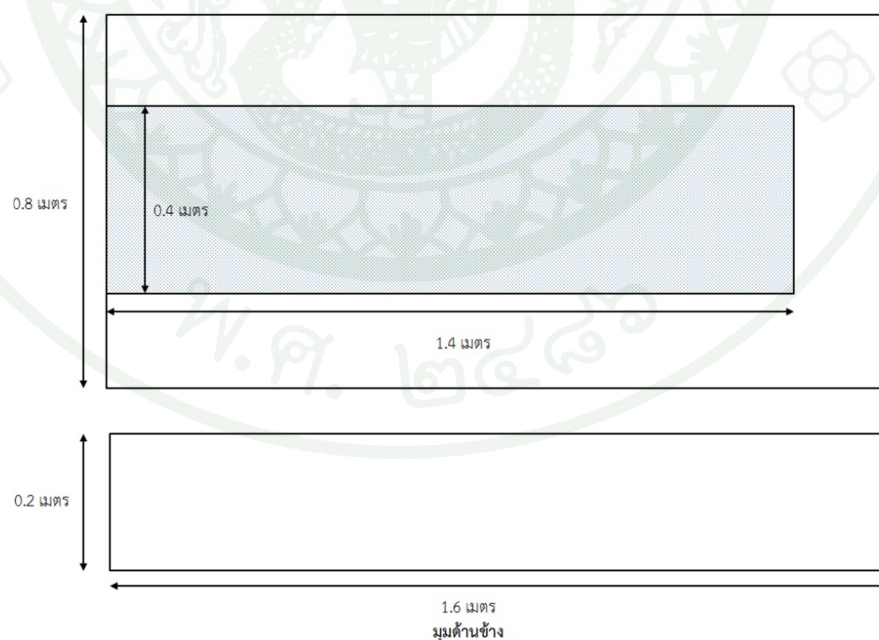
อุปกรณ์

1. แบบจำลองพื้นยกของห้องข้อมูล

จากภาพที่ 19 แสดงแบบจำลองพื้นยกห้องข้อมูลสร้างโดยใช้แผ่นพลาสติกความหนา 5 มิลลิเมตรประกบติดกันแล้วยิงซีริโคนใส่ระหว่างรอยต่อเพื่อป้องกันลมรั่วและมีแผ่นอะคริลิคใสความหนา 5 มิลลิเมตรด้านบนหนึ่งด้าน โดยเจาะรูทั้งหมด 14 ชุดเหมือนกับแผ่นพรมทั้งหมด 14 แผ่น ติดกัน เพื่อจะตัดปัญหาเรื่องการรั่วของลมระหว่างแผ่นโดยแบบจำลองพื้นยกมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 0.8x1.6x0.2 ลูกบาศก์เมตร โดยเปิดช่องทางด้านหน้าสำหรับจ่ายลมทางเข้า



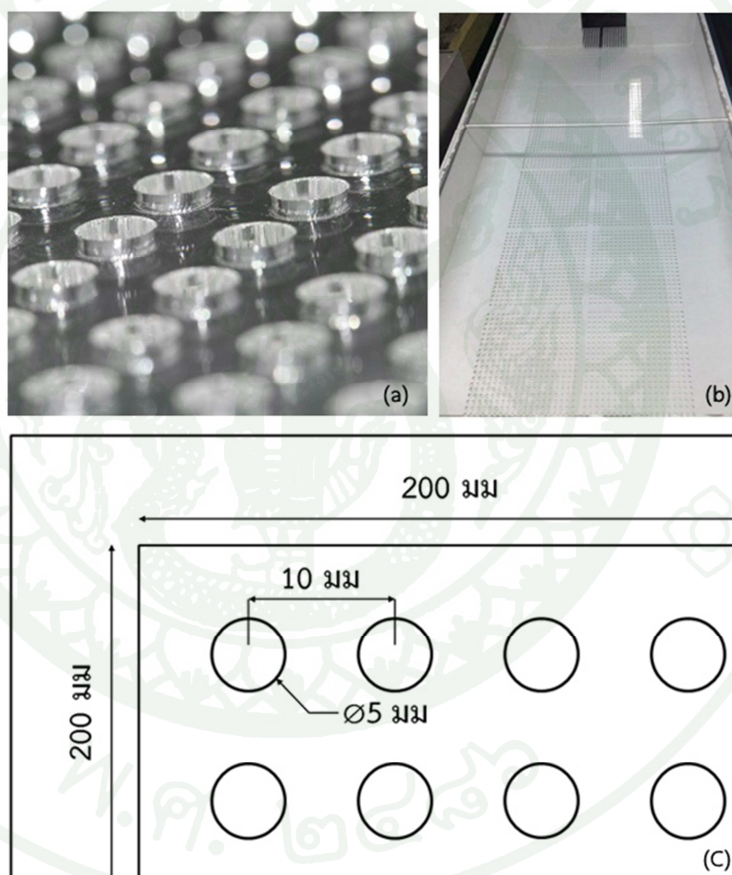
มุมมองด้านบน



ภาพที่ 19 แสดงขนาดและรูปของแบบจำลองพื้นยกของห้องข้อมูล

2. แผ่นพรุนจำลอง

เนื่องจากแผ่นพรุนที่มีอยู่ในท้องตลาดไม่สามารถนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำแผ่นพรุนจำลอง โดยทำจากอะครีคใสหนา 5 มิลลิเมตร ขนาดกว้างxยาว 0.8x1.6 ตารางเมตร โดยเจาะรูแผ่นอะครีคด้วยวิธี laser cut เพื่อให้ได้ความแม่นยำของขนาดรู และระยะห่างระหว่างรู ซึ่งมีรูทั้งหมด 14 รู โดยแต่ละรูเป็นตัวแทนของแผ่นพรุน 1 แผ่น โดยวางตัวอยู่บริเวณตรงกลางของแผ่นอะครีค 2 แถว แต่ละชุดของรูบนแผ่นอะครีค มีรูเจาะทั้งหมด 361 รู (19 แถว แถวละ 19 รู) จะเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละรูเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยกำหนดพื้นที่สำหรับเจาะแผ่นพรุนแต่ละชุดมีพื้นที่ขนาดกว้างxยาว 0.2x0.2 ตารางเมตร ทำให้เป็นแผ่นพรุน 1 แผ่น ที่มีเปอร์เซ็นต์เปิดเท่ากับ 17.7 % ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 (a)แสดงรูรูที่เจาะด้วยวิธี laser cut (b)แสดงรูปของแผ่นพรุนที่วางตัวอยู่ในแบบจำลองพื้นที่ของห้องข้อมูล (c) แสดงขนาดของรูเจาะและระยะระหว่างรู

3. ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์

จากภาพที่ 21 แสดงชุดปรับความเร็วรอบสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยจะเริ่มจากหยุดนิ่ง และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนได้ความเร็วสูงสุดโดยอาศัยการควบคุมด้วยการหมุนปุ่ม Volume



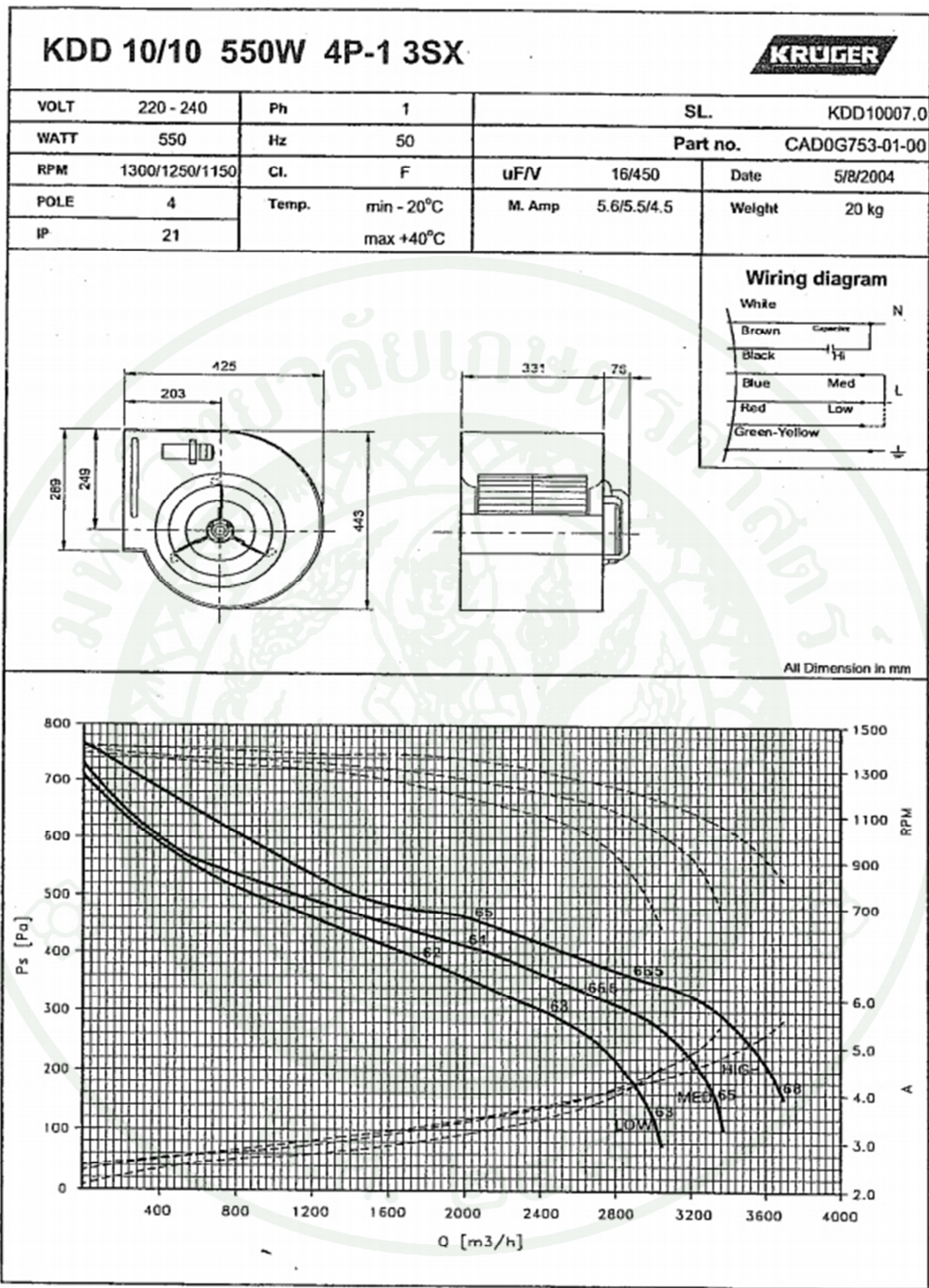
ภาพที่ 21 แสดงรูปชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์

4. พัดลม KRUGER MODEL KDD10/10

จากภาพที่ 22 พัดลมระบายอากาศแบบ centrifugal แบบ forward DIDW ยี่ห้อ Kruger Model KDD 10/10 550W 4 P ซึ่งพัดลมจะทำงานได้สภาวะ fan curve ตามภาพที่ 24 โดยจะสามารถกำหนดอัตราการไหลจากการปรับความเร็วรอบของพัดลมด้วยชุดปรับความเร็วรอบ เพื่อให้ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากไม่สามารถทราบสภาพต้านทาน(system loss) ของระบบทั้งหมดได้แน่นอน



ภาพที่ 22 พัดลม KDD 10/10 550 w 4 P



ภาพที่ 23 แสดงแผนภูมิการทำงานของพัดลม KDD 10/10 550w 4P

5. เครื่องมือวัดความเร็วลม KIMO

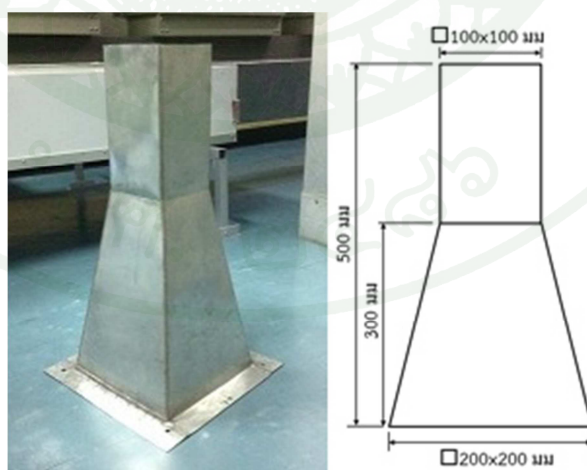
เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ handheld hotwire KIMO model VT200 ซึ่งสามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.15 – 30 m/s ซึ่งเหมาะสมกับการวัดที่ความเร็วต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงรูปเครื่องมือที่วัดความเร็ว KIMO VT200

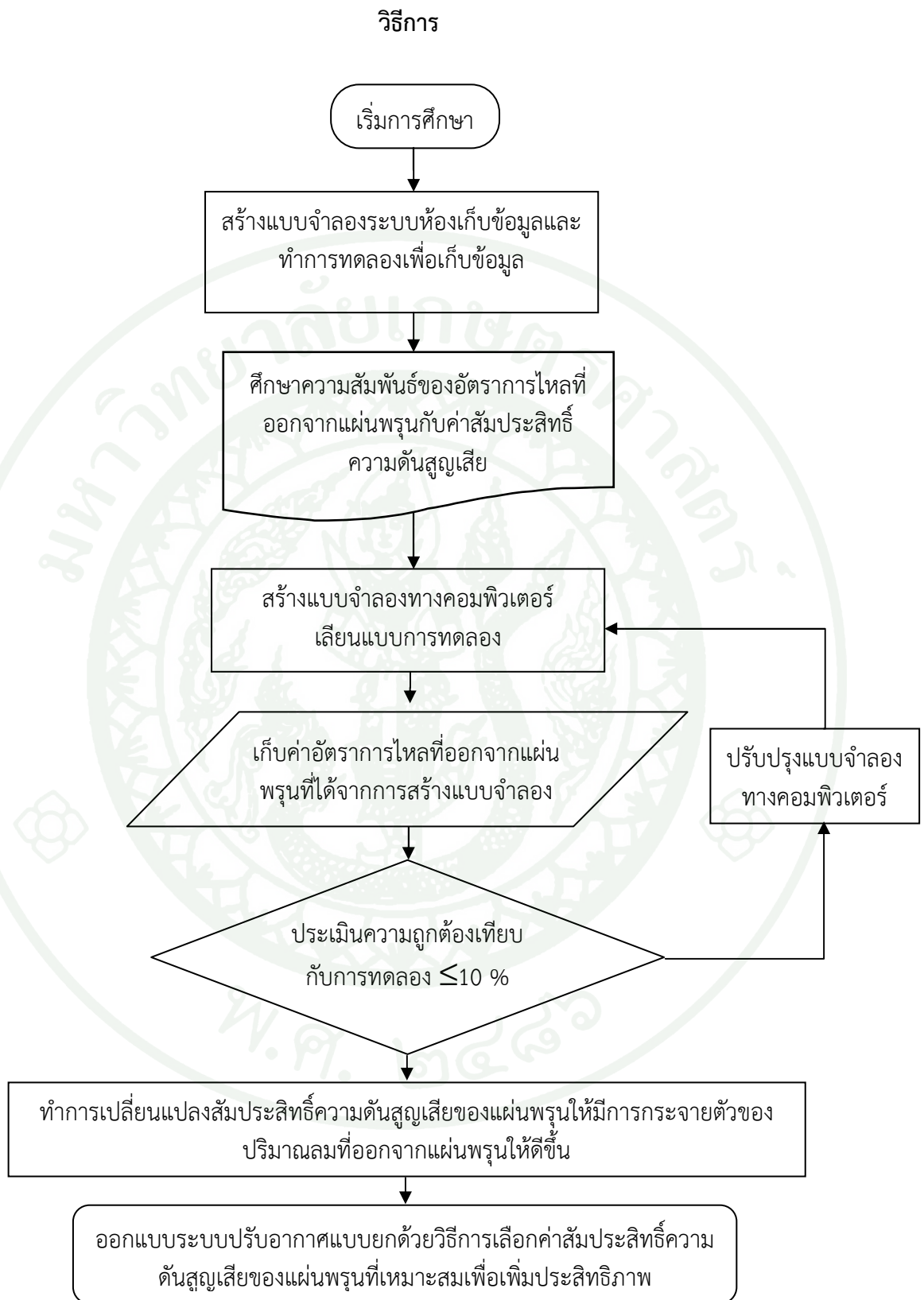
6. กรวยสำหรับวัดอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพอรุน

การใช้กรวยวัดเพื่อช่วยวัดลมที่ออกจากแผ่นพอรุนทำให้รูปร่างของลมมีความเร็วใกล้เคียงกันทั้งหน้าตัดสะดวกแก่การวัดค่าโดยมีขนาด และรูปร่างตามภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงรูปกรวยช่วยวัดปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพอรุน

7. โปรแกรม Ansys (Fluent) และ Gambit



ภาพที่ 26 แผนผังการวิจัยการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุณ

จากภาพที่ 26 อธิบายกระบวนการและวิธีการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ 3 ส่วนคือ ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนกับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนด้วยวิธีการทดลอง ส่วนการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล และส่วนสุดท้าย การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในแต่ละส่วนมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. ส่วนการศึกษาด้วยวิธีการทดลอง

สร้างแบบจำลองพื้นยกของห้องเก็บข้อมูลขนาด กว้างxยาวxสูง 0.8x1.6x0.2 เมตร ซึ่งประกอบด้วยแผ่นพรุนวางตัวตรงกลางภายใน 2 แถว แถวละ 7 แผ่นโดยแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีเปอร์เซ็นต์เปิดที่เท่ากัน คือ 17.7 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งออกแบบระบบปรับอากาศสำหรับห้องเก็บข้อมูลจำลองโดยปรับมาใช้พัดลมสำหรับเครื่องปรับอากาศ Model KDD 10/10 550 w Brand KRUGER พร้อมเครื่องปรับความเร็วรอบเข้าประกอบเข้ากับแบบจำลองพื้นยกห้องเก็บข้อมูล เพื่อทำการทดสอบที่ความเร็วทางเข้า 4 ค่า และทำการบันทึกค่าความเร็วลมที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่น นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์เปิดที่ 17.7 เปอร์เซ็นต์ที่ความเร็วลมทางเข้าที่ค่าต่างๆกันเพื่อเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐาน

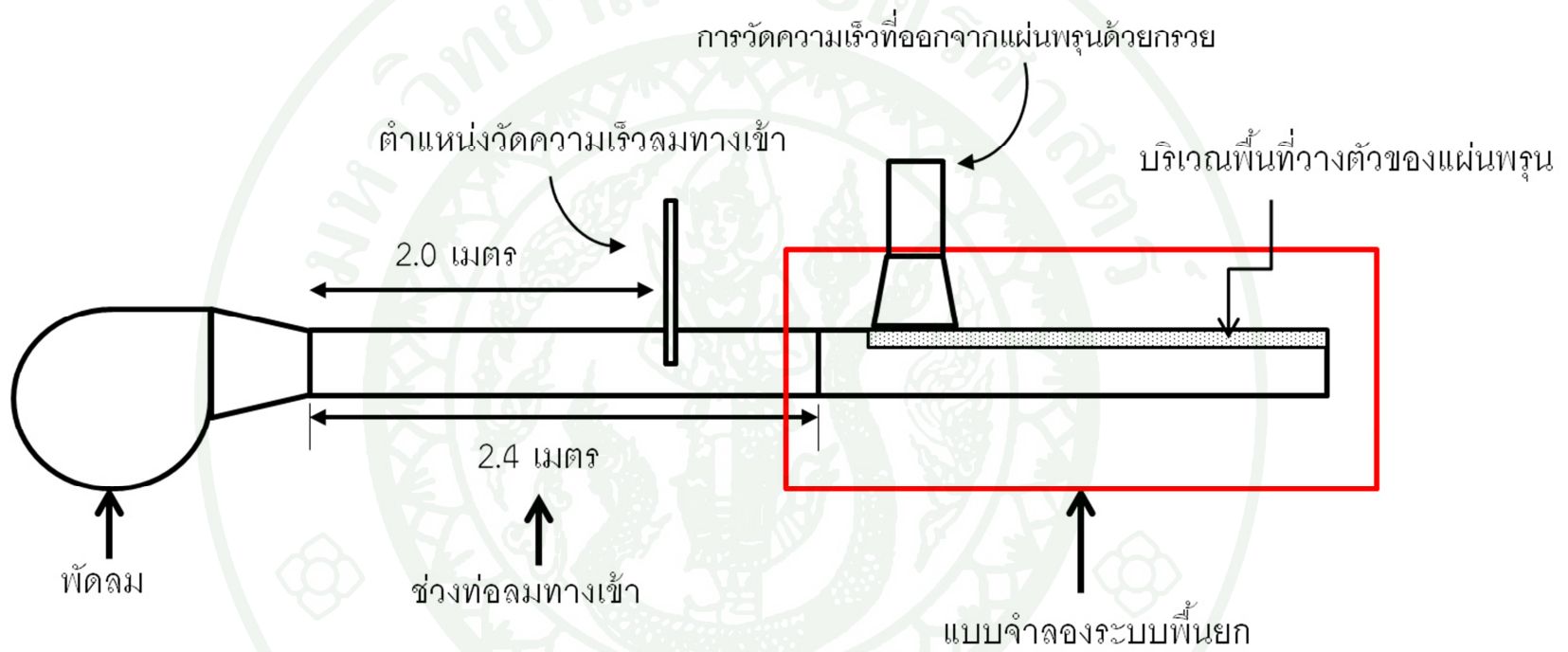
1.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลจากการทดลอง

1.1.1. ทำการจ่ายลมที่ค่าความเร็วลมต่ำสุดโดยปรับชุดควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ทำการวัดค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งวัดความเร็วลมทางเข้าห่างจากปากพัดลมเป็นระยะ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (2 เมตร) ด้วยวิธีการวัดทั้งหมด 9 จุด ด้วย hotwire anemometer แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและเก็บค่าด้วยวิธีการ Time weight average

1.1.2. ทำการวัดค่าที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นโดยใช้กรวย ขนาดทางเข้า 0.2x0.2 เมตร และทางออก 0.1x0.1 เมตร สูงจากแผ่นพรุน 0.5 เมตร และใช้ hotwire anemometer เก็บค่าความเร็วลมที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่น จนครบทุกแผ่น และทำการเก็บข้อมูลสำหรับที่ความเร็วลมต่ำสุด

1.1.3. ทำการปรับความเร็วรอบของพัดลม อีก 3 ค่าที่เหลือ และทำการเก็บข้อมูลในข้อ 1 และ 2 ให้ครบทุกค่า

1.1.4. นำค่าความเร็วลมที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปของปริมาณลม และศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียกับของปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุน และการเพิ่มปริมาณลมทางเข้าของแผ่นพรุน



ภาพที่ 27 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

2. ส่วนการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลของโปรแกรม

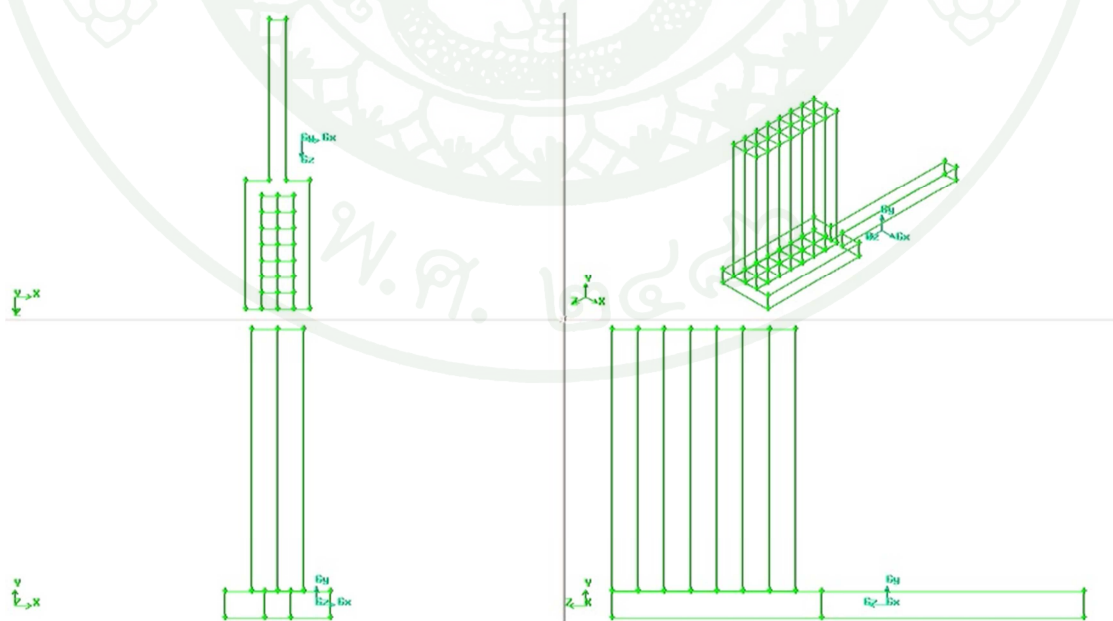
ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีการประเมินความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทวนสอบความถูกต้องและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองมีวิธีการดังนี้

2.1 การใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์พลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณหรือ CFD ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการไหลของอากาศรูปแบบต่างๆสำหรับการปรับอากาศแบบพื้นที่ภายในศูนย์ข้อมูล โดยขั้นตอนการเตรียมประมวลผลประกอบไปด้วย การสร้างขอบเขต (Domain) การสร้างกริด (Grid Generation) และ การกำหนดเงื่อนไขค่าขอบและค่าเริ่มต้น ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาจะทำในโปรแกรม Gambit ส่วนโปรแกรม Ansys (Fluent) จะใช้สำหรับการคำนวณการไหลเชิงคำนวณ เพื่อหาลักษณะการไหล และทำให้ทราบค่าตัวแปรที่ลำดับต่างๆภายในศูนย์ข้อมูล ซึ่งสามารถนำแปรผลการวิเคราะห์ได้

2.2 การสร้างขอบเขต

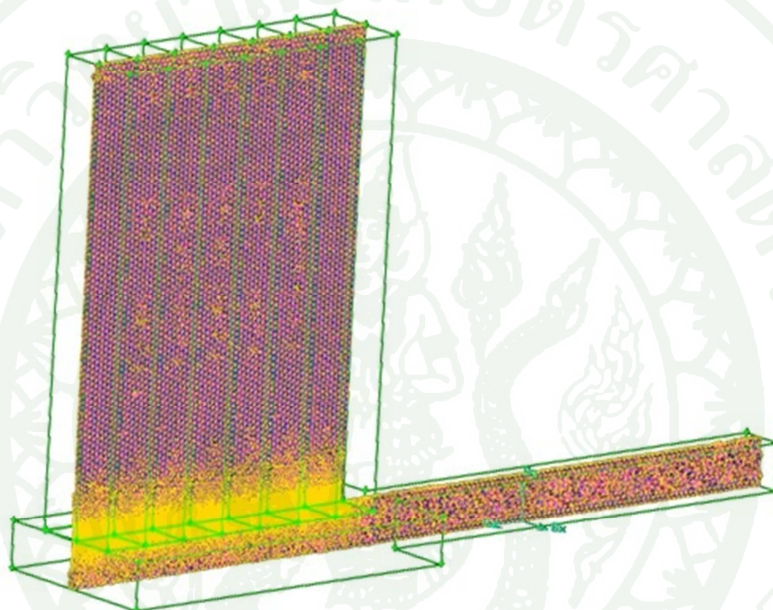
ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยมีขนาดอ้างอิงตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และได้มีการจัดวางอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของห้องระบบปรับอากาศแบบพื้นที่จำลอง

2.3 การสร้างกริด

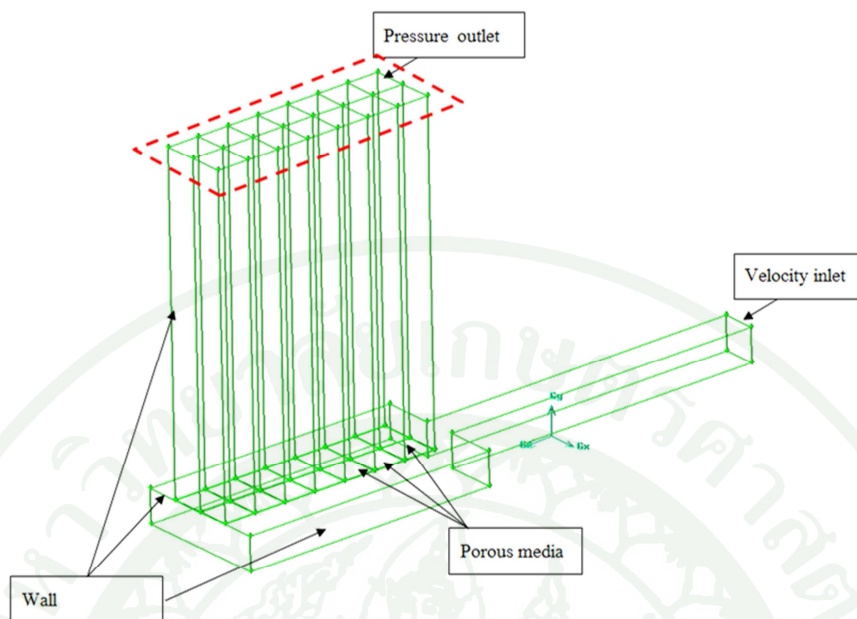
ภาพที่ 29 ได้แสดงให้เห็นถึงการสร้างแบบจำลองโครงสร้างตาข่ายแบบสามมิติ ภายในศูนย์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Gambit รูปแบบการแบ่งเป็นแบบ unstructured tetrahedral ได้จำนวนชิ้นส่วนประกอบ 1,061,305 ชิ้น โดยการสร้างกริดจะเน้นไปที่บริเวณแผ่นพรมจำลอง เพื่อให้การคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำได้ทำการพิจารณา Grid independence ในกรณีนี้ด้วย (ภาคผนวก ค)



ภาพที่ 29 แสดง grid แบบ unstructured tetrahedral ที่สร้างโดยโปรแกรม gambit

2.4 การกำหนดเงื่อนไขค่าขอบและค่าเริ่มต้น

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการจำลองการไหลของอากาศทางคอมพิวเตอร์ ภายในศูนย์ข้อมูล เป็นไปตามที่แสดงในภาพที่ 30 โดยจะนำไปใช้คำนวณการไหลของอากาศ ในโปรแกรม Ansys (Fluent) ต่อไป



ภาพที่ 30 การกำหนดรูปแบบเงื่อนไขขอบเขตของระบบปรับอากาศแบบพื้นยกจำลอง

กำหนดการไหลภายในศูนย์ข้อมูลเป็นแบบปั่นป่วน โดยการไหลที่เกิดขึ้นอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady flow)

แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศจะใช้ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier stokes equations) และแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Standard $k-\epsilon$ โดยกำหนดให้อากาศเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow)

สร้างแผ่นพรุนแบบเสมือน เนื่องจากการสร้างแผ่นพรุนจริงนั้นต้องใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก จึงทำการสร้างแผ่นพรุนแบบเสมือนโดยใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมแผ่นพรุน (pressure drop) ดังสมการที่ 12

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * K_{tile} * V^2 \quad (12)$$

K_{tile} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศ ค่า K_{tile} สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของ ΔP กับ V^2 ซึ่งได้มาจากสมการของ Idelchik (1994) ตามสมการที่ 13 พบว่าแผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 17.7 % ได้ค่า K_{tile} เท่ากับ 87.66

$$K_{tile} = \frac{1}{f^2} \left(1 + 0.5(1-f)^{0.75} + 1.414(1-f)^{0.375} \right) \quad (13)$$

โดยค่า f คือ อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนจากการหาค่า K_{tile} ทั้งสองสมการพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 ตารางแสดงสภาวะเงื่อนไขขอบสำหรับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

Boundary	Setting
Inlet	Velocity inlet 5.616 m/s temperature 286 K
Outlet	Pressure outlet 0 Pa
Perforated tile	Setting as porous zone and is calculated using Eq. (11), (12)
Other	wall

ผลที่ได้จากการวัดจะนำไปใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD โดยจะทำการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำกับความเร็วของลมที่ออกจากแผ่นพรุนจำลอง

3. การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุน

นำการวิเคราะห์การไหลเชิงคำนวณหรือ CFD มาใช้ในการออกแบบระบบปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันเพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวลมให้มีค่าปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนมีค่าใกล้เคียงกันโดย

3.1 ทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันเท่ากันทุกแผ่น

สิ่งที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองในครั้งนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนตามการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนที่มีการเปอร์เซ็นต์เปิดที่ 10, 17.7, 25 และ 35 เพื่อศึกษาว่าค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นอย่างไรบ้าง

3.2 ทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันบริเวณช่วงที่มีปัญหาการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ

เป็นการพิจารณาต่อจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันเท่ากันทุกแผ่นโดยกรณีนี้จะสนใจพื้นที่ที่มีปริมาณลมออกมาน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลางเกิน 30 เปอร์เซ็นต์แล้วจึงทำการลดค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันให้น้อยลงเพื่อช่วยให้มีปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนเพิ่มขึ้นแล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์

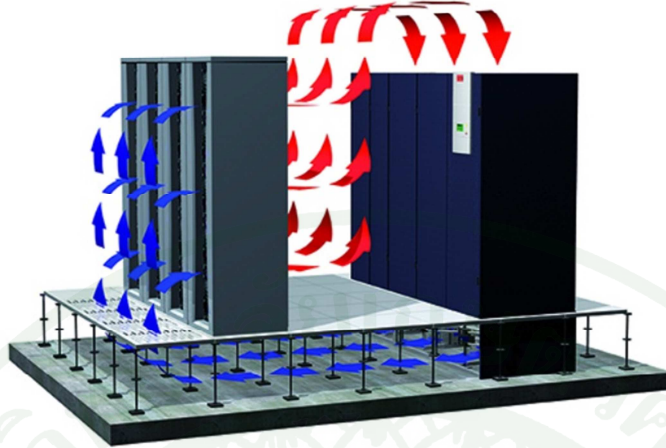
3.3 ทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันทุกแผ่น

เป็นการพิจารณาต่อจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันบริเวณช่วงที่มีปัญหา โดยในกรณีนี้จะมุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันทุกแผ่นโดยให้อัตราการไหลของทุกแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

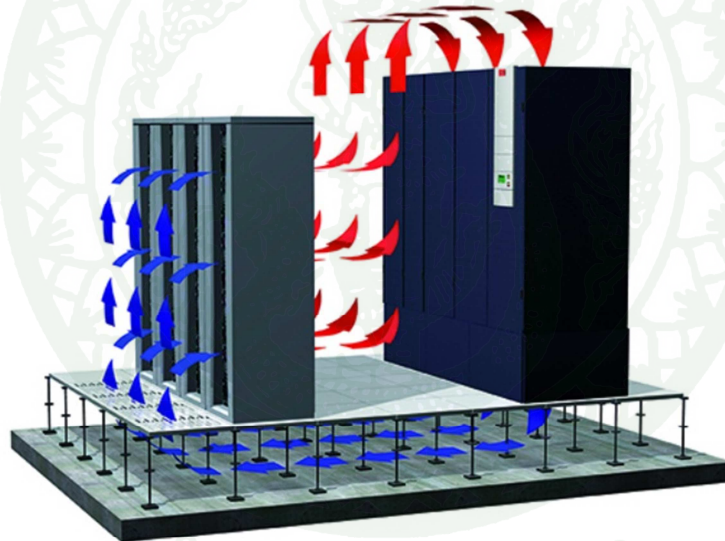
3.4 ทำการเปลี่ยนแปลงทิศทางการจ่ายลมเข้าห้องพื่นยก

เป็นการพิจารณาถึงทิศทางการจ่ายลมเข้าห้องพื่นยกเพื่อศึกษาผลกระทบของการเลือกทิศทางการจ่ายลมเข้าห้องพื่นยกต่ออัตราการไหลของแผ่นพรุนแต่ละแผ่น โดยอ้างอิงจาก CRAC ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันดังภาพที่ 31 และ 32

CWU version: Fan unit installed under raised floor (power input of fans is up to 35 % less than when installed on the raised floor)



ภาพที่ 31 CRAC ที่จ่ายลมแบบขนานกับพื้นยก



CWE version: Fan unit installed on raised floor when height of raised floor is insufficient

ภาพที่ 32 CRAC ที่จ่ายลมลงตั้งฉากกับพื้นยก

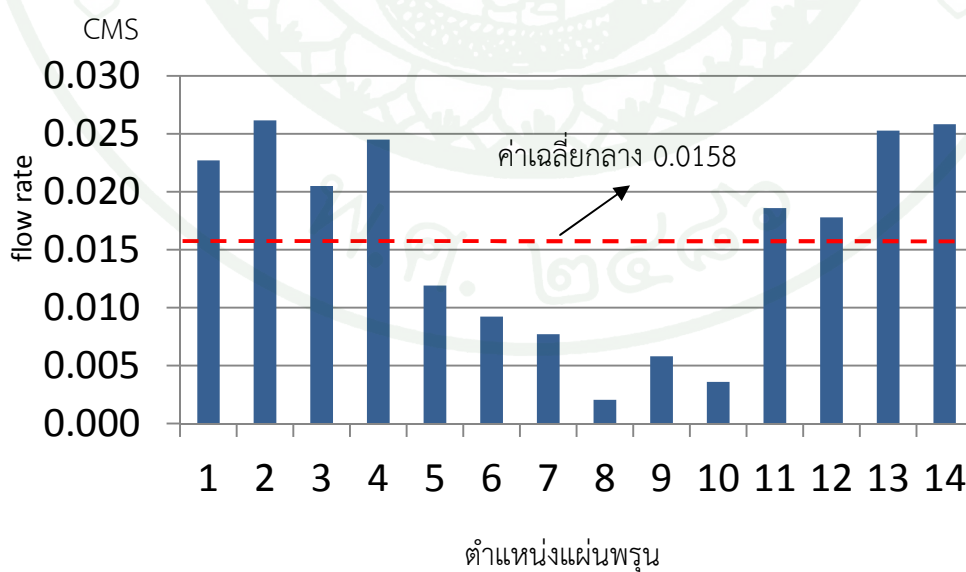
ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาได้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนกับการกระจายตัวของอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุน ส่วนการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล และส่วนสุดท้ายคือ การปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบปรับอากาศแบบพ่นยึก ดังผลต่อไปนี้

1. ส่วนของการทดลอง

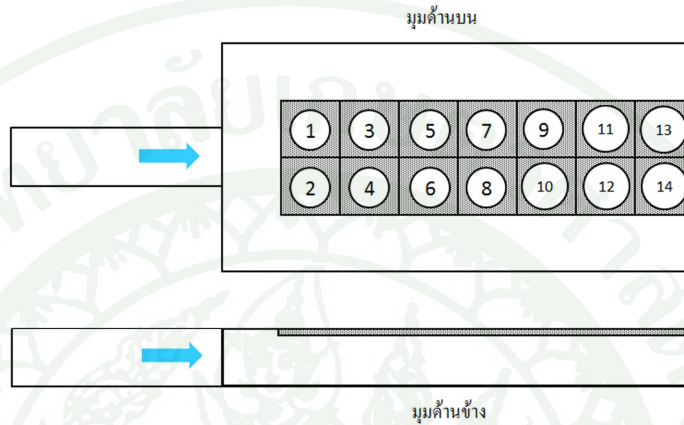
ผลการทดลองของแบบจำลองห้องปรับอากาศแบบพ่นยึก

จากภาพที่ 33 แสดงผลการวัดอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนของแบบจำลองห้องปรับอากาศแบบพ่นยึก โดยทำการทดสอบที่ค่าความเร็วทางเข้า 5.616 m/s ซึ่งสามารถหาเป็นเลขเรย์โนลด์ ได้เท่ากับ 7.5968×10^4 โดยทดลองกับแผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์เปิดเท่ากันทุกแผ่นที่ 17.7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนมีค่าไม่สม่ำเสมอโดยบริเวณด้านหน้าทางเข้าและด้านหลังของแบบจำลอง มีอัตราการไหลที่มากกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณตรงกลางของแบบจำลอง ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดมาจากการหมุนวน ของอากาศภายในบริเวณใต้พ่นยึก จึงเป็นสาเหตุทำให้อัตราการไหลบริเวณตรงกลางมีค่าน้อยกว่ากว่าบริเวณอื่น



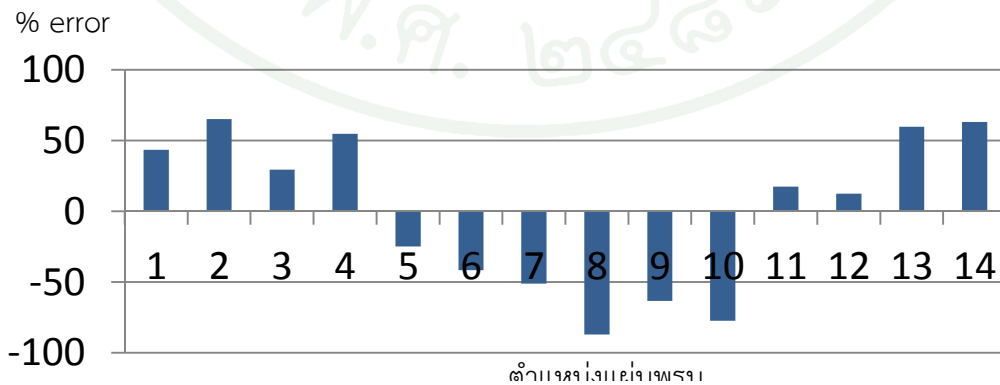
ภาพที่ 33 แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 34 แสดงตำแหน่งการวางตัวของแผ่นพรุนในห้องพินัยจำลอง ผลการวัดอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุน พบว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแผ่นที่ 1-4 และ แผ่นที่ 11-14 จะมีค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นมากกว่าค่าเฉลี่ยกลาง ซึ่งหาค่ามาจากอัตราการไหลรวมทั้งหมดหารด้วยจำนวนแผ่นพรุนทั้งหมด ส่วนแผ่นที่ 5-10 มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลางและแผ่นที่ 8 และ 10 เป็นแผ่นที่มีค่าอัตราการไหลอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากกว่าแผ่นอื่นๆ



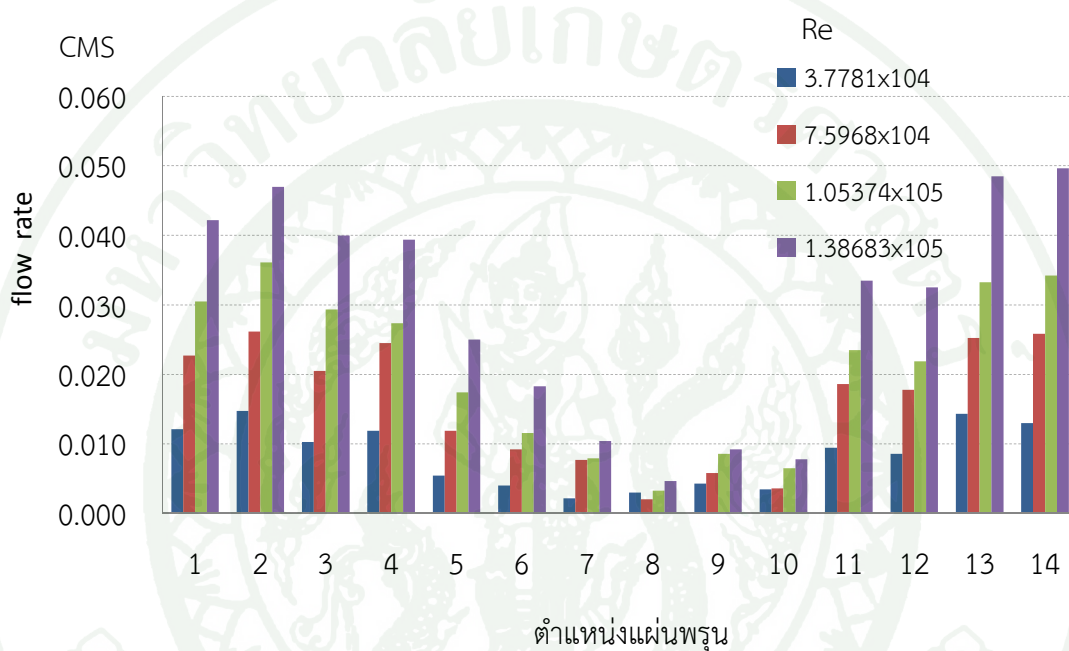
ภาพที่ 34 ตำแหน่งการวางตัวของแผ่นในแบบจำลองระบบห้องปรับอากาศแบบพินัย

ภาพที่ 35 ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนขึ้นกับตำแหน่งการวางของแผ่นพรุนในห้องนั้นๆ โดยแผ่นพรุนที่อยู่ส่วนหน้าและส่วนหลังจะมีอัตราการไหลที่มากกว่าค่าเฉลี่ยกลาง สาเหตุน่าจะเกิดจากการที่ลมวิ่งผ่านการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของทางเข้ามีขนาดเล็กกว่าขนาดความกว้างของพินัยทำให้เกิดการเลี้ยวของลมไปตามขอบห้องจึงเกิดการหมุนวนบริเวณกลางห้อง ทำให้บริเวณพื้นที่ตรงนั้นมีแรงดันภายใต้พินัยต่ำกว่าพื้นที่อื่น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พื้นที่นั้นมีอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนน้อยกว่าบริเวณอื่น เนื่องมาจากอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนสำหรับพินัยนี้จะขึ้นอยู่กับแรงดันใต้พินัยที่จุดๆนั้น



ภาพที่ 35 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นกับค่าเฉลี่ยกลางที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

ภาพที่ 36 แสดงผลการทดลองจากการเพิ่มอัตราไหลทางเข้าเพื่อจะช่วยให้ปัญหาเรื่องการเกิดแรงดันต่ำที่เกิดมาจากการหมุนวน พบว่าแม้แผ่นพรุนที่มีปัญหาจะมีอัตราไหลเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการหมุนวนของอากาศหรือแก้ปัญหาเรื่องแรงดันต่ำบริเวณกลางห้องได้ พบได้จากค่าอัตราไหลของแผ่นบริเวณตรงกลางมีค่าเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย เมื่อเทียบกับอัตราการไหลที่เพิ่มมากในบริเวณส่วนด้านหน้าและด้านหลัง



ภาพที่ 36 แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 3.7781×10^4 , 7.5968×10^4 , 1.0537×10^5 และ 1.3868×10^5

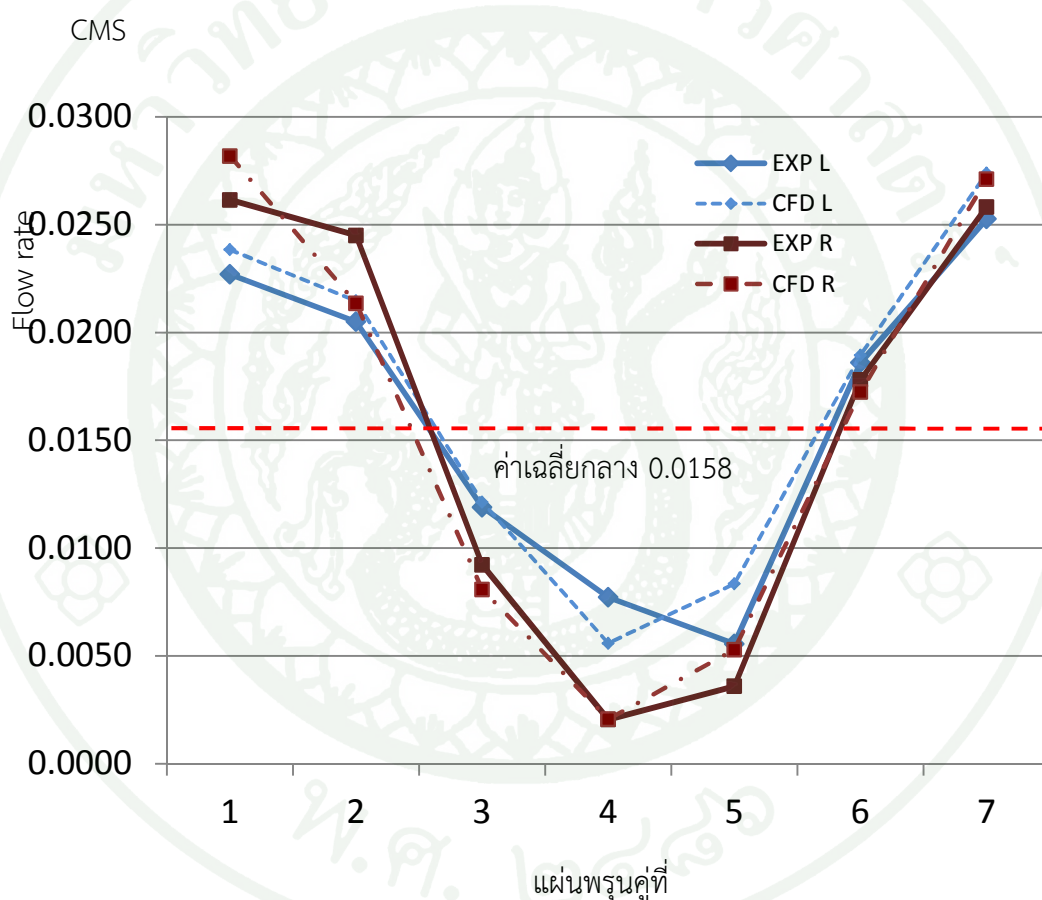
2. ผลการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลของโปรแกรม

ในการประเมินความถูกต้องของโปรแกรมจะใช้ผลการวัดอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณซึ่งได้จากการทดลองดังกล่าวไว้ข้างต้นมาเป็นตัวเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ได้สร้างไว้ โดยเลือกค่าความเร็วทางเข้าที่ความเร็วลม 5.616 m/s หรือเท่ากับเลขเรย์โนลด์ 7.5968×10^4 พบว่าค่าอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มีค่าสอดคล้องกับการทดลอง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15 % คิดเป็นร้อยละ 71 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 27 % คิดเป็นร้อยละ 92 ของแผ่นพรุณทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 37



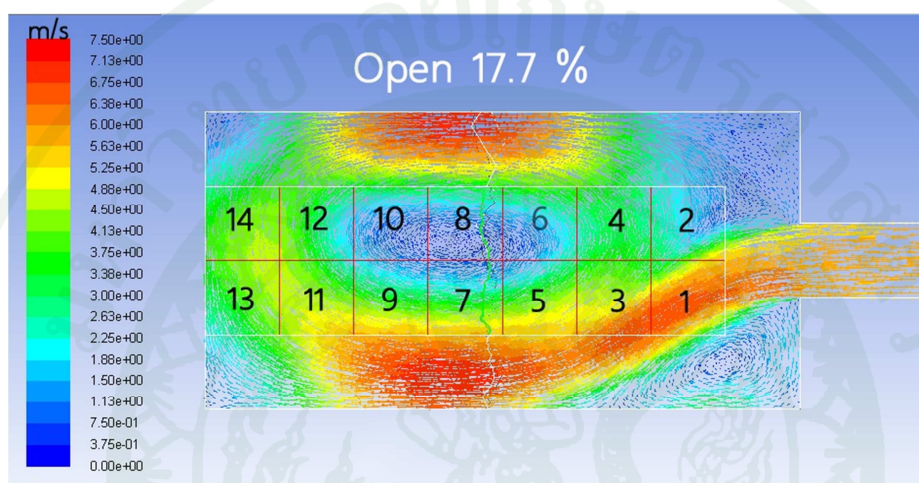
ภาพที่ 37 แผนภูมิแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณเปรียบเทียบกับระหว่างการวิเคราะห์กับค่าที่วัดจากการทดลอง

จากภาพที่ 38 ผลการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของอัตราการไหลสำหรับแผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4 โดยแผ่นพรุนคู่ที่ 1 หมายถึงแผ่นพรุนแผ่นที่ 1 ซึ่งอยู่ด้านซ้ายมือและแผ่นพรุนแผ่นที่ 2 ซึ่งอยู่ด้านขวามือ พบว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแถวซ้ายมือ และแถวขวามือ ได้ผลออกมาในทิศทางเดียวกับการทดลองคืออัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนในบริเวณด้านหน้าและด้านหลังจะมีค่ามาก(เทียบกับค่าเฉลี่ยกลาง) ในขณะที่บริเวณตรงกลาง(แผ่นที่ 5 ถึง แผ่นที่ 10) มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลาง สาเหตุที่อัตราการไหลบริเวณตรงกลางมีค่าน้อย เนื่องมาจากการหมุนวนภายในพื้นที่ยกทำให้แรงดันบริเวณพื้นที่นั้นมีค่าต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ

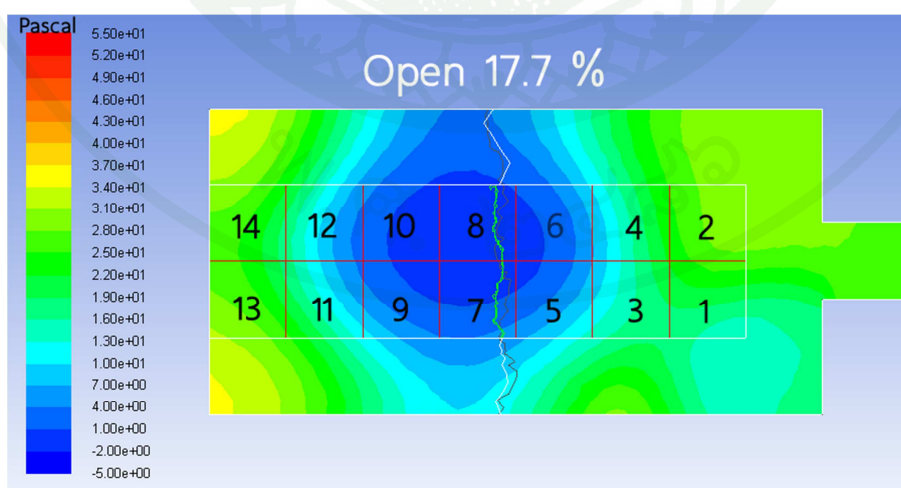


ภาพที่ 38 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 39 และ 40 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ช่วยสนับสนุนผลการทดลองที่ว่า อัตราการไหลบริเวณตรงกลางมีค่าที่น้อยสาเหตุมาจากการหมุนวน การวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่าลมที่วิ่งเข้าไปในพื้นที่ไม่ได้วิ่งไปเป็นเส้นตรง แต่ลมกลับเลี้ยวไปตามขอบผนังด้านข้างของพื้นที่ทำให้เกิดการหมุนวนภายในพื้นที่ ซึ่งการเกิดสภาวะการหมุนวนเช่นนี้จะทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของการหมุนวน(บริเวณแผ่นที่ 5-10) มีแรงดันที่ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นอัตราการไหลของแผ่นพรุนที่อยู่เหนือตำแหน่งการหมุนวนนี้ จึงมีอัตราการไหลที่น้อยกว่าแผ่นอื่นๆ เนื่องจากอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนมีความสัมพันธ์โดยตรงกลับแรงดันใต้พื้นที่

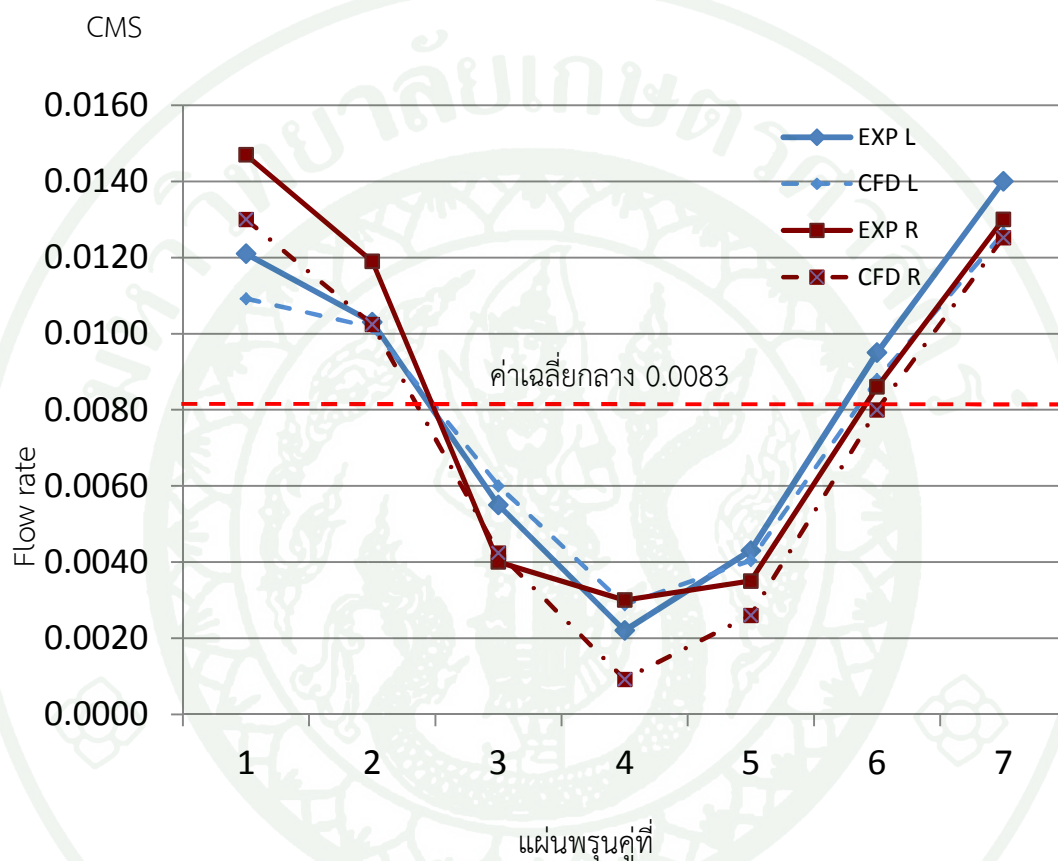


ภาพที่ 39 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ใช้แผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4



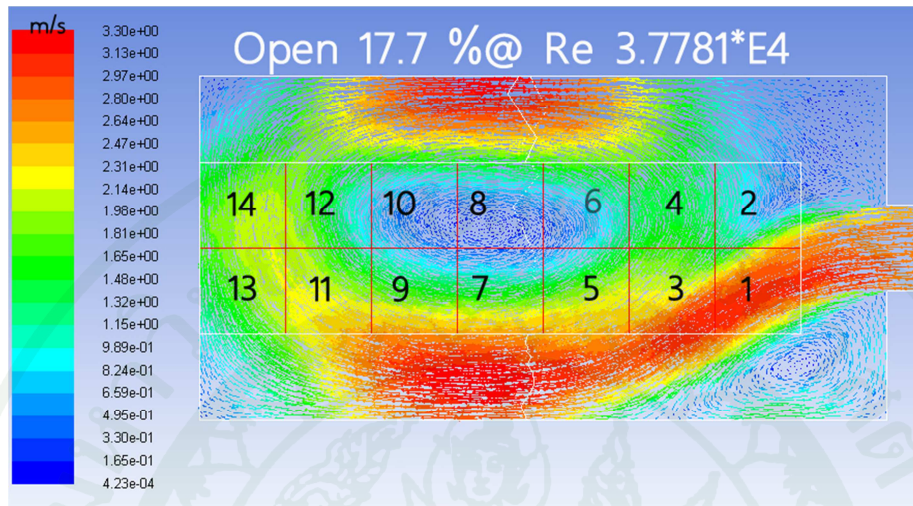
ภาพที่ 40 แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ใช้แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 41 ผลการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของอัตราการไหลสำหรับแผ่นพรุนที่มีพื้นที่เปิด 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 3.7781×10^4 พบว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแถวซ้ายมือและแถวขวามือ ได้ผลออกมาในทิศทางเดียวกับการทดลอง แนวโน้มของอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุน ยังเหมือนกับที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4 คืออัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนในบริเวณด้านหน้าและด้านหลังจะมีค่ามาก และบริเวณตรงกลางมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยกลาง

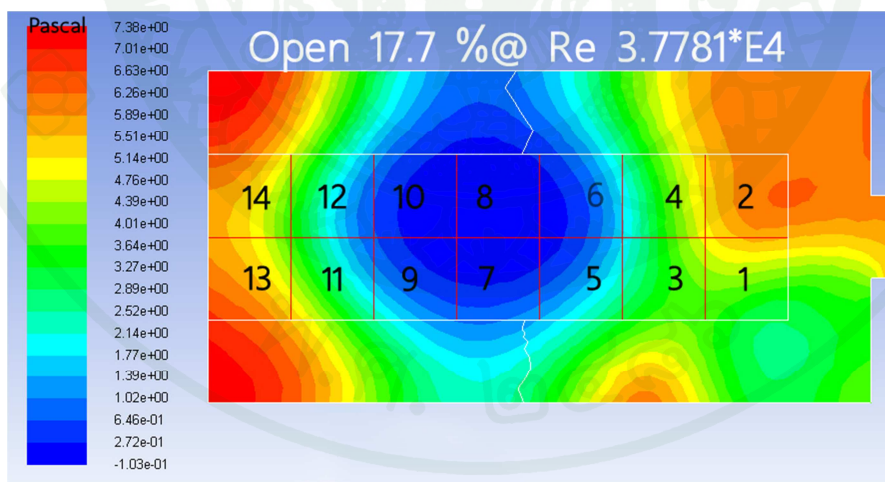


ภาพที่ 41 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 3.7781×10^4

จากภาพที่ 42 และ 43 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีลักษณะคล้ายกับผลของเลขเรย์โนลด์ 7.5968×10^4 แต่แรงดันที่เกิดขึ้นภายในห้องต่ำกว่ามาก ดังนั้นอัตราการไหลของแผ่นพอรุนที่อยู่เหนือตำแหน่งการหมุนวนนี้ จึงมีอัตราการไหลที่น้อยกว่าแผ่นอื่นๆ

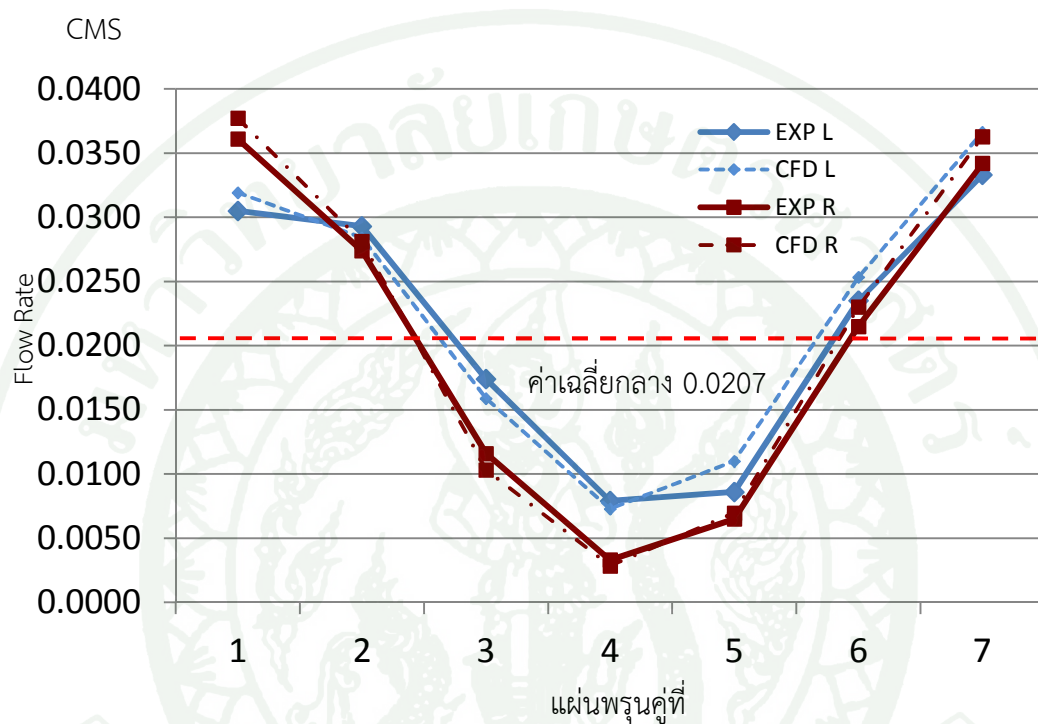


ภาพที่ 42 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นยกที่ใช้แผ่นพอรุนที่มีเปอร์เซ็นต์เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 3.7781×10^4



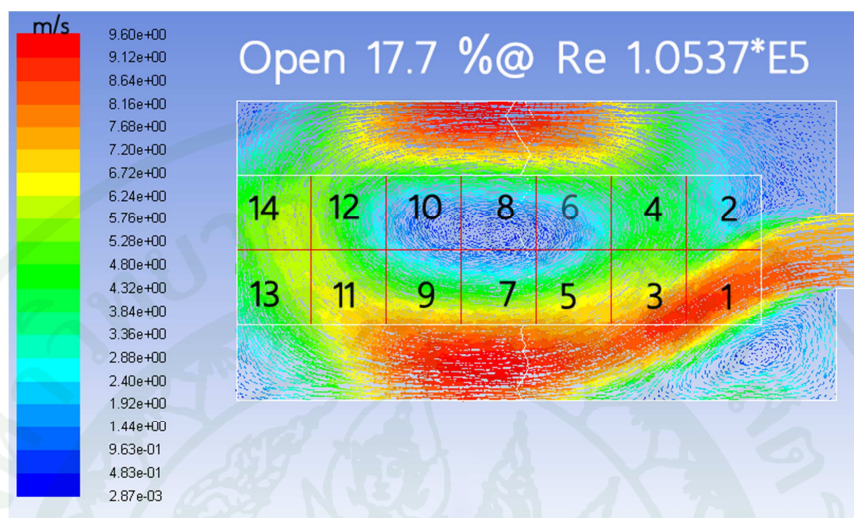
ภาพที่ 43 แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นยกที่ใช้แผ่นพอรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 3.7781×10^4

จากภาพที่ 44 ผลการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของอัตราการไหลสำหรับแผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 1.0537×10^5 พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลทางเข้า ไม่สามารถจะแก้ปัญหาแรงดันบริเวณพื้นที่ตรงกลางที่ต่ำได้เป็นผลให้อัตราการไหลบริเวณตรงกลางเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย

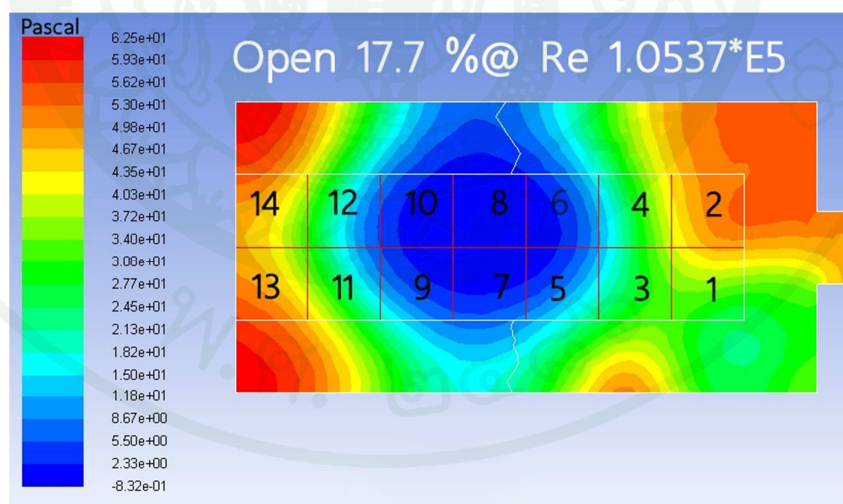


ภาพที่ 44 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 1.0537×10^5

จากภาพที่ 45 และ 46 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น แรงดันใต้พื้นจะเพิ่มขึ้นจึงเป็นผลให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นเพิ่มขึ้นตามมาด้วย

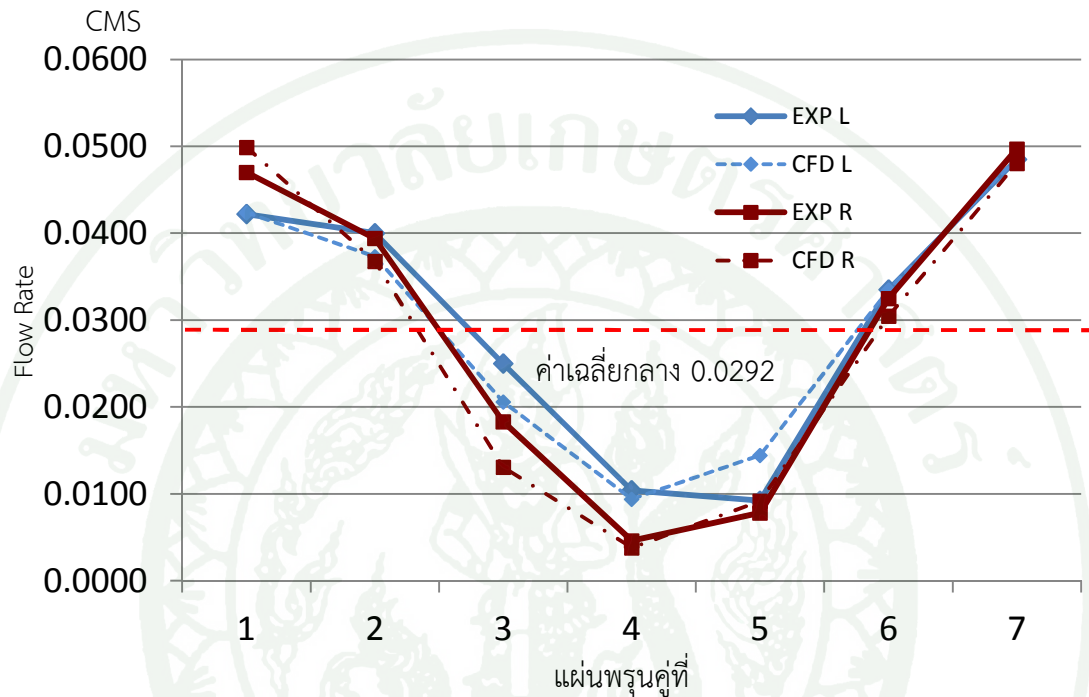


ภาพที่ 45 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นยกที่ใช้แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 1.0537×10^5



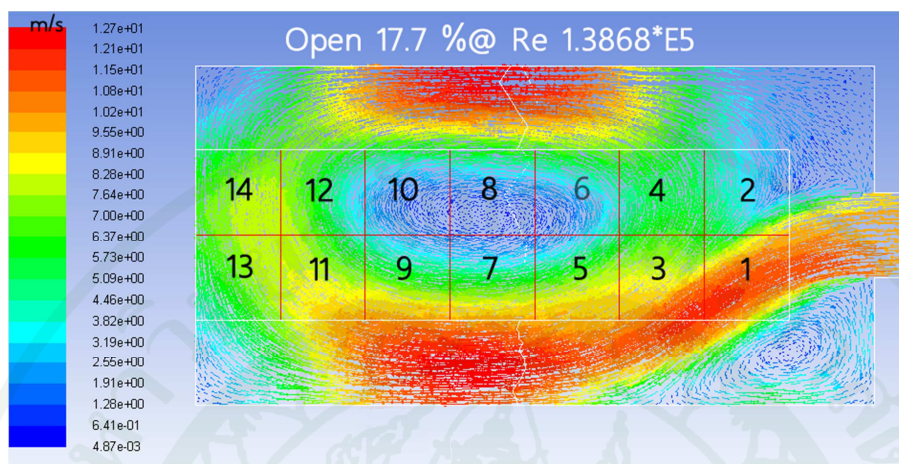
ภาพที่ 46 แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นยกที่ใช้แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 1.0537×10^5

จากภาพที่ 47 ผลการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของอัตราการไหลสำหรับแผ่นพรมที่มีพื้นที่เปิด 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 1.3868×10^5 พบว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรมแถวซ้ายมือและแถวขวามือ ได้ผลออกมาในทิศทางเดียวกับการทดลอง และมีแนวโน้มของอัตราการไหลยังเหมือนกับที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้าอื่นๆ

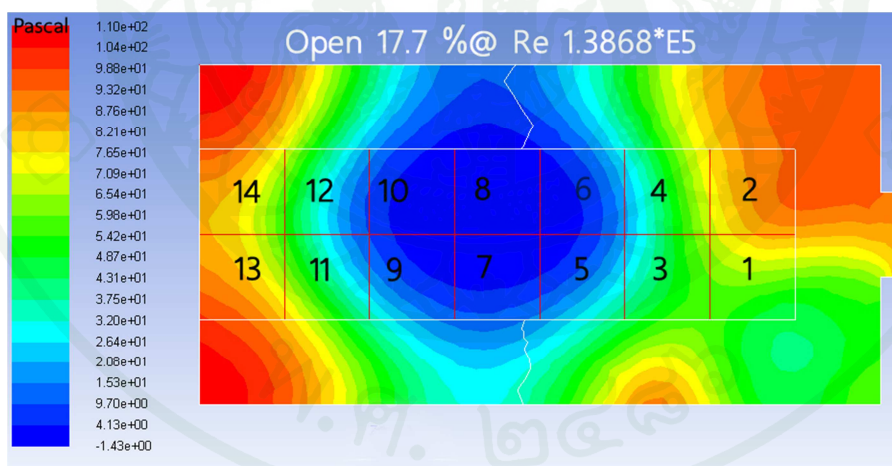


ภาพที่ 50 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรมพื้นที่เปิด 17.7 % เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 1.3868×10^5

จากภาพที่ 48 และ 49 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมยังคงเกิดการหมุนวนเหมือนค่าอัตราการไหลทางเข้าที่เลขเรย์โนลด์อื่นๆ ช่วยสนับสนุนผลการทดลองที่ว่า อัตราการไหลบริเวณตรงกลางมีค่าน้อยสาเหตุมาจากการหมุนวน

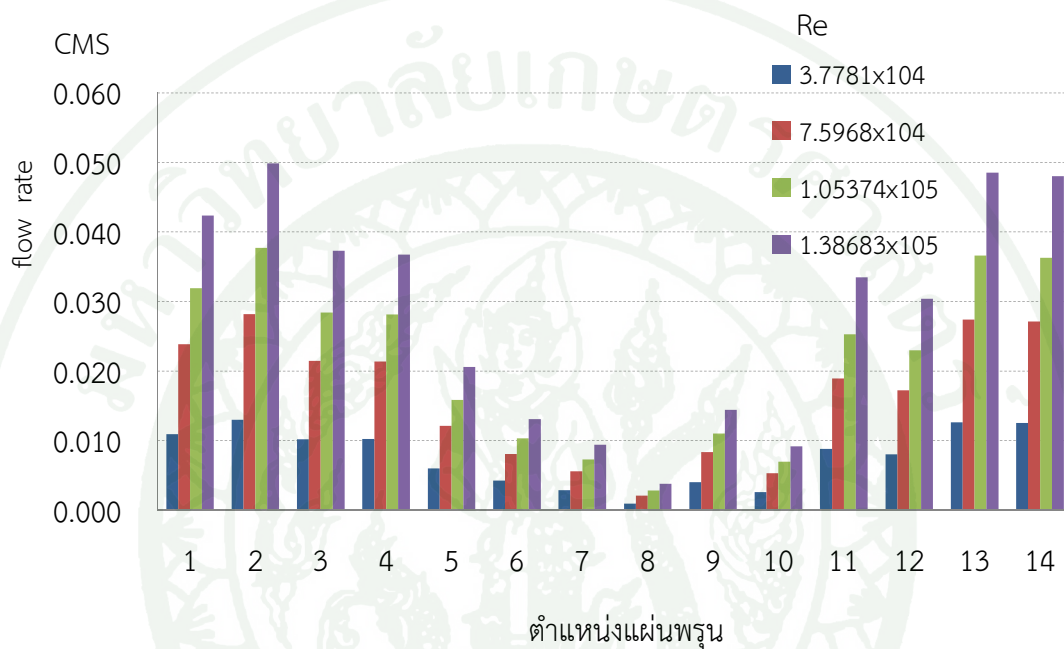


ภาพที่ 48 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ใช้แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 1.3868×10^5



ภาพที่ 49 แสดงการกระจายตัวของความดัน (Pa) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรสำหรับห้องพื้นที่ใช้แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7% ทุกแผ่นที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 1.3868×10^5

จากภาพที่ 50 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์พบว่ามีความสอดคล้องกับการทดลอง การวิเคราะห์ผลของการเพิ่มอัตราไหลทางเข้าไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องการเกิดแรงดันต่ำบริเวณตรงกลางของห้องได้ แต่แสดงให้เห็นว่าบริเวณจุดศูนย์กลางของการหมุน จะมีขนาดเล็กลงตามการเพิ่มอัตราการไหลบริเวณทางเข้า ทำให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลบริเวณตรงกลางขึ้นมาได้แต่ไม่สามารถเพิ่มให้เข้าใกล้ค่าเฉลี่ยกลาง



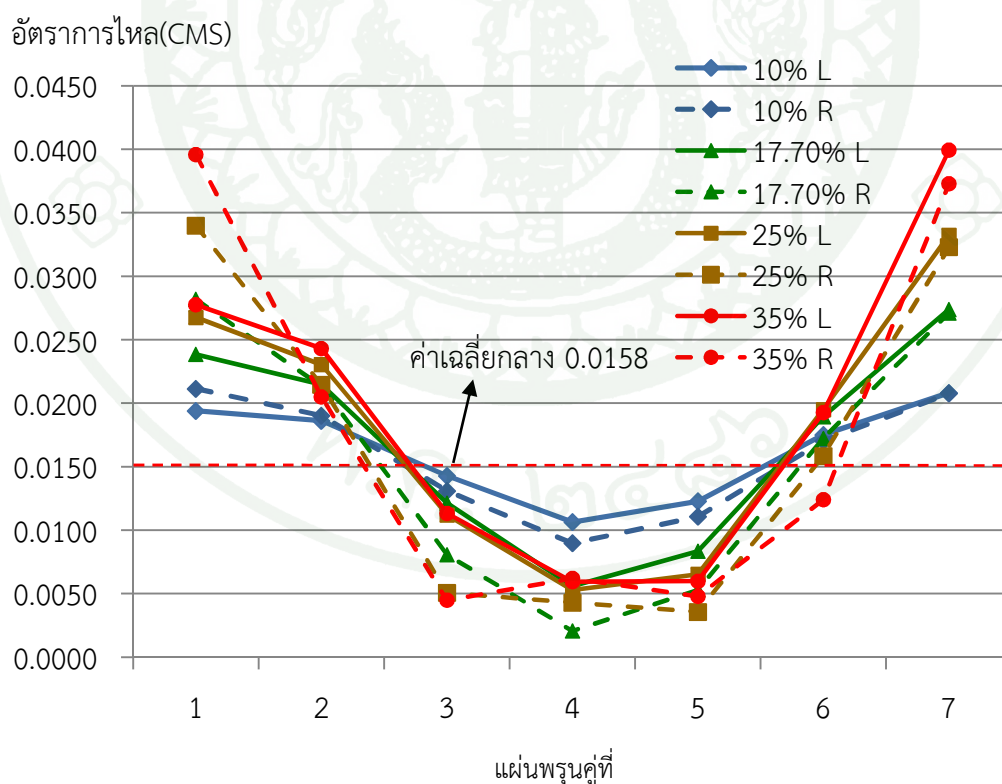
ภาพที่ 50 แผนภูมิแท่งแสดงอัตราไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละตำแหน่งที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 3.7781×10^4 , 7.5968×10^4 , 1.0537×10^5 และ 1.3868×10^5 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

3. การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุน

จากปัญหาข้างต้น จึงจำเป็นต้องปรับปรุงให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุน มีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่น โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเพื่อคุณลักษณะการกระจายของอัตราการไหลของของแผ่นพรุนแต่ละแผ่น

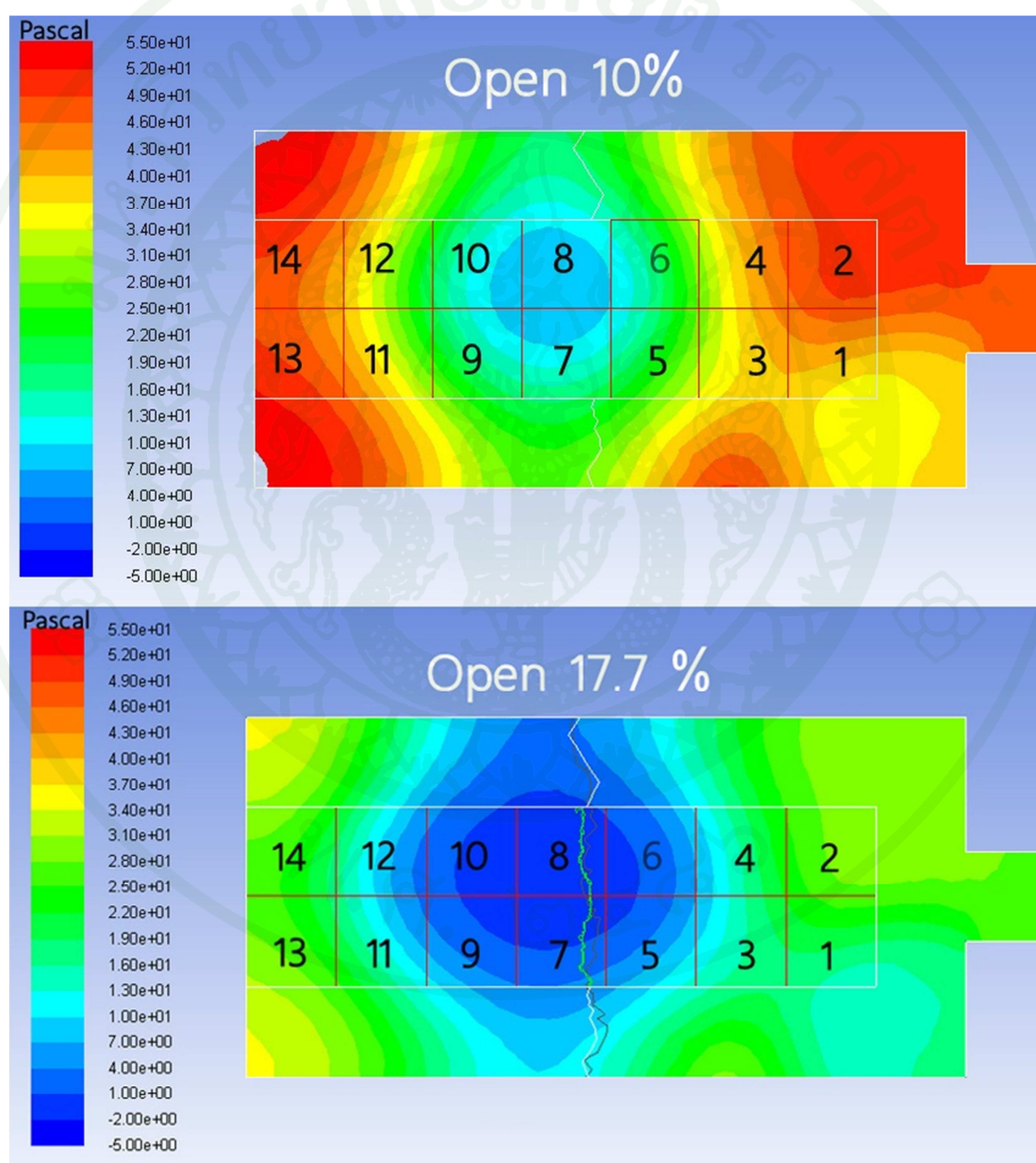
3.1 การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเท่ากันทุกแผ่น

จากภาพที่ 51 แสดงผลจากการวิเคราะห์การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเท่ากันหมดทุกแผ่นที่ 10%, 17.7%, 25% และ 35% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเย็นบริเวณด้านหน้าและด้านหลังแต่กลับเป็นการทำให้บริเวณพื้นที่ตรงกลางมีอัตราการไหลที่ลดลงเนื่องจากแรงดันใต้พื้นยกบริเวณนั้นมีความดันโดยรวมต่ำลงกว่าเดิม แม้จะมีแผ่นพรุนซึ่งมีพื้นที่เปิดเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ของไหลสามารถไหลออกได้ง่ายขึ้นก็ตาม ซึ่งผลจะตรงกันข้ามกับเมื่อมีการลดพื้นที่เปิดของแผ่นพรุน เป็นการทำให้แรงดันโดยรวมใต้พื้นยกสูงขึ้นทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ออกจากแผ่นพรุนมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า



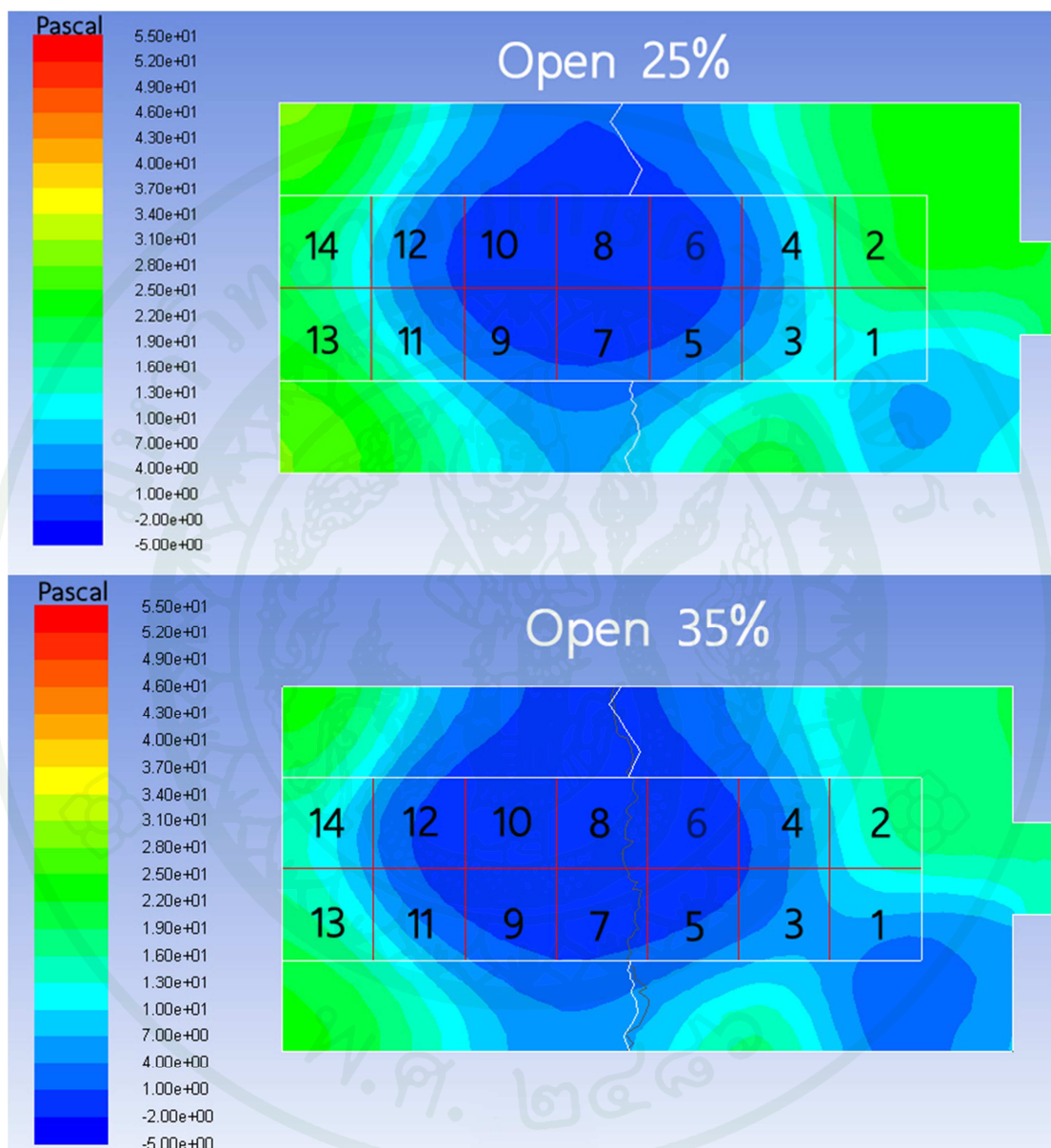
ภาพที่ 55 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแถว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิด ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 52 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพอรุนเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันใต้พื้นยกโดยรวมมีค่าลดลง แต่ค่าแรงดันบริเวณกลางพื้นยกนั้นแม้จะเพิ่มพื้นที่เปิดของแผ่นพอรุนแต่ค่าแรงดันยังมีค่าต่ำเหมือนเดิม ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้บริเวณตรงกลางพื้นยกมีแรงดันต่ำนั้นไม่ได้มีสาเหตุหลักมาจากพื้นที่เปิดของแผ่นพอรุน แต่มาจากการหมุนวนของลมที่เกิดขึ้นใต้พื้นยก โดยที่อัตราส่วนพื้นที่เปิดมีค่าน้อยทำให้การไหลของอากาศเย็นผ่านแผ่นพอรุนเป็นไปได้ยาก ดังนั้นอากาศจึงวิ่งวนอยู่ภายใต้พื้นยกซึ่งจะทำให้จุดศูนย์กลางของการวนมีขนาดเล็ก เป็นผลให้พื้นที่ที่มีแรงดันต่ำนั้นมีขนาดเล็กตามไปด้วย และเมื่อพื้นที่เปิดของแผ่นพอรุนมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ของไหลสามารถไหลผ่านแผ่นพอรุนขึ้นไปง่ายขึ้น ดังนั้นก็จะส่งผลให้ไม่เกิดการสร้างแรงดันใต้พื้นยก จุดศูนย์กลางของการหมุนก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งก็จะเป็นผลให้พื้นที่ที่แรงดันต่ำมีขนาดกว้างขึ้นตามมาด้วย



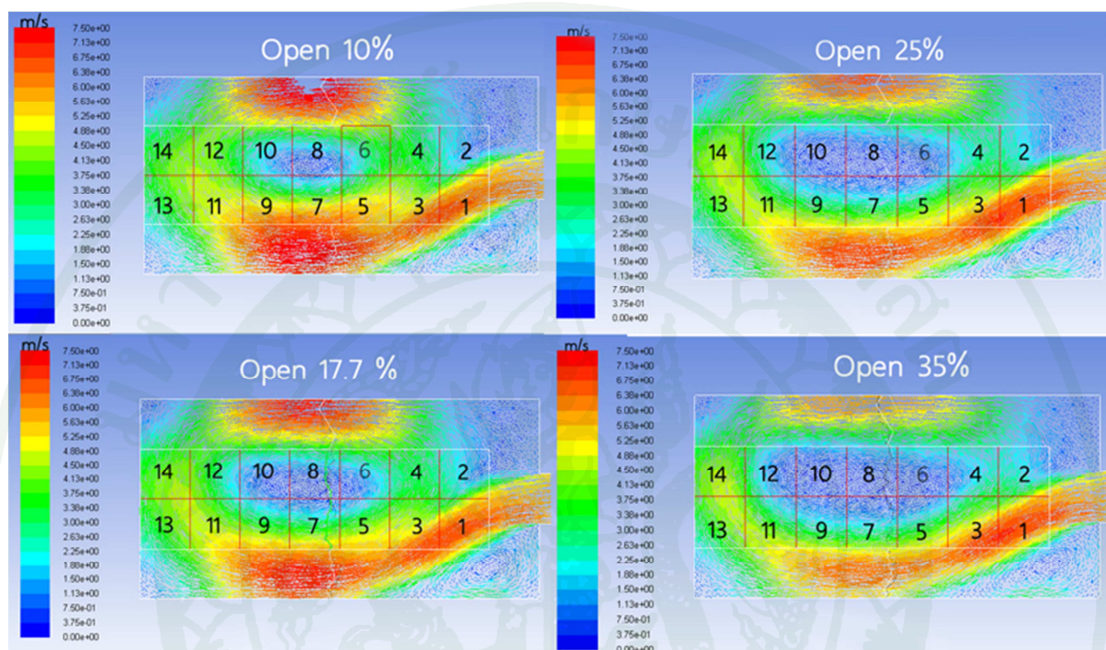
ภาพที่ 52 แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ 10% และ 17.7% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 53 ได้แสดงให้เห็นแม้อัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าแรงดันบริเวณกลางพื้นยกนั้นยังคงมีค่าแรงดันยังมีค่าต่ำเหมือนเดิม เนื่องจากสาเหตุหลักมาจากการหมุนวนของลมที่เกิดขึ้นใต้พื้นยก การเพิ่มพื้นที่เปิดจึงไม่สามารถช่วยให้อัตราการไหลบริเวณตรงกลางเพิ่มขึ้นได้



ภาพที่ 53 แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ 25% และ 35% ที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 54 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเพิ่มขึ้นจะทำให้ใจกลางของการหมุนมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นผลให้พื้นที่ที่มีแรงดันต่ำบริเวณตรงกลาง มีบริเวณกว้างขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลบริเวณนั้นมีค่าต่ำ ส่วนสำหรับอัตราส่วนพื้นที่เปิดที่ 25% และ 35% แม้แรงดันบริเวณพื้นที่ตรงกลางจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่อัตราการไหลยังแปรผันตามอัตราส่วนพื้นที่ของแผ่นพรุนด้วย ดังนั้นอัตราไหลของแผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 35% จึงมีค่ามากกว่า แผ่นพรุนที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปิด 25%

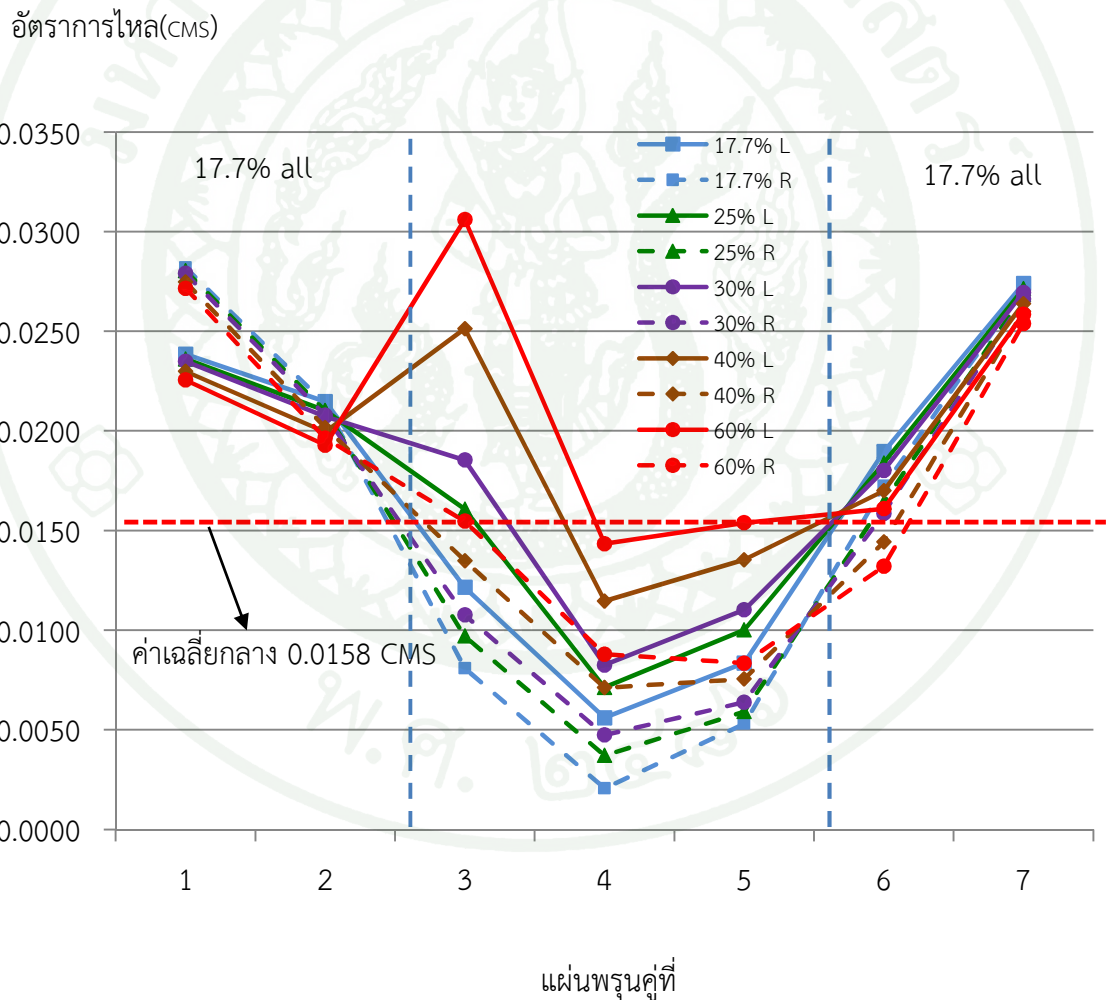


ภาพที่ 54 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระบุความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิด 10%, 17.7%, 25% และ 35% ที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเท่ากันทั้งหมดไม่สามารถจะทำให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันได้ ถึงแม้ว่าเลือกใช้อัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนที่ 10 % จะให้ผลที่ดีที่สุด แต่ยังไม่สามารถทำให้อัตราการไหลใกล้เคียงกันทุกแผ่นได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยมุ่งเน้นการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดไปที่ช่วงบริเวณพื้นที่ตรงกลาง(แผ่นพรุนตำแหน่งที่ 5-10)ที่เกิดแรงดันต่ำ โดยที่แผ่นพรุนส่วนด้านหน้าและส่วนด้านหลังยังใช้อัตราส่วนพื้นที่เปิดเท่าเดิมที่ 17.7% (แผ่นที่1-4และ11-14)

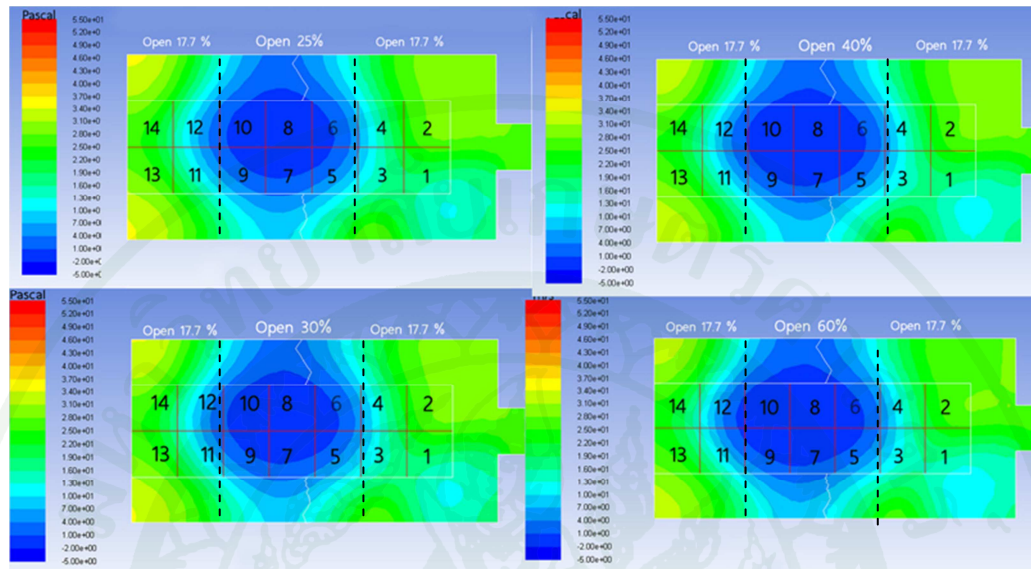
3.2 การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ แผ่นที่ 5-10 เท่ากันทุกแผ่น และส่วนที่เหลือใช้เป็นอัตราส่วนพื้นที่เปิด 17.7%

จากภาพที่ 55 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของแผ่นพรุณ โดยแถวซ้ายมือ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณในบริเวณพื้นที่ตรงกลาง พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดในบริเวณพื้นที่ตรงกลางแม้จะทำให้อัตราไหลช่วงตรงกลางเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นแค่บริเวณที่มีแรงดันใต้พื้นยกที่สูงเท่านั้น(บริเวณแผ่นที่ 5) แต่อัตราการไหลของแผ่นอื่นๆที่อยู่บริเวณตรงกลางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแถวขวามือ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณในบริเวณพื้นที่ตรงกลาง พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแถวขวามือ แตกต่างกับทางด้านซ้ายมือ คือ แถวขวามือนี้แม้เพิ่มค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณแต่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

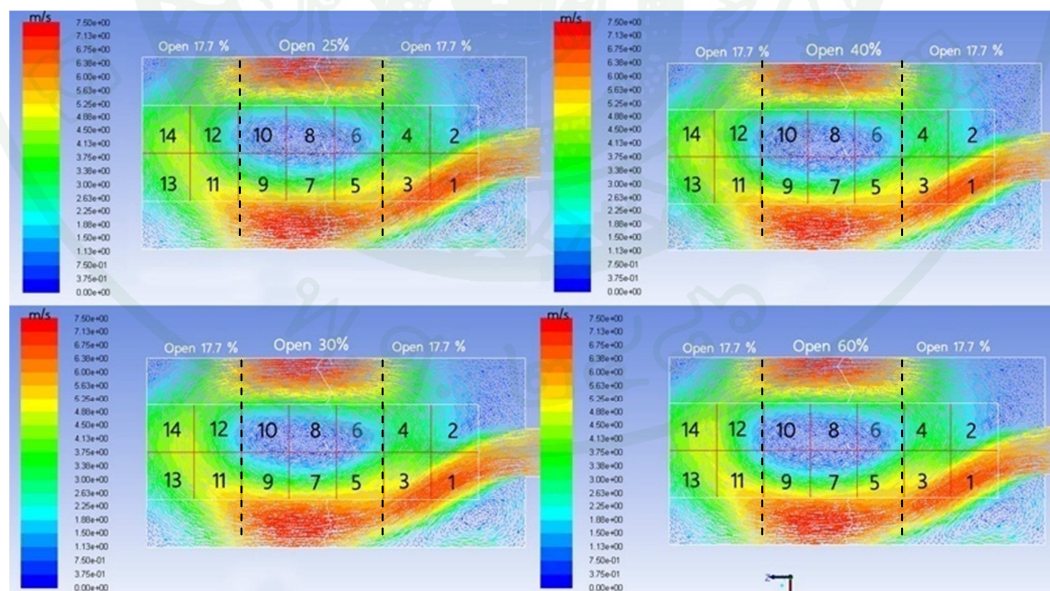


ภาพที่ 55 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพื้นที่เปิดในช่วงแผ่นที่ 5 ถึงแผ่นที่10 (บริเวณตรงกลาง) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 56 และ 57 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณในบริเวณพื้นที่ตรงกลาง แม้จะทำให้อัตราไหลบริเวณตรงกลางเพิ่มขึ้นมาได้ แต่แรงดันบริเวณนั้นยังคงต่ำใกล้เคียงเดิม เพราะขนาดของการหมุนวนมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ไม่สมารถที่จะทำให้อัตราไหลทุกแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันได้



ภาพที่ 56 แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ 25%, 30%, 40% และ 60%

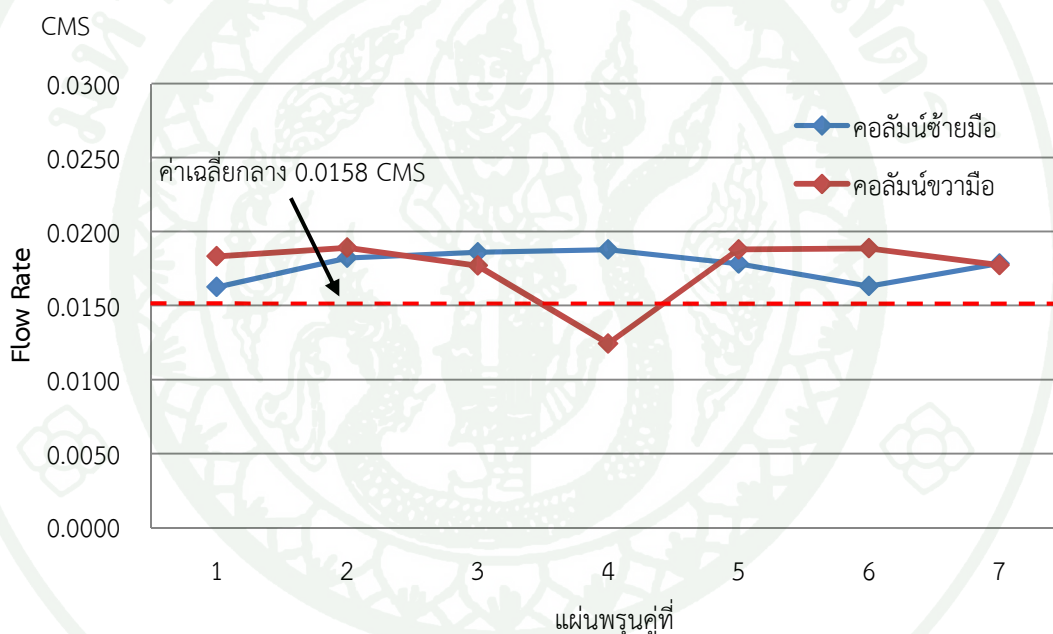


ภาพที่ 57 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่ยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ 25%, 30%, 40% และ 60%

3.3 การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนทุกแผ่น

จากปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนทุกแผ่นตามข้างต้น พบว่ายังไม่สามารถปรับปรุงให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุน มีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่นได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนทุกแผ่นเพื่อดูลักษณะการกระจายของอัตราการไหลของของแผ่นพรุนแต่ละแผ่นให้มีค่าใกล้เคียงกลางมากที่สุด

ภาพที่ 58 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นสามารถมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยกลางได้ โดยให้มีการเปลี่ยนอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดทุกแผ่นพรุนโดยลดอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนบริเวณช่วงด้านหน้าและด้านหลัง(แผ่นที่ 1-4และแผ่นที่11-14) ให้มีค่าลดลง พร้อมทั้งเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดในบริเวณตรงกลางช่วงที่มีปัญหาเพิ่มขึ้นด้วย



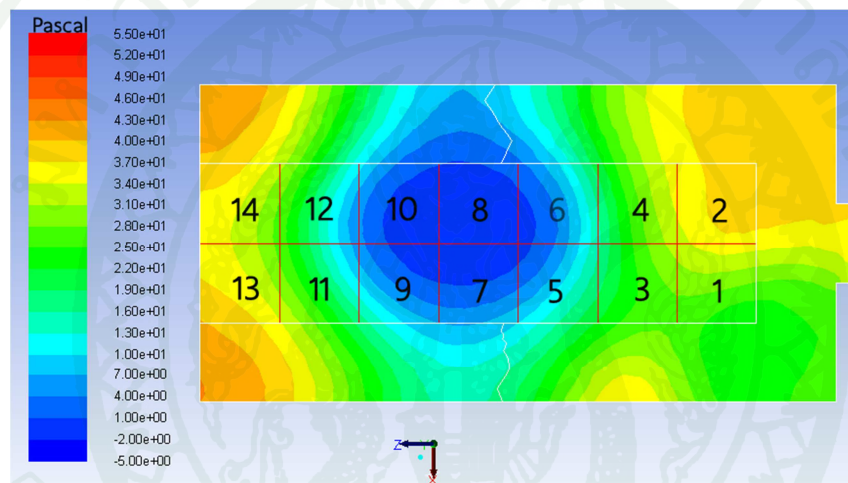
ภาพที่ 58 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแถวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพื้นที่เปิดในทุกแผ่นให้เหมาะสมที่สุด

จากภาพที่ 59 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นสามารถมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยกลางได้ โดยให้มีการเปลี่ยนอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดทุกแผ่นพรุณโดยลดอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณบริเวณช่วงด้านหน้าและด้านหลัง(แผ่นที่ 1-4และแผ่นที่11-14) ให้มีค่าลดลง พร้อมทั้งเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดในบริเวณช่วงที่มีปัญหาเพิ่มขึ้นด้วย

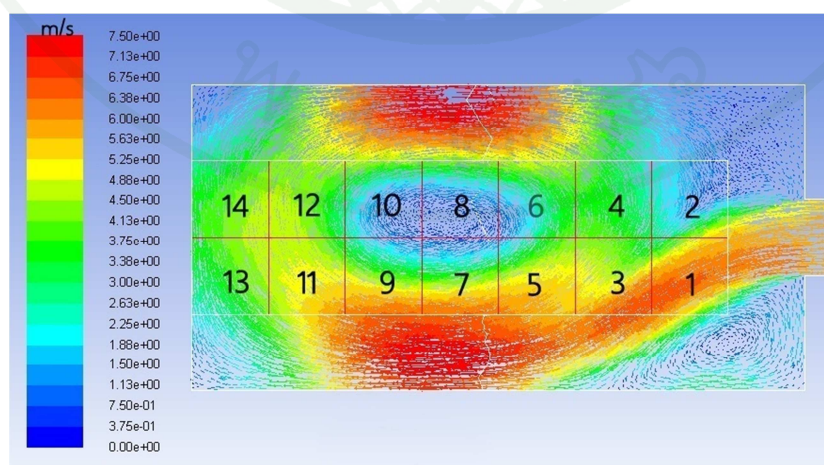


ภาพที่ 59 แผนภูมิแสดงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุณแต่ละแผ่นที่เหมาะสมที่สุด

จากภาพที่ 60 และ 61 แสดงให้เห็นถึงขนาดของการหมุนวนที่เล็กลงและการเพิ่มขึ้นของแรงดันทั้งหมดภายใต้พื้นยกซึ่งผลดังกล่าวจะทำให้อัตราการไหลที่ผ่านพอร์นในบริเวณกลางห้องนั้นเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องมาจากการเพิ่มแรงดันใต้พื้นยกมีผลโดยตรงต่ออัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพอร์น แม้เมื่อคุณผลของการกระจายของอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพอร์นแต่ละแผ่นแล้วจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับการเลือกใช้ที่อัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิด 10% ทั้งหมด แต่ถ้ามาพิจารณาดีๆ แล้วจะพบว่าแรงดันที่อัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิด 10% มีค่าที่สูงกว่าโดยที่อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพอร์นแต่ละแผ่นยังกระจายตัวไม่สม่ำเสมอเท่าไร อีกทั้งการที่เพิ่มแรงดันใต้พื้นยกในสภาวะของห้องจริงให้สูงขึ้นนั้น ยังจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องปรับอากาศที่ต้องรับสภาพการต้านทาน (System loss) ของระบบทั้งหมดสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเมื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุดของการใช้เครื่องปรับอากาศ เราควรจะต้องเลือกใช้สภาวะที่ใช้พลังงานที่น้อยที่สุดที่ให้ผลออกมาใกล้เคียงกันหรือดีกว่าเดิม



ภาพที่ 60 แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ปรับปรุง

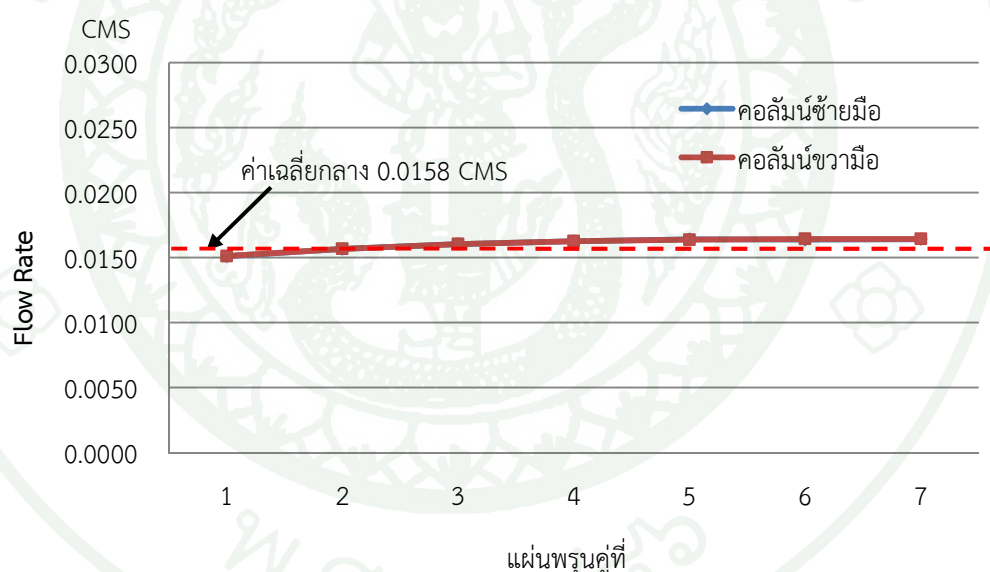


ภาพที่ 61 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นยกจำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรตามอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิดที่ปรับปรุง

3.4 การปรับปรุงทิศทางการจ่ายลมเข้าห้องพื่นยก

จากปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุณทุกรูปแบบ พบว่าไม่สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการหมุนวนภายใต้ห้องพื่นยกได้ ซึ่งสาเหตุมาจากทิศทางของอากาศเย็นที่วิ่งเข้าห้อง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจึงทำให้ลมเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหล ดังนั้นจึงปรับปรุงวิธีการจ่ายลมจากปกติจ่ายเข้าด้านหน้าเป็นการจ่ายลมด้านบน ซึ่งการเลือกวิธีการจ่ายลมอ้างอิงมาจากรูปแบบของ CRAC ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน โดยเลือกพื้นที่เปิด 10% และที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4

ภาพที่ 62 แสดงผลอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ สำหรับการปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการจ่ายลมทางเข้าทางด้านหน้ามาเข้าทางด้านบน พบว่าสามารถแก้ปัญหาอัตราการไหลแผ่นพรุณบริเวณตรงกลางมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลางได้ เนื่องจากเมื่อมีการปรับเปลี่ยนทิศทางการจ่ายลมทำให้ไม่เกิดปัญหาการหมุนวนภายใต้ห้องพื่นยก ดังนั้นแรงดันภายใต้ห้องพื่นยกจึงมีค่าใกล้เคียงทั้งหมด ส่งผลให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันด้วย



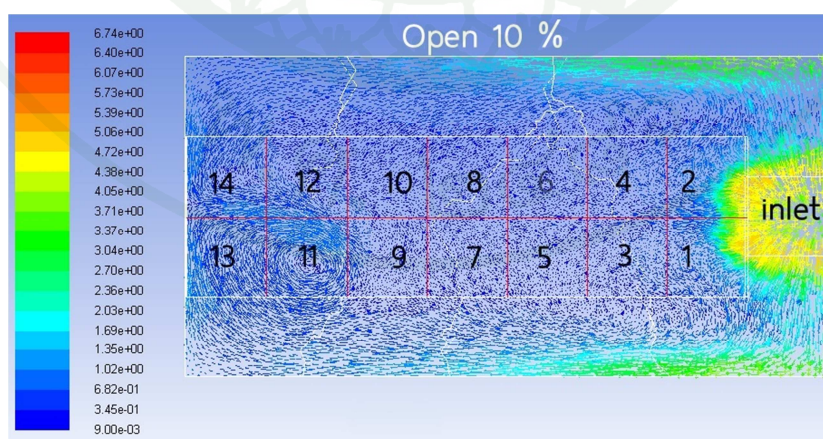
ภาพที่ 62 แผนภูมิแสดงค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่น เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการจ่ายลมบริเวณทางเข้าของแผ่นพรุณที่มีอัตราส่วนพื้นที่พื้นที่เปิด 10% ค่าเลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 63 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนทิศการจ่ายลมทำให้ไม่เกิดปัญหาการหมุนวนภายในห้องพื้นที่ ดังนั้นแรงดันภายในห้องพื้นที่จึงมีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด ส่งผลให้อัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันด้วย โดยแรงดันมีการกระจายตัวจากด้านหน้าห้องซึ่งใกล้กับบริเวณทางที่อากาศเย็นเข้าห้องแล้วค่อยๆลดต่ำลงไปถึงบริเวณหลังห้อง ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้อัตราการไหลด้านหน้าห้องต่างจากบริเวณด้านหลังห้อง แต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



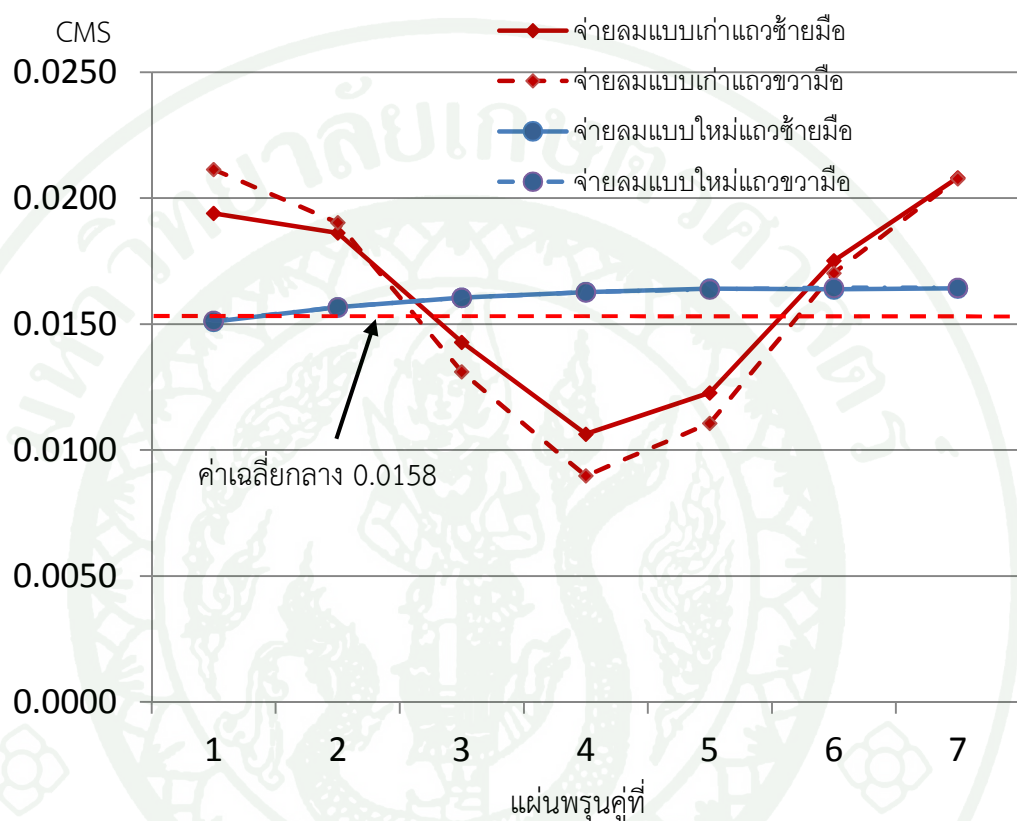
ภาพที่ 63 แสดงการกระจายตัวของความดัน(Pa) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรที่ได้ปรับเปลี่ยนวิธีการจ่ายลมจากทางด้านบนที่อัตราส่วนพื้นที่เปิด 10% และที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 64 ได้แสดงให้เห็นว่าทิศทางของอากาศเย็นที่วิ่งภายในห้องพื้นที่ไม่เกิดการหมุนวนขนาดใหญ่บริเวณตรงกลาง แต่ยังคงพบการหมุนวนขนาดเล็กๆบริเวณท้ายห้องซึ่งไม่ได้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันใต้พื้นที่



ภาพที่ 64 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว(m/s) ภายในพื้นที่จำลองที่ระนาบความสูงจากพื้นห้อง 0.1 เมตรได้ปรับเปลี่ยนวิธีการจ่ายลมจากทางด้านบนที่พื้นที่เปิด 10% และที่เลขเรย์โนลด์ทางเข้า 7.5968×10^4

จากภาพที่ 65 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนระหว่างการจ่ายลมแบบวังขนานกับพื้น(แบบเก่า)กับการจ่ายลมแบบวังลงพื้น(แบบใหม่) พบว่าการจ่ายลมแบบใหม่สามารถทำให้การกระจายอัตราการไหลของแผ่นพรุนแต่ละแผ่นดีกว่า อีกแบบ อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องการหมุนวนได้อีกด้วย



ภาพที่ 71 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนที่อัตราส่วนพื้นที่เปิด 10% และที่เลขเรย์โนลด์์ทางเข้า 7.5968×10^4 ระหว่างการจ่ายลมด้วยทิศทางขนานพื้นยกกับทิศทางลงตั้งฉากพื้นยก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับแรงดันใต้พื้นยก ณ ตำแหน่งการวางของแผ่นพรุนในห้องนั้นๆ สาเหตุที่ทำให้แรงดันแต่ละตำแหน่งในห้องไม่เท่ากันมาจากการกระจายตัวของลมภายใต้พื้นยกนั้นไม่ได้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เป็นเช่นนั้นก็เพราะว่าอัตราการไหลที่วิ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเข้ามีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดใต้พื้นยกของห้อง จึงทำให้ทิศทางการไหลของลมที่วิ่งเข้าไปในพื้นที่ยกไม่แน่นอน และเกิดเป็นการหมุนวนในบางจุดของและยังพบอีกว่าแม้จะเพิ่มอัตราการไหลของทางเข้าเพื่อที่จะแก้ปัญหาการกระจายตัวของลมนั้น ก็ไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาให้หมดไปได้เพียงแค่ช่วยให้อัตราการไหลที่แรงดันต่ำนั้นมีแรงดันเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนของการทดลองกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหล ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนที่ได้จากการคำนวณมีค่าสอดคล้องกันโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 27 % คิดเป็นร้อยละ 92 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และการวิเคราะห์ที่ได้สนับสนุนเหตุผลที่อัตราการไหลของแผ่นพรุนบริเวณตรงกลางมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยกลาง โดยแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของแรงดันใต้พื้นยก ว่าบริเวณพื้นที่ตรงกลางมีค่าแรงดันต่ำ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการหมุนวนของอากาศเย็นใต้พื้นยก

ผลของการวิเคราะห์การปรับปรุงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปิดของแผ่นพรุน พบว่าสามารถแก้ปัญหาอัตราการไหลที่ออกจากแผ่นพรุนแต่ละแผ่นที่ไม่สม่ำเสมอได้ แต่ในการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์เปิดของแผ่นพรุนที่ได้มานั้นอาจจะเป็นการยากที่จะนำไปใช้กับห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่จริงๆ อีกทั้งปัญหาการเกิดแรงดันต่ำในบางพื้นที่ที่เกิดจากหมุนวนของการไหลยังไม่ได้ถูกแก้ให้หมดไปแต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลก็สามารถทำนายหรือวิเคราะห์การปรับปรุงระบบปรับอากาศที่เกิดปัญหาแล้วให้ดีขึ้นได้

ผลของการวิเคราะห์การเปลี่ยนทิศทางการจ่ายลมเข้าห้องพื้นที่ยกจากการจ่ายลมเข้าชานกับห้องพื้นที่ยก มาเป็นการจ่ายลมลงตั้งฉากกับพื้นยก พบว่าการจ่ายลมทางเข้าตั้งฉากกับพื้นยกสามารถแก้ปัญหาพื้นที่บางตำแหน่งมีแรงดันต่ำได้ เนื่องจากการจ่ายลมด้วยวิธีแบบนี้ไม่ได้ทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศเย็นใต้พื้นยก และยังพบอีกว่าการจ่ายลมทางเข้าตั้งฉากกับพื้นยกนี้ สามารถช่วยทำให้การกระจายของอัตราการไหลแต่ละแผ่นมีค่าสม่ำเสมออีกด้วย

จากข้อมูลการศึกษาข้างต้นทำให้ผู้ที่ต้องการจะออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นที่ยก เข้าใจ และสามารถนำข้อมูลไปสนับสนุนการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นที่ยกได้ แต่ในสถานการณ์จริงอาจมีตัวแปรอื่นอีก ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้ตัดออกไป เช่น สิ่งกีดขวางใต้พื้นยก เพราะในสถานการณ์จริง สิ่งกีดขวางอาจแปรเปลี่ยนตามผู้ติดตั้งว่ามีแบบการวางอย่างไร และในอนาคตทางผู้ออกแบบระบบจะมี

การปรับปรุงจนได้พื้นที่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้สามารถนำไปเป็นแนวทาง เพื่อให้ทางผู้ออกแบบระบบ Data center ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบเพื่อให้สามารถใช้พลังงานและประโยชน์ของเครื่องปรับอากาศให้ได้ประโยชน์สูงสุด



ข้อเสนอแนะ

1. ค่าปริมาณลมที่ออกจากแผ่นพรุนด้วยวิธีการวัดด้วยกรวยอาจเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานการไหลที่ออกจากแผ่นพรุน ซึ่งอาจมีเป็นผลให้ค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าลดลงเล็กน้อย

2. ในการวิเคราะห์กระบวนการที่เกิดขึ้นทางคอมพิวเตอร์นั้น ยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองความปั่นป่วนของ Standard k- ϵ ดังนั้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อาจลองเปลี่ยนแบบจำลองความปั่นป่วน เป็น RNG k- ϵ หรือ Realization k- ϵ



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- อาชว์ ริยะจันทร์. 2554. การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Amir, R., R.R. Schmidt, K.C. Karki and S.V. Patankar. 2005. **Distributed leakage flow in raised-floor data centers**. Proceedings of IPACK2005 ASME Interpack 2005, IPACK2005-73273, July 17-22, San Francisco, California, USA.
- Chandrakant, D.P., C.E. Bash and C. Belady. 2001. **Computation Fluid Dynamics Modeling of High Compute Density data centers to assure system inlet air specifications**. Proceedings of IPACK2001, The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition July8-13, 2001, Kauai, Hawaii, USA.
- FLUENT INC. 2001. **FLUENT 6.0 User's Guide**. Lebanon, NH, U.S.A.
- Idelchik, I.E. 1994. **Handbook of Hydraulic Resistance**. CRC, Boca Raton, FL.
- Kailash, C.K., S.V. Patankar. 2006. **Airflow distribution through perforated tiles in raised-floor data centers**. pp.734-744, Building and Environment. Volume: 41
- Roger, R.S., K.C. Karki, K.M. Kelkar, A. Radmehr and S.V. Patankar. 2001. **Measurements and Prediction of The Flow Distribution Through Perforated Tiles in Raised Floor Data Centers**. IPACK'01 The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition. Kauai, Hawaii, USA
- Shrivastava, S K., M. Iyengar, B.G. Sammakia, R. Schmidt and J.W. Vangilder. 2009. **Experimental-numerical comparison for a high-density data center: Hot spot heat fluxes in excess of 500 W/FT²**. pp.166-172, Components and Packing Technologies. Volume: 32. Issue 1..



ภาคผนวก



ตัวอย่างการคำนวณ

การหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนจากค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดตามสมการที่ 12

$$K_{\text{tile}} = \frac{1}{f^2} \left(1 + 0.5(1-f)^{0.75} + 1.414(1-f)^{0.375} \right) \quad (12)$$

จากค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนที่ 17.7% จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนเท่ากับ

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{0.177^2} \left(1 + 0.5(1-0.177)^{0.75} + 1.414(1-0.177)^{0.375} \right) \\ &= 87.66 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข
ตารางผลการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์เปิด 17.7 % ที่ความเร็วทางเข้า 2.660, 5.616, 7.425 และ 9.764 m/s ของการทดลองที่ 1

แผ่นพรุนที่	ความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุน(m/s)ที่ความเร็วทางเข้า			
	2.660	5.616	7.425	9.764
1	1.21	2.27	3.05	4.220
2	1.47	2.62	3.61	4.70
3	1.03	2.05	2.93	4.00
4	1.19	2.45	2.74	3.94
5	0.55	1.19	1.74	2.50
6	0.40	0.92	1.16	1.83
7	0.22	0.77	0.79	1.04
8	0.30	0.21	0.33	0.46
9	0.43	0.58	0.86	0.92
10	0.35	0.36	0.65	0.78
11	0.95	1.86	2.35	3.35
12	0.86	1.178	2.15	3.25
13	1.40	2.53	3.33	4.85
14	1.30	2.58	3.42	4.97

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วทางเข้า 2.660, 5.616, 7.425 และ 9.764 m/s ที่เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุน 17.7 %

แผ่นพรุนที่	ความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุน(m/s)			
	2.660	5.616	7.425	9.764
1	0.273	0.596	0.798	1.059
2	0.325	0.705	0.943	1.247
3	0.254	0.537	0.710	0.933
4	0.256	0.534	0.703	0.919
5	0.150	0.303	0.397	0.515
6	0.106	0.202	0.258	0.327
7	0.072	0.140	0.182	0.235
8	0.023	0.052	0.071	0.095
9	0.101	0.209	0.275	0.361
10	0.065	0.132	0.174	0.229
11	0.220	0.474	0.633	0.837
12	0.200	0.431	0.575	0.761
13	0.316	0.685	0.916	1.214
14	0.313	0.678	0.907	1.201

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุณที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s ที่เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ 10%, 17.7%, 25% และ 35 %

แผ่นพรุณที่	ความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุณ(m/s)ที่เปอร์เซ็นต์เปิดทุกแผ่นเท่ากับ			
	10%	17.7%	25%	35%
1	0.485	0.596	0.669	0.693
2	0.528	0.705	0.849	0.990
3	0.467	0.537	0.576	0.608
4	0.476	0.534	0.536	0.513
5	0.357	0.304	0.280	0.283
6	0.328	0.202	0.127	0.112
7	0.266	0.140	0.132	0.149
8	0.224	0.052	0.107	0.155
9	0.307	0.209	0.163	0.150
10	0.277	0.132	0.089	0.120
11	0.438	0.474	0.488	0.482
12	0.426	0.431	0.396	0.310
13	0.520	0.685	0.831	0.998
14	0.519	0.678	0.807	0.932

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s ที่ทำการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนเฉพาะแผ่นที่ 5-10 เป็นค่า 25%, 30%, 40% และ 60 % โดยแผ่นที่เหลือมีค่าเท่ากับ 17.7%

แผ่นพรุนที่	ความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุน(m/s)ที่เปอร์เซ็นต์เปิดทุกแผ่นเท่ากับ			
	25%	30%	40%	60%
1	0.590	0.587	0.579	0.564
2	0.701	0.697	0.691	0.679
3	0.525	0.518	0.505	0.482
4	0.525	0.520	0.509	0.491
5	0.402	0.463	0.577	0.765
6	0.242	0.269	0.316	0.387
7	0.178	0.206	0.261	0.358
8	0.093	0.118	0.161	0.220
9	0.250	0.275	0.319	0.385
10	0.148	0.160	0.180	0.209
11	0.459	0.450	0.433	0.402
12	0.410	0.396	0.372	0.330
13	0.678	0.673	0.664	0.646
14	0.671	0.665	0.655	0.635

ตารางผนวกที่ ข5 ตัวอย่างค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s ที่ทำการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแต่ละแผ่นพรุนไม่เท่ากัน

แผ่นพรุนที่	ค่า % พื้นที่เปิด	ความเร็วที่ออก จากแผ่นพรุน (m/s)	ค่า % พื้นที่เปิด	ความเร็วที่ออก จากแผ่นพรุน (m/s)
1	10	0.372	10	0.392
2	10	0.429	10	0.446
3	15	0.511	12.5	0.436
4	15	0.530	12.5	0.454
5	25	0.480	20	0.431
6	60	0.653	40	0.585
7	60	0.419	60	0.480
8	80	0.290	90	0.319
9	60	0.576	40	0.508
10	80	0.416	80	0.523
11	17.7	0.526	15	0.483
12	17.7	0.464	15	0.438
13	10	0.415	10	0.433
14	10	0.410	10	0.429

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

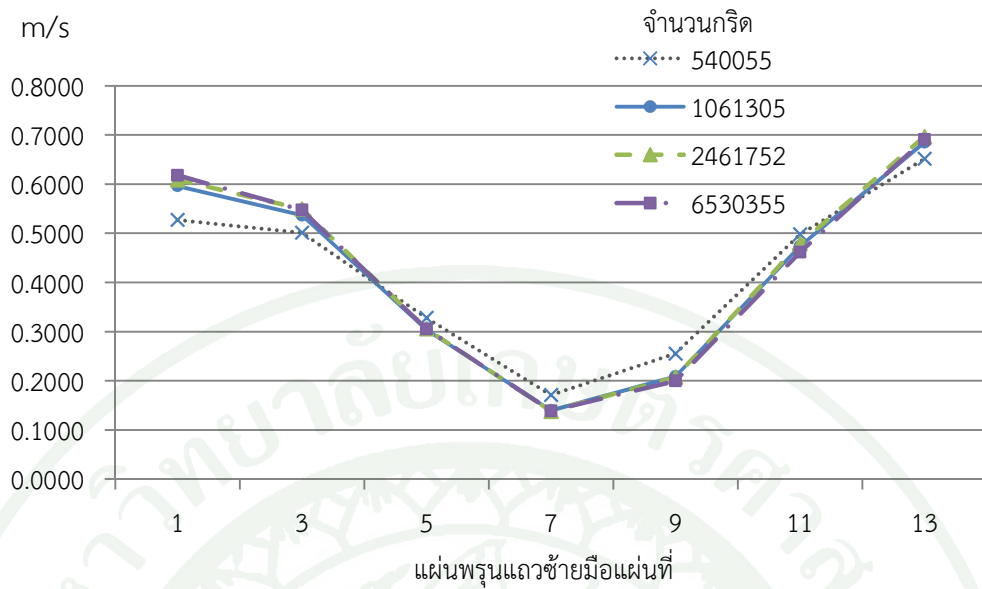
แผ่นพอรุนที่	ค่า % พื้นที่เปิด	ความเร็วที่ออก จากแผ่นพอรุน (m/s)	ค่า % พื้นที่เปิด	ความเร็วที่ออก จากแผ่นพอรุน (m/s)
1	10	0.404	10	0.406
2	10	0.456	10	0.458
3	12.5	0.451	12.5	0.455
4	12.5	0.469	12.5	0.473
5	20	0.454	20	0.465
6	30	0.498	25	0.442
7	50	0.453	50	0.470
8	90	0.327	90	0.311
9	35	0.503	30	0.446
10	70	0.563	55	0.470
11	12.5	0.409	12.5	0.408
12	12.5	0.376	15	0.472
13	10	0.445	10	0.446
14	10	0.443	10	0.443



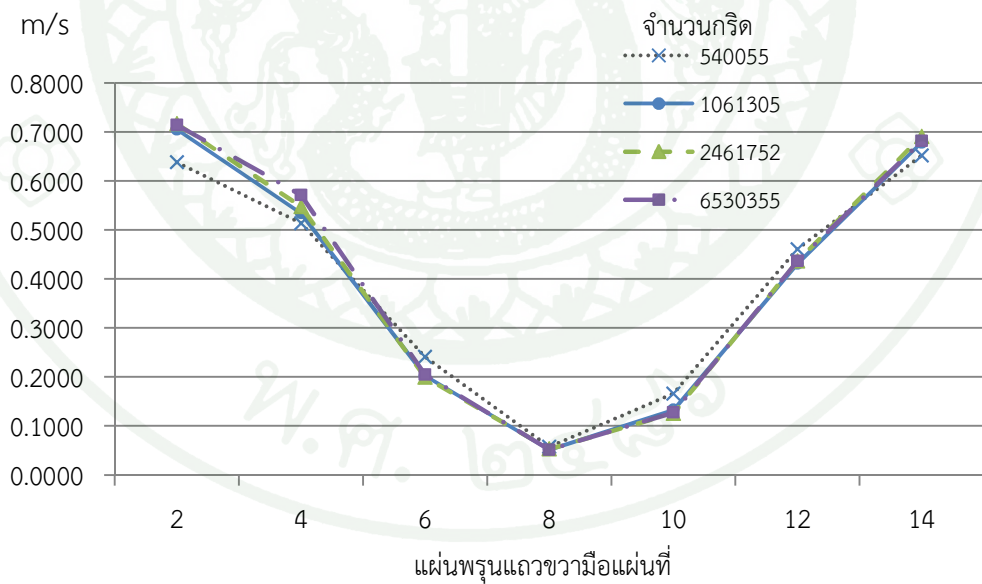
ภาคผนวก ค
ผลการตรวจสอบ Grid Independent ของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD

ตารางผนวกที่ ค1 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุณที่เปอร์เซ็นต์เปิด 17.7 % ที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s ที่ได้ทำการทดสอบเรื่อง Grid Independence จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD

แผ่นพรุณที่	ความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุณ(m/s) ที่จำนวน Grid			
	540055 element	1061305 lement	2461752 element	6530355 element
1	0.5270	0.5961	0.6087	0.6180
2	0.6380	0.7047	0.7163	0.7141
3	0.5010	0.5367	0.5492	0.5473
4	0.5135	0.5339	0.5473	0.5709
5	0.3278	0.3035	0.3058	0.3053
6	0.2409	0.2021	0.1991	0.2043
7	0.1709	0.1398	0.1382	0.1388
8	0.0574	0.0516	0.0528	0.0512
9	0.2553	0.2086	0.2074	0.1996
10	0.1660	0.1324	0.1256	0.1271
11	0.4979	0.4737	0.4788	0.4612
12	0.4605	0.4309	0.4361	0.4362
13	0.6514	0.6849	0.6966	0.6909
14	0.6515	0.6779	0.6904	0.6810



ภาพที่ 1 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์เปิด 17.7 % ที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s แถวซ้ายมือที่ได้ทำการทดสอบเรื่อง Grid Independence จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD



ภาพที่ 2 ค่าความเร็วของอากาศที่ผ่านแผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์เปิด 17.7 % ที่ความเร็วทางเข้า 5.616 m/s แถวขวามือที่ได้ทำการทดสอบเรื่อง Grid Independence จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นาย เมธี ดวงสร้อยทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	8 มีนาคม 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร 4 สังกัด ฝ่ายสถานีสูบน้ำ การประปานครหลวง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถานีสูบน้ำราษฎร์บูรณะ 55/2 พระราม 2 ซอย 31 แขวง บางมด เขต จอมทอง กรุงเทพฯ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ ทุนการศึกษาที่ได้รับ	