



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

A Study of Air Flow under raised floor in a Large Data Center

นามผู้วิจัย นายอาชวี ริยะจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รongศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อัญญา วงษ์โต, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รongศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

A Study of Air Flow under raised floor in a Large Data Center

โดย

นายอาชว์ ริยะจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาษฐ์ รัชะจันทร์ 2554: การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.
115 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยกสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูล (Data Center) ขนาดใหญ่โดยนำโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม, ค่าความดันและการจำลองการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยก โดยในการศึกษาได้ทำการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมและความดันของอากาศเย็นใต้พื้นยกในห้องเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD ด้วย นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอเทคนิคใหม่ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้มีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่น โดยการติดตั้งแผ่นกั้นทึบ (solid partition) ที่พื้นห้อง (sub floor) ให้มีลักษณะเอียงขึ้น โดยการเปรียบเทียบได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมเป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดนั่นหมายความว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม และความดันของอากาศเย็นที่ไหลภายใต้พื้นยก ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD และที่วัดได้จริงมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 14% นอกจากนี้ผลจากการใช้โปรแกรม CFD วิเคราะห์และจำลองลักษณะการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกในห้องเก็บข้อมูลของธนาคารแห่งหนึ่ง พบว่าอากาศเย็นใต้พื้นยกเกิดการไหลวนในบางบริเวณ ทำให้ปริมาณอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมเพื่อที่จะระบายความร้อนให้คอมพิวเตอร์ที่อยู่เหนือพื้นยกมีค่าต่ำ ดังนั้นถ้ามีการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากในบริเวณนั้น จะเกิดจุดร้อน (hot spot) ในบริเวณนั้นทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีและคอมพิวเตอร์อาจเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ผลที่ได้จากการใช้เทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้โดยการติดตั้งแผ่นกั้นทึบที่พื้นห้องให้มีลักษณะเอียงขึ้น สามารถปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้มีค่าใกล้เคียงกันได้มากกว่าแบบปกติถึง 78.9% นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับใช้ในการออกแบบติดตั้งระบบปรับอากาศแบบพื้นยกเพื่อให้ผู้ออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศแบบพื้นยก สามารถนำไปพัฒนาสร้างหรือปรับปรุงให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นได้

Arch Riyachan 2011: A Study of Air Flow under raised floor in a Large Data Center. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chawalit Kittichaikarn, Ph.D. 115 pages.

This research presents a simulation of air flow under raised floor in a large data center. A commercial software in Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to visualize and analyze the distribution of air velocity and pressure. Not only the computational simulation was carried out, the measurements of air flow rate through the perforate plate and pressure were also conducted within the data center. The results obtained from these two approaches were then compared. Moreover, a new technique that can be used to distribute the air flow to achieve a similar air flow rate through each perforate plate was developed. Tilted solid partition was installed on the subfloor to increase the pressure under raised floor. From the result obtained, it was found that the computational results and measured data agreed well with each other. Moreover the simulation of air flow under raised floor showed that there was a recirculation of air in some areas. This results in a lower volume flow rate of the air through the perforate plates. It tends to cause hot spot areas and may result in a break down of computer in the data center due to insufficient cooling. Moreover, in a case when the air flow rate through each perforate plate is very much different from each other, the new technique that has been developed in this research can be used to solve this problem.

By tilting the subfloor underneath the raised floor, the air pressure can be increased and the air flow rates through all perforate plates can be uniformly distributed. The standard deviation of air flow rate through the perforate plates can be improved up to 78.9%. The correlation of all important parameters used in the design of under raised floor air conditioning system was then proposed. The designer can use this correlation as a guide line to achieve the more efficient under raised floor air conditioning system.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต กิตติชัยการ ประธานกรรมการ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาและวางแผนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ พี่ และน้องทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณภูวนาถ สุนตระกูล จากบริษัท DATA CENTER CONSULTANT และ คุณอิสสร่า กรรณิกา จากบริษัท SITEM ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานในการทดลอง สถานที่การทำงานจริงของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง และ ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างของแผ่นพรุณ และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ น้องสาวทั้งสองคน และญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้แนะนำ และให้กำลังใจในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

อาชวี ริยะจันทร์

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์ผล	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดสำหรับแต่ละ partition ต่างๆ ในแต่ละรูปแบบ	30
2 สภาวะเงื่อนไขของบทความงานวิจัยของ Roger <i>et al.</i> (2001)	46
3 สภาวะเงื่อนไขของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของ ธนาคารแห่งหนึ่ง	46
4 รูปแบบการวิจัย Roger <i>et al.</i> (2001) เพื่อที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ	47
5 แสดงการคำนวณความยาว ค่าระยะความสูงของพื้นยก และอัตราส่วน ของระยะความยาว (L) กับความสูงพื้นยก (H)	66
6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ อัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ $L/H = 18.3$	68
7 แสดงค่าตัวแปรไร้มิติของ b และ d	71
8 แสดงค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) มีค่าต่ำที่สุด ของอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก ($L/H = 18.3$)	74
9 แสดงค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วน ของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H) ทุกๆค่าจากตารางที่ 5	75
 ตารางผนวกที่	
1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ $L/H = 20.3$	85
2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ $L/H = 22.36$	88
3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ $L/H = 24.4$	91
4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ $L/H = 26.43$	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
5	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 28.47$	97
6	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 30.5$	100
7	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 32.53$	103
8	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 34.57$	106
9	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 38.63$	109
10	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b , d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ $L/H = 44.73$	112

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการออกแบบพื้นที่ยกแบบปกติกับแบบเอียง (a แบบปกติ, b แบบเอียง)	3
2	แสดงขนาดพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	5
3	(a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดัน และอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยเปิด CRAC ทั้ง A และ B	8
4	(a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดัน และอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยปิด CRAC A และ เปิด CRAC B	11
5	(a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดัน และอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยเปิด CRAC A และ ปิด CRAC B	14
6	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นที่ยก	16
7	แสดงผลของเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ	17
8	แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณหลายๆ พื้นที่เปิด (a) แสดงรูปแบบการวางแผ่นพรุณ (b) แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ	18
9	แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ	19
10	แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง	20
11	แสดงการกระจายตัวของความดันใต้พื้นที่ยก โดยที่ (a) คือ ที่ระยะ $x = 33$ ฟุต และ (b) คือ ที่ระยะ $x = 47$ ฟุต	21
12	แสดงรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน z โดยที่ (a) ใกล้กับพื้นห้อง (Sub floor) และ (b) ใกล้กับพื้นที่ยก (Raised floor)	22
13	รูปแบบการวางของ CRAC, ตำแหน่งแผ่นพรุณ และตำแหน่งเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน	24
15	แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดันในแนวระนาบได้พื้นยก	25
16	แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ความสูงต่างๆ	25
17	แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดัน (หน่วยนิวตัน) โดย (a) ในแนวระนาบได้พื้นยกที่ความสูงของพื้นยกที่ 6 นิ้วและ (b) ที่ความสูงของพื้นยกที่ 12 นิ้ว	26
18	แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านพรุนกับเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดต่างๆ	27
19	แสดงตำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุน	28
20	แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่มีการเปลี่ยนแปลง เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิด	28
21	การใช้ Solid partitions เป็นการนำทางการไหลได้พื้นยก	29
22	แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้มาจากการใช้ Solid partition มานำทางการไหล	29
23	แสดงตำแหน่งการวาง partition	30
24	แสดงการกระจายตัวของความดัน (หน่วยนิวตัน) และเวกเตอร์ความดัน เมื่อนำเทคนิค partition ที่เป็นแผ่นพรุนมากขึ้นที่ซึ่ง (a) รูปแบบ A, (b) รูปแบบ B, (c) รูปแบบ C โดยอ้างอิงมาจกตารางที่ 1	31
25	แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนทั้ง 3 แบบ ที่ซึ่ง (a) รูปแบบ A, (b) รูปแบบ B, (c) รูปแบบ C โดยอ้างอิงมาจก ตารางที่ 1	32
26	แสดงตำแหน่งต่างภายในห้องเก็บข้อมูลแบบพื้นยก	33
27	แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ภายใต้พื้นยก	34
28	แสดงการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่มีขนาด 50% ที่กึ่งกลางห้องในแนวขนาน กับทิศทางการไหล	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
29	แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและผลที่แย่ที่สุดในแนวนาน (a) แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในแนวนานกับทิศทางการไหล (b) แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ตำแหน่งที่แย่ที่สุด (ที่ขนาดสิ่งกีดขวางเท่ากับ 75% ของความสูงของพื้นยกและระยะห่างกึ่งกลางห้อง 3 ฟุต)	35
30	แสดง color code ที่ติดตั้งสิ่งกีดขวางในแนวนานกับทิศทางการไหล	36
31	แสดงการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่มีขนาด 50% ที่กึ่งกลางห้องในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล	36
32	แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและผลที่แย่ที่สุดในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล (a) แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล (b) แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ตำแหน่งที่แย่ที่สุด (ที่ขนาดสิ่งกีดขวางเท่ากับ 75% ของความสูงของพื้นยกและระยะห่างในแนวแกน $x = 12$ ฟุต)	37
33	แสดง color code สำหรับติดตั้งสิ่งกีดขวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล	38
34	แสดง color code สำหรับติดตั้งแบบ random โดยผสมระหว่างในแนวนานและแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล	39
35	แผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25%	40
36	กรวยเพื่อที่จะช่วยวัดความเร็ว	41
37	แสดงรูปแบบการวิเคราะห์การปรับอากาศแบบพื้นยกตามรูปแบบของ Roger et al. (2001)	43
38	แสดงแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์และขอบเขตของพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่เท่ากับขนาดจริงของธนาคารแห่งหนึ่ง	44
39	การกำหนดรูปแบบเงื่อนไขขอบเขต	45
40	แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนตามระยะห่างจาก CRAC ตามแนวนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	แสดงรูปแบบที่จะในการปรับปรุงที่เป็นแบบพื้นห้องเอียง	49
42	แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในการปรับปรุงแบบพื้นห้องเอียง	50
43	แผนผังขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศโดยใช้วิธีแบบพื้นห้องเอียง	51
44	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 1	53
45	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 2	53
46	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3	54
47	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4	54
48	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 1	55
49	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ ปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 2	55
50	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3	56
51	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4	56
52	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และเปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 1	57
53	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และเปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 2	57
54	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และเปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
55	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และเปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4	58
56	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์กับค่าที่ได้จากห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง	59
57	แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ของการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยกสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื้นยกภายใต้ห้องเก็บข้อมูล (Data Center) ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง โดย (a) คือ ภาพตัดในแนวระนาบแกน y ($y = 0.2 \text{ m}$) (b) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 20 \text{ m}$), (c) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 30 \text{ m}$) และ (d) คือ ภาพตัดในแนวแกน z ($z = 7 \text{ m}$)	61
58	แสดงความดัน (pa) ของการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยกสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื้นยกภายใต้ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง (a) คือ ภาพตัดในแนวระนาบแกน y ($y = 0.2 \text{ m}$), (b) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 20 \text{ m}$), (c) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 30 \text{ m}$) และ (d) คือ ภาพตัดในแนวแกน z ($z = 7 \text{ m}$)	63
59	แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ในแต่ละแผ่นในแต่ละโซน	64
60	แสดงการเปลี่ยนแปลงจากพื้นห้องปกติให้เป็นแบบพื้นห้องเอียง	65
61	แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในการปรับปรุงพื้นห้องเอียง	65
62	แกนแสดงความสัมพันธ์ของค่า B, D และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD)	73
63	แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย B ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตารางที่ 9 (แสดงในจุดสีม่วง) กับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (แสดงในเส้นกราฟสีแดง) ที่ทุกๆ ค่าของค่า L/H	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- | | | |
|----|--|----|
| 64 | แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย D ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตารางที่ 9 (แสดงในจุดสีเขียว) กับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (แสดงในเส้นกราฟสีแดง) ที่ทุกๆ ค่าของค่า L/H | 76 |
| 65 | แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของ B และ D จากสมการที่ 8 และ 9 (แสดงในเส้นกราฟสีน้ำเงิน) กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) ที่ต่ำที่สุดจากตารางที่ 9 (แสดงในเส้นกราฟสีแดง) | 78 |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	ระยะความสูงจากพื้นห้องด้านบนถึงเพดาน
b	=	ระยะความยาวของพื้นห้องด้านบน
c	=	ระยะห่างจาก CRAC จนถึงแผ่นพรมแผ่นแรก
d	=	ระยะความยาวของพื้นห้องด้านล่าง
f	=	เป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปิดของแผ่นพรม
H	=	ระยะความสูงของเพดาน
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรม
k	=	พลังงานจลน์ความปั่นป่วน
L	=	ระยะความยาวของห้องในแนวทิศทางการไหล
ΔP	=	ความดันตกคร่อม

Greek symbols

ε	=	การกระจายพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของอากาศ

คำย่อ

CFD	=	Computational Fluid Dynamics
CRAC	=	Computer Room Air Conditioning
STD	=	Standard deviation

การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

A Study of Air Flow under raised floor in a Large Data Center

คำนำ

ในปัจจุบันผู้คนทั่วโลกกำลังวิตกกังวลเป็นอย่างมากเกี่ยวกับวิกฤตการณ์ปัญหาโลกร้อน จึงทำให้เกิดการรณรงค์การใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด การออกแบบเกี่ยวกับการใช้พลังงานต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นจุดเริ่มต้นในการช่วยประหยัดพลังงานที่มีอยู่ ถ้ามีการออกแบบระบบที่ดีมีประสิทธิภาพ ปัญหาการใช้พลังงานโดยสิ้นเปลืองก็จะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุด

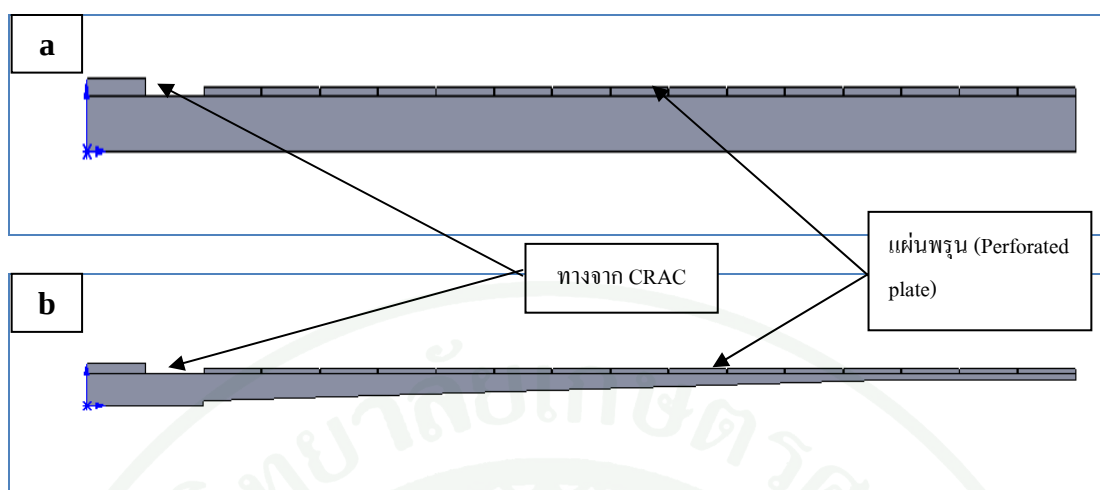
จากการค้นหาข้อมูลพบว่า ประเทศไทยมีการสร้างห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่าห้อง Data Center จำนวนมาก ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ จะเป็นศูนย์ข้อมูลที่ประกอบด้วยระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปศูนย์ข้อมูลจะควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเป็นอย่างดี เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การไหลเวียนอากาศ การป้องกันการเกิดอัคคีภัย การสำรองไฟฟ้า การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และการรักษาความปลอดภัย วัตถุประสงค์หรือหน้าที่หลักของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ คือ จัดการรักษา ประมวลผล และให้บริการข้อมูลที่สำคัญต่อการดำเนินการ ตัวอย่างเช่น ธนาคารจะมีห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อรักษาข้อมูลลูกค้าและรายการธุรกรรม (Transaction) ในต่างประเทศ ตามเมืองหลักๆ ก็จะมีห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ตั้งอยู่ทุกๆ ปลอดภัยและใกล้แหล่งบริการสื่อสาร เพื่อให้บริการรับฝาก Server (Co-location services) เนื่องจากข้อมูลในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์มีความสำคัญต่อการดำเนินการขององค์กร ดังนั้น อุปกรณ์ เทคโนโลยีและความชำนาญการต่างๆ จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างด้วยมาตรฐานสูงสุดเท่าที่จะสามารถทำได้

ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่กล่าวถึงนี้อาจจะมีขนาด 1 ห้อง, 1 ชั้น หรือทั้งอาคาร อุปกรณ์ภายในมักบรรจุอยู่ในตู้เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ขนาด 19 นิ้วซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่สะดวกต่อผู้ดูแลระบบโดยสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งในตู้ดังกล่าวได้จากทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์จึงต้องมี ระบบควบคุมอากาศ (Computer Room Air Conditioning, CRAC) เพื่อให้อากาศมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

โดยจะเป็นระบบแบบพื้นยก (Raised Floor) คือ ยกพื้นห้องให้สูงกว่าพื้นจริง เพื่อหมุนเวียนอากาศ และวางสายไฟ พื้นยกเหล่านี้จะมีบางแผ่นที่มีช่องเปิดที่เรียกว่าแผ่นพรุน (Perforated plate) เพื่อระบายลมเย็นออกจากพื้นมายังอุปกรณ์เก็บข้อมูลและคอมพิวเตอร์ ซึ่งหากเครื่องคอมพิวเตอร์ ภายในศูนย์ข้อมูลเหล่านี้ มีอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เกิดการขัดข้อง ส่งผลให้องค์กรไม่สามารถ ดึงข้อมูลลูกค้า หรือทำธุรกรรมใดๆ ได้ ผลที่ตามมา คือ ความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างร้ายแรง

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นยกเพื่อที่จะให้สามารถ ประหยัดพลังงาน ได้สูงสุดได้นั้น เกิดมาจากขาดองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับ ความสูงของพื้นยก ขนาด เพลอร์เซนต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนที่ รวมถึงไม่ทราบลักษณะการกระจายตัวของอากาศภายใต้พื้นยก และอากาศที่ไหลภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุทำให้จำเป็นต้อง ออกแบบระบบปรับอากาศ โดยทำการเพื่อไหลลดความเย็นให้มากไว่ก่อน ทำให้ไม่สามารถประหยัด พลังงานได้ตามต้องการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาจำลองลักษณะการไหลของอากาศเย็นภายใต้ พื้นยกเพื่อช่วยในการศึกษาวิเคราะห์และประมวลผล ผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบรูปแบบการไหล และการกระจายตัวของอากาศใต้พื้นยก เพื่อนำมาปรับปรุงวิธีการซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการลองผิด ลองถูก ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย สำหรับการวิเคราะห์นี้จะใช้การวิเคราะห์ โดยทำ การวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะนำไปสู่องค์ความรู้ที่จะใช้ในการพิจารณาการออกแบบ โดยเทคนิค ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบเพื่อปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่น พรุนให้ค่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่น โดยวิธีการออกแบบเพื่อปรับปรุงจะปรับปรุงบริเวณใต้พื้นยก ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ จากแบบปกติมาเป็นแบบที่มีลักษณะเอียงตามภาพที่ 1(a) และ 1(b) ผลจากการเปลี่ยนเป็นแบบพื้นเอียงสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุนให้มีค่าใกล้เคียงกันได้ทุกแผ่นมากขึ้น ซึ่งจากองค์ความรู้นี้จะประโยชน์สำหรับ การออกแบบห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่เป็นลักษณะเป็นพื้นยก เพราะการที่ทำให้อัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนมีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้สามารถระบายความร้อนได้ทั่วถึง ทั้งห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้ง่ายโดยไม่มี ปัญหาเกี่ยวกับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ไม่เท่ากัน และจะส่งผลทำให้ การออกแบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



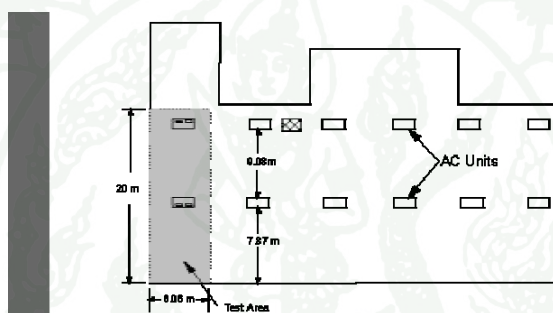
ภาพที่ 1 แสดงการออกแบบแผ่นขกแบบปกติกับแบบเอียง (a แบบปกติ, b แบบเอียง)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อที่จะทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับการไหลของอากาศภายใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ โดยการใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics หรือ CFD) ให้มีค่าต่างๆ ทางกายภาพใกล้เคียงกับการทำงานจริง
2. เพื่อที่จะสามารถศึกษาและคาดคะเนการกระจายตัวของความดันและความเร็วของอากาศภายใต้พื้นยก อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ และสามารถที่จะวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม
3. เพื่อหาวิธีการที่จะทำการปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้ได้ค่าใกล้เคียงกันทั่วทุกแผ่นภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

การตรวจเอกสาร

Roger *et al.* (2001) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยก โดยได้ทำการแบ่งห้องเก็บข้อมูลขนาดจริงให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายในการสร้างแบบวิเคราะห์ แล้วมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับขนาดพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีขนาดเท่ากับ 20 m x 8.06 m x 0.286 m อากาศเย็นไหลออกจากเครื่องปรับอากาศ CRAC จำนวน 2 เครื่องดังแสดงในภาพที่ 2 โดยไม่มีสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นยกและแผ่นพรมมีขนาด 606 mm x 606 mm และเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25%



ภาพที่ 2 แสดงขนาดพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ที่มา: Roger *et al.* (2001)

สำหรับวิธีการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมผู้วิจัยได้ใช้ Alnor Velometric measurement tool โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1

ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันที่ตกคร่อม (ΔP) กับความเร็วจริงที่ไหลผ่านแผ่นพรม (V_{act}) โดยมีค่า K_{tile} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรม ความสัมพันธ์นี้ผู้วิจัยได้มาจากการทดลองในอุโมงค์ลม โดยที่ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ

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

Roger *et al.* (2001) ยังได้นำเสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตกคร่อม (ΔP) กับความเร็วที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด (Anor Velometric measurement tool ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดการไหล) ซึ่งความเร็วที่วัดได้นี้ ($V_{measured}$) เป็นค่าความเร็วของอากาศที่วัดได้อันเป็นผลมาจาก ผลรวมของความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุน กับค่าความต้านทานการไหลของอากาศผ่านเครื่องมือวัด ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * (K_{tile} + K_{instrument}) * V_{measured}^2 \quad (2)$$

จากการทดลองทั้งสองรูปแบบพบว่า ค่าความดันตกคร่อมมีค่าเท่ากัน ผู้วิจัยได้นำเสนอสมการการคำนวณหาความเร็วที่ออกจากแผ่นพรุนจริง V_{act} ได้ดังสมการที่ 3

$$V_{act} = \left(\frac{K_{tile} + K_{instrument}}{K_{tile}} \right)^{1/2} V_{measured} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ ความดันตกที่ตกคร่อมแผ่นพรุนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\Delta P = \left(\frac{1}{2} \right) * \rho * K_{tile} * V_{act}^2 \quad (4)$$

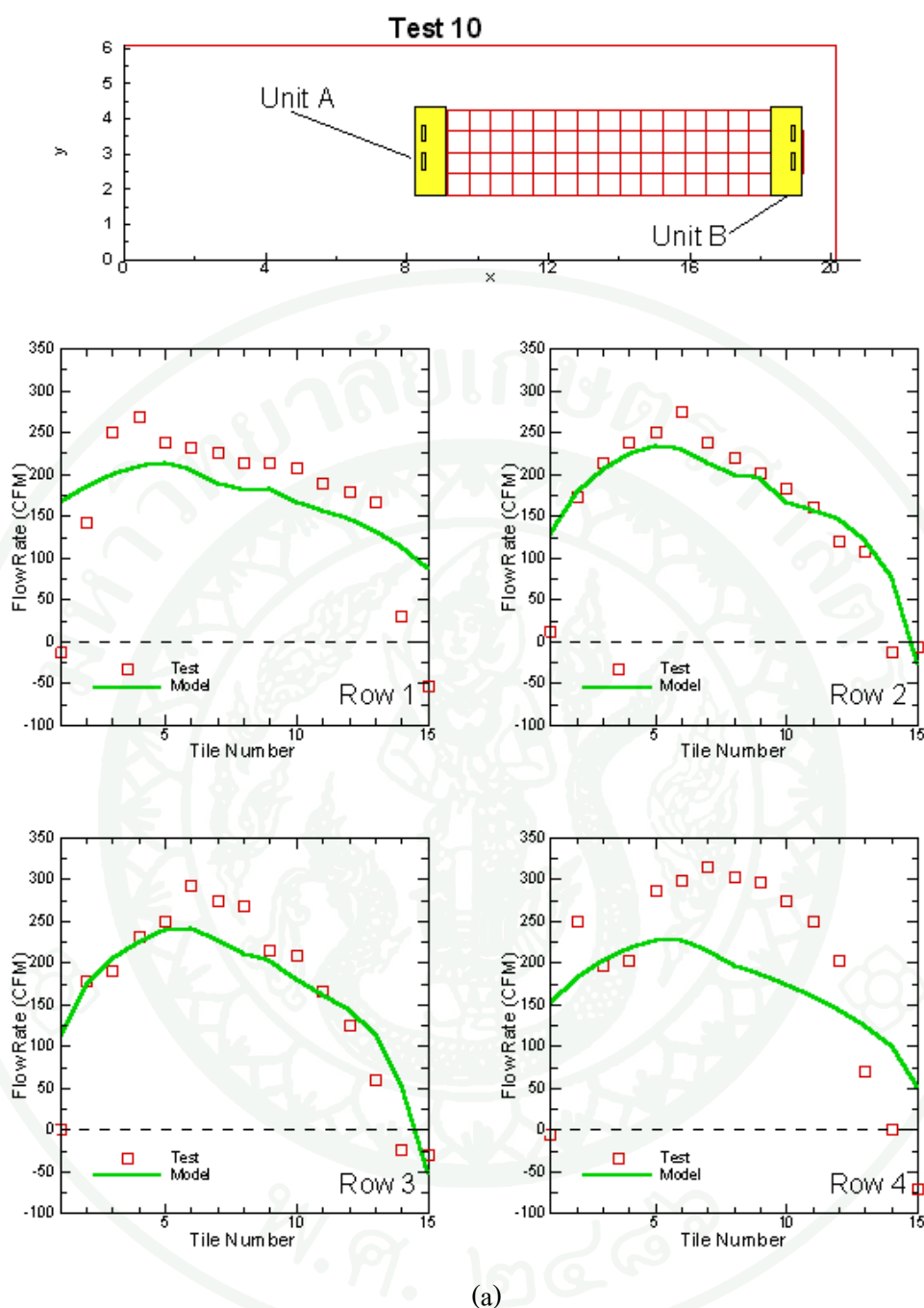
Idelchik (1994) ได้นำเสนอสมการความสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุน (K_{tile}) ดังแสดงในสมการที่ 5

$$K_{tile} = \frac{1}{f^2} (1 + 0.5(1 - f)^{0.75}) + 1.414(1 - f)^{0.375} \quad (5)$$

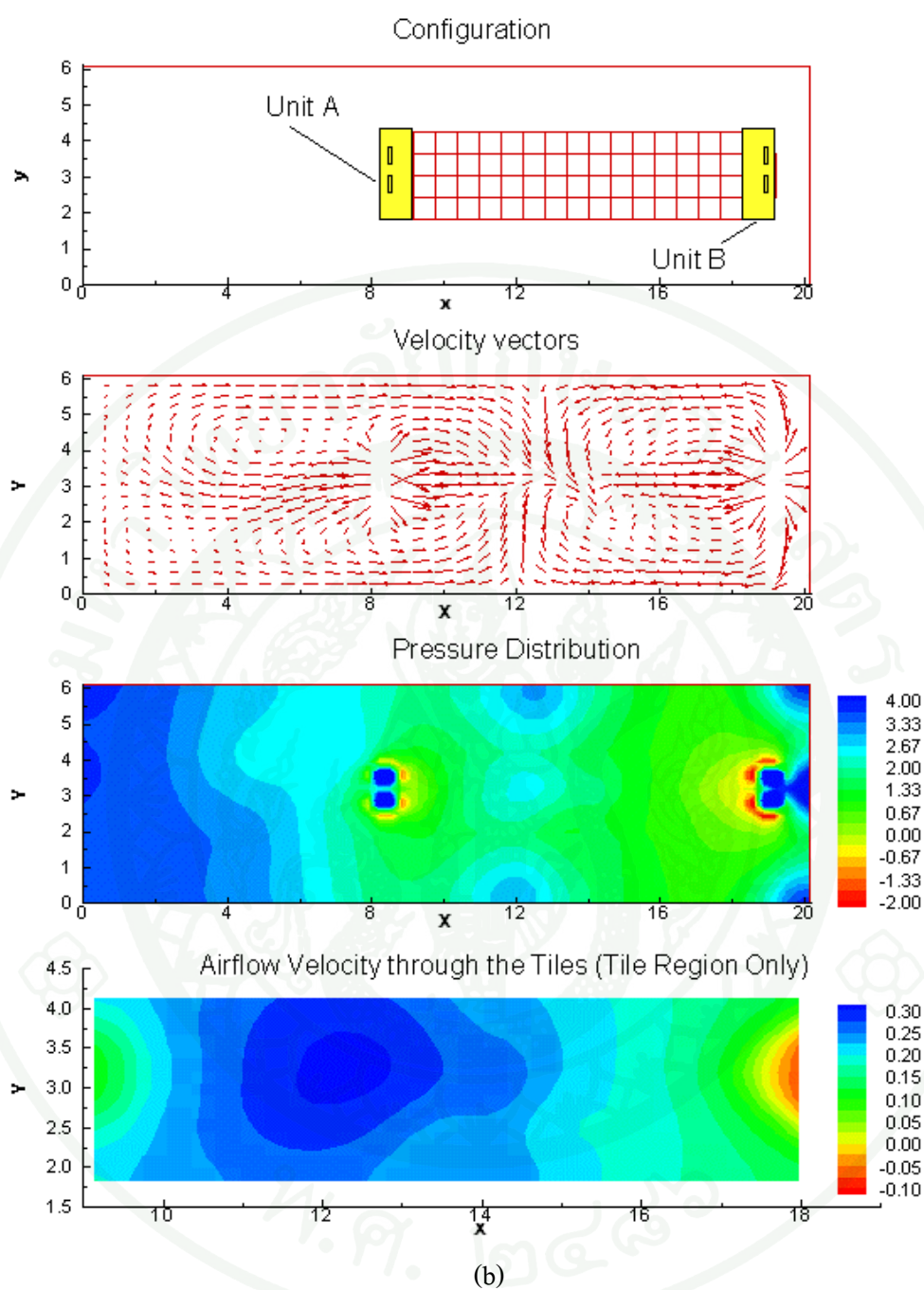
คือ ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปิดของแผ่นพรุน (f)

ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงและจากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 3 (a) แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวัดค่ากับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ โดยเปิด CRAC ทั้ง A และ B โดยสรุปว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และในภาพที่ 3 (b) นี้ยังได้แสดงถึงทิศทางของความเร็วได้พื้นยก การกระจายตัวของความดันได้พื้นยก และความเร็วที่ไหลผ่านแผ่นพรุน จากรูปทิศทางการไหลแสดงให้เห็นว่าการไหลออกเป็น 2 ทิศทาง โดยทิศทางที่ 1 จะไหลไปในทิศทางหา CRAC B และอีกทิศทางจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม โดยไหลไปปะทะกับผนังที่ $x = 0$ แล้วไหลย้อนกลับ 180 องศา ภาพที่ 3 (b) ยังแสดงการกระจายตัวของความดันของอากาศโดยพบว่าเกิดจุดหยุดนิ่ง (stagnation point) ในบริเวณใกล้กับผนังทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีความดันสูง ส่วนความเร็วในแนวแกน x จะมีค่าสูงบริเวณใกล้กับ CRAC B ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการไหลย้อนกลับและความเร็วที่ไหลผ่านแผ่นพรุนจะมีค่าสูงในบริเวณที่ใกล้กับ CRAC A ซึ่งเกิดจากการไหลมาชนกันของอากาศเย็นในทิศทางตรงกันข้าม

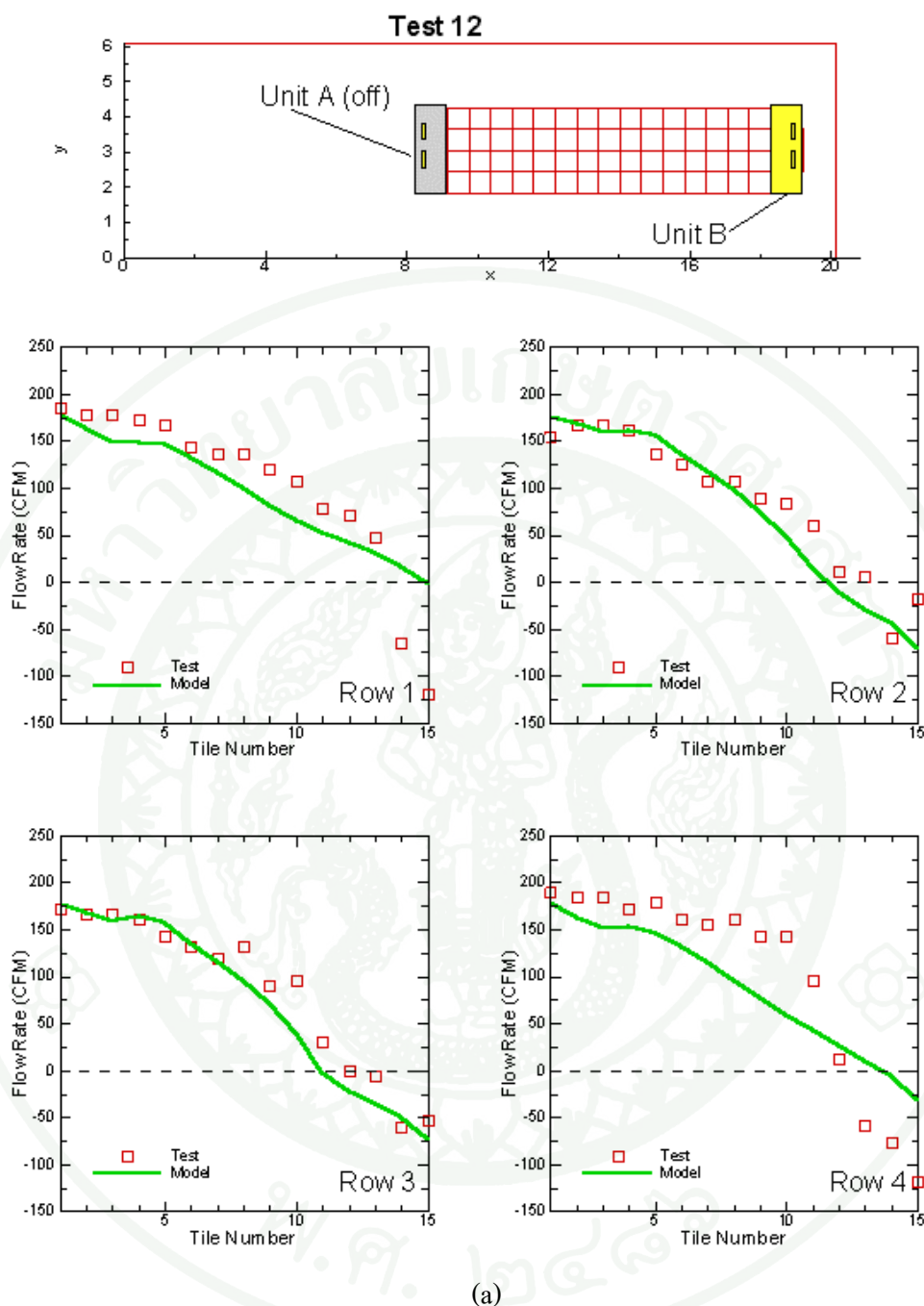


ภาพที่ 3 (a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดันและอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม โดยเปิด CRAC ทั้ง A และ B

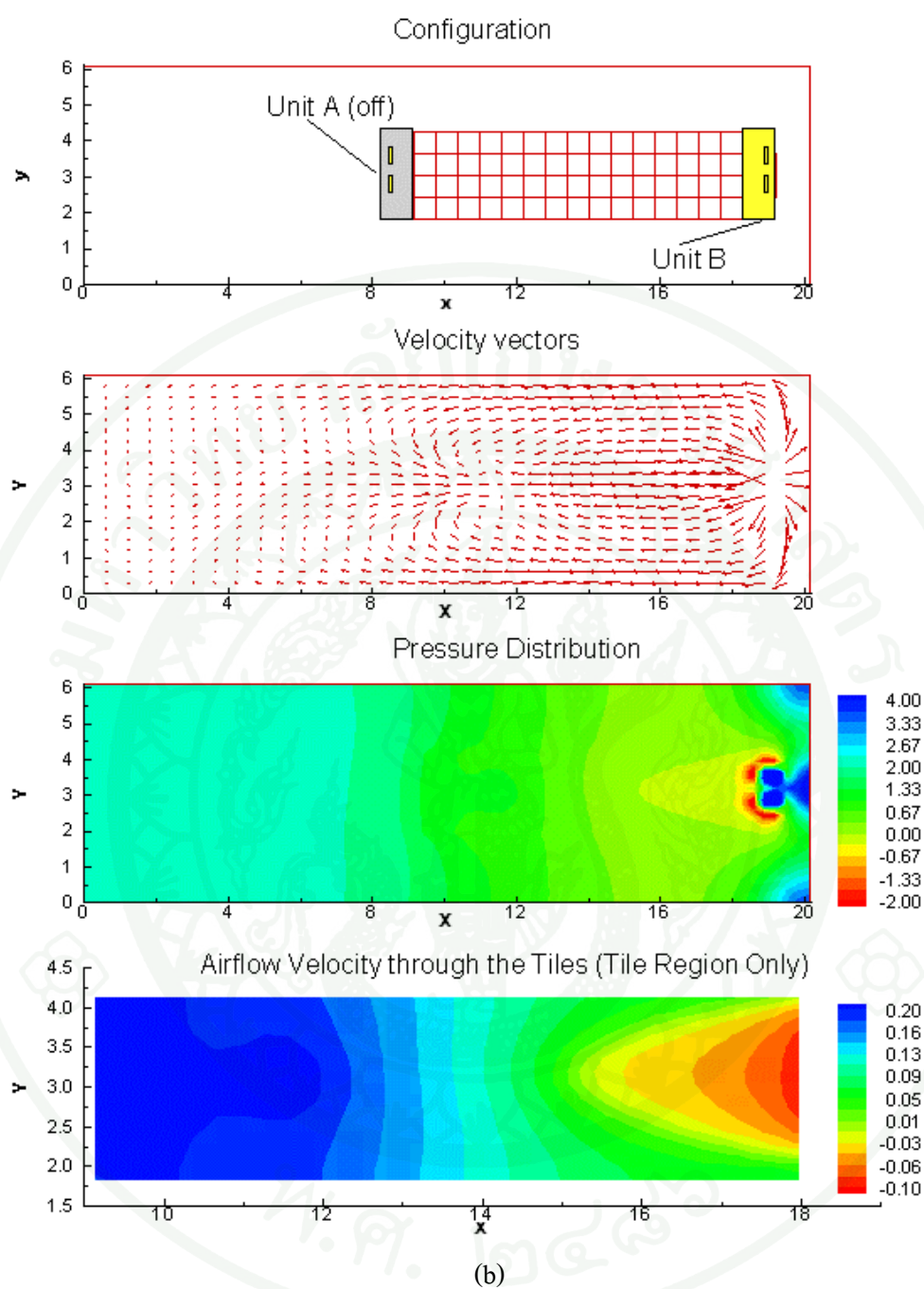


ภาพที่ 3 (ต่อ)

ภาพที่ 4 (a) แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยเปิด CRAC B และทำการปิด CRAC A จากการเปรียบเทียบพบว่า มีค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณใกล้เคียงกัน และภาพที่ 4 (b) ยังแสดงการกระจายตัวของความดัน ซึ่งมีค่าความดันที่ต่ำในบริเวณใกล้กับ CRAC B จึงทำให้เกิดการไหลย้อนกลับที่บริเวณนี้แล้วค่าความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างในแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณมีค่ามากที่บริเวณที่ใกล้กับ CRAC A เนื่องจากเป็นบริเวณที่อากาศเย็นไหลย้อนกลับมาชนกับอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC B และเป็นบริเวณที่อยู่ห่างจาก CRAC B มากที่สุดของบริเวณที่มีแผ่นพรุณ จึงทำให้ในบริเวณนี้มีค่าความดันที่สูงที่สุดในบริเวณที่มีแผ่นพรุณ

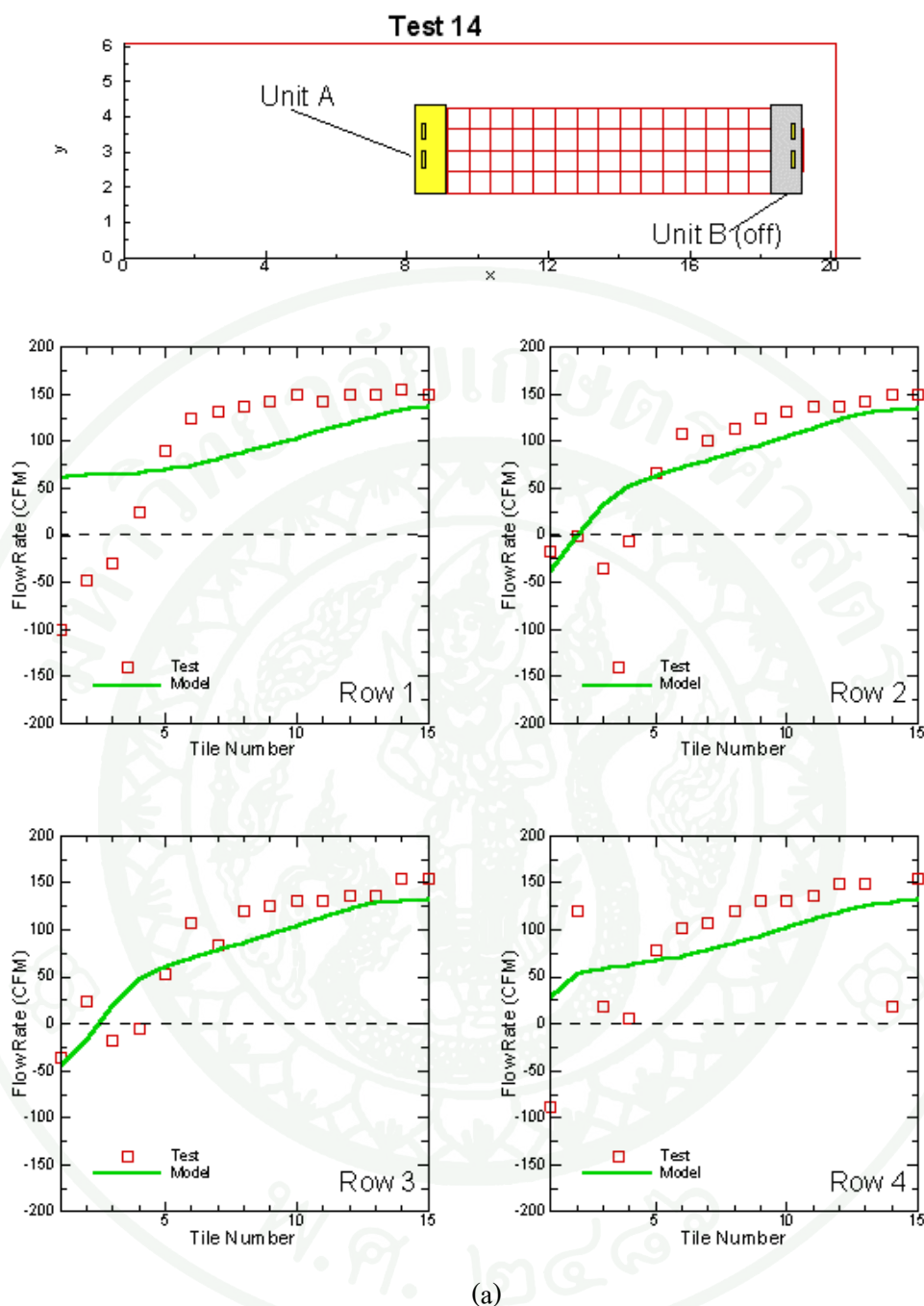


ภาพที่ 4 (a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดัน และอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยปิด CRAC A และเปิด CRAC B

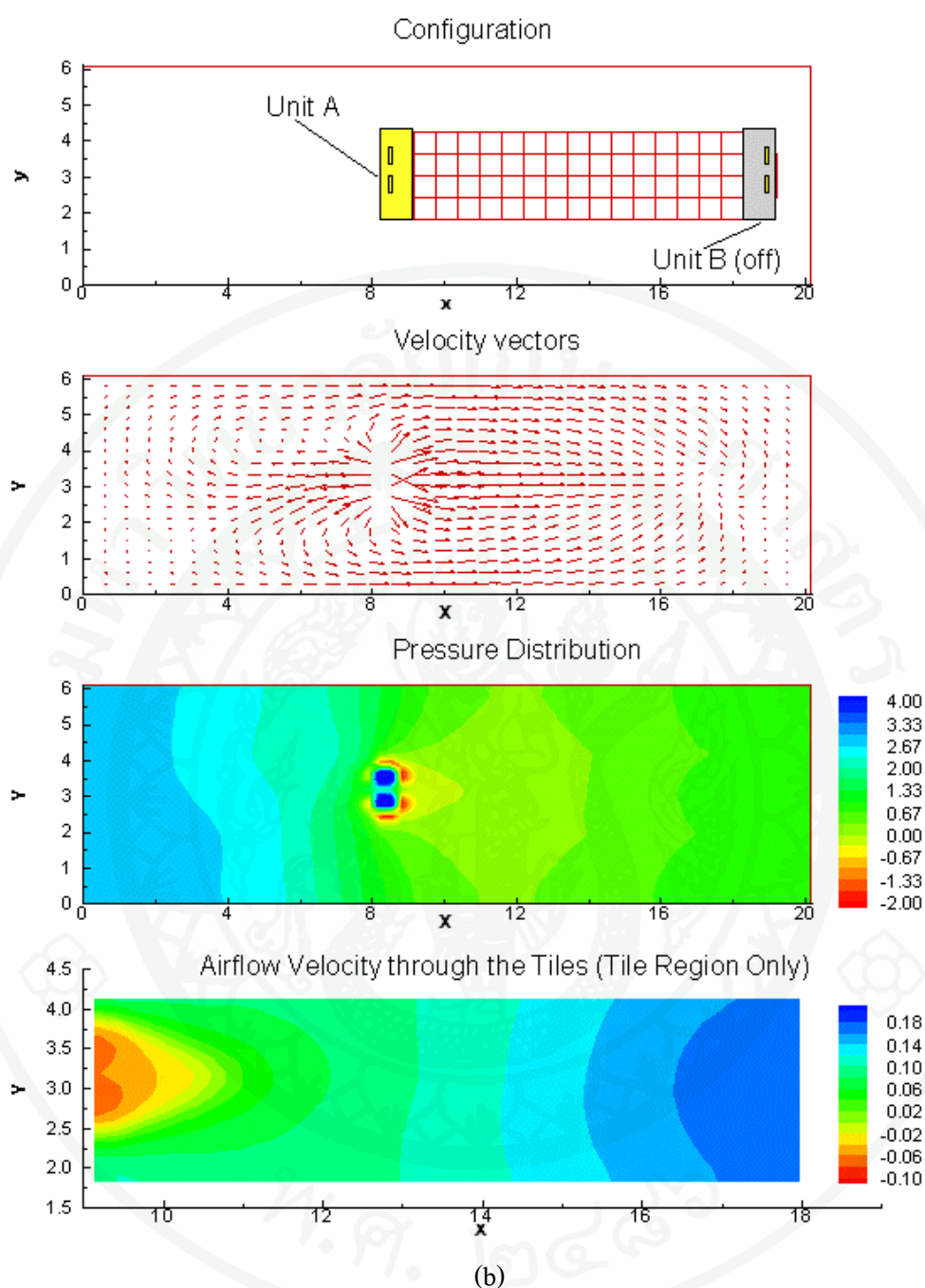


ภาพที่ 4 (ต่อ)

ภาพที่ 5 (a) แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์โดยเปิด CRAC A และทำการปิด CRAC B จากการเปรียบเทียบพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน และจากภาพที่ 5 (b) ในภาพเวกเตอร์ความเร็ว พบว่า ทิศทางการไหลได้แยกออกเป็นสองทิศทางในทิศทางตรงกันข้ามกัน และค่าความดันจะมีค่าน้อยแล้วจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจาก CRAC A ในแนวแกน x ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนมีค่าต่ำที่บริเวณแผ่นพรุนที่อยู่ใกล้กับ CRAC A มีค่าน้อยแล้วจะมีค่าที่สูงในบริเวณแผ่นพรุนที่อยู่ใกล้กับ CRAC B



ภาพที่ 5 (a) แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD และ (b) แสดงภาพ contour ของความดัน และอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยเปิด CRAC A และปิด CRAC B



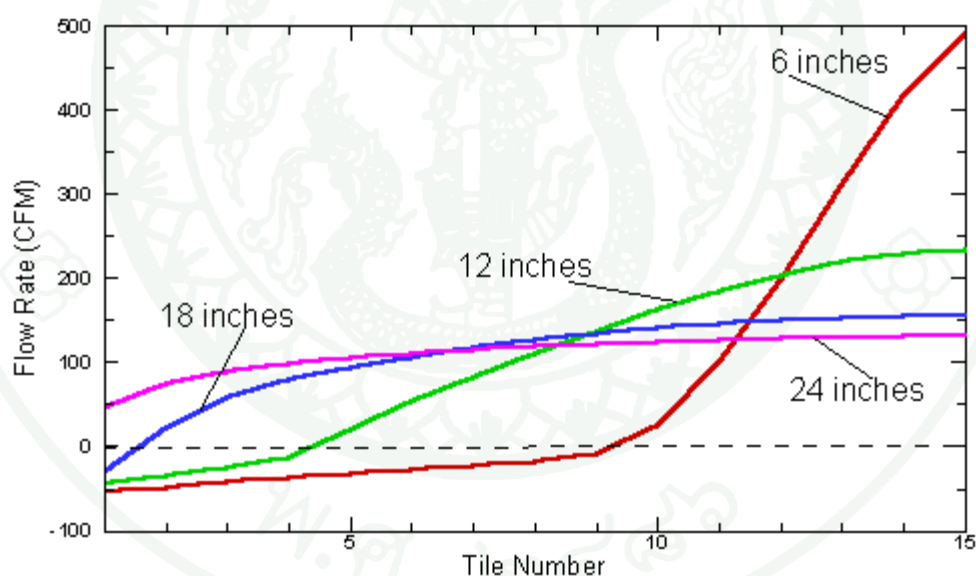
ภาพที่ 5 (ต่อ)

จากการเปรียบเทียบทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม จะขึ้นอยู่กับค่าความดันใต้พื้นยก ถ้าค่าความดันใต้พื้นยกมีค่าสูงจะส่งผลทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าสูงตามไปด้วย

การศึกษาตัวแปรที่สำคัญสำหรับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม

สำหรับตัวแปรที่สำคัญสำหรับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมในงานวิจัยนี้ คือ ความสูงพื้นยก เฟอร์เซนต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม และการเปลี่ยนแปลงเฟอร์เซนต์พื้นที่เปิด โดยใช้แบบการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้มาจากการทดสอบที่ทำการเปิด CRAC A และทำการปิด CRAC B เนื่องมาจากการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดในทุก 3 การทดสอบที่ผ่านมา

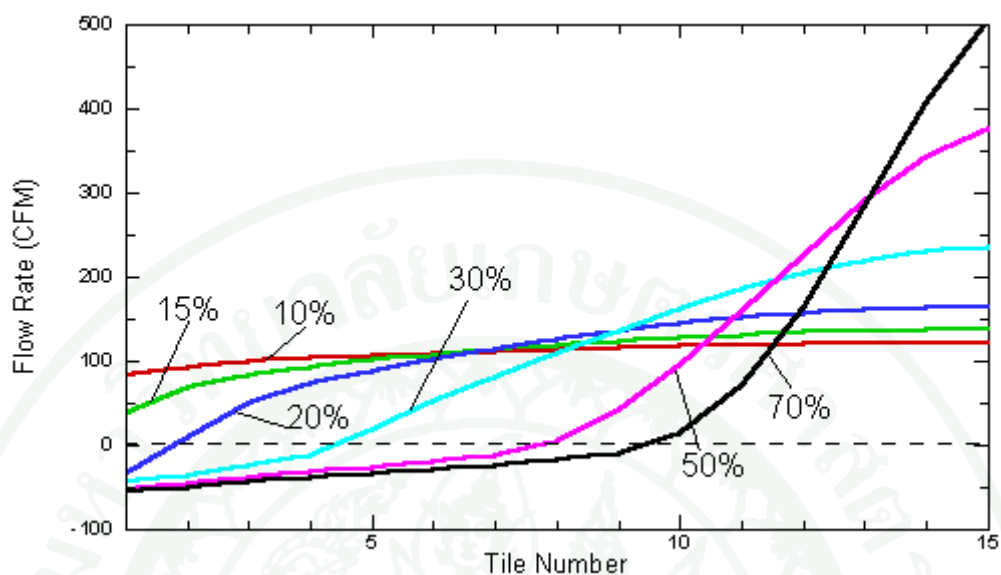
การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นยกที่มีผลต่ออัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรมได้แสดงในภาพที่ 6 โดยพื้นยกที่มีความสูงมากจะทำให้เกิดการกระจายตัวของความดันที่ทำให้ความดันมีค่าใกล้เคียงกันส่งผลให้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 6 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นยก

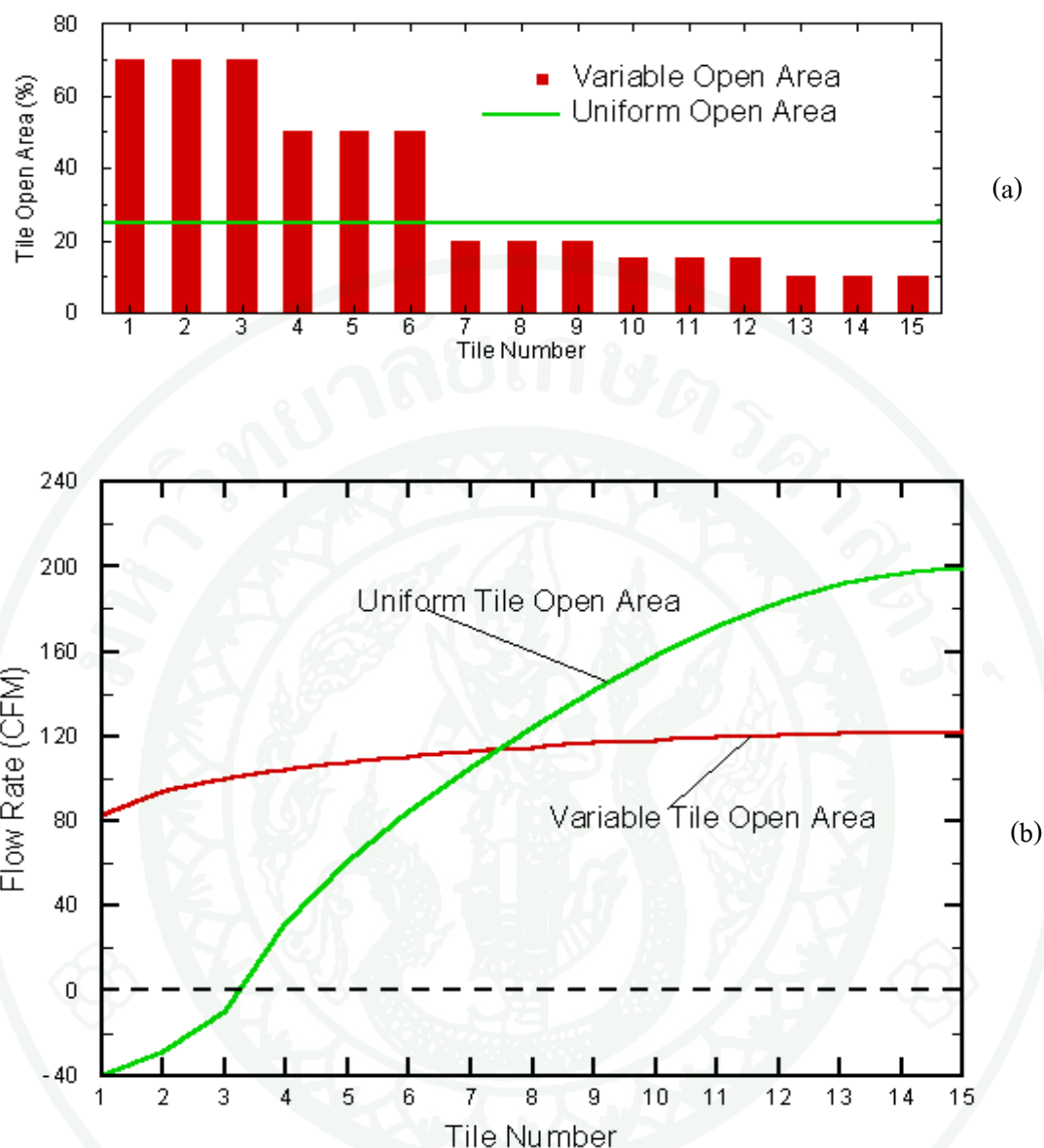
ผลของเฟอร์เซนต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรมดังแสดงในที่ 7 โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าเฟอร์เซนต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรมที่ค่าต่างๆ แต่ให้มีค่าเท่ากันทุกแผ่น พบว่า ค่าเฟอร์เซนต์พื้นที่เปิดที่มีค่าน้อยๆ จะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านพรมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การลดพื้นที่เปิดจะส่งผลทำให้เกิด

ความดันสูญเสีย (Pressure loss) เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 7 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม

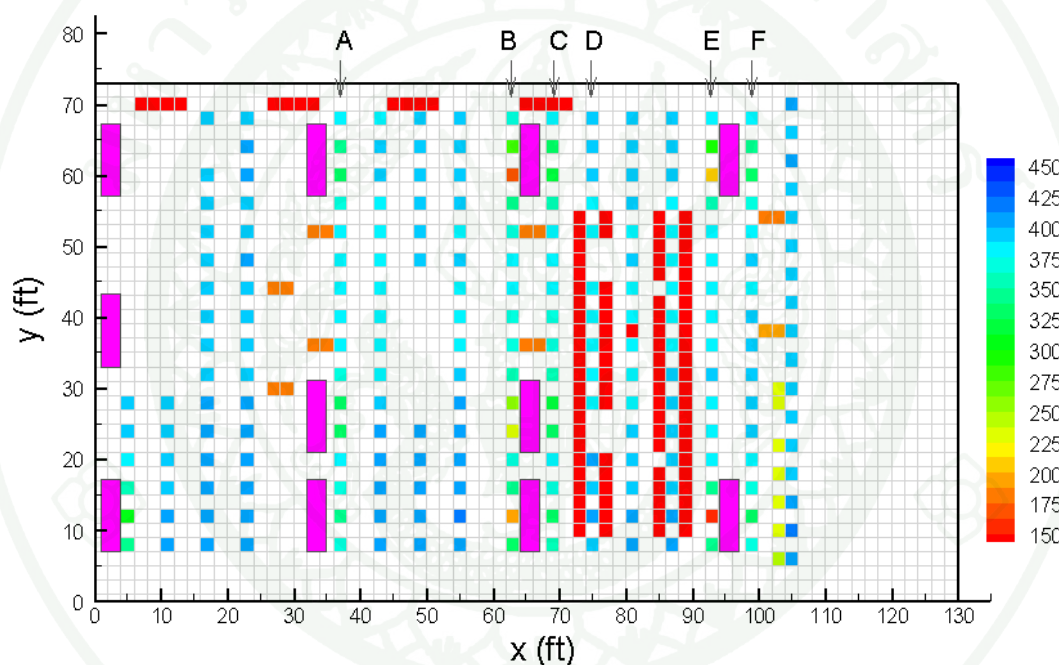
การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรมดังแสดงดังภาพที่ 8 (a) พบว่าเป็นอีกวิธีที่จะช่วยให้เกิดการกระจายตัวของความดันให้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดตามรูปแบบในภาพที่ 8 (a) พบว่า ทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าแบบที่ใช้เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดแบบเท่ากันทุกแผ่นดังแสดงในภาพที่ 8 (b)



ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรมหลายๆ พื้นที่เปิด (a) แสดงรูปแบบการวางแผ่นพรม (b) แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม

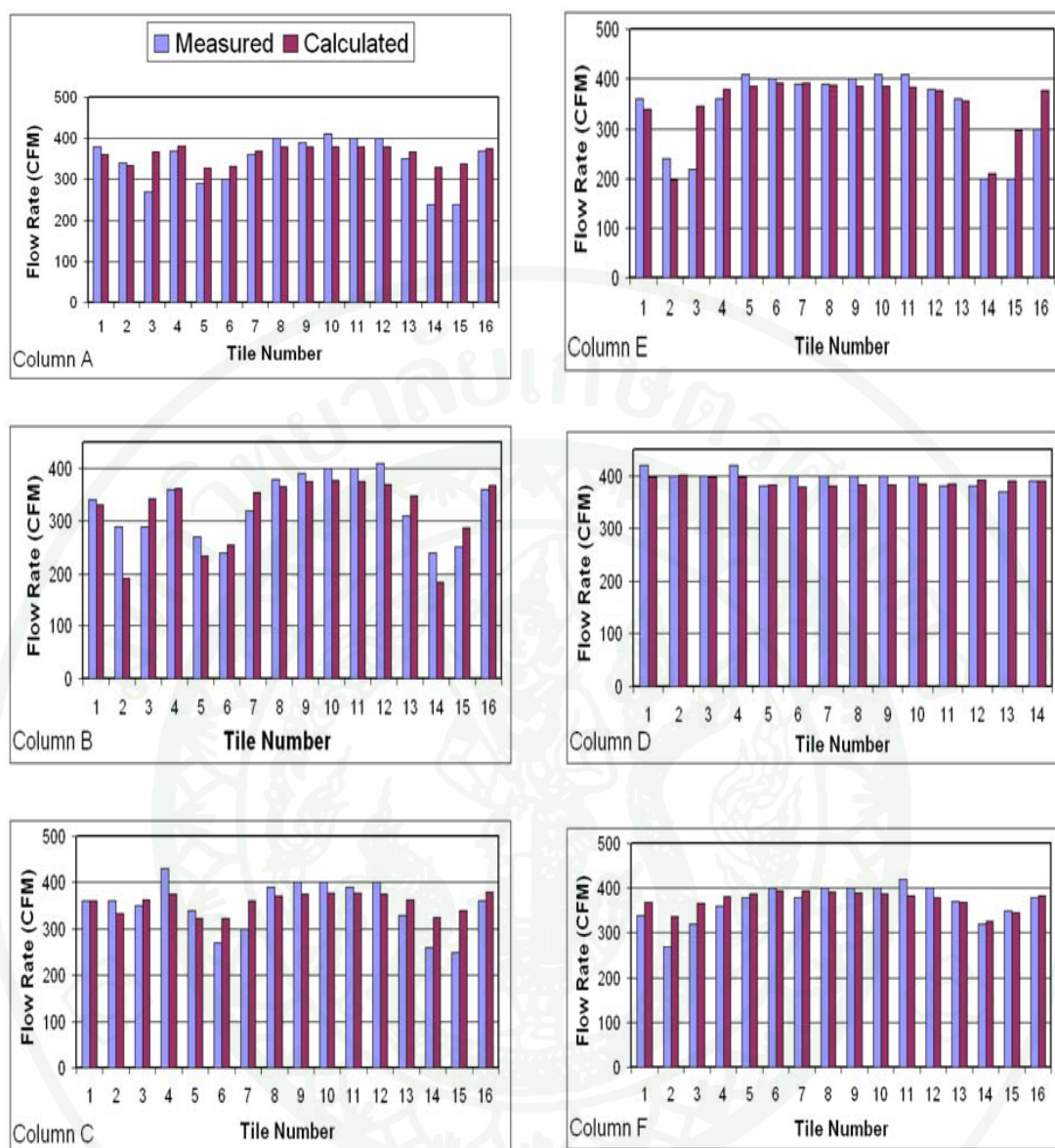
จากงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) สามารถสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมจริงได้ จึงทำให้สามารถนำแบบวิเคราะห์นี้มาทำนายการไหลของอากาศได้พื้นที่ยกได้ และงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาดัชนีต่างๆ ทั้งความสูงของพื้นที่ยก เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม และการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม เพื่อที่จะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกัน

Kailash *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อที่จะนำมาคำนวณอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนในห้องที่มีลักษณะเป็นพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ ในการศึกษาได้สร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายใต้พื้นยกและใช้คำนวณการไหลแบบไม่อัดตัว (Incompressible flow) ควบคุมไปกับการใช้แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ (Turbulence model) มีการสร้างแบบจำลองใต้พื้นยกที่มีขนาดเท่ากับ 39.6 m x 22.3 m x 0.76 m แผ่นพรุนที่ใช้ศึกษามีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% มีจำนวน CRAC ทั้งหมด 11 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องส่งลมเย็นด้วยอัตราการไหล 12,400 cfm และไม่มีสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นยก ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน

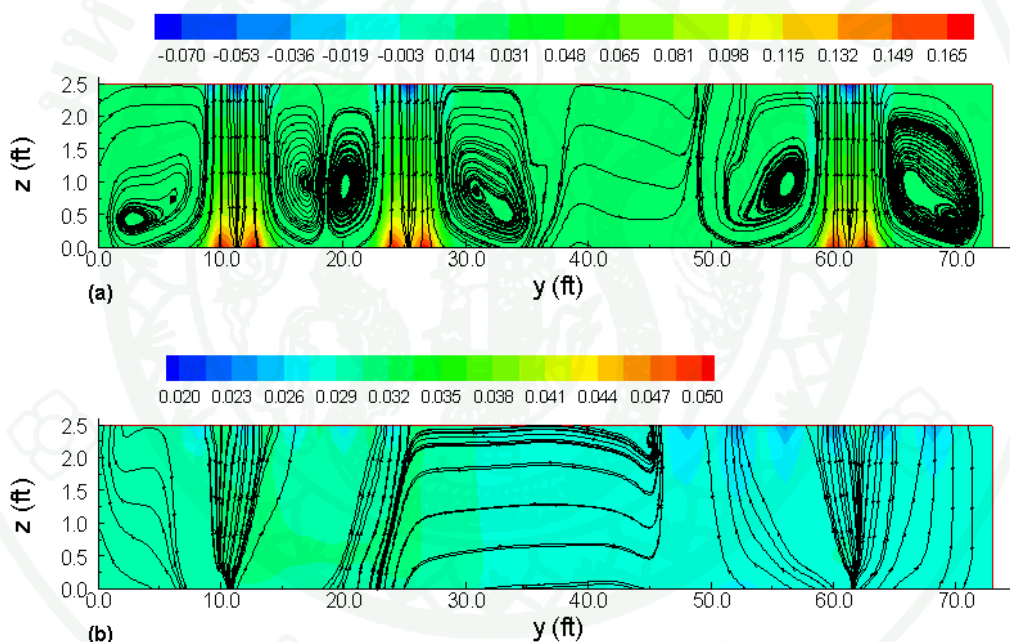
ผลที่ได้จากภาพที่ 9 แถวที่ A, B, C, D, E จนถึง F ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ใช้วัดจริง ดังแสดงในภาพที่ 10 พบว่า อัตราการไหลที่ได้จากการวัดจริงและที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากการเปรียบเทียบของ Kailash *et al.* (2003) พบว่า การวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์สามารถทำนายผลที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำ จึงนำแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้มาทำการทำนายการไหลของอากาศใต้พื้นยก



ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

ภาพที่ 11 (a) เป็นภาพตัดในแนวระนาบที่ $x = 33$ ฟุต โดยที่ระยะ x แสดงอยู่ในภาพที่ 9 ได้ตัดผ่าน CRAC ทั้งหมด 3 เครื่อง ความดันมีค่าน้อยบริเวณใกล้กับที่ทางออกของ CRAC ทั้ง 3 เครื่อง เนื่องจากในบริเวณนี้มีความเร็วสูง แล้วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่พื้นของห้อง (sub floor) ที่ $z = 0$ ฟุต ซึ่งมีการเกิดจุดหยุดนิ่ง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความดันสูงสุด และพบว่าในบริเวณนี้มีการไหลวนทำให้ไม่เหมาะในการวางแผ่นพรมในบริเวณนี้

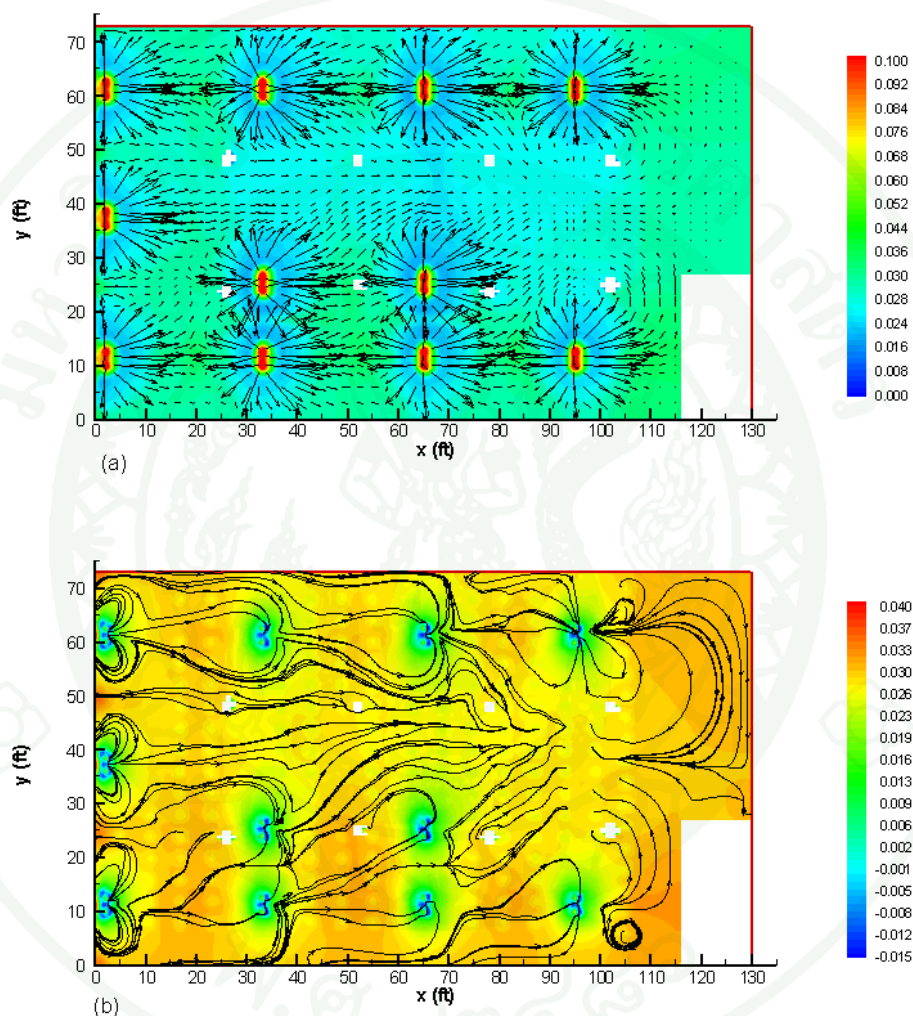
ภาพที่ 11 (b) เป็นรูปตัดในแนวระนาบที่ $x = 47$ ฟุต ในภาพนี้เป็นรูปตัดระหว่าง CRAC ทั้งหมด 2 เครื่อง โดยที่ระยะ x แสดงอยู่ในภาพที่ 9 ซึ่งสังเกตเห็นว่ามีความดันเท่ากันทั้งหน้าตัด จะมีบางบริเวณเท่านั้นที่มีค่าความดันที่ลดลง



ภาพที่ 11 แสดงการกระจายตัวของความดันได้พื้นยก โดยที่ (a) คือ ที่ระยะ $x = 33$ ฟุต และ (b) คือ ที่ระยะ $x = 47$ ฟุต

จากภาพที่ 12 (a) แสดงรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน z ที่ใกล้กับพื้นห้อง โดยบริเวณที่เกิดการชนที่พื้นจะมีความดันสูงแล้วจะกระจายตัวออกไปในทุกทิศทางในแนวระนาบ

จากภาพที่ 12 (b) แสดงรูปแบบการกระจายตัวของความดันในแนวแกน z ที่ใกล้กับพื้นยก โดยจะมีค่าความดันต่ำบริเวณใกล้ที่ทางออกของ CRAC และบริเวณแผ่นพรม แต่จะสังเกตได้ว่าเกือบทั้งระนาบจะมีความดันที่เป็นบวก ทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าเป็นบวกโดยไม่มีการไหลย้อนกลับสำหรับทุกๆแผ่นพรมดังแสดงไว้ในภาพที่ 10 และ 11

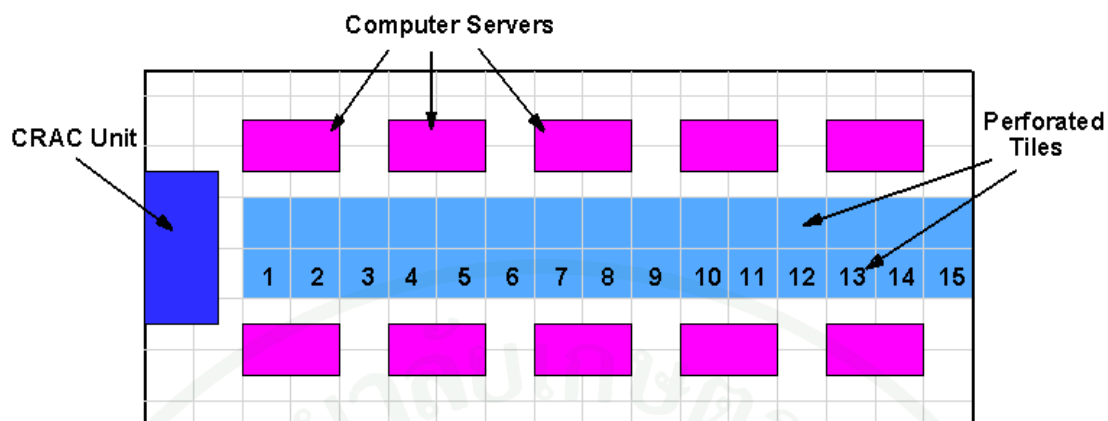


ภาพที่ 12 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน z โดยที่ (a) ใกล้กับพื้นห้อง (Sub floor) และ (b) ใกล้กับพื้นยก (Raised floor)

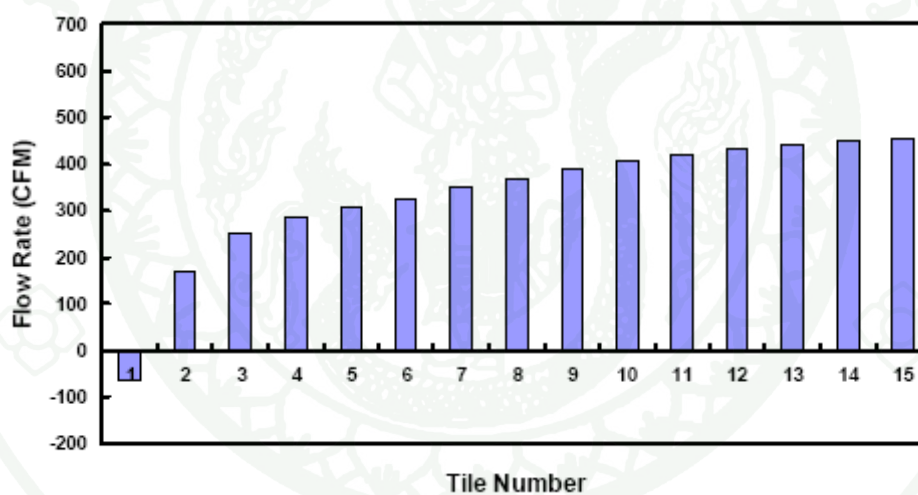
สำหรับงานวิจัยนี้สามารถสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ โดยค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังนั้นจึงนำมาทำนายการไหลของอากาศได้แม่นยำ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

Kailash *et al.* (2003) ได้ศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่ซึ่งมีอิทธิพลมาจากความดันใต้พื้นยก โดยปัจจัยที่สำคัญคือ ความสูงของพื้นยก เพอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณ และการติดตั้ง partitions ใต้พื้นยก

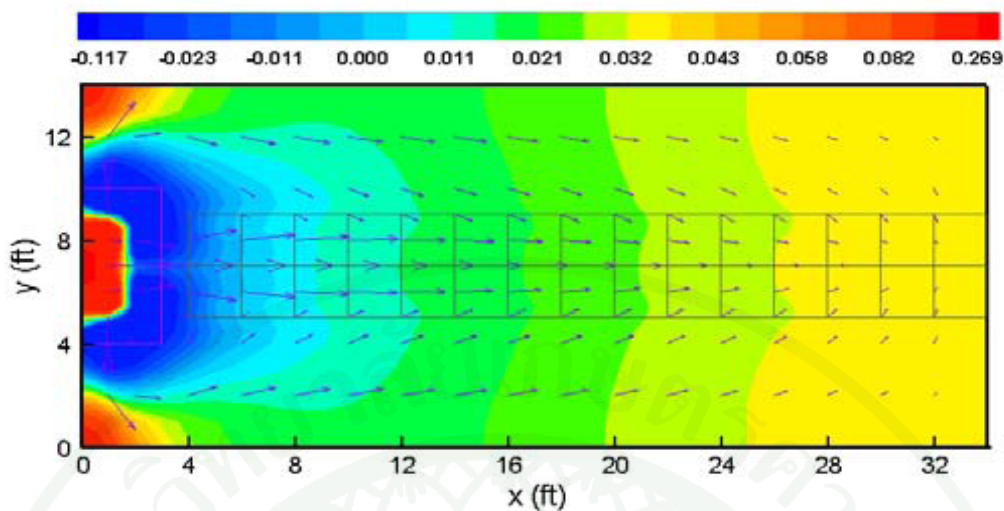
ในภาพที่ 13 รูปแบบการวางของ CRAC, ตำแหน่งแผ่นพรุณ และตำแหน่งเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ โดย CRAC ส่งลมเย็นที่อัตราการไหล 10,000 cfm (4.72 m/s) มีจำนวนแผ่นพรุณ 15 แผ่น เพอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% และมีความสูงของพื้นยกที่ 12 นิ้ว โดยใช้ การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ โดยรูปแบบในการวิเคราะห์อ้างอิงมาจาก Roger *et al.* (2001) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 14 และภาพที่ 15 โดยภาพที่ 14 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณบริเวณที่อยู่ใกล้กับ CRAC จะเกิดการไหลย้อนกลับผ่านแผ่นพรุณทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณมีค่าติดลบ ดังนั้น จึงไม่ควรวางแผ่นพรุณไว้ใกล้กับ CRAC เนื่องจากในบริเวณนี้มีความเร็วสูง ภาพที่ 15 แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดันในแนวระนาบใต้พื้นยก โดยจะเกิดการชนที่พื้นห้องของการไหลที่ทางออกของ CRAC แล้วจะกระจายตัวออกไปในแนวระนาบ ในบริเวณที่การชนของอากาศกับพื้นห้องจะมีความดันสูงแล้วจะลดลงทันทีจนมีค่าติดลบเมื่อออกจากบริเวณนี้ หลังจากนั้นความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะห่างในแนวแกน x



ภาพที่ 13 รูปแบบการวางของ CRAC, ตำแหน่งแผ่นพรม และตำแหน่งเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์



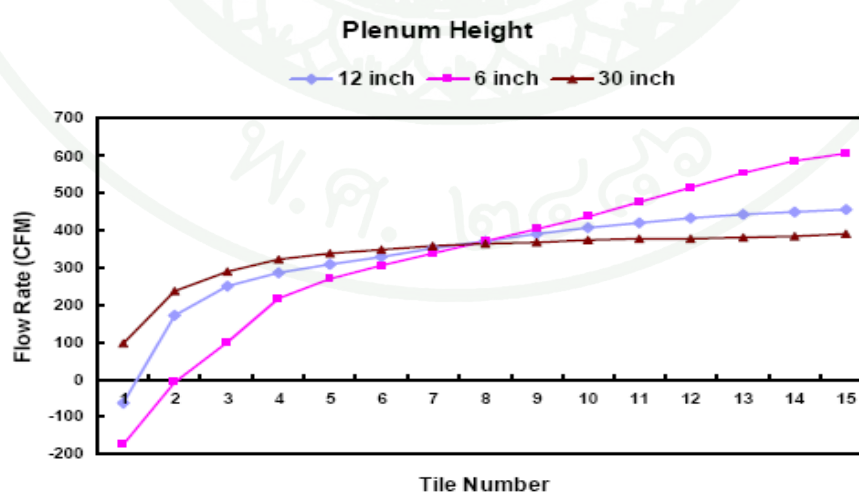
ภาพที่ 14 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม



ภาพที่ 15 แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดันในแนวระนาบใต้พื้นยก

ในงานวิจัยของ Kailash *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาปัจจัยดังต่อไปนี้

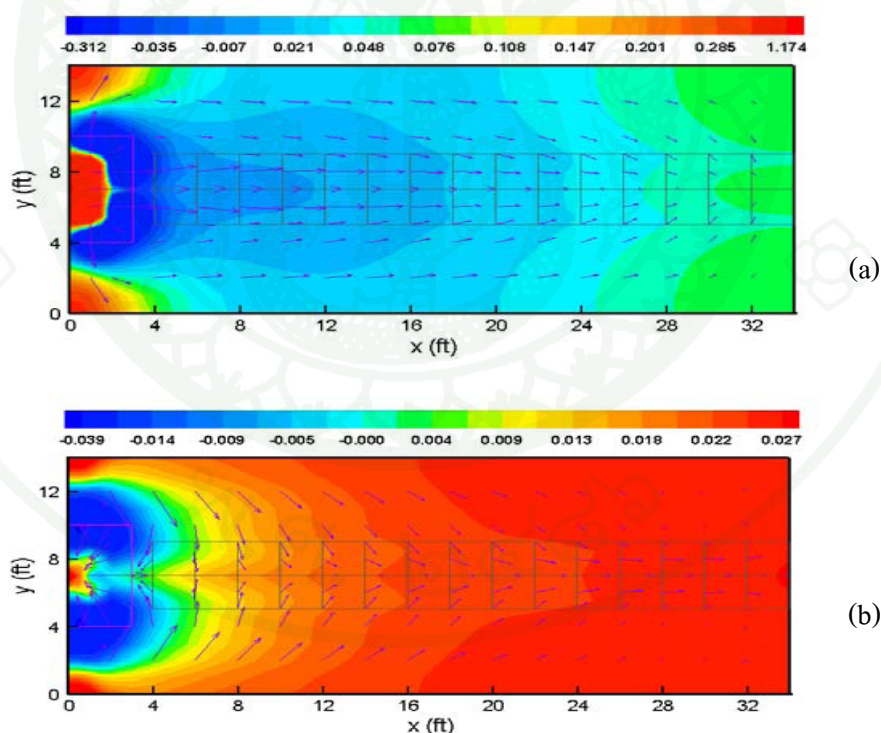
1. ความสูงของพื้นยก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาที่ความสูง 6 นิ้ว, 12 นิ้ว และ 30 นิ้ว ในภาพที่ 16 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ไม่เท่ากัน ที่ความสูงมีค่าน้อย มีการเกิดการไหลย้อนกลับบริเวณที่ใกล้กับ CRAC เมื่อมีการเพิ่มความสูงของพื้นยกก็จะสามารถทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละแผ่นมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 16 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ความสูงต่างๆ

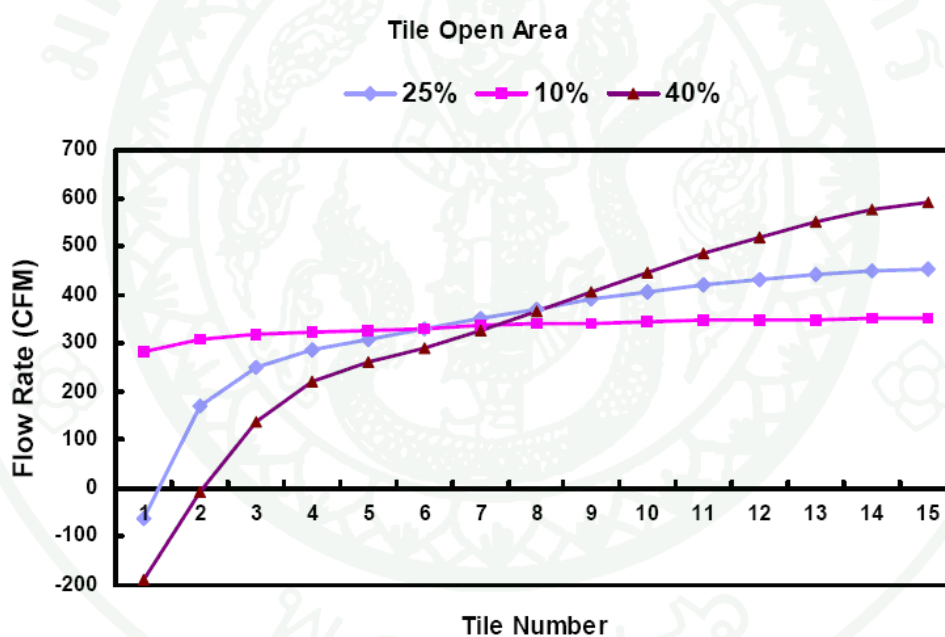
ภาพที่ 17 (a) และ 17 (b) แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดันในแนวระนาบใต้พื้นยกที่ความสูงของพื้นยกที่ 6 นิ้ว และ 30 นิ้ว ที่ความสูงของพื้นยกมีค่าน้อยจะทำให้เกิดความดันที่ติดลบบริเวณที่อยู่ใกล้กับ CRAC เป็นบริเวณกว้าง ส่งผลทำให้แผ่นพรมที่อยู่ใกล้กับ CRAC ในช่วงแรกมีค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าติดลบหรือมีการไหลย้อนกลับ แต่ถ้าเพิ่มความสูงของพื้นยกจะทำให้การกระจายตัวของความดันมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ปัญหาการเกิดค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าติดลบหรือการไหลย้อนกลับก็จะลดลง และจะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

แม้ว่าการเพิ่มความสูงของพื้นยกจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมเท่ากัน แต่มีข้อจำกัดในการออกแบบเพราะจะทำให้การติดตั้งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทางด้านบนของพื้นยกมีความสูงลดลง จึงไม่เหมาะที่จะนำปัจจัยนี้มาใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้เท่ากัน



ภาพที่ 17 แสดงเวกเตอร์ความเร็วและการกระจายตัวของความดัน (หน่วยนิ้วน้ำ) โดย (a) ในแนวระนาบใต้พื้นยกที่ความสูงของพื้นยกที่ 6 นิ้ว และ (b) ที่ความสูงของพื้นยกที่ 12 นิ้ว

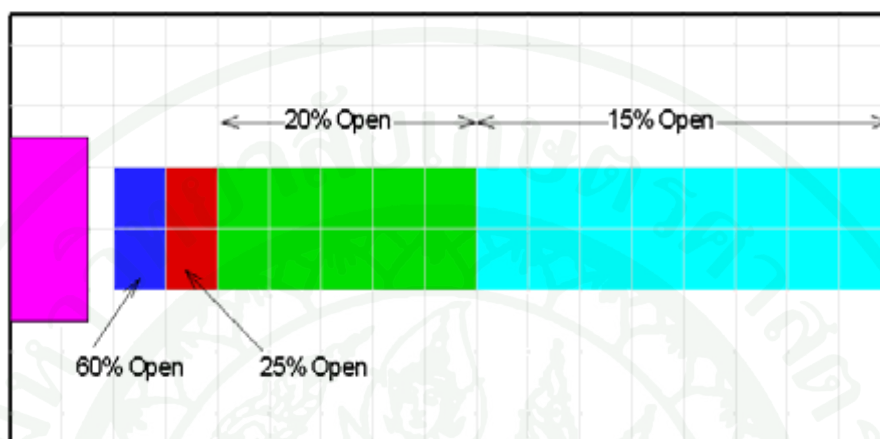
2. เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดที่ 10%, 25%, 40% ในภาพที่ 18 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ไม่เท่ากันที่เปอร์เซ็นต์เปิดมีค่ามาก มีการเกิดการไหลย้อนกลับบริเวณที่ใกล้กับ CRAC และเมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเป็น 10% จะไม่มีการเกิดการไหลย้อนกลับ ดังนั้น การลดเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดก็สามารถทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันได้มากขึ้น แต่การลดเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดจะทำให้ความดันใต้พื้นยกมีค่ามากขึ้น จึงทำให้เกิดการรั่วไปในบริเวณที่มีความดันต่ำ เช่น บริเวณช่องของท่อหรือสายเคเบิล ซึ่งจะทำให้ลมเย็นที่ส่งเข้าไปในใต้พื้นยกไม่ไหลผ่านแผ่นพรมทั้งหมด ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ตัวแปรนี้มาใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศไหลผ่านแผ่นพรมให้เท่ากัน



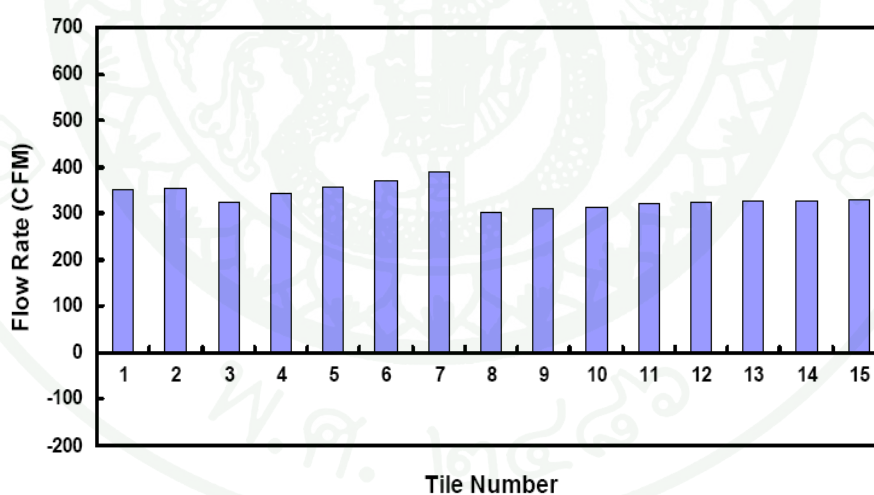
ภาพที่ 18 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านพรมกับเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดต่างๆ

3. การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรมโดยได้วางตำแหน่งแผ่นพรม ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งจะใช้เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดที่มีค่ามากไว้ใกล้กับ CRAC แล้วค่อยๆ ลดเปอร์เซ็นต์เปิดลงจนถึงผนังฝั่งตรงกันข้าม ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้มีค่าเท่ากันได้ดี เมื่อเปรียบเทียบ

กับ ภาพที่ 15 และจากภาพที่ 21 พบว่า ไม่มีการไหลย้อนกลับบริเวณใกล้กับ CRAC ดังนั้นเทคนิคนี้ เหมาะที่จะนำมาออกแบบเพื่อที่จะควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้มีค่าเท่ากันได้



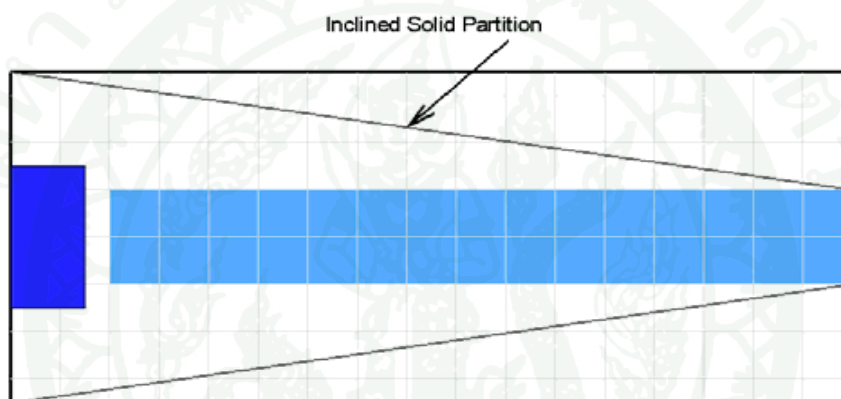
ภาพที่ 19 แสดงตำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรม



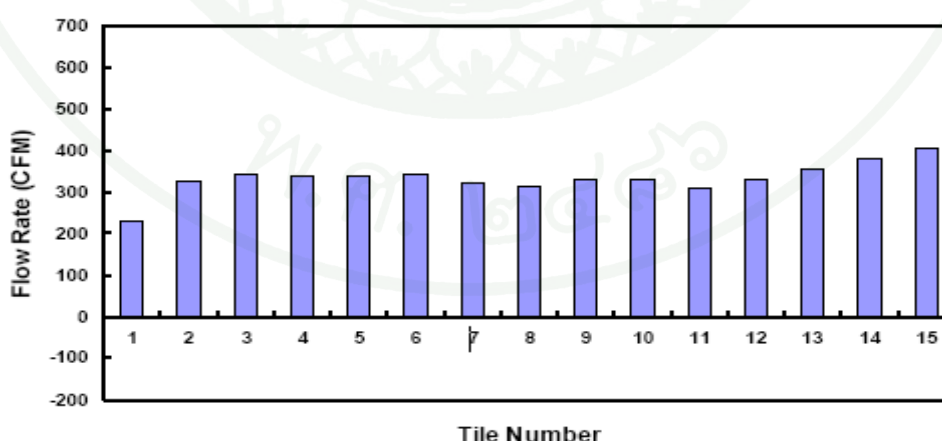
ภาพที่ 20 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิด

4. การติดตั้ง partitions ได้พื้นที่ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา อยู่ 2 รูปแบบ

4.1 การใช้ Solid partitions ซึ่งเป็นแผ่นกั้นทึบ อากาศไม่สามารถไหลผ่านได้ ซึ่งเป็นการนำทางการไหลได้พื้นที่แสดงในภาพที่ 21 โดยปกติแล้วความเร็วได้พื้นที่จะค่อยๆ ลดลงแล้วค่าความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจาก CRAC ในแนวระนาบ สำหรับเทคนิคนี้เป็นการลดพื้นที่หน้าตัดลงเพื่อที่จะให้ความเร็วได้พื้นที่มีค่าเท่ากันทั้งระนาบ ส่งผลทำให้ความดันมีค่าเท่ากัน แล้วจะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 22

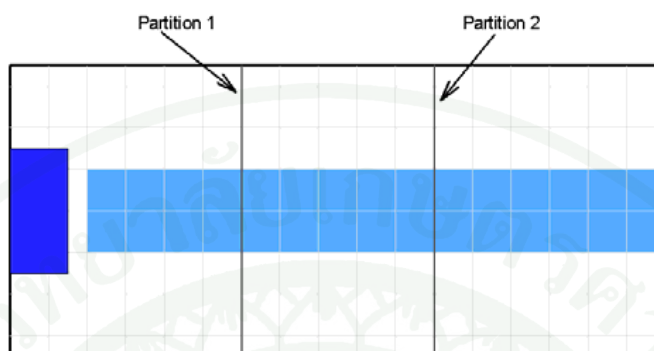


ภาพที่ 21 การใช้ Solid partitions เป็นกรนำทางการไหลได้พื้นที่



ภาพที่ 22 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ได้มาจากการใช้ Solid partition นำทางการไหล

4.2 การใช้ partition ที่เป็นแผ่นพรุณได้พื้นยกดังแสดงในภาพที่ 23 โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแต่ละ partition ตามตารางที่ 1

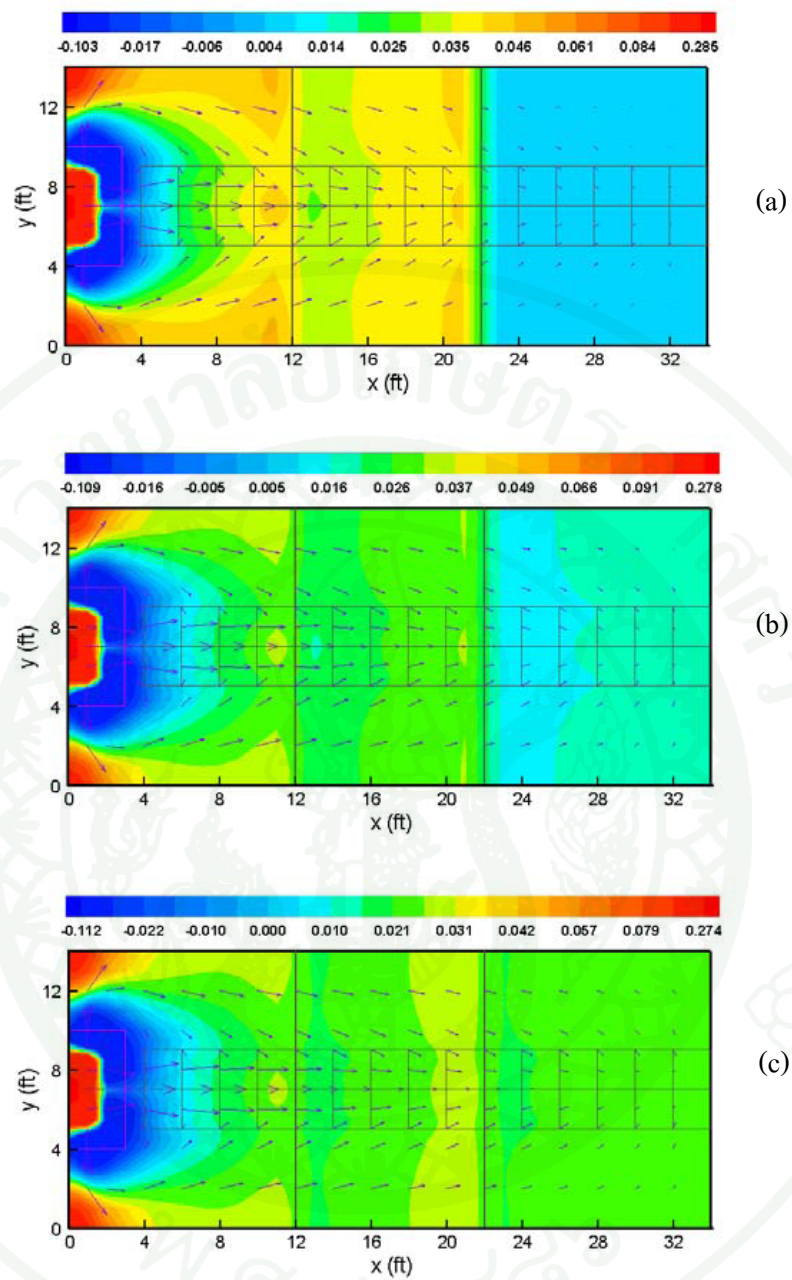


ภาพที่ 23 แสดงตำแหน่งการวาง partition

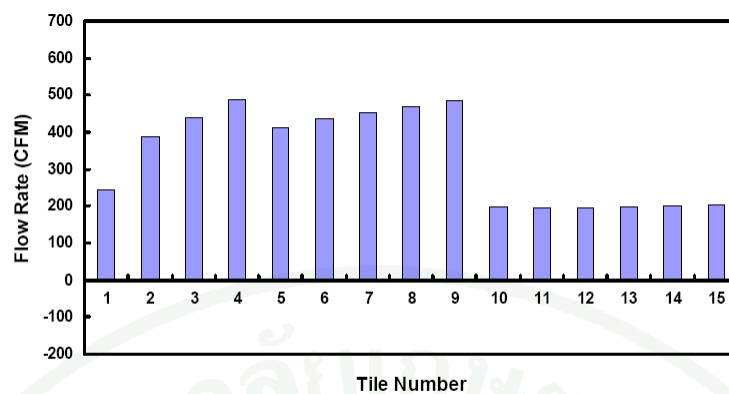
ตารางที่ 1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดสำหรับแต่ละ partition ต่างๆ ในแต่ละรูปแบบ

Configuration	Open Areas (%)	
	Partition 1	Partition 2
	70	30
	75	50
	80	65

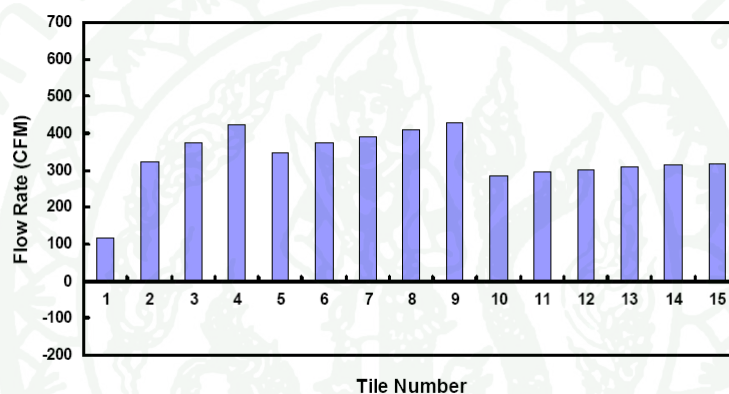
จากพฤติกรรมการไหลได้พื้นยกจึงทำให้เกิดแนวคิดนี้ขึ้น คือ ความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจาก CRAC จึงได้นำเสนอเทคนิคนี้ สำหรับเทคนิคนี้ความดันยังคงมีค่ามากขึ้น แต่จะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของ partition ถ้าทำการลดเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของ partition ลง โดยแบบ A แสดงให้เห็นว่า ที่ด้านหลัง partition ที่ 2 มีค่าความดันที่ต่ำ เนื่องจาก partition ที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดน้อยจึงทำให้อากาศไม่ไหลเข้าไป ส่วนแบบ C มีค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของ partition ที่เหมาะสม จึงทำให้มีค่าความดันเท่ากันทั้งระนาบ ดังแสดงในภาพที่ 24 (a), 24 (b), 24 (c)



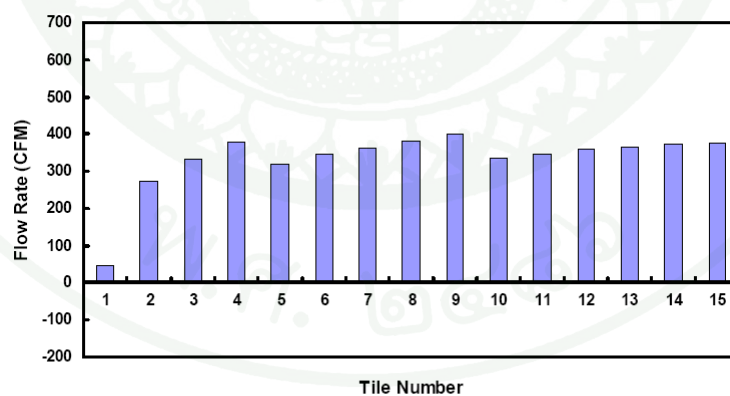
ภาพที่ 24 แสดงการกระจายตัวของความดัน (หน่วยนิ้วน้ำ) และเวกเตอร์ความดันเมื่อนำเทคนิค partition ที่เป็นแผ่นพรุนมากขึ้นที่ซึ่ง (a) รูปแบบ A, (b) รูปแบบ B, (c) รูปแบบ C โดยอ้างอิงมาจากรายที่ 1



(a) Configuration A



(b) Configuration B



(c) Configuration C

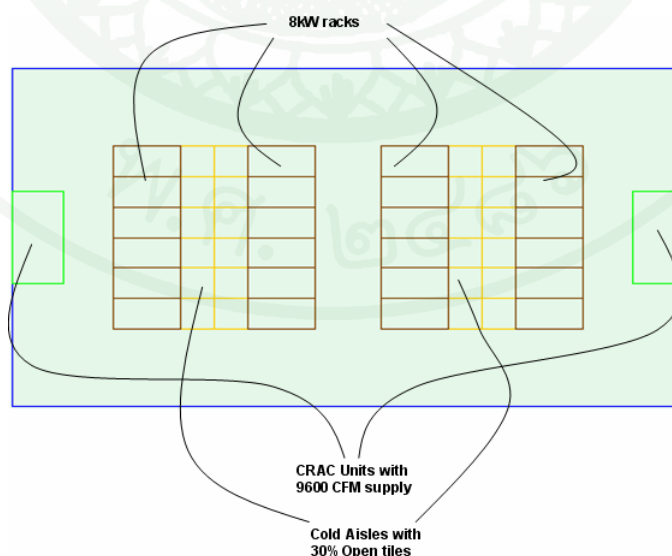
ภาพที่ 25 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนทั้ง 3 แบบ ที่ซึ่ง (a) รูปแบบ A, (b) รูปแบบ B, (c) รูปแบบ C โดยอ้างอิงมาจากตารางที่ 1

และภาพที่ 25 (a), 25 (b), 25 (c) แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมตามเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของ partition ตามตารางที่ 1 และภาพที่ 24 และ 25 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมได้แต่ยังต้องการปรับเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของ partition ให้เหมาะสมมากกว่านี้จึงจะสามารถทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

ในการศึกษาของ Kailash *et al.* (2003) ได้ใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม ซึ่งได้จากการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ โดยจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม โดยใช้การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดหลายๆค่าหรือการติดตั้ง partition ได้พื้นที่ยก ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการออกแบบห้องเก็บข้อมูล

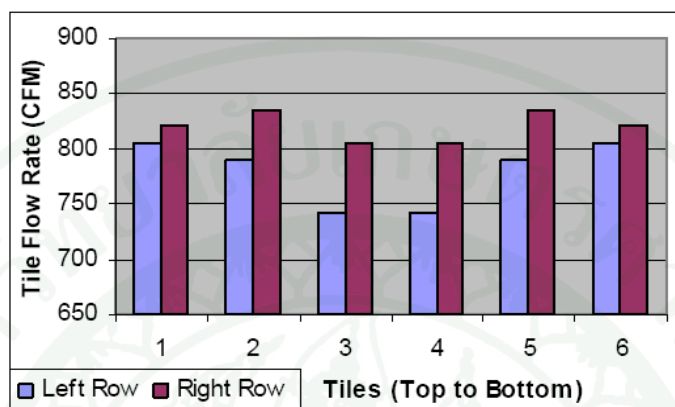
Siddharth *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งกีดขวางใต้พื้นยกโดยการสร้างแบบจำลองห้องเก็บข้อมูลพื้นที่ยก และได้ทำการสร้างสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นยก โดยสิ่งกีดขวางที่ใช้ คือ ท่อน้ำเย็น

สำหรับขนาดห้องที่ใช้สำหรับศึกษาในงานวิจัยนี้มีขนาด 4 ฟุต x 10 ฟุต x 22 ฟุต และตำแหน่งการวาง CRAC, เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ และแผ่นพรมเป็นไปตามภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งต่างภายในห้องเก็บข้อมูลแบบพื้นยก

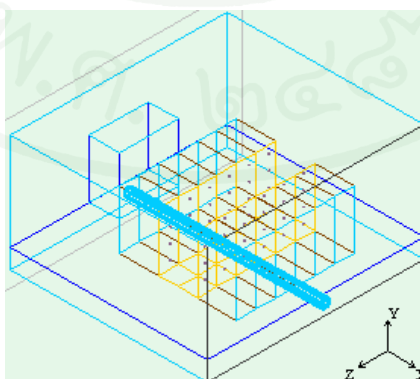
เนื่องจากห้องที่ใช้ทำการศึกษา มีลักษณะเป็นรูปสมมาตร จึงทำการสร้างแบบจำลองเพียงครึ่งหนึ่ง ผลที่ได้จากวิเคราะห์แบบจำลองโดยไม่คิดสิ่งกีดขวาง โดยได้แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมของแถวทางด้านซ้ายและขวาแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 แสดงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมโดยไม่มีสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นยก

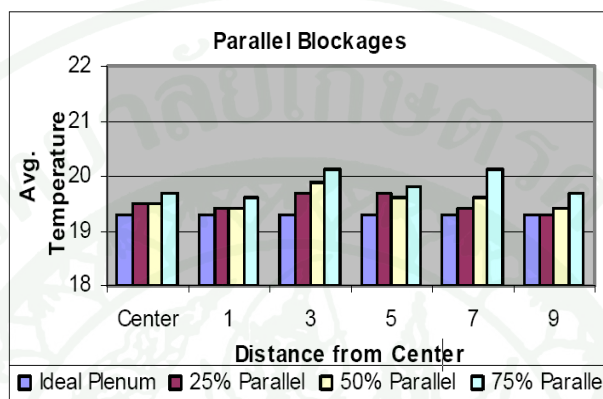
หลังจากนั้นได้ทำการกำหนดสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นยกในรูปแบบต่างๆ 3 รูปแบบ ทั้งในแนวนานกับทิศทางการไหลในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล และแบบ Random (เป็นแบบขนานผสมกับแบบตั้งฉาก)

1. แนวนานกับทิศทางการไหลตามภาพที่ 28 โดยกำหนดขนาดของสิ่งกีดขวางเท่ากับ 25%, 50%, 75% ของความสูงพื้นยก ซึ่งพื้นยกมีความสูงเท่ากับ 4 ฟุต

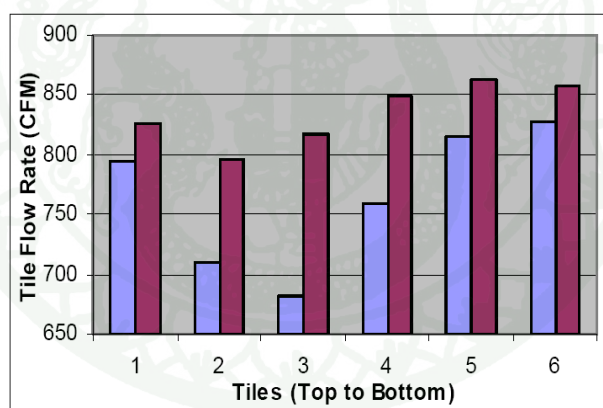


ภาพที่ 28 แสดงการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่มีขนาด 50% ที่กึ่งกลางห้องในแนวนานกับทิศทางการไหล

ในแต่ละขนาดของสิ่งกีดขวางได้ทำการเลื่อนสิ่งกีดขวางไปตามแนวแกน z โดยอ้างอิงแกนตามภาพที่ 28 โดยมีทั้งหมด 5 ตำแหน่ง คือ ที่กึ่งกลางห้อง, ห่างกึ่งกลางห้อง 1 ฟุต, ห่างกึ่งกลางห้อง 3 ฟุต, ห่างกึ่งกลางห้อง 5 ฟุต, ห่างกึ่งกลางห้อง 7 ฟุต, ห่างกึ่งกลางห้อง 9 ฟุต โดยผลที่แย่ที่สุดคือที่ขนาด 75% ของความสูงพื้นที่ตำแหน่งห่างกึ่งกลางห้อง 3 ฟุต ดังแสดงในภาพที่ 29

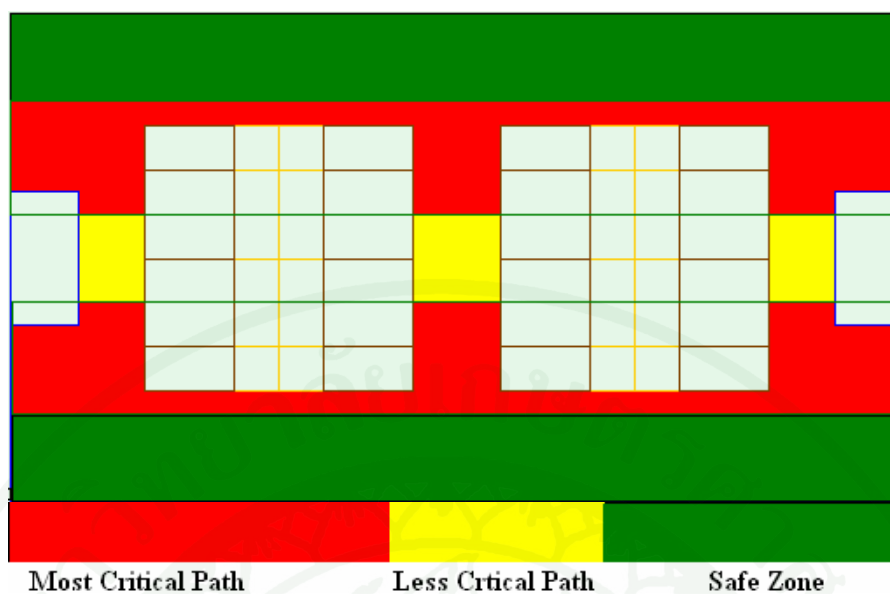


(a)



(b)

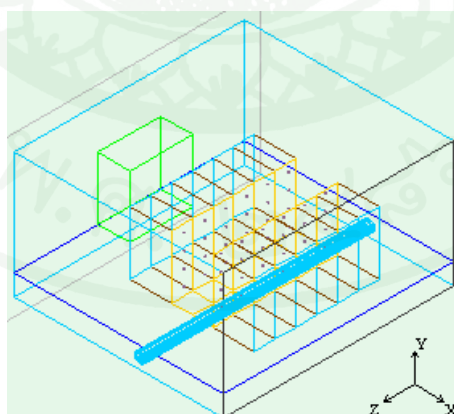
ภาพที่ 29 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและผลที่แย่ที่สุดในแนวนอน (a) แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในแนวนอนกับทิศทางการไหล (b) แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ตำแหน่งที่แย่ที่สุด (ที่ขนาดสิ่งกีดขวางเท่ากับ 75% ของความสูงของพื้นที่และระยะห่างกึ่งกลางห้อง 3 ฟุต)



ภาพที่ 30 แสดง color code ที่ติดตั้งสิ่งกีดขวางในแนวนานกับทิศทางการไหล

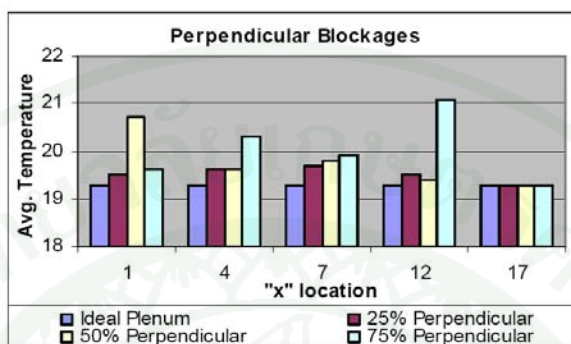
จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์การวางสิ่งกีดขวางในแนวนานกับทิศทางการไหล ควรที่จะวางไว้ในบริเวณใกล้กับผนังโดยไม่ควรวางในบริเวณที่มีแผ่นพรุณ

2. แนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล ตามภาพที่ 31 โดยกำหนดขนาดของสิ่งกีดขวาง 25%, 50%, 75% ของความสูงพื้นยก ซึ่งพื้นยกมีความสูงเท่ากับ 4 ฟุต

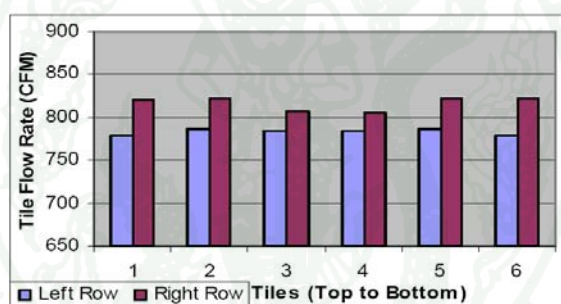


ภาพที่ 31 แสดงการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่มีขนาด 50% ที่กึ่งกลางห้องในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล

ในแต่ละขนาดของสิ่งกีดขวางได้ทำการเลื่อนสิ่งกีดขวางไปตามแนวแกน x อ้างอิงแกน จากภาพที่ 31 โดยมีทั้งหมด 5 ตำแหน่ง คือ ที่ 1 ฟุต, 4 ฟุต, 7 ฟุต, 12 ฟุต, 17 ฟุต โดยผลที่แย่ที่สุด คือ ที่ขนาด 75% ที่ตำแหน่ง 12 ฟุต ตามแนวแกน x

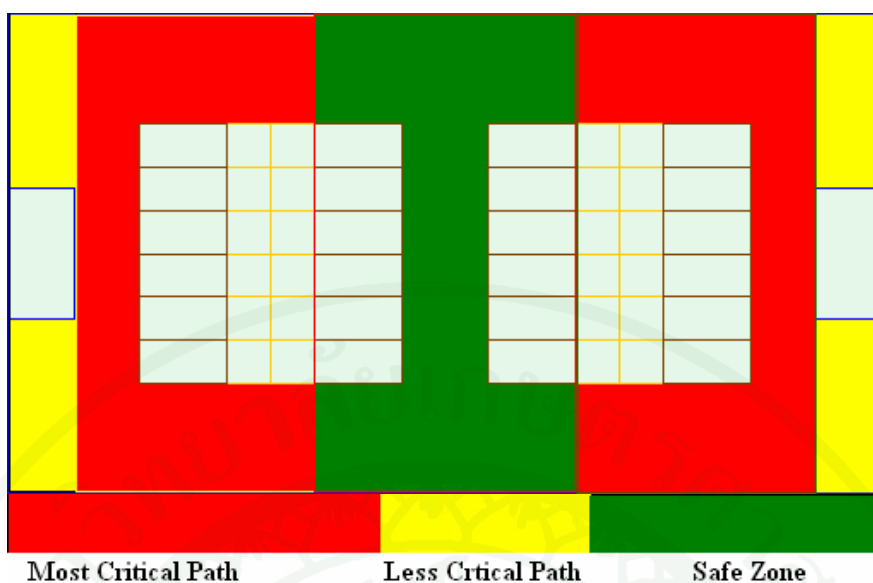


(a)



(b)

ภาพที่ 32 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและผลที่แย่ที่สุดในแนวตั้งจากกับทิศทางการไหล (a) แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในแนวตั้งจากกับทิศทางการไหล (b) แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ตำแหน่งที่แย่ที่สุด (ที่ขนาดสิ่งกีดขวางเท่ากับ 75% ของความสูงของพื้นยกและระยะห่างในแนวแกน x = 12 ฟุต)



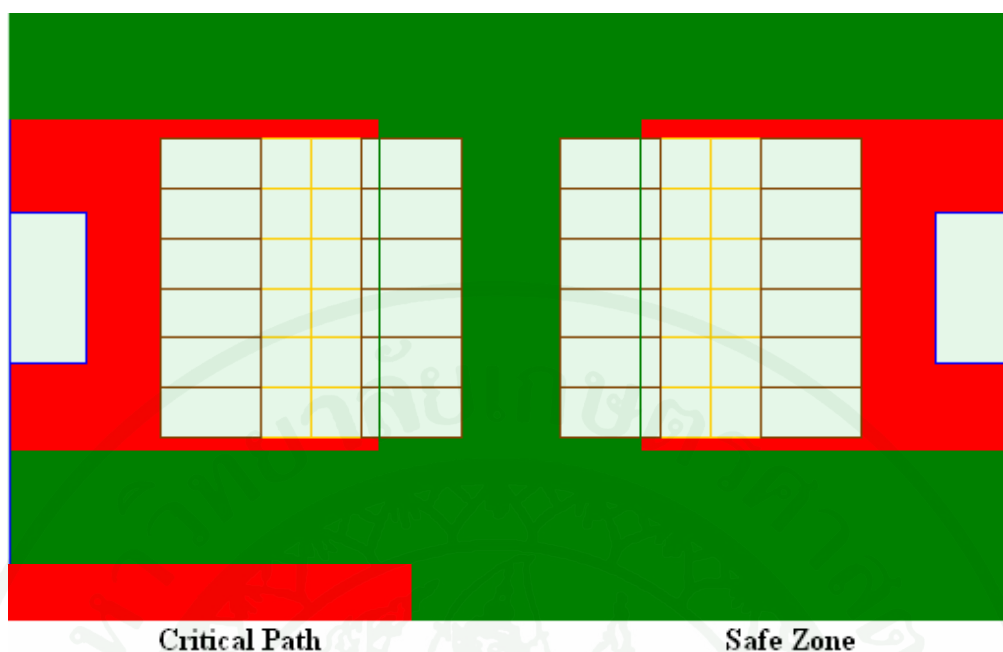
ภาพที่ 33 แสดง color code สำหรับติดตั้งสิ่งกีดขวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จึงได้แสดงตำแหน่งการวางสิ่งกีดขวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลที่ควรที่จะวางไว้ในบริเวณด้านหลังของแผ่นพรุณที่ปล่อยลมเย็น

แต่เนื่องจากการวางสิ่งกีดขวางภายใต้พื้นที่ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์จะมีการวางทั้งในแนวตั้งฉากกับในแนวนาน จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ที่มีทั้งในแนวนานกับแนวตั้งฉาก จึงทำให้เกิดการวิเคราะห์ในรูปแบบของการวางทั้งสองแนวหรือแบบ random

3. แบบ Random

เป็นการผสมกันระหว่างในแนวนานและตั้งฉากกับทิศทางการไหล โดยเอาตำแหน่งที่ควรติดตั้งของแนวนานและแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลมาผสมกันได้เป็นตามภาพที่ 34



ภาพที่ 34 แสดง color code สำหรับติดตั้งแบบ random โดยผสมระหว่างในแนวนอนและแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล

ถ้าทำการติดตั้งในรูปแบบที่นำเสนอ ทั้งในแนวนอน ในแนวตั้งฉาก และแบบ random ที่มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางในบริเวณที่เป็น safe zone จะสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าของผู้เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ จาก 19.3°C เป็น 19.0°C และที่ระดับความสูง 5.5 ฟุต อุณหภูมิผู้เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ลดลงจากประมาณ 33°C เป็นประมาณ 30°C

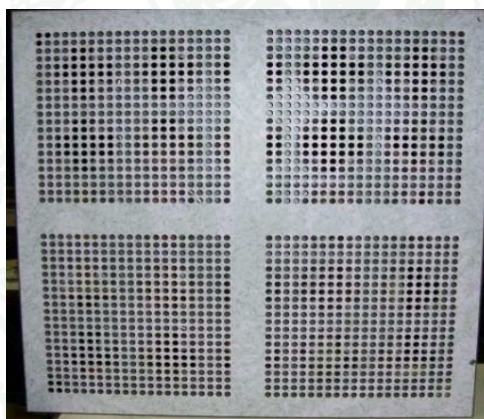
ดังนั้น การติดตั้งสิ่งกีดขวางในแนวนอนกับทิศทางการไหลทำให้อุณหภูมิภายในห้องเพิ่มขึ้นจากแบบไม่มีสิ่งกีดขวางแต่น้อยกว่าในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล จากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากภาพที่ 29 (a) กับ 32 (a) และถ้าทำการติดตั้งตามรูปแบบของ safe zone สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพภายในห้องเก็บข้อมูลได้ เพราะในตำแหน่ง safe zone นั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพภายในห้องเก็บข้อมูล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์จริง
3. แผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% ดังแสดงในภาพที่ 35
4. เครื่องวัดความเร็วลมและความดัน แบบ Pitot tube
5. กรวยเพื่อที่จะช่วยวัดความเร็วดังแสดงในภาพที่ 36
6. โปรแกรม Fluent และ Gambit สำหรับการสร้างโดเมนของพื้นที่ภายในห้องเก็บ

ข้อมูล



ภาพที่ 35 แผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25%



ภาพที่ 36 กรวยเพื่อที่จะช่วยวัดความเร็ว

วิธีการ

1. ขั้นตอนการศึกษา

1.1 ทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ตามแบบบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001)

1.2 นำค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับผลอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001)

1.3 เก็บรวบรวมข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ เช่น ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าภายใต้พื้นยก ความดันภายใต้พื้นยก อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง

1.4 สร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ของพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนกับค่าที่ได้จากแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมทางด้าน CFD

1.6 นำแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ลักษณะการไหล ความเร็ว ความดันของอากาศภายใต้พื้นที่ยกและอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง โดยใช้โปรแกรมทางด้าน CFD

1.7 พัฒนาและปรับปรุงรูปแบบการไหลภายใต้พื้นที่ยก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้าน CFD เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของความดันและความเร็วเท่ากันทั่วทั้งบริเวณใต้พื้นที่ยก และทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนทั่วทุกแผ่นมีความสม่ำเสมอ

2. การประเมินความถูกต้องของโปรแกรม

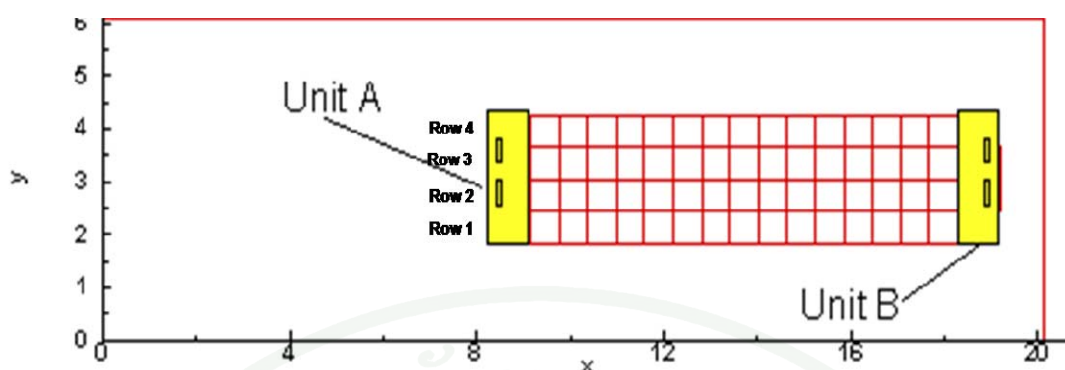
ในส่วนนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 แนวทาง

2.1 การศึกษาโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

ทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์แบบสามมิติ โดยได้ทำการสร้างทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ

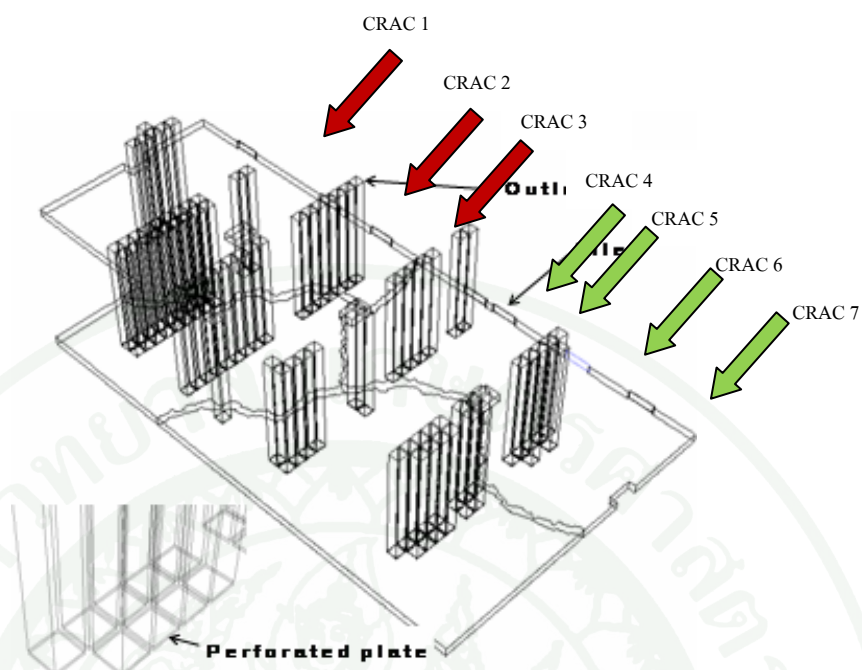
2.1.1 ทำการสร้างแบบวิเคราะห์ตามบทความงานวิจัย ของ Roger *et al.* (2001)

รูปแบบการติดตั้ง มี CRAC ทั้งหมด 2 เครื่อง A และ B ตามภาพที่ 37 มีอัตราการไหลเครื่องละ 5000 cfm และแผ่นพรุนทั้งหมด 60 แผ่น โดยแบ่งออกเป็น 4 แถว แถวละ 15 แผ่น แต่ละแผ่นมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% ดังภาพที่ 37 หลังจากนั้นนำแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้ มาทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ให้เป็นโครงสร้างตาข่ายแบบสามมิติของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Gambit รูปแบบการแบ่งโดเมนเป็นแบบ unstructured tetrahedral ได้จำนวนชิ้นส่วนประกอบ 1292029 ชิ้น



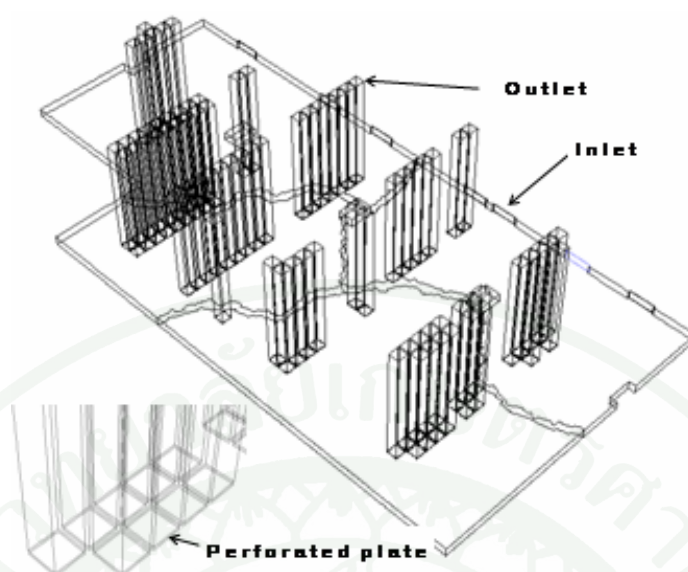
ภาพที่ 37 แสดงรูปแบบการวิเคราะห์การปรับอากาศแบบพื้นยกตามรูปแบบของ
Roger *et al.* (2001)

2.1.2 ทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ตามแบบห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของ
ธนาคารแห่งหนึ่ง ตามภาพที่ 38 โดยมีขนาดห้องเท่ากับ $37.33 \text{ m} \times 16.18 \text{ m} \times 0.44 \text{ m}$ รูปแบบ
การติดตั้ง มี CRAC ทั้งหมด 7 เครื่อง โดยทุกเครื่องสามารถสร้างอัตราการไหลสูงสุดที่ $13000 \text{ m}^3/\text{h}$
โดยที่ CRAC เบอร์ที่ 1-3 เปิดที่ 90% ของอัตราการไหลสูงสุด และ เบอร์ที่ 1-4 เปิดที่ 70% ของ
อัตราการไหลสูงสุด และแผ่นพรมทั้งหมด 78 แผ่น แต่ละแผ่น มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25%
หลังจากนั้นนำแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่ได้ มาทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างตาข่าย
แบบสามมิติของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Gambit รูปแบบการแบ่งโดเมน
เป็นแบบ unstructured tetrahedral ได้จำนวนชิ้นส่วนประกอบ 6564657 ชิ้น



ภาพที่ 38 แสดงแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์และขอบเขตของพื้นที่ภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่เท่ากับขนาดจริงของธนาคารแห่งหนึ่ง

หลังจากได้แบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ที่เป็นโครงสร้างตาข่ายแล้ว ทำการกำหนดรูปแบบเงื่อนไขขอบเขตให้กับโดเมนที่จะทำการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 39 เพื่อนำไปทำการคำนวณต่อในโปรแกรม Fluent โดยในขั้นตอนการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Fluent



ภาพที่ 39 การกำหนดรูปแบบเงื่อนไขขอบเขต

- เป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยการไหลที่เกิดขึ้นเป็นแบบสภาวะคงตัว (Steady flow) ไม่มีการอัดตัว (Incompressible flow)
- แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศจะใช้ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier stokes equations) และแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Standard $k-\epsilon$ โดยกำหนดให้อากาศเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้
- ทำการสร้างแผ่นพรุนเป็นแบบเสมือน เนื่องจากการสร้างแผ่นพรุนจริงนั้น ต้องใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์มากต่อการสร้างแผ่นพรุนหนึ่งแผ่น และห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ก็มีแผ่นพรุนจำนวนมาก ในบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) มีทั้งหมด 60 แผ่น และห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่งมีทั้งหมด 78 แผ่น ซึ่งไม่สามารถสร้างได้ จึงต้องทำการสร้างแผ่นพรุนเป็นแบบเสมือน โดยใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันตกคร่อมแผ่นพรุน (Pressure drop) ดังสมการที่ 6

$$\Delta p = \frac{1}{2} K_{tile} \rho v^2 \quad (6)$$

K_{tile} เป็นค่าความสัมพันธ์ความต้านทานการไหลของอากาศ โดยค่า K_{tile} หาได้จาก fit curve ระหว่าง Δp กับ v^2 จากข้อมูลของแผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% ซึ่งมีค่าความชันจะเท่ากับ 26.47

ดังนั้น ทำการเทียบสัมพันธ์กับสมการที่ 6 จะได้ $26.47 = \frac{1}{2} K_{tile} \rho$ ที่ซึ่งค่าความหนาแน่น (ρ) มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3

จะได้ค่า K_{tile} เท่ากับ 43.22

ที่เปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดเท่ากับ 25% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสมการของ Idelchik (1994)

สภาวะเงื่อนไขขอบของแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 สภาวะเงื่อนไขขอบของบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001)

Boundary	Settings
Inlet	Velocity inlet 11.3 m/s
Return and exhausts	Pressure outlet 0 Pa
Perforated tile	Setting as porous zone and is calculated using Eq (6)
Other	Wall

ตารางที่ 3 สภาวะเงื่อนไขขอบของห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งประเทศไทย

Boundary	Settings
Inlet	Velocity inlet (1-3)=5.129 m/s
	Velocity inlet (4-7)= 3.980 m/s
Return and exhausts	Pressure outlet 0 Pa
Perforated tile	Setting as porous zone and is calculated using Eq (6)
Other	Wall

2.2 การเปรียบเทียบเพื่อทดสอบผลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

2.2.1 สำหรับการเปรียบเทียบได้ทำการเปรียบเทียบตามบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) โดยสร้างรูปตามภาพที่ 37 ซึ่งงานวิจัยได้ทำการแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 3 รูปแบบ ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบการการวิจัย Roger *et al.* (2001) เพื่อที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ

รูปแบบ	CRAC A	CRAC B
1	เปิด	เปิด
2	เปิด	ปิด
3	ปิด	เปิด

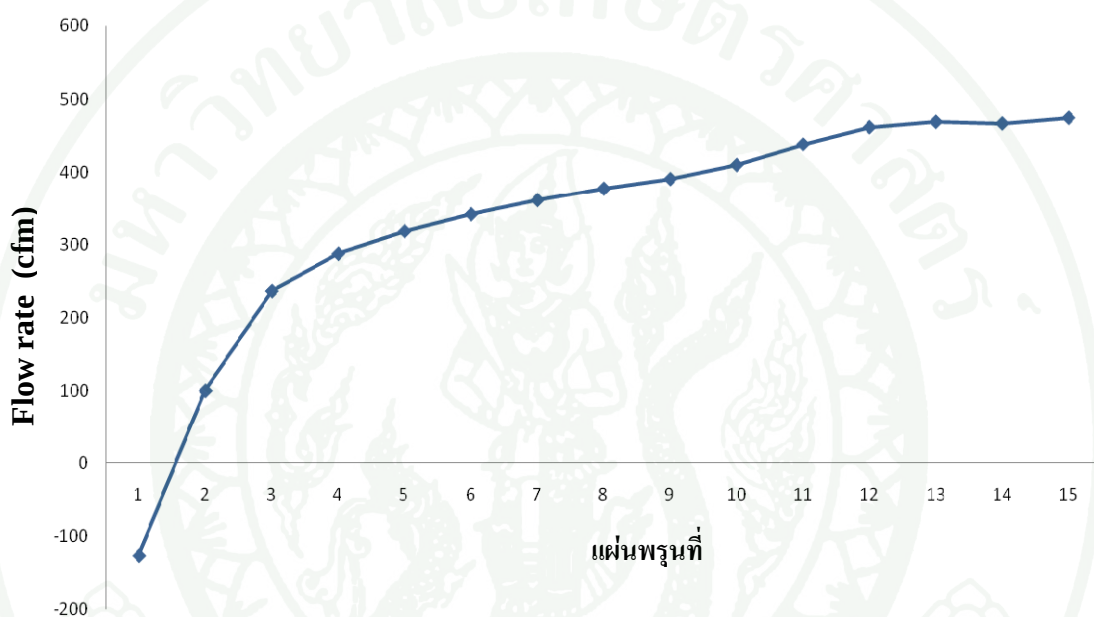
ในการเปรียบเทียบจะนำอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนทุกแผ่นที่ได้มาจากบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) นำมาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์

2.2.2 สำหรับการเปรียบเทียบกับห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ ที่ซึ่งห้องเก็บข้อมูลจริงมี CRAC ทั้งหมด 7 เครื่อง โดยเครื่องที่ 1-3 มีความเร็วทางเข้าเท่ากับ 5.129 m/s และเครื่องที่ 4-7 มีความเร็วทางเข้าเท่ากับ 3.98 m/s

ส่วนการเปรียบเทียบกับห้องเก็บข้อมูลจริงจะนำผลที่ได้จากการวัดความเร็วจากห้องเก็บข้อมูลจริง แล้วนำมาเปลี่ยนเป็นค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์การไหลภายในห้องเก็บข้อมูล

การออกแบบปรับปรุงการปรับอากาศแบบพื้นยก

โดยธรรมชาติอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมจะมีค่าไม่เท่ากัน อัตราการไหลที่บริเวณที่อยู่ไกลจาก CRAC จะมีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่สูงแล้วจะมีค่าลดลง เมื่อระยะห่างจาก CRAC ลดลงตามแนวขนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมตามระยะห่างจาก CRAC ตามแนวขนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC

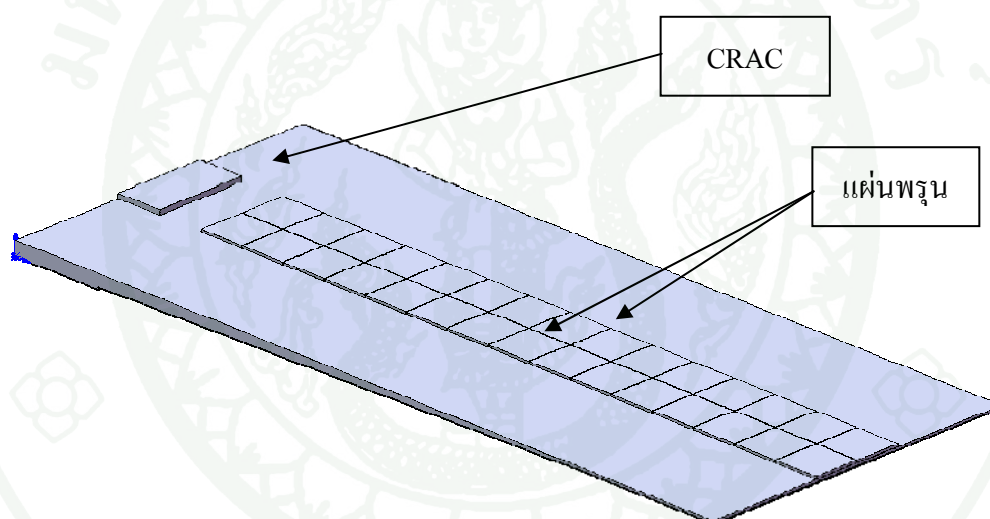
ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน โดยในแผ่นที่ 1 มีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมติดลบอยู่ที่ประมาณ -130 cfm (หมายความว่ามีการไหลย้อนกลับ) และในแผ่นที่ 15 มีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมเท่ากับประมาณ 500 cfm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งมีค่าความแตกต่างกันถึงประมาณ 630 cfm

ดังนั้น จึงทำให้เกิดแนวคิดเพื่อที่จะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยมีวิธีอยู่มากมาย แต่วิธีการที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้นั้นจะเป็นการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็ว โดยปกติแล้วความเร็วได้พื้นยกจะค่อยๆ ลดลง

แล้วค่าความดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจาก CRAC ตามแนวขนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC

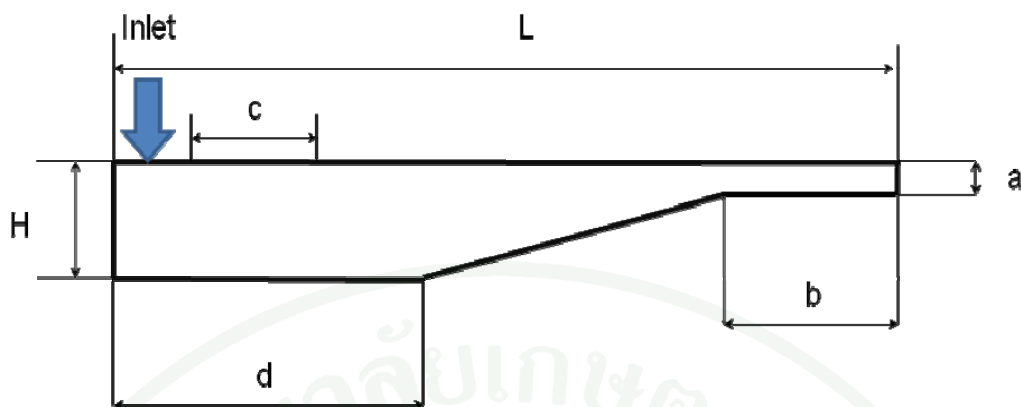
สำหรับเทคนิคนี้เป็นการลดพื้นที่หน้าตัดลงโดยทำให้พื้นที่พื้นที่ขมมีลักษณะเอียง เพื่อให้จะให้ความเร็วได้พื้นที่ขมมีค่าเท่ากันทั้งระนาบ ส่งผลทำให้ความดันมีค่าเท่ากัน แล้วจะทำให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียง

สำหรับรูปแบบที่ใช้ในการปรับปรุง โดยมี CRAC 1 เครื่อง มีอัตราการไหลเท่ากับ 10000 cfm และมีแผ่นพรม 2 แถว วางในแนวขนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกมาจาก CRAC ตามภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แสดงรูปแบบที่จะในการปรับปรุงที่เป็นแบบพื้นห้องเอียง

การออกแบบห้องยกให้มีลักษณะแบบเป็นพื้นเอียงนั้นต้องกำหนดตัวแปรต่างๆ ขึ้นมา เพื่อที่จะให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับตัวแปรที่สนใจได้กำหนดในภาพที่ 42 โดยทุกๆ ไปขนาดความยาวของพื้นที่สำหรับ CRAC 1 เครื่องจะส่งลมไปถึงมีค่าไม่เกิน 15 m ($L \leq 15$ m) และความสูงของพื้นที่ขมโดยทั่วไปมีค่าไม่น้อยกว่า 0.3 m ($H \geq 0.3$ m)

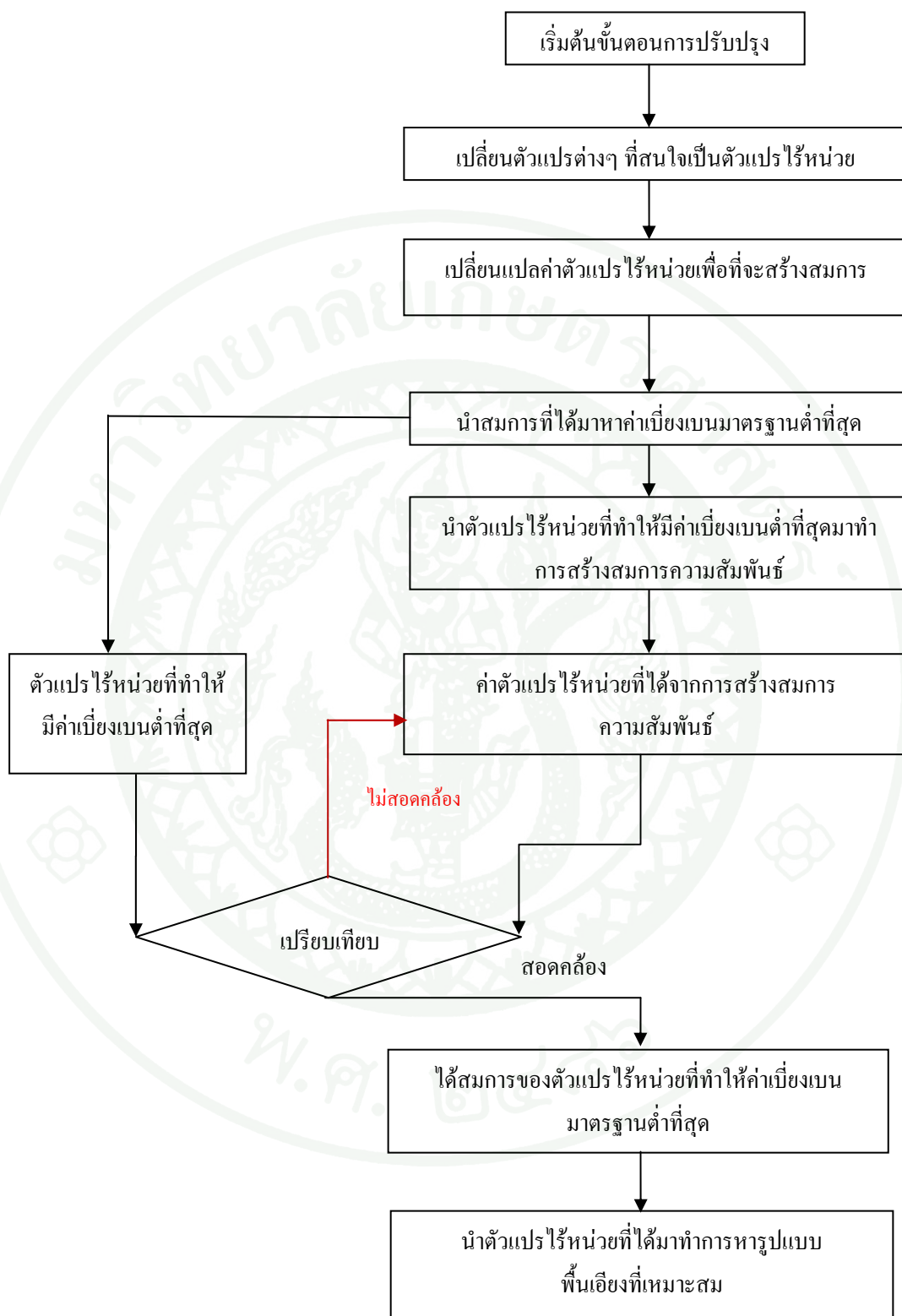


L คือ ระยะความยาวของห้องในแนวทิศทางการไหล H คือ ระยะความสูงของเพดาน
 a คือ ระยะความสูงจากพื้นห้องด้านบนถึงเพดาน b คือ ระยะความยาวของพื้นห้องด้านบน
 c คือ ระยะห่างจาก CRAC จนถึงแผ่นพรมแผ่นแรก d คือ ระยะความยาวของพื้นห้องด้านล่าง

ภาพที่ 42 แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในการปรับปรุงแบบพื้นห้องเอียง

สำหรับการปรับปรุงค่าที่จะใช้ในการวัดผลที่จะทำให้ทราบว่าค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่นหรือไม่ จะใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, STD) ในการเปรียบเทียบ ถ้ารูปแบบพื้นห้องเอียงไหนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อย แสดงว่ามีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมมีค่าแตกต่างกันมาก

ขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศโดยใช้วิธีแบบพื้นห้องเอียงได้แสดงไว้ในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 แผนผังขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราการใช้พลังงานของอาคารโดยใช้วิธีแบบพื้นห้องเอียง

ผลและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ได้พื้นที่ภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์, การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของการไหลภายในห้องเก็บข้อมูลจริง และการออกแบบปรับปรุงที่ทำการเปลี่ยนจากพื้นที่ที่เป็นแบบปกติให้เป็นแบบพื้นห้องเอียง

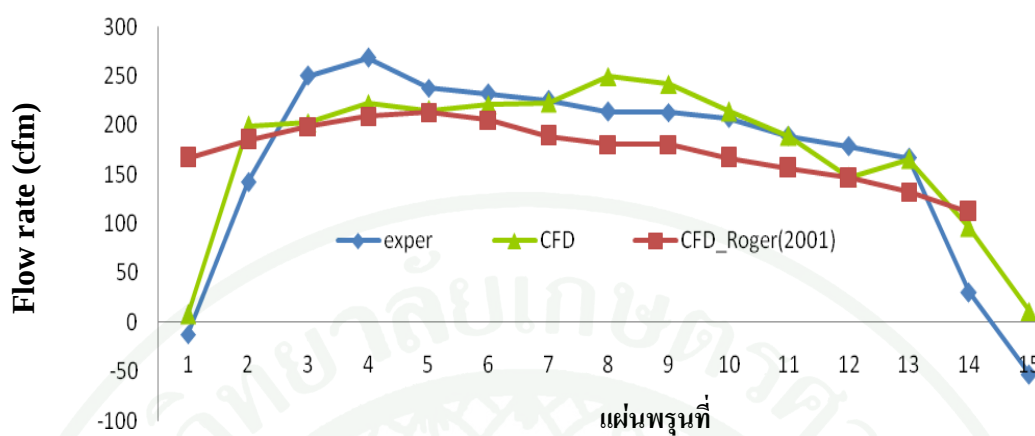
1. การประเมินความถูกต้องของโปรแกรมที่เลือกใช้ในการคำนวณ

โดยการประเมินความถูกต้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

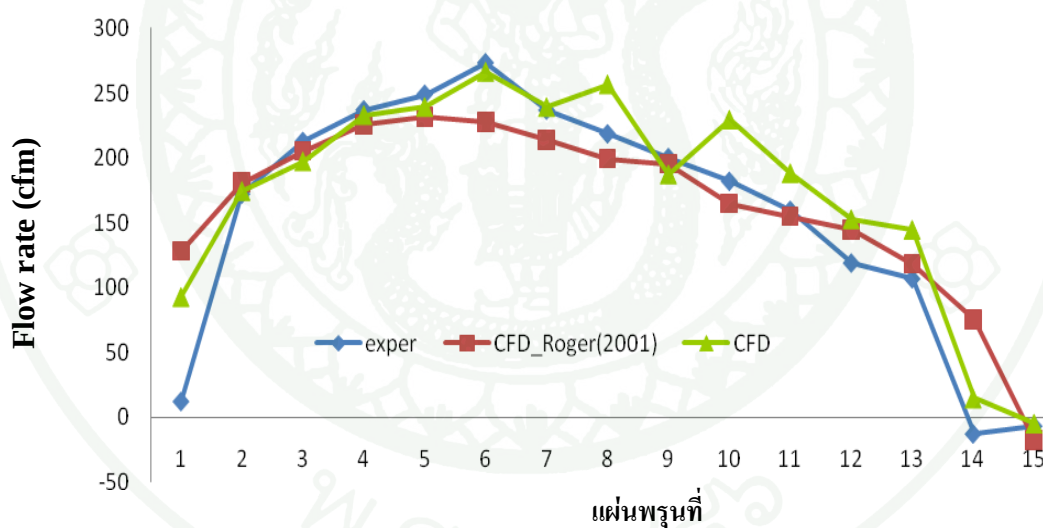
1. อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนเปรียบเทียบกับบทความวิจัยของ Roger *et al.* (2001)

จากการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับบทความวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

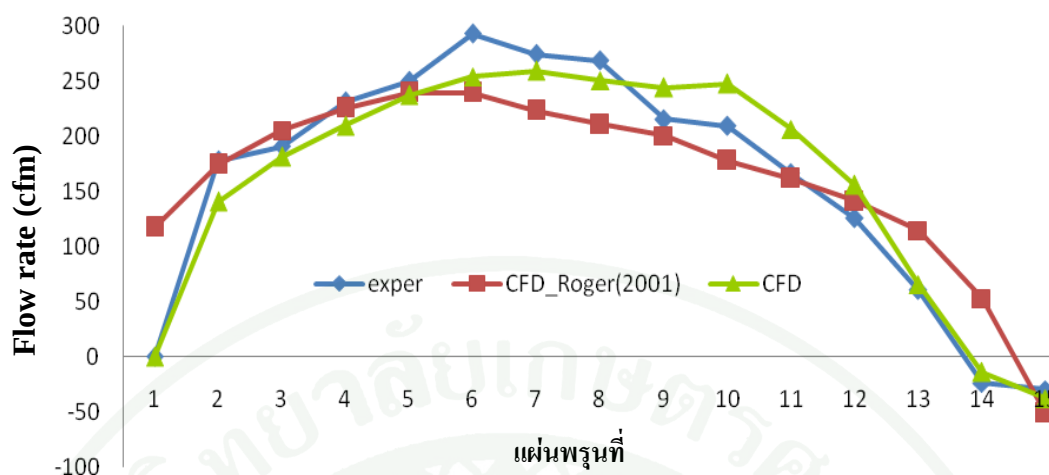
1.1 เปิด CRAC A และ CRAC B ตามภาพที่ 39 พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนระหว่างการทดลองกับที่วิเคราะห์ทาง CFD ของบทความวิจัยของ Roger *et al.* (2001) มีค่าสอดคล้องกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 51.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 63.33 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD ของงานวิจัยนี้ มีค่าสอดคล้องกันกับการทดลองจากบทความของ Roger *et al.* (2001) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 65 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 71.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด แสดงตามภาพที่ 44, 45, 46 และ 47



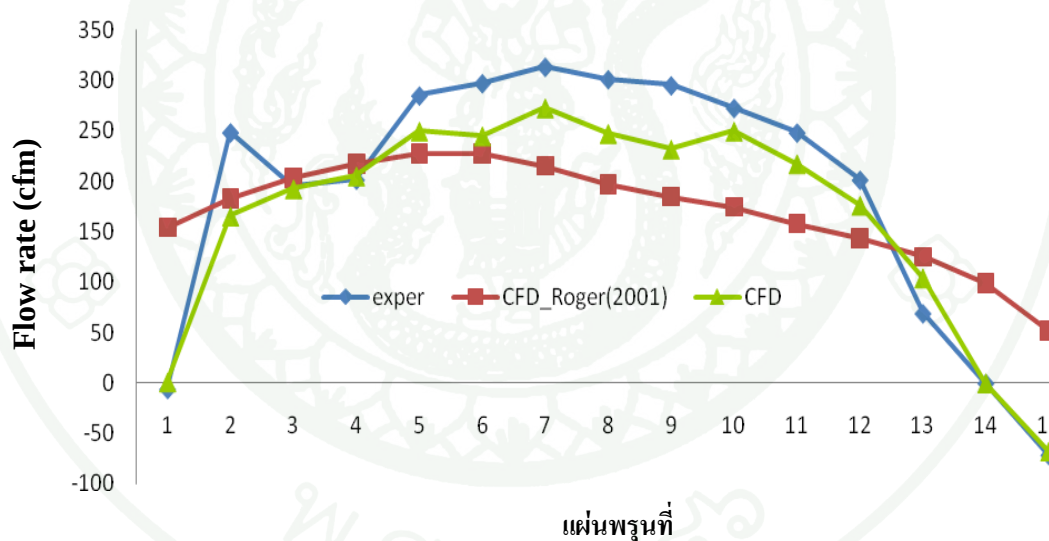
ภาพที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 1



ภาพที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 2



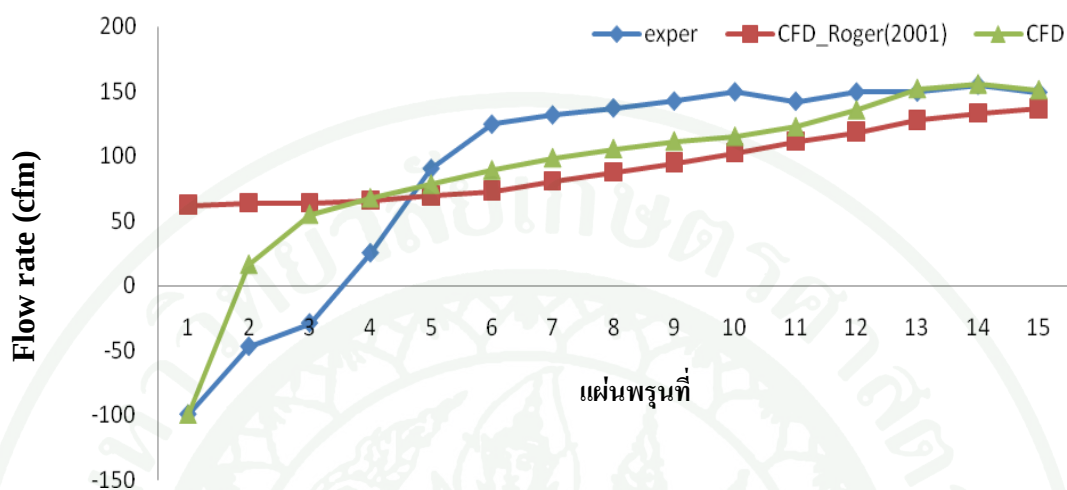
ภาพที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3



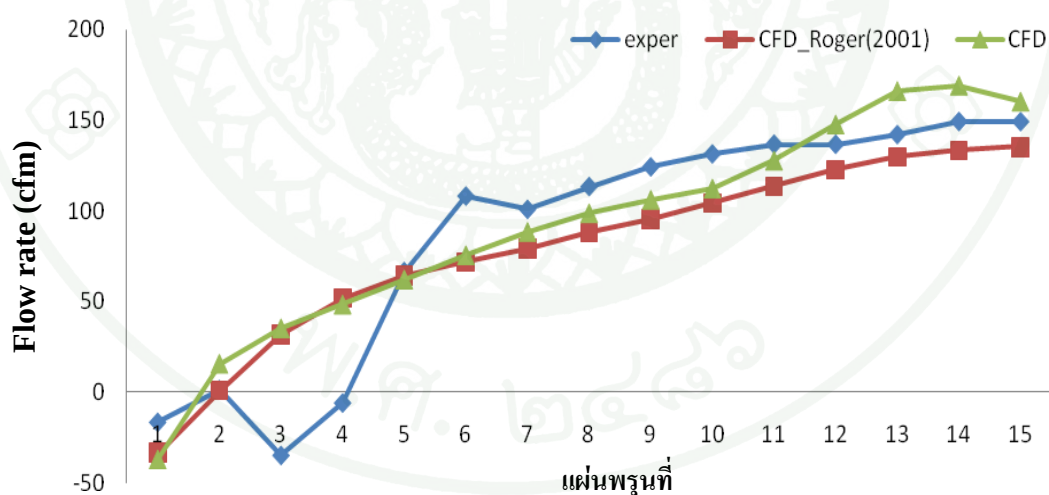
ภาพที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4

1.2 เปิด CRAC A และ CRAC B ตามภาพที่ 40 พบว่า อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ ระหว่าง การทดลองกับที่วิเคราะห์ทาง CFD ของบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) มีค่าสอดคล้องกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 33 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 51.67 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD ของงานวิจัยนี้มีค่าสอดคล้องกันกับการทดลองจากบทความของ

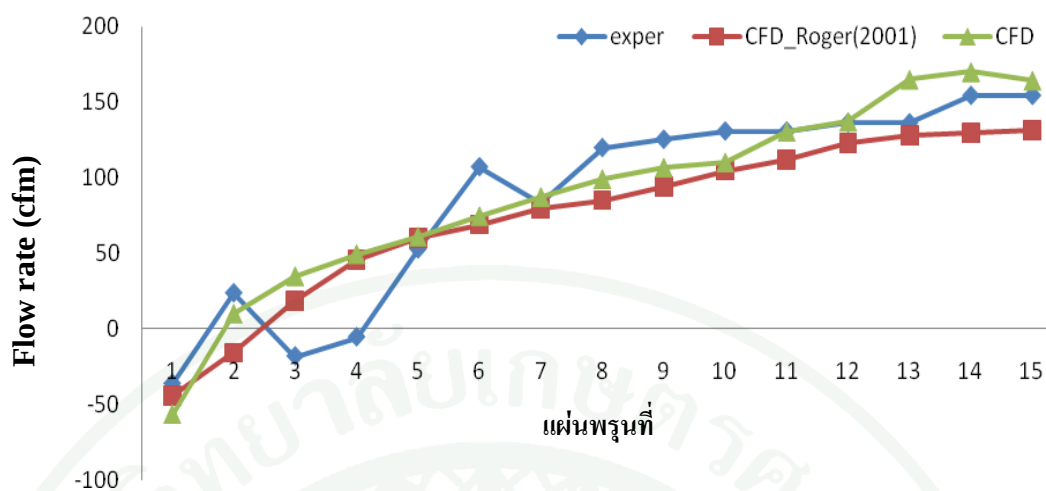
Roger *et al.* (2001) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 61 ของแผ่นพรมทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 70 ของแผ่นพรมทั้งหมดตามภาพที่ 48, 49, 50 และ 51



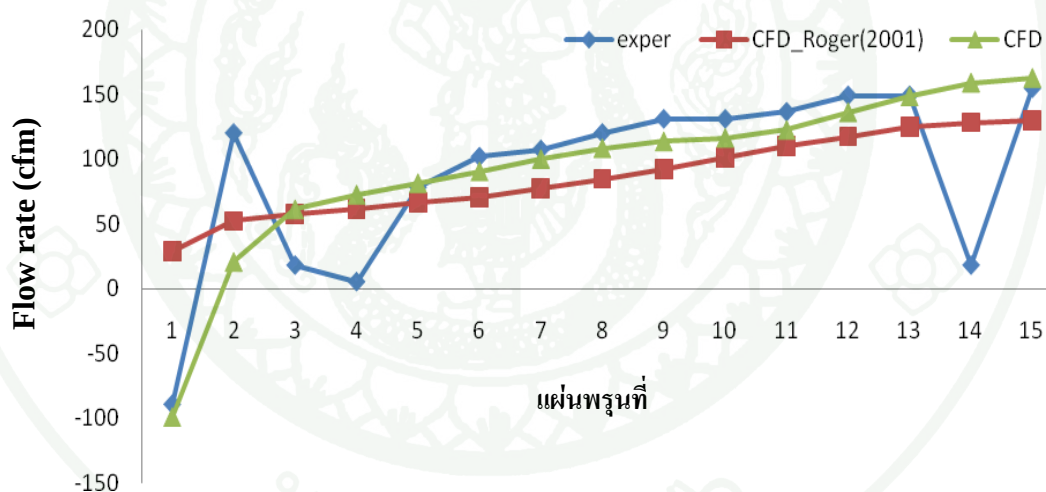
ภาพที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (cfm) ที่เปิด CRAC A และ ปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรมในแถวที่ 1



ภาพที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (cfm) ที่เปิด CRAC A และ ปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรมในแถวที่ 2



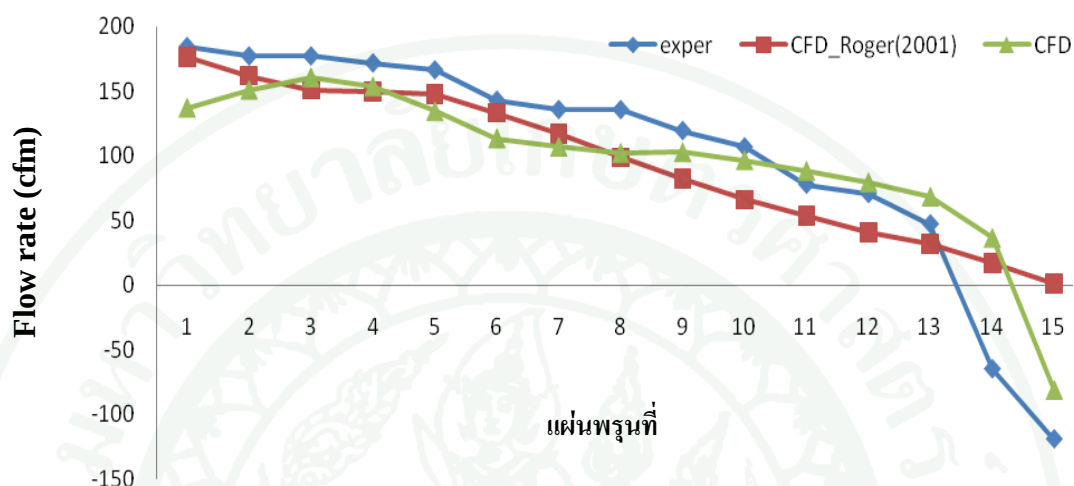
ภาพที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ ปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3



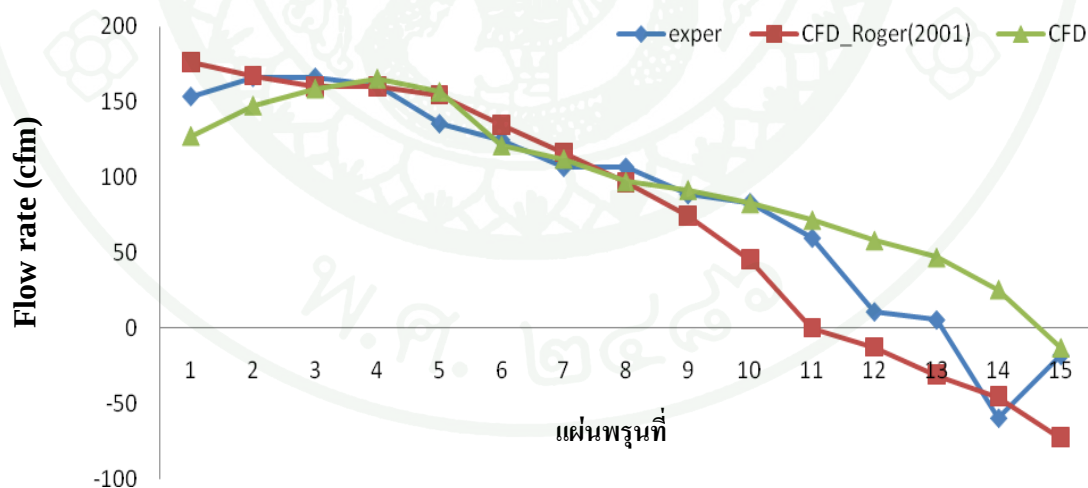
ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่เปิด CRAC A และ ปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4

1.3 ปิด CRAC A เปิด CRAC B ตามภาพที่ 41 พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณระหว่างการทดลองกับที่วิเคราะห์ทาง CFD ของบทความงานวิจัยของ Roger *et al.* (2001) มีค่าสอดคล้องกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 50 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 53.33 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทาง CFD ของงานวิจัยนี้ มีค่าสอดคล้องกันกับการทดลองจากบทความของ

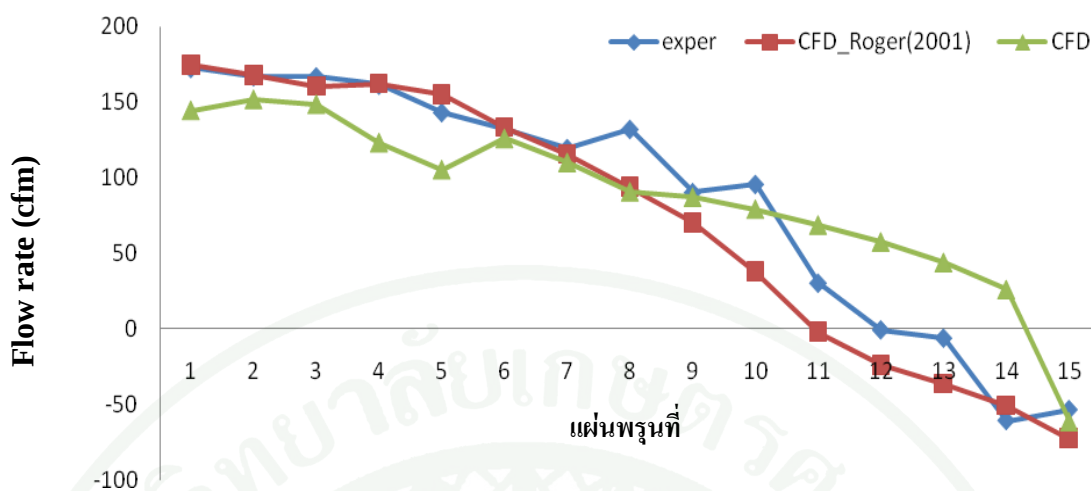
Roger *et al.* (2001) โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 46.67 ของแผ่นพรุณทั้งหมด และที่มีค่าไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 61.67 ของแผ่นพรุณทั้งหมด แสดงตามภาพที่ 52, 53, 54 และ 55



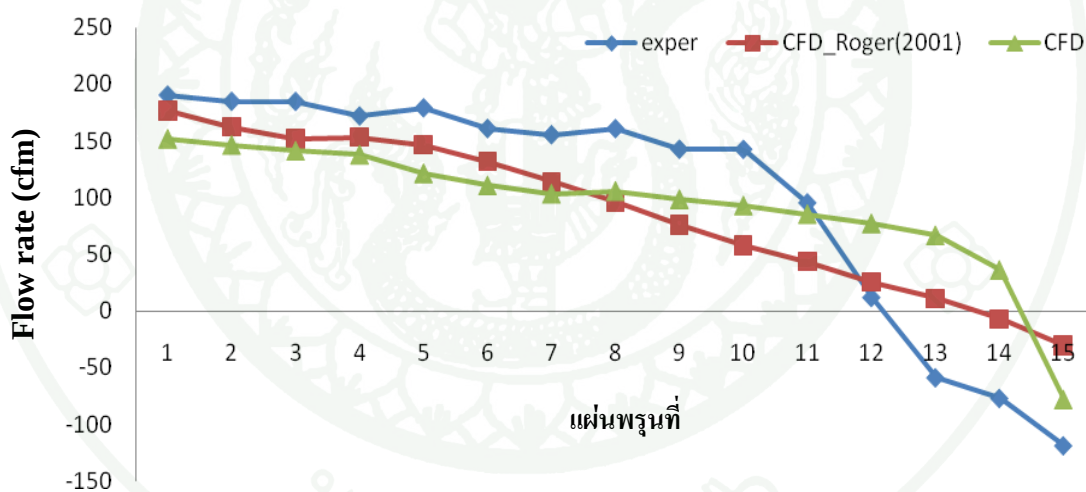
ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และ เปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 1



ภาพที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และ เปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 2



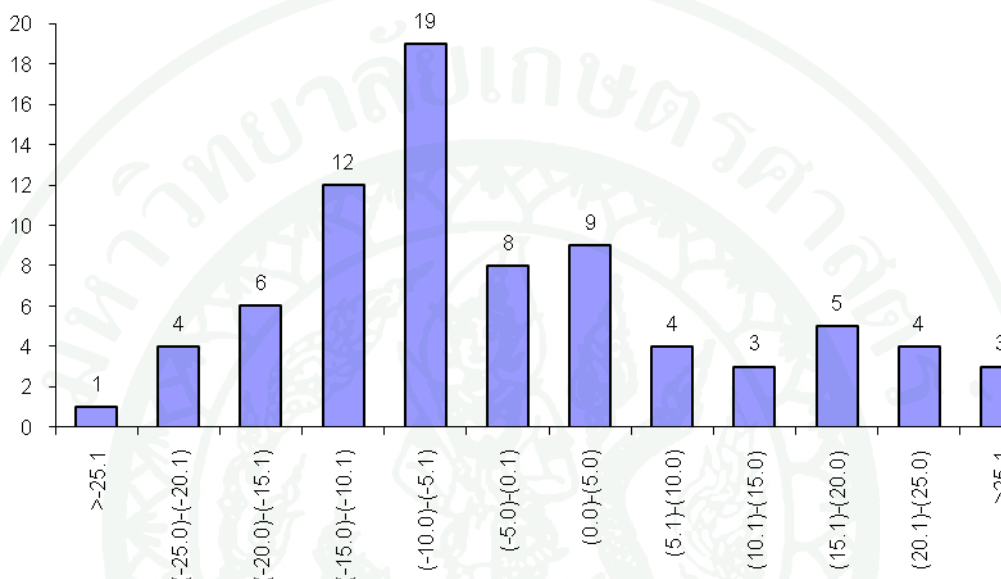
ภาพที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และ เปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 3



ภาพที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (cfm) ที่ปิด CRAC A และ เปิด CRAC B ของแต่ละแผ่นพรุณในแถวที่ 4

2. เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่วัดได้ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง นำค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านพรุณที่ได้จากการแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง

โดยจากการเปรียบเทียบพบว่ามีความคลาดเคลื่อนของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดจากห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง โดยผลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15% คิดเป็นร้อยละ 70.5 แผ่นพรุนทั้งหมด และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 84.62 ตามภาพที่ 56



ภาพที่ 56 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์กับค่าที่วัดได้จากห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง

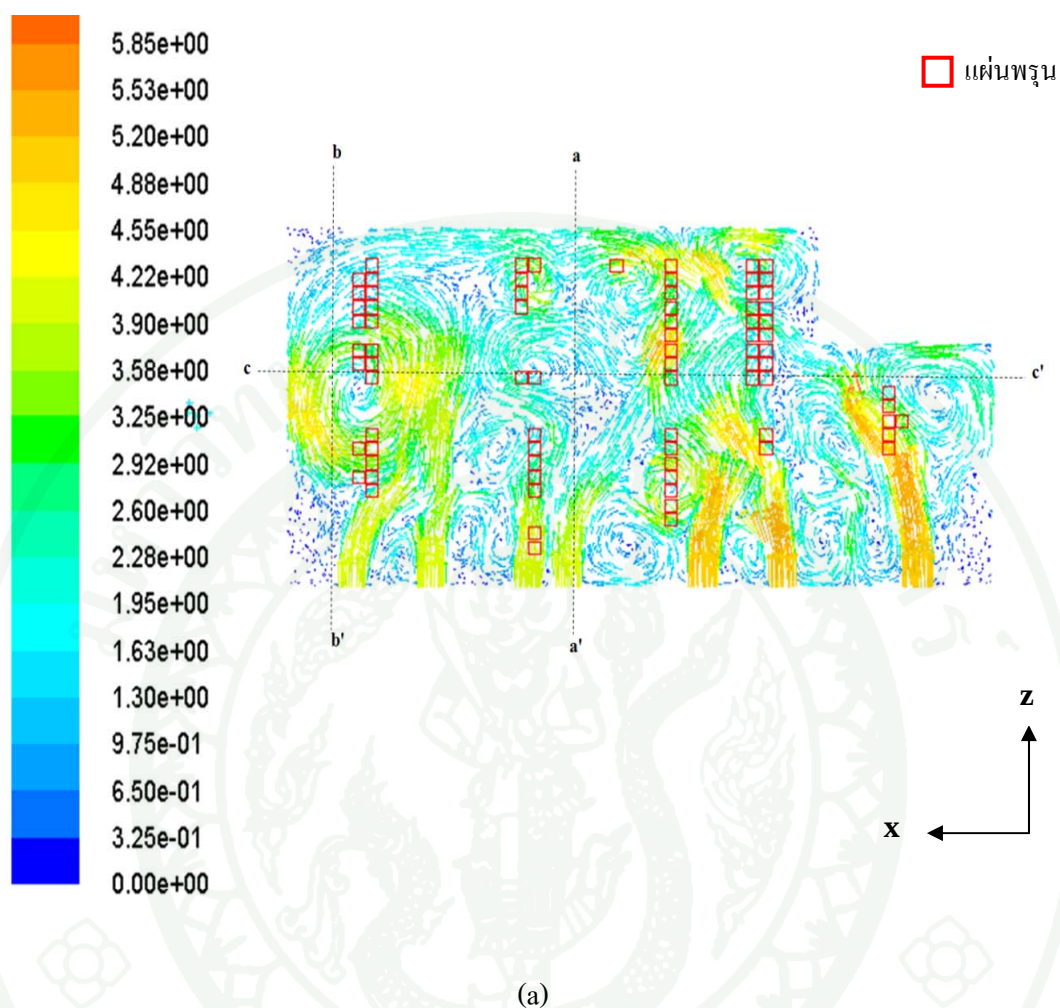
2. การวิเคราะห์การไหลภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง

จากการเปรียบเทียบประเมินผลทั้งสองแนวทาง แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยทำนายปรากฏการณ์ของการไหลแบบปั่นป่วนสำหรับระบบปรับอากาศแบบพินยกลายได้ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผลจากการใช้โปรแกรม CFD และการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ พบว่า การไหลของอากาศที่ทางเข้าของหมายเลข 1 และ 7 ถ้าอากาศเกิดการไหลเอียงเนื่องมาจากเกิดการไหลวนที่บริเวณมุมของห้อง ดังแสดงในภาพที่ 57 (a) ซึ่งเป็นภาพตัดในแนวแกน y ที่ $y = 0.2 \text{ m}$ ได้พื้นยก สำหรับภาพที่ 57 (b) เป็นภาพตัด

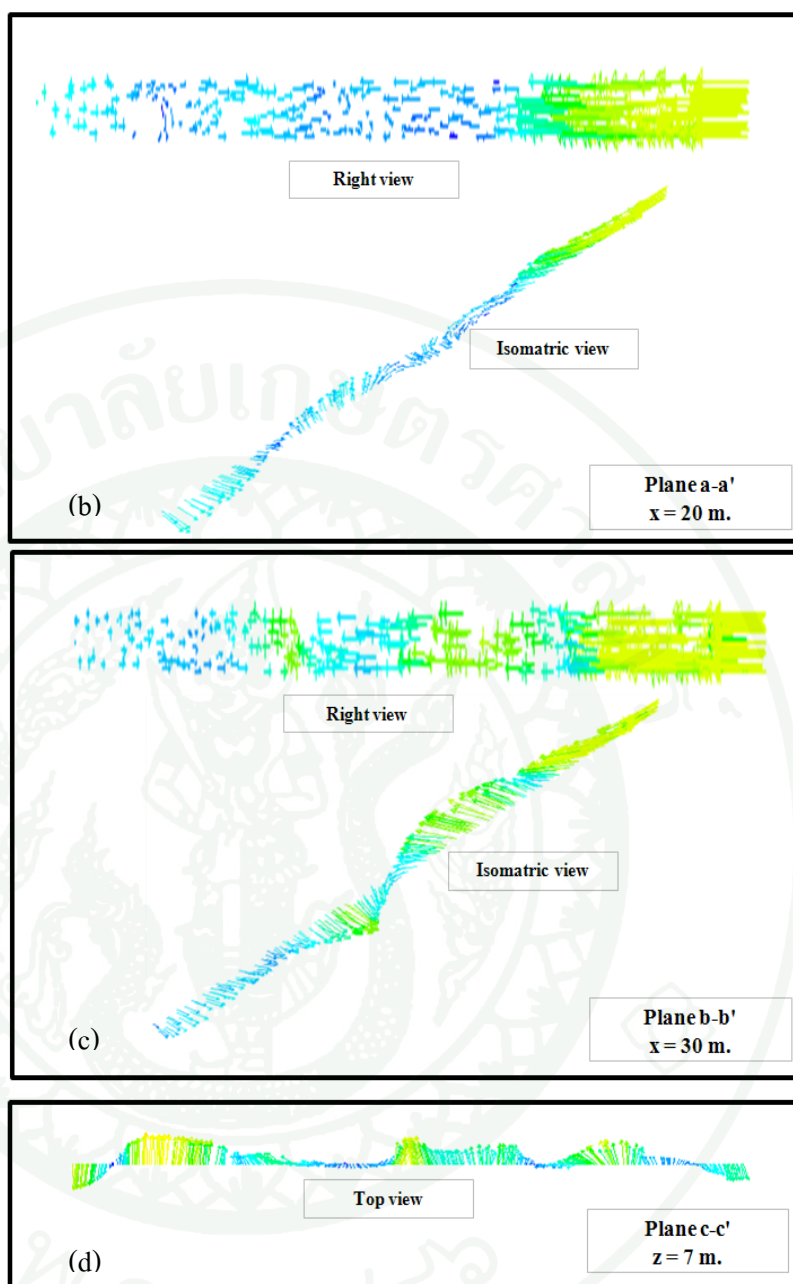
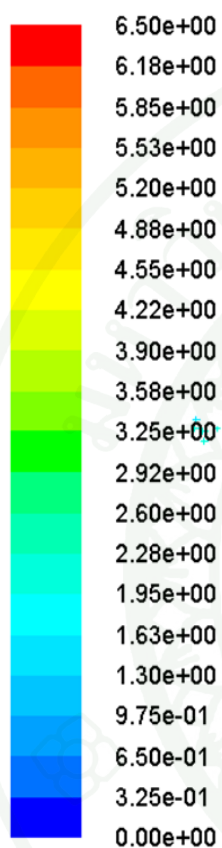
ในแนวแกน x ที่ $x = 20$ m พบว่า มีการเกิดการไหลวนแต่เป็นบริเวณที่มีความเร็วที่ต่ำจึงทำให้เกิดการไหลวนที่มีขนาดเล็กและมีความเร็วที่ต่ำ ส่วนภาพที่ 57 (c) เป็นภาพตัดในแนวแกน x ที่ $x = 30$ m เป็นบริเวณที่ตัดผ่านบริเวณที่มีการไหลวนขนาดใหญ่ที่มีความเร็วสูง ซึ่งเกิดจากการไหลของอากาศในทิศทางในแนวแกน x มารวมกับการไหลที่ไหลมาจาก CRAC และเนื่องจากเป็นบริเวณมุมห้อง จึงทำให้เกิดการไหลวนที่มีขนาดใหญ่และมีความเร็วสูงโดยทิศทางการไหลวนจะไหลในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ภาพที่ 57 (d) แสดงภาพตัดในแนวแกน z ที่ $z = 7$ m ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการไหลของอากาศในทิศทางที่มาจาก CRAC และมีการไหลย้อนกลับในทิศทางตรงกันข้าม แสดงว่าอากาศที่ไหลมาจาก CRAC จะไปปะทะกับผนังฝั่งตรงกันข้ามแล้วเกิดมีการไหลย้อนกลับจากการไหลวนที่มีขนาดใหญ่และมีความเร็วสูงนี้จะส่งผลทำให้เกิดความดันต่ำในบริเวณนั้น ภาพที่ 58 (a) เป็นภาพตัดในแนวแกน y ที่ $y = 0.2$ m ได้พื้นยก ซึ่งจากการที่อากาศเย็นมีค่าความดันที่ต่ำในบริเวณนั้น ส่งผลให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านแผ่นพรุณขึ้นมาสู่ด้านบนของพื้นยกได้ ทำให้ปริมาณลมในบริเวณนั้นไม่เพียงพอในการระบายความร้อนให้กับคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บริเวณนั้น เกิดเป็นจุด hot spot ซึ่งอาจทำให้คอมพิวเตอร์เกิดความเสียหายได้ สำหรับภาพที่ 58 (b) เป็นภาพตัดในแนวแกน x ที่ $x = 20$ m แสดงให้เห็นว่าในบริเวณนี้มีค่าความดันใกล้เคียงตลอดทั้งภาพตัด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการไหลวนที่มีขนาดเล็กและมีความเร็วที่ต่ำ (โดยได้แสดงไว้ในภาพที่ 57 (b)) ภาพที่ 58 (c) เป็นภาพตัดในแนวแกน x ที่ $x = 30$ m เป็นภาพตัดที่ตัดผ่านบริเวณที่เกิดการไหลวนของอากาศขนาดใหญ่และมีความเร็วสูงดัง (แสดงไว้ในภาพที่ 57 (c)) ซึ่งภาพที่ 58 (c) แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดการไหลวนจะมีค่าความดันที่ต่ำตลอดทั้งความสูงของพื้นยกและภาพที่ 58 (d) เป็นภาพตัดในแนวแกน z ที่ $z = 7$ m เป็นภาพตัดในแนวความยาวของพื้นยกซึ่งตัดผ่านทั้งในบริเวณที่เกิดการไหลวนและบริเวณที่ไม่เกิดการไหลวนของอากาศ แสดงให้เห็นว่าจะมีความดันเท่ากันตลอดแนวความสูงของพื้นยก

แถบสีเวกเตอร์ความเร็ว (m/s)



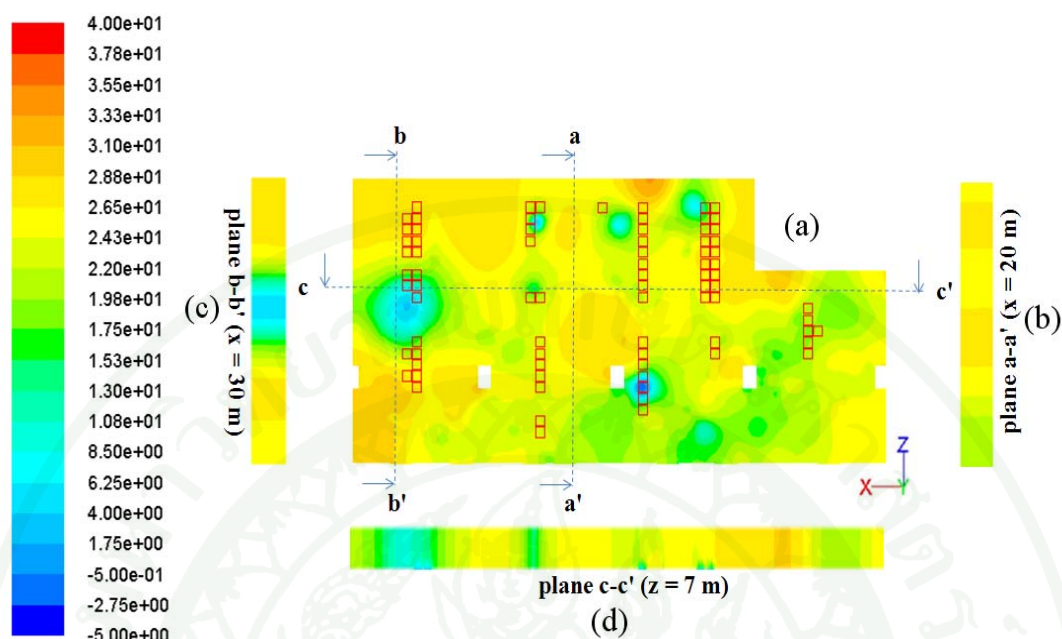
ภาพที่ 57 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ของการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นที่สำหรับระบบปรับอากาศแบบพื้นที่ภายใต้ห้องเก็บข้อมูล (Data Center) ขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่งโดย (a) คือ ภาพตัดในแนวระนาบแกน y ($y = 0.2$ m) (b) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 20$ m), (c) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 30$ m) และ (d) คือ ภาพตัดในแนวแกน z ($z = 7$ m)

แถบสีแสดงความเร็ว
(m/s)



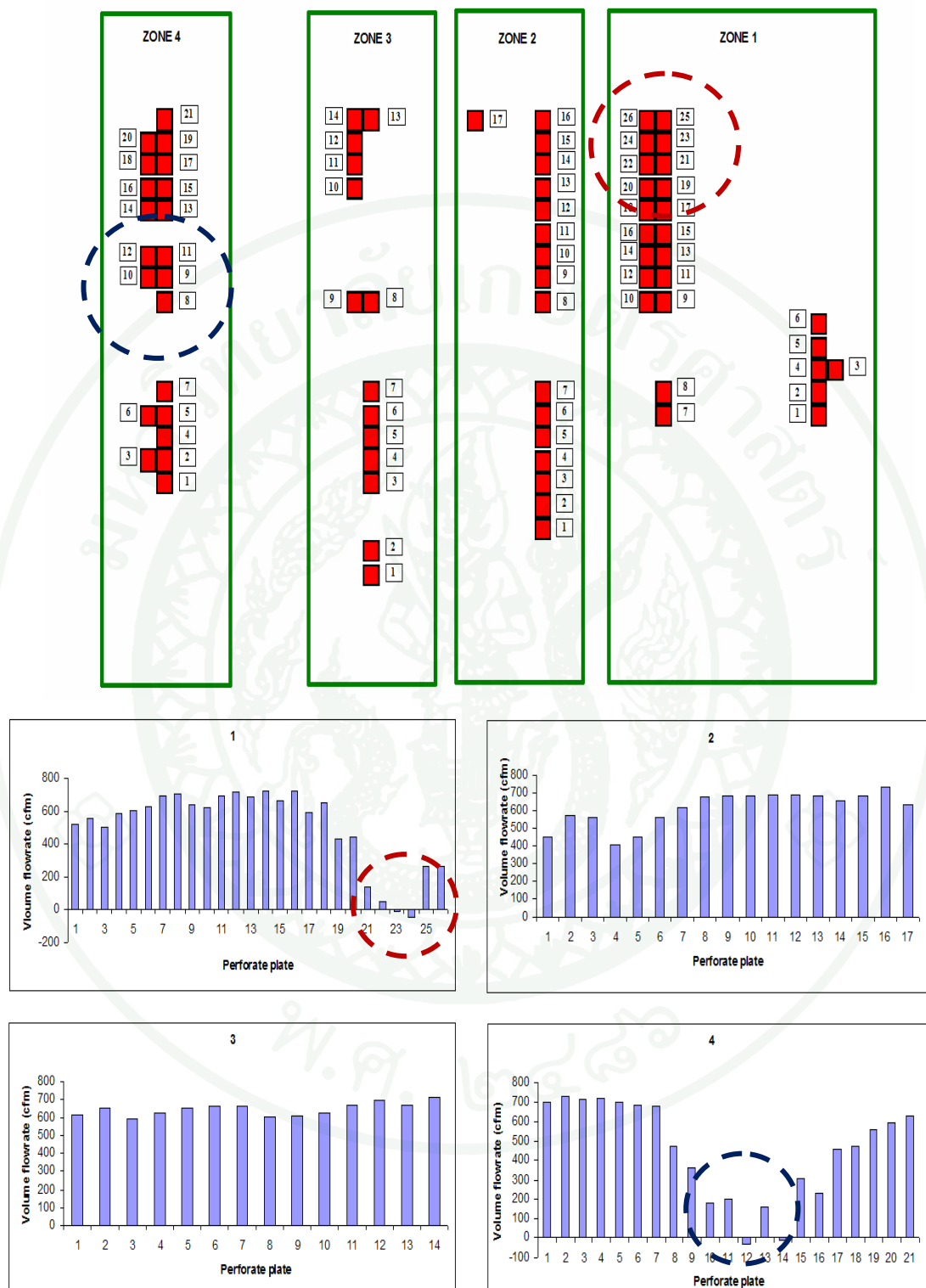
ภาพที่ 57 (ต่อ)

แถบสีความดัน (pa)



ภาพที่ 58 แสดงความดัน (pa) ของการไหลของอากาศเย็นภายใต้พื้นยกสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื้นยกภายใต้ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง (a) คือ ภาพตัดในแนวระนาบแกน y ($y = 0.2$ m), (b) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 20$ m), (c) คือ ภาพตัดในแนวแกน x ($x = 30$ m) และ (d) คือ ภาพตัดในแนวแกน z ($z = 7$ m)

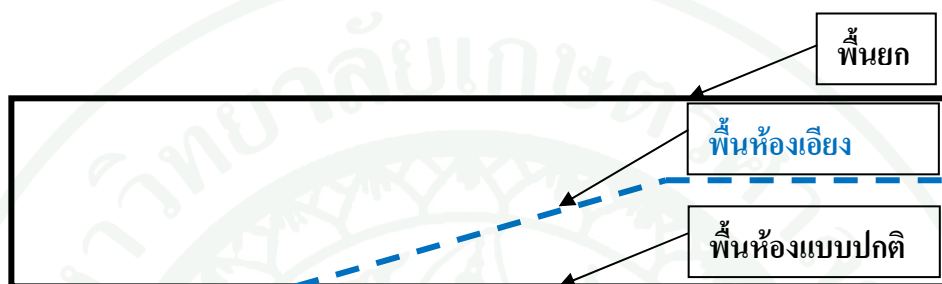
จากภาพที่ 59 ซึ่งแสดงตำแหน่งแผ่นพรมทุกแผ่นในแต่ละโซนและปริมาณลมที่ไหลออกจากแผ่นพรมแต่ละแผ่นในแต่ละโซน จากผลการวิเคราะห์ พบว่าโซนที่ 1 บริเวณแผ่นที่ 21-24 และโซนที่ 4 บริเวณแผ่นพรมที่ 12-14 เป็นบริเวณที่เกิดการไหลวนของอากาศเย็นใต้พื้นยก เกิดเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำ ทำให้อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมบริเวณนี้มีค่าต่ำ จึงเป็นบริเวณที่อาจเกิดจุดร้อน (hot spot) ได้ หากมีการติดตั้งคอมพิวเตอร์ในบริเวณนี้เป็นจำนวนมากอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ในขณะที่บริเวณโซนที่ 2 และโซนที่ 3 การกระจายลมเย็นจากแผ่นพรมในบริเวณนี้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น จึงควรติดตั้งคอมพิวเตอร์ในบริเวณนี้ เพราะลมเย็นจะช่วยระบายความร้อนจากคอมพิวเตอร์ได้ดี



ภาพที่ 59 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพอร์น (cfm) ในแต่ละแผ่นในแต่ละโซน

3. การออกแบบและปรับปรุงพื้นที่ยกแบบพื้นห้องเอียง

ในการออกแบบและปรับปรุงพื้นที่ยกแบบพื้นห้องเอียงนั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ห้องแบบปกติให้เป็นพื้นที่ห้องที่มีลักษณะเอียงตามภาพที่ 60 เพื่อที่จะปรับปรุงให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านพรมมีค่าใกล้เคียงกันทั่วทุกแผ่น



ภาพที่ 60 แสดงการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ปกติให้เป็นแบบพื้นห้องเอียง

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบพื้นที่ห้องแบบเรียบปกติให้เป็นแบบเอียงจะต้องอ้างอิงตัวแปรใหม่ 6 ตัวแปร ดังแสดงในภาพที่ 61



L คือ ระยะความยาวของห้องในแนวทิศทางการไหล H คือ ระยะความสูงของพื้นที่ยก
a คือ ระยะความสูงจากพื้นที่ห้องด้านบนถึงพื้นที่ยก b คือ ระยะความยาวของพื้นที่ห้องด้านบน
c คือ ระยะห่างจาก CRAC จนถึงแผ่นพรมแผ่นแรก d คือ ระยะความยาวของพื้นที่ห้องด้านล่าง

ภาพที่ 61 แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในการปรับปรุงพื้นที่ห้องเอียง

ในการออกแบบพื้นที่ห้องเย็นนี้ได้ทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์หลายรูปแบบ โดยเปลี่ยนแปลงระยะความยาวของห้อง (L) และระยะความสูงของพื้นที่ห้อง (H) สำหรับ CRAC 1 เครื่อง จะมีระยะความยาวห้องไม่เกิน 15 m ($L \leq 15$ m) และระยะความสูงพื้นที่ห้องไม่น้อยกว่า 0.3 m ($H \geq 0.3$ m) และทำการหาอัตราส่วนของระยะความยาวของห้องกับระยะความสูงของพื้นที่ (L/H) ทั้งหมด 11 ค่า ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณระยะความยาว (L) ระยะความสูงของพื้นที่ (H) และอัตราส่วนของระยะความยาวกับความสูงพื้นที่ (L/H)

	L (mm)	H (mm)	L/H
1	5490	300	18.3
2	6274.286	308.5714	20.33333
3	7058.571	315.5844	22.36667
4	7842.857	321.4286	24.4
5	8627.143	326.3736	26.43333
6	9411.429	330.6122	28.46667
7	10195.71	334.2857	30.5
8	10980	337.5	32.53333
9	11764.29	340.3361	34.56667
10	13332.86	345.1128	38.63333
11	15685.71	350.6494	44.73333

หลังจากนั้นทำการสร้างแบบการวิเคราะห์ของพื้นที่ห้องเย็น ตามค่าในตารางที่ 5 โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่า ระยะความยาวของพื้นที่ห้องด้านบน (b) และระยะความยาวของพื้นที่ห้องด้านล่าง (d) และกำหนดให้ค่า ระยะความสูงจากพื้นที่ห้องด้านบนถึงพื้นที่ (a) และระยะห่างจาก CRAC จนถึงแผ่นพวณแผ่นแรก (c) เป็นค่าคงที่ โดยให้ $a = 5/30$ ของระยะความสูงของพื้นที่ ($a = (5/30) \cdot H$) และ $c = 122/549$ ของระยะความยาวห้อง ($c = (122/549) \cdot L$) ซึ่งค่าที่ต้องการหา คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพวณที่มีค่าต่ำที่สุด โดยจะแสดงตัวอย่างขั้นตอนในการคำนวณไว้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการเลือกค่าอัตราส่วนของระยะความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยกเท่ากับ 18.3 ตามตารางที่ 5

จะได้ ค่าระยะความยาวของห้อง (L) เท่ากับ 5490 mm
 ค่าระยะความสูงของพื้นยก (H) เท่ากับ 300 mm

ขั้นที่ 2 ทำการเปลี่ยนแปลงค่า b และ d ทำการเปลี่ยนแปลงค่า b เท่ากับ 0 mm, 610 mm, 1220 mm, 1830 mm, 2440 mm, 3050 mm และทำการเปลี่ยนแปลงค่า d เท่ากับ 0 mm, 610 mm, 1220 mm, 1830 mm, 2440 mm, 3050 mm โดยวิธีการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ตามที่ 63 แล้วหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้พลังงานของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพูนดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ L/H = 18.3

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)						ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	
1	5490	300	18.3	0	0	308.06	329.45	332.98	335.30	340.20	354.27	15.12
2	5490	300	18.3	610	0	328.97	345.89	341.75	331.02	311.79	340.86	12.44
3	5490	300	18.3	1220	0	359.35	367.60	347.28	296.24	268.48	361.36	41.02
4	5490	300	18.3	1830	0	403.43	394.32	317.60	200.22	291.18	393.54	80.00
5	5490	300	18.3	2440	0	460.78	377.86	168.10	219.47	325.38	448.60	119.87
6	5490	300	18.3	3050	0	526.29	222.06	-238.46	737.81	181.09	571.17	352.11
7	5490	300	18.3	0	610	312.95	332.81	334.91	335.15	336.56	347.90	11.35
8	5490	300	18.3	610	610	333.85	349.25	343.67	330.86	308.15	334.49	14.16
9	5490	300	18.3	1220	610	364.23	370.95	349.20	296.09	264.84	354.99	42.82
10	5490	300	18.3	1830	610	408.32	397.68	319.52	200.07	287.54	387.17	80.88
11	5490	300	18.3	2440	610	465.66	381.22	170.02	219.32	321.74	442.22	119.55
12	5490	300	18.3	3050	610	531.17	225.42	-236.54	737.66	177.45	564.79	351.25
13	5490	300	18.3	0	1220	316.31	334.02	335.96	335.43	335.72	342.81	8.91
14	5490	300	18.3	610	1220	337.22	350.46	344.73	331.15	307.32	329.41	15.07
15	5490	300	18.3	1220	1220	367.60	372.16	350.26	296.38	264.01	349.91	43.39
16	5490	300	18.3	1830	1220	411.68	398.89	320.58	200.36	286.71	382.09	81.03

ตารางที่ 6 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)						ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	
17	5490	300	18.3	2440	1220	469.03	382.43	171.08	219.61	320.90	437.14	119.18
18	5490	300	18.3	3050	1220	534.53	226.63	-235.48	737.95	176.62	559.71	350.69
19	5490	300	18.3	0	1830	318.22	334.77	336.96	336.79	335.63	337.91	7.51
20	5490	300	18.3	610	1830	339.12	351.21	345.72	332.51	307.22	324.50	15.92
21	5490	300	18.3	1220	1830	369.50	372.92	351.25	297.73	263.91	345.00	43.40
22	5490	300	18.3	1830	1830	413.59	399.64	321.57	201.71	286.61	377.18	80.50
23	5490	300	18.3	2440	1830	470.93	383.18	172.07	220.97	320.80	432.23	118.31
24	5490	300	18.3	3050	1830	536.44	227.38	-234.49	739.31	176.52	554.80	350.24
25	5490	300	18.3	0	2440	313.18	335.37	338.37	339.16	337.09	337.10	9.98
26	5490	300	18.3	610	2440	334.09	351.81	347.13	334.87	308.69	323.69	15.72
27	5490	300	18.3	1220	2440	364.47	373.52	352.66	300.10	265.38	344.19	41.95
28	5490	300	18.3	1830	2440	408.55	400.24	322.98	204.08	288.08	376.37	78.55
29	5490	300	18.3	2440	2440	465.90	383.78	173.48	223.33	322.27	431.42	116.20
30	5490	300	18.3	3050	2440	531.41	227.98	-233.07	741.67	177.99	553.99	349.49
31	5490	300	18.3	0	3050	305.53	331.81	339.20	343.04	341.86	338.83	14.19
32	5490	300	18.3	610	3050	326.44	348.25	347.96	338.75	313.45	325.43	13.94

ตารางที่ 6 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)						ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	
33	5490	300	18.3	1220	3050	356.82	369.95	353.49	303.98	270.14	345.93	38.24
34	5490	300	18.3	1830	3050	400.90	396.68	323.81	207.96	292.84	378.10	74.88
35	5490	300	18.3	2440	3050	458.25	380.22	174.31	227.21	327.04	433.16	113.45
36	5490	300	18.3	3050	3050	523.76	224.42	-232.24	745.55	182.75	555.73	349.30

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ขั้นที่ 3 นำค่า b และ d ที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ มาเปลี่ยนเป็นตัวแปรที่ไร้หน่วย B และ D ตามลำดับ

โดยที่ b จะเปลี่ยนเป็นค่า B ซึ่งมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของ b กับอัตราส่วนความยาวของห้อง (b/L) และ d จะเปลี่ยนเป็นค่า D ซึ่งมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของ d กับอัตราส่วนความยาวของห้อง (d/L) ดังแสดงในตารางที่ 7

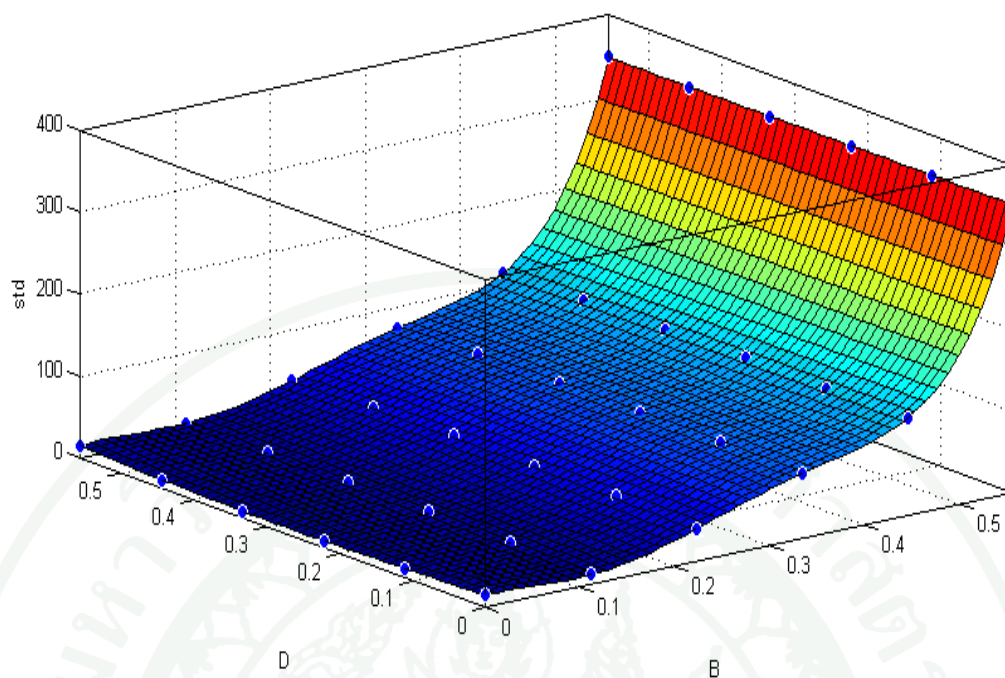
ตารางที่ 7 แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วยของ b และ d

	B	D
1	0	0
2	0.111111	0
3	0.222222	0
4	0.333333	0
5	0.444444	0
6	0.555556	0
7	0	0.111111
8	0.111111	0.111111
9	0.222222	0.111111
10	0.333333	0.111111
11	0.444444	0.111111
12	0.555556	0.111111
13	0	0.222222
14	0.111111	0.222222
15	0.222222	0.222222
16	0.333333	0.222222
17	0.444444	0.222222
18	0.555556	0.222222
19	0	0.333333
20	0.111111	0.333333

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	B	D
21	0.222222	0.333333
22	0.333333	0.333333
23	0.444444	0.333333
24	0.555556	0.333333
25	0	0.444444
26	0.111111	0.444444
27	0.222222	0.444444
28	0.333333	0.444444
29	0.444444	0.444444
30	0.555556	0.444444
31	0	0.555556
32	0.111111	0.555556
33	0.222222	0.555556
34	0.333333	0.555556
35	0.444444	0.555556
36	0.555556	0.555556

ขั้นที่ 4 นำค่า B และ D ที่ได้มาทำการสร้างสมการความสัมพันธ์กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อที่จะหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดของค่าอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นที่ยก ($L/H = 18.3$) ซึ่งจะได้เป็นกราฟที่มี 3 แกน คือ แกน x คือ ค่า B แกน y คือ ค่า D และแกน z คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) ดังแสดงภาพที่ 62 และแสดงสมการความสัมพันธ์อยู่ในสมการที่ 7



ภาพที่ 62 แสดงความสัมพันธ์ของค่า B, D และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD)

$$\begin{aligned} \text{STD}(B, D) = & p00 + p10*B + p01*D + p20*B^2 + p11*B*D + p02*D^2 + p30*B^3 + \\ & p21*B^2*D + p12*B*D^2 + p03*D^3 + p40*B^4 + p31*B^3*D + \\ & p22*B^2*D^2 + p13*B*D^3 + p04*D^4 + p50*B^5 + p41*B^4*D + \\ & p32*B^3*D^2 + p23*B^2*D^3 + p14*B*D^4 + p05*D^5 \end{aligned} \quad (7)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ

$$p00 = 15$$

$$p10 = 136.6$$

$$p01 = -28.$$

$$p20 = -4548$$

$$p11 = 735.3$$

$$p02 = -72.34$$

$$p30 = 3.894e+004$$

$$p21 = -3060$$

$$p12 = -419.8$$

$$p03 = 383.9$$

$$p40 = -1.068e+005$$

$$p31 = 3999$$

$$p22 = 2900$$

$$p13 = -1638$$

$$p04 = -313.9$$

$$p50 = 9.755e+004$$

$$p41 = -1383$$

$$p32 = -3149$$

$$p23 = 1224$$

$$p14 = 790$$

$$p05 = 22.21$$

ขั้นที่ 5 นำสมการที่ 7 มาทำการหาค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วน ของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก ($L/H = 18.3$) ซึ่งค่า B และ D ที่ได้แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) มีค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก ($L/H = 18.3$)

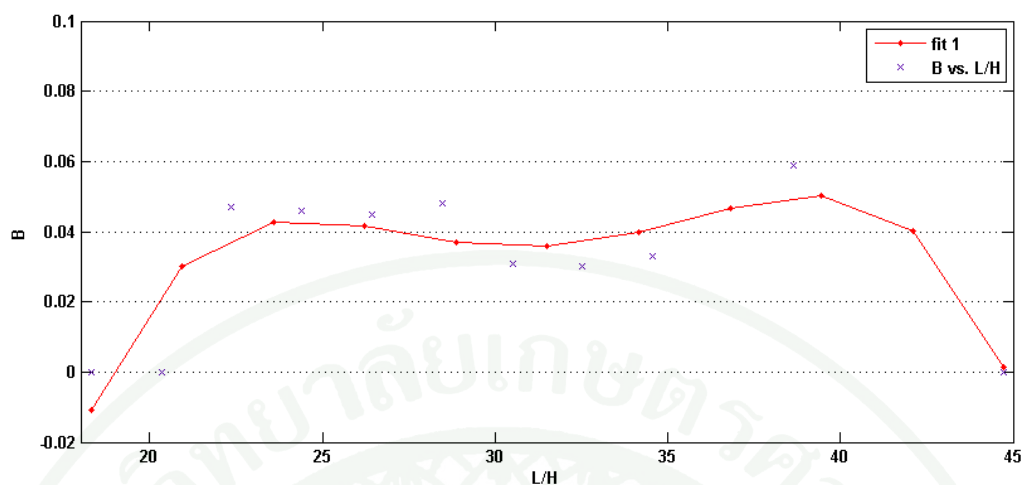
L/H	B	D	STD
18.3	0	0.305	7.700228

ขั้นที่ 6 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1-6 ในทุกๆ ค่า ของอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H) จากตารางที่ 5 ซึ่งจะได้ค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) มีค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9

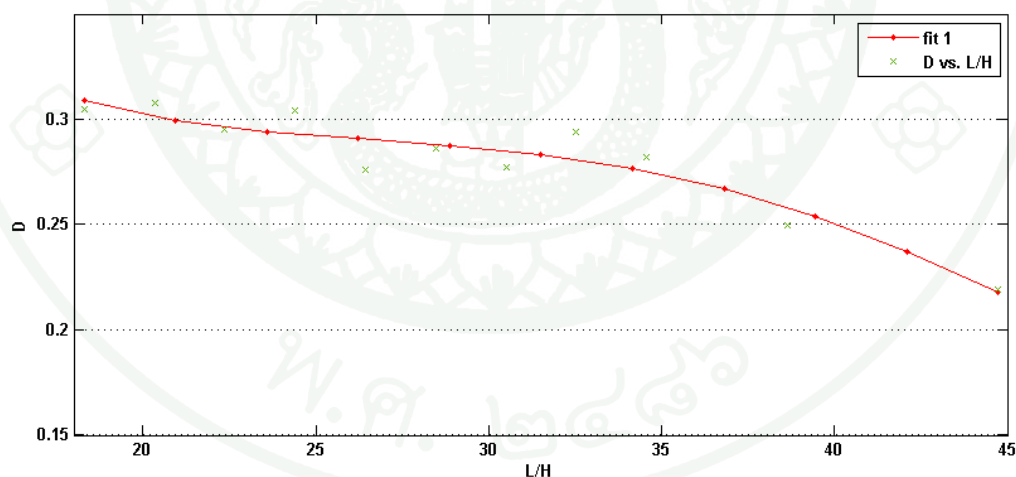
ตารางที่ 9 แสดงค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำที่สุดของอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H) ทุกๆ ค่าจากตารางที่ 5

	L/H	B	D	STD
1	18.3	0	0.305	7.700228
2	20.33333	0	0.308	8.325568
3	22.36667	0.047	0.295	7.205261
4	24.4	0.046	0.304	7.79555
5	26.43333	0.045	0.276	7.634676
6	28.46667	0.048	0.286	8.649295
7	30.5	0.031	0.277	8.75027
8	32.53333	0.03	0.294	11.51904
9	34.56667	0.033	0.282	9.830694
10	38.63333	0.059	0.25	17.18958
11	44.73333	0	0.219	30.67171

ขั้นที่ 7 นำค่า B และ D ที่ได้จากตารางที่ 9 มาทำการสร้างสมการความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H) โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง L/H กับ B และ L/H กับ D แสดงอยู่ในภาพที่ 63 และภาพที่ 64 เพื่อที่จะหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า B กับค่าอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H) และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า D กับค่าอัตราส่วนของความยาวของห้องกับความสูงของพื้นยก (L/H)



ภาพที่ 63 แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย B ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตารางที่ 9 (แสดงในจุดสีม่วง) กับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (แสดงในเส้นกราฟสีแดง) ที่ทุกๆ ค่าของค่า L/H



ภาพที่ 64 แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย D ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตารางที่ 9 (แสดงในจุดสีเขียว) กับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของจุดต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (แสดงในเส้นกราฟสีแดง) ที่ทุกๆ ค่าของค่า L/H

และจากการสร้างสมการความสัมพันธ์จะได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง L/H กับ B และ L/H กับ D ดังแสดงไว้ในสมการที่ 8 และ 9

$$B = \beta_1*(L/H)^4 + \beta_2*(L/H)^3 + \beta_3*(L/H)^2 + \beta_4*(L/H) + \beta_5 \quad (8)$$

โดยที่ $\beta_1 = -3.24e-06$

$$\beta_2 = 0.000415$$

$$\beta_3 = -0.01951$$

$$\beta_4 = 0.3989$$

$$\beta_5 = 2.945$$

และ

$$D = \alpha_1*(L/H)^4 + \alpha_2*(L/H)^3 + \alpha_3*(L/H)^2 + \alpha_4*(L/H) + \alpha_5 \quad (9)$$

โดยที่ $\alpha_1 = 3.05e-07$

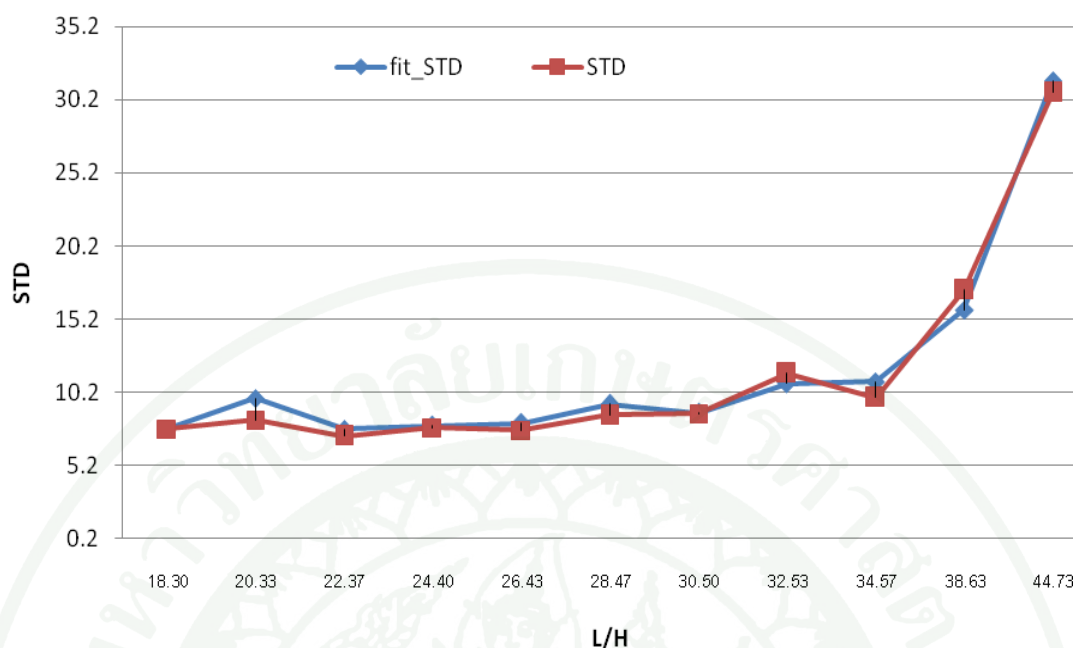
$$\alpha_2 = -4.65e-05$$

$$\alpha_3 = 0.002417$$

$$\alpha_4 = -0.05391$$

$$\alpha_5 = 0.7373$$

ขั้นที่ 8 นำค่า B และ D ที่ได้จากการสมการความสัมพันธ์ซึ่งแสดงในสมการที่ 8 และ 9 มาทำการสร้างแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากแบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดในตารางที่ 9 ดังแสดงในภาพที่ 65 เพื่อที่จะหาค่าความคลาดเคลื่อน



ภาพที่ 65 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของ B และ D จากสมการที่ 8 และ 9 (แสดงในเส้นกราฟสีน้ำเงิน) กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) ที่ต่ำที่สุดจากตารางที่ 9 (แสดงในเส้นกราฟสีแดง)

ซึ่งจากการเปรียบเทียบ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองวิธี มีค่าใกล้เคียงกันมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8% ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบการปรับปรุงพื้นที่ห้องแบบเอียง ได้แสดงทั้งหมดในรูปของตัวแปรไร้หน่วย และค่าคงที่ดังนี้

- สมการที่ใช้ในการออกแบบพื้นที่ห้องแบบเอียงในรูปของตัวแปรที่ไร้หน่วย

- จากสมการที่ (8) จะได้

$$B = \beta_1*(L/H)^4 + \beta_2*(L/H)^3 + \beta_3*(L/H)^2 + \beta_4*(L/H) + \beta_5$$

โดยที่ $\beta_1 = -3.24e-06$

$$\beta_2 = 0.000415$$

$$\beta_3 = -0.01951$$

$$\beta_4 = 0.3989$$

$$\beta_5 = 2.945$$

- จากสมการที่ (9)

$$D = \alpha_1 (L/H)^4 + \alpha_2 (L/H)^3 + \alpha_3 (L/H)^2 + \alpha_4 (L/H) + \alpha_5$$

โดยที่ $\alpha_1 = 3.05e-07$

$$\alpha_2 = -4.65e-05$$

$$\alpha_3 = 0.002417$$

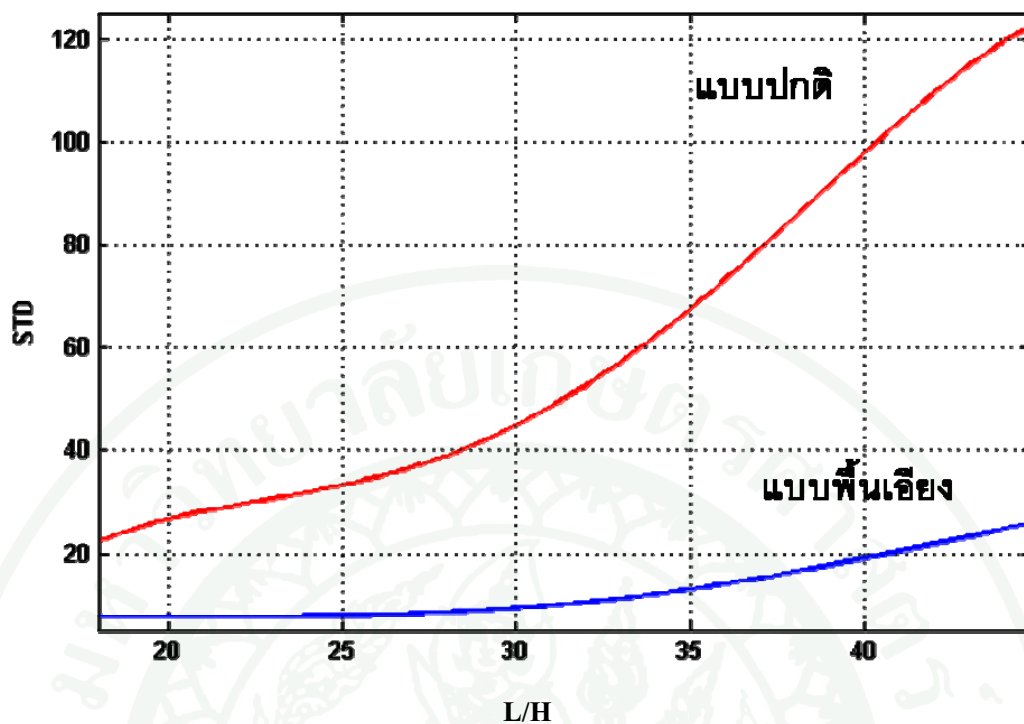
$$\alpha_4 = -0.05391$$

$$\alpha_5 = 0.7373$$

- และค่าคงที่ $A = 5/30$, $C = 122/549$

หมายเหตุ ถ้าค่า B และ D ที่ได้จากสมการที่ 10 และ 11 มีค่าเป็นลบ จะต้องทำการเปลี่ยนค่าให้เป็นศูนย์ เพราะค่า B และ D จะมีค่าน้อยกว่าศูนย์ไม่ได้ เนื่องจากค่า B และ D จะถูกแปลงเป็นค่า b และ d เพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบพื้นห้องแบบเอียง ดังนั้นค่า b และ d จึงจำเป็นจะต้องมีค่าเป็นมากกว่าเท่ากับศูนย์เท่านั้น

และจากการปรับปรุงพื้นห้องเอียงนี้จะทำให้สามารถปรับปรุงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณให้มีค่าน้อยลงได้ โดยสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณได้มากถึง 78.9% ดังแสดงในภาพที่ 66



ภาพที่ 66 แสดงการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ไหลผ่านแผ่นพรม
ระหว่างพื้นห้องแบบปกติกับแบบพื้นห้องเอียง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนกับบทความวิจัยของ Roger *et al.* (2001) โดยผลการเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการไหลของอากาศนี้ มีค่าสอดคล้องกันทั้ง 3 รูปแบบ โดยแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 65 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 71.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด แบบที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 61.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 70 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และแบบที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% คิดเป็นร้อยละ 46.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด และไม่เกิน 25% คิดเป็นร้อยละ 61.67 ของแผ่นพรุนทั้งหมด

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถนำมาใช้ในการทำนายการไหลที่เป็นแบบปั่นป่วนภายใต้พื้นที่ภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่ง โดยค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15% ซึ่งคิดเป็น 70.5% ของจำนวนแผ่นที่วัดทั้งหมด และไม่เกิน 20% ซึ่งคิดเป็น 84.5% ของจำนวนแผ่นพรุนทั้งหมด

ผลจากการวิเคราะห์ภายใต้พื้นที่ภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของธนาคารแห่งหนึ่งพบว่าเกิดการไหลวน ในบริเวณโซน 1 และโซน 4 นั้นจะทำให้มีอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน มีค่าต่ำในบริเวณนั้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดจุด hot spot คอมพิวเตอร์ในบริเวณนั้น อาจไม่สามารถระบายความร้อนได้ทัน จึงอาจเกิดความเสียหายได้ ในขณะที่โซนที่ 2 และ 3 เกิดการไหลของอากาศเย็นผ่านแผ่นพรุน สู่ด้านบนของพื้นที่ได้ดี มีการกระจายตัวของปริมาณลมที่สม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน

จากการปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนจากพื้นห้องแบบปกติเป็นแบบพื้นห้องเอียงสามารถทำให้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยแบบพื้นห้องเอียงสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ถึง 78.9% จากพื้นยกแบบปกติ และสามารถสร้างสมการสัมพันธ์ที่ใช้หาตัวแปรไว้หน่วยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบพื้นยกแบบพื้นห้องเอียง

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์กระบวนการที่เกิดขึ้นทางคอมพิวเตอร์นั้นยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองของความปั่นป่วน $k-\epsilon$ ดังนั้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจจะลองเปลี่ยนแบบจำลองความปั่นป่วนเป็นแบบอื่น เช่น LES
2. ในออกแบบการปรับปรุงแบบพื้นเอียงอาจจะทดลองทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบให้ต่างไปเพื่อที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลง
3. สร้างการทดลองที่ใช้การออกแบบพื้นยกที่เป็นแบบพื้นเอียงเพื่อที่จะได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานจริง และเพื่อที่ใช้ผลการทดลองยืนยันความถูกต้อง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

FLUENT INC. 2001. **FLUENT 6.0 User's Guide**. Lebanon, NH, U.S.A.

Idelchik, I. E. 1994. **Handbook of hydraulic resistance**. Baco Raton, FL: CRC Press.

Kailash, C., A. Radmehr and S. V. Patankar. 2003. Use of Computational Fluid Dynamics for Calculating Flow Rates Through Perforated Tiles in Raised-Floor Data Center. **International Journal of Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration Research**. 2(4): 153-166.

Kailash C., S. V. Patankar and A. Radmehr. 2003. Technique for Controlling Airflow Distribution in Raised-Floor Data Centers. **IPACK03 The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition**. July 6-11 2003, Maui, Hawaii, USA.

Roger R., K. C. Karki, Kanchan M. K., A. Radmehr, S. V. Patankar. 2001. Measurements and Predictions of The Flow Distributions Through Perforated Tile in Raised Floor Data Centers. **IPACK'01 The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition**. Kauai, Hawaii, USA.

Siddharth B, B. Sammakia, R. Schmidt, M. K. Iyengar and D. Agonafer. 2006. **Effect of under Floor Blockage on Data Center Performance**. State University of New York at Binghamton, New York, U.S.A.



ตารางผนวกที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมที่ L/H = 20.3

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)							ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	
1	6274.286	308.5714	20.33333	0	0	301.94	326.06	330.06	332.69	336.49	343.94	362.57	18.38
2	6274.286	308.5714	20.33333	610	0	321.08	342.16	341.62	336.06	327.27	314.93	350.68	12.78
3	6274.286	308.5714	20.33333	1220	0	349.65	365.05	355.91	334.18	289.49	274.58	365.10	36.89
4	6274.286	308.5714	20.33333	1830	0	389.02	395.46	367.68	296.23	204.71	291.07	390.21	71.97
5	6274.286	308.5714	20.33333	2440	0	440.51	427.36	335.48	166.86	221.24	316.63	427.10	107.77
6	6274.286	308.5714	20.33333	3050	0	505.39	447.98	181.68	-133.75	654.14	187.49	493.52	268.87
7	6274.286	308.5714	20.33333	0	610	307.81	329.87	332.87	333.83	334.97	338.51	355.91	14.16
8	6274.286	308.5714	20.33333	610	610	326.95	345.96	344.43	337.20	325.75	309.49	344.01	13.40
9	6274.286	308.5714	20.33333	1220	610	355.52	368.85	358.72	335.33	287.97	269.14	358.43	39.18
10	6274.286	308.5714	20.33333	1830	610	394.89	399.26	370.48	297.37	203.19	285.64	383.54	73.65
11	6274.286	308.5714	20.33333	2440	610	446.38	431.16	338.28	168.00	219.72	311.20	420.44	108.54
12	6274.286	308.5714	20.33333	3050	610	511.26	451.78	184.48	-132.61	652.62	182.06	486.85	268.74
13	6274.286	308.5714	20.33333	0	1220	311.53	331.42	334.56	334.65	335.68	337.72	348.22	11.02
14	6274.286	308.5714	20.33333	610	1220	330.66	347.51	346.12	338.02	326.46	308.70	336.33	13.27
15	6274.286	308.5714	20.33333	1220	1220	359.24	370.41	360.41	336.14	288.68	268.35	350.74	39.38
16	6274.286	308.5714	20.33333	1830	1220	398.61	400.82	372.17	298.19	203.90	284.85	375.86	73.57

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)							ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	
17	6274.286	308.5714	20.33333	2440	1220	450.09	432.72	339.97	168.82	220.43	310.41	412.75	108.17
18	6274.286	308.5714	20.33333	3050	1220	514.98	453.34	186.17	-131.80	653.32	181.27	479.16	268.38
19	6274.286	308.5714	20.33333	0	1830	313.77	332.11	334.98	335.65	335.80	336.06	345.40	9.58
20	6274.286	308.5714	20.33333	610	1830	332.91	348.21	346.54	339.02	326.57	307.05	333.50	13.93
21	6274.286	308.5714	20.33333	1220	1830	361.48	371.10	360.83	337.14	288.79	266.69	347.92	40.06
22	6274.286	308.5714	20.33333	1830	1830	400.86	401.51	372.59	299.19	204.01	283.19	373.04	73.86
23	6274.286	308.5714	20.33333	2440	1830	452.34	433.41	340.39	169.82	220.55	308.75	409.93	108.13
24	6274.286	308.5714	20.33333	3050	1830	517.23	454.03	186.59	-130.79	653.44	179.61	476.34	268.29
25	6274.286	308.5714	20.33333	0	2440	311.60	333.19	336.38	337.44	338.10	336.84	340.22	9.84
26	6274.286	308.5714	20.33333	610	2440	330.73	349.28	347.94	340.82	328.87	307.82	328.33	14.30
27	6274.286	308.5714	20.33333	1220	2440	359.30	372.17	362.23	338.94	291.09	267.47	342.74	39.29
28	6274.286	308.5714	20.33333	1830	2440	398.68	402.58	374.00	300.99	206.32	283.97	367.86	72.49
29	6274.286	308.5714	20.33333	2440	2440	450.16	434.48	341.79	171.62	222.85	309.53	404.75	106.44
30	6274.286	308.5714	20.33333	3050	2440	515.05	455.11	188.00	-129.00	655.74	180.39	471.17	267.41
31	6274.286	308.5714	20.33333	0	3050	302.70	331.50	337.70	340.07	342.09	339.77	339.95	13.95
32	6274.286	308.5714	20.33333	610	3050	321.83	347.59	349.26	343.44	332.86	310.76	328.05	14.31

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)							ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	
33	6274.286	308.5714	20.33333	1220	3050	350.41	370.48	363.55	341.57	295.08	270.40	342.47	36.88
34	6274.286	308.5714	20.33333	1830	3050	389.78	400.89	375.32	303.61	210.30	286.90	367.59	69.36
35	6274.286	308.5714	20.33333	2440	3050	441.27	432.79	343.11	174.24	226.83	312.46	404.48	103.11
36	6274.286	308.5714	20.33333	3050	3050	506.15	453.41	189.31	-126.37	659.73	183.32	470.89	265.93

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 22.36

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)								ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	
1	7058.571	315.5844	22.36667	0	0	296.77	321.83	326.65	328.79	332.52	338.18	347.11	373.06	18.38
2	7058.571	315.5844	22.36667	610	0	315.77	338.18	339.65	336.67	332.39	325.32	318.53	358.41	12.78
3	7058.571	315.5844	22.36667	1220	0	341.30	360.91	356.33	344.69	324.55	284.63	281.03	371.49	36.89
4	7058.571	315.5844	22.36667	1830	0	376.68	390.90	376.86	347.26	284.06	205.13	295.37	388.67	71.97
5	7058.571	315.5844	22.36667	2440	0	422.90	427.22	392.06	310.64	169.70	212.74	311.80	417.87	107.77
6	7058.571	315.5844	22.36667	3050	0	478.59	467.15	383.36	172.91	-76.02	570.27	170.09	498.60	268.87
7	7058.571	315.5844	22.36667	0	610	302.92	326.45	330.51	331.17	332.73	335.86	341.86	363.41	14.16
8	7058.571	315.5844	22.36667	610	610	321.92	342.81	343.50	339.04	332.60	323.01	313.28	348.76	13.40
9	7058.571	315.5844	22.36667	1220	610	347.45	365.54	360.18	347.06	324.76	282.31	275.79	361.84	39.18
10	7058.571	315.5844	22.36667	1830	610	382.83	395.53	380.71	349.64	284.27	202.81	290.13	379.01	73.65
11	7058.571	315.5844	22.36667	2440	610	429.06	431.85	395.91	313.01	169.90	210.43	306.56	408.22	108.54
12	7058.571	315.5844	22.36667	3050	610	484.74	471.78	387.21	175.29	-75.82	567.96	164.84	488.95	268.74
13	7058.571	315.5844	22.36667	0	1220	306.55	328.02	331.64	332.17	333.21	335.76	340.31	357.24	11.02
14	7058.571	315.5844	22.36667	610	1220	325.55	344.37	344.64	340.05	333.08	322.91	311.73	342.59	13.27
15	7058.571	315.5844	22.36667	1220	1220	351.08	367.10	361.31	348.07	325.25	282.21	274.24	355.67	39.38
16	7058.571	315.5844	22.36667	1830	1220	386.46	397.09	381.85	350.64	284.75	202.71	288.58	372.84	73.57

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)								ค่าเทียบเป็นมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	
17	7058.571	315.5844	22.36667	2440	1220	432.69	433.41	397.05	314.02	170.39	210.32	305.01	402.05	108.17
18	7058.571	315.5844	22.36667	3050	1220	488.37	473.34	388.35	176.29	-75.33	567.85	163.29	482.78	268.38
19	7058.571	315.5844	22.36667	0	1830	309.56	329.27	332.61	333.75	334.41	336.29	338.09	350.93	9.58
20	7058.571	315.5844	22.36667	610	1830	328.56	345.62	345.60	341.63	334.28	323.44	309.51	336.28	13.93
21	7058.571	315.5844	22.36667	1220	1830	354.08	368.36	362.28	349.65	326.44	282.74	272.01	349.36	40.06
22	7058.571	315.5844	22.36667	1830	1830	389.47	398.34	382.82	352.22	285.95	203.24	286.35	366.53	73.86
23	7058.571	315.5844	22.36667	2440	1830	435.69	434.66	398.02	315.60	171.59	210.86	302.78	395.74	108.13
24	7058.571	315.5844	22.36667	3050	1830	491.38	474.60	389.31	177.87	-74.13	568.39	161.07	476.47	268.29
25	7058.571	315.5844	22.36667	0	2440	309.49	330.00	333.84	334.78	335.83	337.20	337.25	346.53	9.84
26	7058.571	315.5844	22.36667	610	2440	328.48	346.35	346.83	342.66	335.70	324.34	308.67	331.88	14.30
27	7058.571	315.5844	22.36667	1220	2440	354.01	369.08	363.51	350.68	327.86	283.64	271.18	344.96	39.29
28	7058.571	315.5844	22.36667	1830	2440	389.39	399.07	384.05	353.25	287.37	204.15	285.52	362.13	72.49
29	7058.571	315.5844	22.36667	2440	2440	435.62	435.39	399.25	316.63	173.00	211.76	301.95	391.34	106.44
30	7058.571	315.5844	22.36667	3050	2440	491.30	475.32	390.54	178.90	-72.72	569.29	160.23	472.07	267.41
31	7058.571	315.5844	22.36667	0	3050	300.59	330.06	335.05	336.84	339.08	340.22	338.98	344.09	13.95
32	7058.571	315.5844	22.36667	610	3050	319.59	346.41	348.05	344.72	338.95	327.37	310.40	329.44	14.31

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)								ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	
33	7058.571	315.5844	22.36667	1220	3050	345.11	369.14	364.72	352.74	331.11	286.67	272.90	342.52	36.88
34	7058.571	315.5844	22.36667	1830	3050	380.50	399.13	385.26	355.31	290.62	207.17	287.24	359.70	69.36
35	7058.571	315.5844	22.36667	2440	3050	426.72	435.45	400.46	318.69	176.25	214.79	303.67	388.90	103.11
36	7058.571	315.5844	22.36667	3050	3050	482.40	475.38	391.76	180.96	-69.47	572.32	161.96	469.63	265.93

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 24.4

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)									ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	7842.857	321.4286	24.4	0	0	293.09	319.48	324.05	325.50	328.54	333.39	339.81	352.56	379.63	23.81
2	7842.857	321.4286	24.4	610	0	310.49	335.04	337.06	335.07	333.22	330.03	324.76	323.81	366.60	15.09
3	7842.857	321.4286	24.4	1220	0	334.34	357.01	355.15	347.46	336.27	318.32	282.63	288.22	376.76	31.55
4	7842.857	321.4286	24.4	1830	0	366.54	385.52	377.54	360.27	332.96	274.04	209.51	298.83	391.15	61.12
5	7842.857	321.4286	24.4	2440	0	407.98	420.32	402.21	364.88	293.09	167.04	215.00	312.09	414.15	92.96
6	7842.857	321.4286	24.4	3050	0	458.52	460.78	425.86	346.48	161.06	-38.79	522.21	187.90	473.41	188.83
7	7842.857	321.4286	24.4	0	610	298.82	323.78	328.29	328.85	329.86	332.60	337.24	345.58	371.03	19.12
8	7842.857	321.4286	24.4	610	610	316.22	339.34	341.30	338.42	334.53	329.24	322.19	316.83	358.00	13.42
9	7842.857	321.4286	24.4	1220	610	340.07	361.31	359.39	350.81	337.58	317.53	280.06	281.24	368.16	33.25
10	7842.857	321.4286	24.4	1830	610	372.28	389.82	381.79	363.62	334.27	273.25	206.94	291.85	382.56	62.95
11	7842.857	321.4286	24.4	2440	610	413.71	424.62	406.45	368.23	294.40	166.25	212.43	305.11	405.55	94.48
12	7842.857	321.4286	24.4	3050	610	464.25	465.08	430.10	349.83	162.37	-39.58	519.65	180.92	464.82	189.62
13	7842.857	321.4286	24.4	0	1220	302.58	325.30	329.08	330.33	330.96	333.17	336.80	343.90	363.94	16.21
14	7842.857	321.4286	24.4	610	1220	319.98	340.86	342.08	339.90	335.64	329.81	321.74	315.15	350.91	11.96
15	7842.857	321.4286	24.4	1220	1220	343.84	362.83	360.17	352.29	338.69	318.09	279.61	279.56	361.07	33.29
16	7842.857	321.4286	24.4	1830	1220	376.04	391.34	382.57	365.09	335.38	273.82	206.50	290.17	375.46	63.14

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)									ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	
17	7842.857	321.4286	24.4	2440	1220	417.48	426.14	407.24	369.70	295.51	166.82	211.99	303.43	398.46	94.54
18	7842.857	321.4286	24.4	3050	1220	468.02	466.60	430.88	351.30	163.48	-39.02	519.20	179.24	457.73	189.41
19	7842.857	321.4286	24.4	0	1830	305.62	326.61	330.30	331.29	332.06	333.86	336.93	341.36	358.03	13.76
20	7842.857	321.4286	24.4	610	1830	323.02	342.16	343.30	340.86	336.73	330.50	321.88	312.61	345.01	11.48
21	7842.857	321.4286	24.4	1220	1830	346.88	364.14	361.39	353.25	339.79	318.78	279.75	277.02	355.16	33.70
22	7842.857	321.4286	24.4	1830	1830	379.08	392.65	383.79	366.06	336.47	274.51	206.63	287.63	369.56	63.40
23	7842.857	321.4286	24.4	2440	1830	420.51	427.45	408.46	370.67	296.60	167.51	212.12	300.89	392.55	94.60
24	7842.857	321.4286	24.4	3050	1830	471.05	467.91	432.10	352.27	164.57	-38.33	519.33	176.70	451.82	189.40
25	7842.857	321.4286	24.4	0	2440	307.22	327.51	331.27	332.44	333.35	335.13	337.08	338.88	353.18	12.05
26	7842.857	321.4286	24.4	610	2440	324.62	343.07	344.27	342.01	338.02	331.77	322.02	310.14	340.15	11.73
27	7842.857	321.4286	24.4	1220	2440	348.48	365.04	362.36	354.40	341.08	320.06	279.89	274.55	350.31	34.20
28	7842.857	321.4286	24.4	1830	2440	380.68	393.55	384.76	367.20	337.77	275.78	206.77	285.15	364.70	63.55
29	7842.857	321.4286	24.4	2440	2440	422.11	428.35	409.43	371.81	297.90	168.78	212.26	298.41	387.69	94.44
30	7842.857	321.4286	24.4	3050	2440	472.65	468.81	433.07	353.42	165.86	-37.05	519.48	174.23	446.96	189.15
31	7842.857	321.4286	24.4	0	3050	299.60	328.79	332.87	333.97	335.66	338.01	339.00	339.08	349.08	13.68
32	7842.857	321.4286	24.4	610	3050	317.00	344.34	345.88	343.54	340.34	334.66	323.94	310.34	336.05	12.86

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)									ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	
33	7842.857	321.4286	24.4	1220	3050	340.85	366.31	363.97	355.92	343.39	322.94	281.81	274.75	346.21	33.64
34	7842.857	321.4286	24.4	1830	3050	373.05	394.83	386.36	368.73	340.08	278.66	208.69	285.35	360.60	62.29
35	7842.857	321.4286	24.4	2440	3050	414.49	429.63	411.03	373.34	300.21	171.66	214.18	298.61	383.59	92.64
36	7842.857	321.4286	24.4	3050	3050	465.03	470.08	434.68	354.94	168.18	-34.17	521.40	174.43	442.86	187.66

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณที่ L/H = 26.43

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)										ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	8627.14	326.37	26.43	0	0	289.32	316.43	321.72	322.97	324.54	328.81	334.81	343.88	359.63	392.98	27.74
2	8627.14	326.37	26.43	610	0	306.46	332.92	335.31	333.94	332.14	330.95	328.29	326.37	330.25	378.47	17.81
3	8627.14	326.37	26.43	1220	0	329.10	353.62	353.82	348.07	340.76	330.89	315.45	283.73	296.53	383.31	29.36
4	8627.14	326.37	26.43	1830	0	358.11	380.77	376.28	364.49	349.01	322.17	267.87	216.84	304.86	395.31	56.33
5	8627.14	326.37	26.43	2440	0	396.25	414.64	403.87	382.74	347.55	275.72	168.88	220.08	313.31	413.50	87.05
6	8627.14	326.37	26.43	3050	0	448.08	453.45	439.90	402.71	319.14	139.79	13.57	481.41	191.68	448.14	162.91
7	8627.14	326.37	26.43	0	610	295.53	321.55	326.05	327.21	327.40	329.75	334.22	339.77	353.41	380.19	21.98
8	8627.14	326.37	26.43	610	610	312.66	338.04	339.64	338.18	335.01	331.89	327.70	322.26	324.03	365.68	14.16
9	8627.14	326.37	26.43	1220	610	335.30	358.74	358.15	352.31	343.63	331.83	314.86	279.62	290.32	370.52	30.17
10	8627.14	326.37	26.43	1830	610	364.32	385.89	380.61	368.74	351.88	323.12	267.28	212.73	298.64	382.52	57.92
11	8627.14	326.37	26.43	2440	610	402.45	419.76	408.19	386.98	350.42	276.66	168.30	215.97	307.09	400.71	88.49
12	8627.14	326.37	26.43	3050	610	454.29	458.57	444.22	406.95	322.01	140.74	12.98	477.30	185.46	435.35	163.60
13	8627.14	326.37	26.43	0	1220	299.66	323.55	327.96	328.70	329.35	331.06	335.22	339.64	348.69	371.23	18.31
14	8627.14	326.37	26.43	610	1220	316.80	340.05	341.55	339.68	336.96	333.20	328.70	322.13	319.31	356.73	12.16
15	8627.14	326.37	26.43	1220	1220	339.43	360.74	360.06	353.80	345.58	333.14	315.86	279.49	285.59	361.56	30.46
16	8627.14	326.37	26.43	1830	1220	368.45	387.90	382.52	370.23	353.83	324.43	268.28	212.60	293.92	373.56	58.19

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)										ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
17	8627.14	326.37	26.43	2440	1220	406.58	421.76	410.11	388.47	352.37	277.98	169.29	215.84	302.37	391.76	88.59
18	8627.14	326.37	26.43	3050	1220	458.42	460.57	446.14	408.44	323.96	142.05	13.98	477.17	180.74	426.40	163.81
19	8627.14	326.37	26.43	0	1830	300.98	324.37	329.73	330.95	331.34	332.62	335.85	339.02	345.21	365.02	16.10
20	8627.14	326.37	26.43	610	1830	318.12	340.86	343.32	341.92	338.95	334.76	329.34	321.50	315.83	350.51	11.80
21	8627.14	326.37	26.43	1220	1830	340.76	361.55	361.83	356.05	347.57	334.70	316.49	278.87	282.11	355.35	31.17
22	8627.14	326.37	26.43	1830	1830	369.77	388.71	384.29	372.47	355.81	325.99	268.91	211.97	290.44	367.35	58.65
23	8627.14	326.37	26.43	2440	1830	407.90	422.58	411.87	390.71	354.36	279.53	169.93	215.22	298.89	385.54	88.75
24	8627.14	326.37	26.43	3050	1830	459.74	461.39	447.90	410.69	325.95	143.61	14.61	476.54	177.25	420.18	163.82
25	8627.14	326.37	26.43	0	2440	305.15	325.82	330.24	331.09	331.79	333.18	335.89	339.43	342.92	359.59	13.71
26	8627.14	326.37	26.43	610	2440	322.28	342.31	343.83	342.06	339.39	335.32	329.37	321.91	313.54	345.09	11.08
27	8627.14	326.37	26.43	1220	2440	344.92	363.00	362.34	356.19	348.01	335.26	316.53	279.28	279.82	349.92	31.52
28	8627.14	326.37	26.43	1830	2440	373.94	390.16	384.80	372.61	356.26	326.54	268.95	212.39	288.14	361.92	58.95
29	8627.14	326.37	26.43	2440	2440	412.07	424.03	412.39	390.86	354.80	280.09	169.96	215.63	296.59	380.12	89.04
30	8627.14	326.37	26.43	3050	2440	463.91	462.84	448.42	410.83	326.39	144.16	14.65	476.96	174.96	414.76	164.25
31	8627.14	326.37	26.43	0	3050	300.13	327.65	331.57	333.02	333.79	335.55	338.28	340.25	341.45	353.38	13.67
32	8627.14	326.37	26.43	610	3050	317.27	344.15	345.17	344.00	341.40	337.69	331.76	322.73	312.07	338.87	12.06
33	8627.14	326.37	26.43	1220	3050	339.91	364.84	363.68	358.13	350.02	337.63	318.92	280.10	278.36	343.71	31.69
34	8627.14	326.37	26.43	1830	3050	368.92	392.00	386.14	374.55	358.27	328.92	271.34	213.20	286.68	355.70	58.49

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)										ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
35	8627.14	326.37	26.43	2440	3050	407.06	425.86	413.72	392.79	356.81	282.46	172.35	216.45	295.13	373.90	88.07
36	8627.14	326.37	26.43	3050	3050	458.89	464.67	449.75	412.76	328.40	146.54	17.04	477.77	173.50	408.54	163.27
37	8627.14	326.37	26.43	0	3660	288.46	324.00	333.34	335.09	336.19	338.89	341.80	342.97	342.46	351.88	17.43
38	8627.14	326.37	26.43	610	3660	305.59	340.49	346.94	346.06	343.80	341.03	335.28	325.45	313.08	337.38	14.26
39	8627.14	326.37	26.43	1220	3660	328.23	361.19	365.45	360.19	352.42	340.97	322.44	282.82	279.36	342.21	30.98
40	8627.14	326.37	26.43	1830	3660	357.25	388.34	387.91	376.61	360.67	332.25	274.86	215.92	287.68	354.21	56.69
41	8627.14	326.37	26.43	2440	3660	395.38	422.21	415.49	394.86	359.21	285.80	175.87	219.17	296.13	372.41	85.60
42	8627.14	326.37	26.43	3050	3660	447.22	461.02	451.52	414.83	330.80	149.88	20.56	480.49	174.50	407.05	161.14
43	8627.14	326.37	26.43	0	4270	279.53	315.32	331.70	337.34	339.20	343.16	346.66	346.89	344.38	350.91	21.50
44	8627.14	326.37	26.43	610	4270	296.67	331.81	345.29	348.31	346.80	345.30	340.15	329.37	315.00	336.41	16.49
45	8627.14	326.37	26.43	1220	4270	319.30	352.51	363.80	362.44	355.43	345.24	327.30	286.74	281.28	341.24	29.72
46	8627.14	326.37	26.43	1830	4270	348.32	379.67	386.26	378.86	363.67	336.52	279.72	219.84	289.61	353.24	53.99
47	8627.14	326.37	26.43	2440	4270	386.45	413.53	413.84	397.10	362.21	290.07	180.74	223.09	298.05	371.44	82.09
48	8627.14	326.37	26.43	3050	4270	438.29	452.34	449.87	417.08	333.80	154.14	25.42	484.41	176.42	406.08	158.26

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพูนที่ L/H = 28.47

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพูนแต่ละแผ่นพูน (cfm)											ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพูน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	9411.43	330.61	28.47	0	0	286.13	314.46	319.90	320.57	321.19	323.99	329.57	336.35	345.84	365.64	402.59	30.30
2	9411.43	330.61	28.47	610	0	303.13	330.36	333.75	332.00	329.82	328.95	329.20	328.72	328.44	334.98	386.84	19.70
3	9411.43	330.61	28.47	1220	0	324.00	350.54	351.09	346.43	340.72	333.86	324.96	314.04	285.64	303.61	391.32	28.09
4	9411.43	330.61	28.47	1830	0	351.23	375.74	373.90	365.40	353.65	338.01	315.36	264.36	218.24	309.54	400.89	53.56
5	9411.43	330.61	28.47	2440	0	385.50	407.79	401.15	386.60	364.11	332.27	269.98	170.74	221.06	314.24	413.17	81.51
6	9411.43	330.61	28.47	3050	0	425.70	449.60	428.73	403.91	363.39	299.07	129.45	43.30	482.86	202.67	438.53	146.42
7	9411.43	330.61	28.47	0	610	292.35	319.65	323.92	324.56	324.52	325.81	329.79	335.42	342.27	356.38	391.55	24.87
8	9411.43	330.61	28.47	610	610	309.35	335.55	337.77	335.99	333.15	330.76	329.42	327.80	324.88	325.73	375.81	16.10
9	9411.43	330.61	28.47	1220	610	330.22	355.73	355.11	350.42	344.05	335.67	325.18	313.12	282.07	294.36	380.29	28.68
10	9411.43	330.61	28.47	1830	610	357.45	380.93	377.92	369.38	356.98	339.82	315.58	263.44	214.68	300.28	389.86	55.05
11	9411.43	330.61	28.47	2440	610	391.72	412.97	405.17	390.59	367.44	334.08	270.20	169.82	217.50	304.98	402.14	83.09
12	9411.43	330.61	28.47	3050	610	431.92	454.78	432.75	407.89	366.72	300.88	129.68	42.38	479.30	193.42	427.49	147.63
13	9411.43	330.61	28.47	0	1220	296.01	321.52	325.75	326.09	326.02	327.84	330.86	335.51	341.88	352.53	382.21	21.37
14	9411.43	330.61	28.47	610	1220	313.01	337.43	339.60	337.52	334.66	332.80	330.50	327.89	324.49	321.87	366.46	13.54
15	9411.43	330.61	28.47	1220	1220	333.88	357.60	356.94	351.94	345.56	337.71	326.26	313.21	281.68	290.50	370.95	28.34
16	9411.43	330.61	28.47	1830	1220	361.11	382.80	379.75	370.91	358.48	341.86	316.66	263.53	214.29	296.42	380.51	55.14

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)											ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
17	9411.43	330.61	28.47	2440	1220	395.38	414.85	407.00	392.12	368.94	336.11	271.27	169.91	217.11	301.13	392.79	83.24
18	9411.43	330.61	28.47	3050	1220	435.58	456.66	434.58	409.42	368.23	302.92	130.75	42.47	478.91	189.56	418.15	147.83
19	9411.43	330.61	28.47	0	1830	299.03	323.31	327.22	327.68	327.89	329.21	331.70	336.60	341.12	348.99	373.48	18.23
20	9411.43	330.61	28.47	610	1830	316.03	339.21	341.06	339.11	336.52	334.16	331.34	328.98	323.73	318.33	357.73	11.72
21	9411.43	330.61	28.47	1220	1830	336.90	359.39	358.40	353.53	347.43	339.07	327.10	314.30	280.92	286.96	362.22	28.45
22	9411.43	330.61	28.47	1830	1830	364.13	384.59	381.22	372.50	360.35	343.22	317.50	264.62	213.53	292.88	371.78	55.38
23	9411.43	330.61	28.47	2440	1830	398.40	416.64	408.46	393.71	370.81	337.48	272.12	171.00	216.34	297.59	384.06	83.38
24	9411.43	330.61	28.47	3050	1830	438.60	458.45	436.05	411.01	370.09	304.28	131.59	43.56	478.14	186.02	409.42	147.87
25	9411.43	330.61	28.47	0	2440	301.78	324.37	328.26	329.12	329.79	330.36	333.03	336.86	340.03	345.14	367.48	15.82
26	9411.43	330.61	28.47	610	2440	318.78	340.27	342.11	340.55	338.42	335.32	332.66	329.24	322.63	314.49	351.74	11.16
27	9411.43	330.61	28.47	1220	2440	339.65	360.44	359.45	354.98	349.33	340.23	328.42	314.56	279.83	283.12	356.22	29.18
28	9411.43	330.61	28.47	1830	2440	366.88	385.64	382.27	373.95	362.25	344.38	318.82	264.87	212.43	289.04	365.79	56.03
29	9411.43	330.61	28.47	2440	2440	401.15	417.69	409.51	395.15	372.71	338.63	273.44	171.25	215.25	293.74	378.07	83.84
30	9411.43	330.61	28.47	3050	2440	441.35	459.50	437.10	412.46	371.99	305.43	132.92	43.81	477.05	182.18	403.42	148.09
31	9411.43	330.61	28.47	0	3050	300.09	325.56	329.57	330.67	331.05	332.69	335.06	338.00	340.60	343.16	359.77	14.37
32	9411.43	330.61	28.47	610	3050	317.10	341.46	343.41	342.10	339.68	337.65	334.70	330.38	323.21	312.51	344.03	11.08
33	9411.43	330.61	28.47	1220	3050	337.97	361.64	360.75	356.53	350.58	342.56	330.46	315.70	280.40	281.13	348.51	29.28
34	9411.43	330.61	28.47	1830	3050	365.19	386.84	383.57	375.50	363.50	346.71	320.86	266.01	213.01	287.06	358.08	55.85

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)											ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
35	9411.43	330.61	28.47	2440	3050	399.46	418.89	410.81	396.70	373.97	340.96	275.48	172.39	215.82	291.76	370.35	83.41
36	9411.43	330.61	28.47	3050	3050	439.67	460.70	438.40	414.01	373.25	307.77	134.95	44.95	477.62	180.19	395.71	147.65
37	9411.43	330.61	28.47	0	3660	287.74	324.72	331.59	332.86	333.48	335.38	338.01	340.83	342.03	343.09	356.49	17.16
38	9411.43	330.61	28.47	610	3660	304.75	340.62	345.44	344.29	342.11	340.33	337.64	333.21	324.64	312.44	340.74	13.60
39	9411.43	330.61	28.47	1220	3660	325.62	360.80	362.78	358.72	353.02	345.24	333.40	318.53	281.83	281.06	345.22	29.33
40	9411.43	330.61	28.47	1830	3660	352.84	386.00	385.60	377.68	365.94	349.39	323.80	268.84	214.44	286.99	354.79	54.93
41	9411.43	330.61	28.47	2440	3660	387.11	418.05	412.84	398.89	376.40	343.65	278.42	175.23	217.25	291.69	367.07	81.86
42	9411.43	330.61	28.47	3050	3660	427.32	459.86	440.43	416.19	375.68	310.45	137.90	47.78	479.05	180.12	392.43	146.09
43	9411.43	330.61	28.47	0	4270	277.15	315.18	331.98	335.74	336.62	338.96	342.24	345.28	345.12	343.78	354.19	21.07
44	9411.43	330.61	28.47	610	4270	294.15	331.08	345.83	347.16	345.26	343.91	341.87	337.66	327.73	313.12	338.45	16.43
45	9411.43	330.61	28.47	1220	4270	315.02	351.25	363.17	361.59	356.16	348.83	337.63	322.98	284.92	281.75	342.93	28.86
46	9411.43	330.61	28.47	1830	4270	342.25	376.45	385.98	380.56	369.08	352.98	328.03	273.29	217.53	287.68	352.50	53.01
47	9411.43	330.61	28.47	2440	4270	376.52	408.50	413.23	401.76	379.54	347.23	282.65	179.67	220.34	292.38	364.77	79.07
48	9411.43	330.61	28.47	3050	4270	416.72	450.31	440.81	419.07	378.83	314.03	142.12	52.23	482.14	180.81	390.13	143.59

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 30.5

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)												ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	10195.71	334.29	30.5	0	0	285.08	315.00	319.86	320.67	322.33	324.14	328.71	334.00	340.44	348.77	365.10	393.27	27.18
2	10195.71	334.29	30.5	610	0	300.86	329.21	333.09	332.45	330.89	330.27	330.18	332.01	330.87	331.53	332.21	383.82	18.24
3	10195.71	334.29	30.5	1220	0	320.14	347.85	349.62	346.47	341.68	336.62	331.89	326.32	315.02	283.15	306.45	392.18	26.96
4	10195.71	334.29	30.5	1830	0	345.51	372.27	372.08	366.10	357.30	347.48	332.37	314.00	262.54	218.80	313.75	395.18	50.20
5	10195.71	334.29	30.5	2440	0	375.37	400.56	398.26	387.24	372.43	352.42	324.15	262.19	172.51	224.30	318.26	409.58	76.42
6	10195.71	334.29	30.5	3050	0	403.95	427.61	421.20	398.34	373.89	326.34	293.72	108.11	73.37	456.18	222.27	492.05	134.84
7	10195.71	334.29	30.5	0	610	291.96	320.08	324.74	325.99	325.61	326.87	328.95	332.78	336.84	342.54	357.04	383.97	22.07
8	10195.71	334.29	30.5	610	610	307.74	334.29	337.97	337.77	334.16	333.00	330.42	330.79	327.27	325.30	324.14	374.52	15.36
9	10195.71	334.29	30.5	1220	610	327.02	352.93	354.50	351.79	344.96	339.35	332.13	325.10	311.42	276.93	298.39	382.87	28.27
10	10195.71	334.29	30.5	1830	610	352.39	377.35	376.95	371.42	360.58	350.21	332.61	312.78	258.95	212.57	305.69	385.88	52.87
11	10195.71	334.29	30.5	2440	610	382.25	405.65	403.14	392.56	375.71	355.15	324.39	260.97	168.91	218.08	310.20	400.28	79.16
12	10195.71	334.29	30.5	3050	610	410.83	432.69	426.08	403.66	377.16	329.06	293.96	106.88	69.78	449.95	214.21	482.75	136.10
13	10195.71	334.29	30.5	0	1220	296.61	322.75	327.52	328.24	328.40	328.66	330.15	332.64	335.48	339.45	351.11	376.37	18.55
14	10195.71	334.29	30.5	610	1220	312.39	336.96	340.75	340.02	336.96	334.79	331.61	330.65	325.91	322.20	318.22	366.91	13.85
15	10195.71	334.29	30.5	1220	1220	331.67	355.60	357.28	354.04	347.75	341.15	333.32	324.96	310.06	273.83	292.46	375.27	29.16
16	10195.71	334.29	30.5	1830	1220	357.03	380.02	379.73	373.67	363.37	352.00	333.81	312.64	257.59	209.48	299.77	378.27	54.29
17	10195.71	334.29	30.5	2440	1220	386.90	408.32	405.92	394.82	378.50	356.94	325.59	260.83	167.55	214.98	304.27	392.67	80.52
18	10195.71	334.29	30.5	3050	1220	415.48	435.36	428.86	405.92	379.96	330.86	295.16	106.74	68.42	446.85	208.29	475.14	136.63
19	10195.71	334.29	30.5	0	1830	299.94	324.33	329.37	330.12	330.60	330.42	331.43	333.12	335.03	337.98	346.50	368.53	15.60

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)												ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
20	10195.71	334.29	30.5	610	1830	315.72	338.54	342.59	341.90	339.15	336.56	332.90	331.13	325.47	320.74	313.61	359.08	12.85
21	10195.71	334.29	30.5	1220	1830	335.00	357.18	359.12	355.92	349.95	342.91	334.61	325.44	309.61	272.37	287.85	367.44	29.68
22	10195.71	334.29	30.5	1830	1830	360.36	381.60	381.58	375.55	365.56	353.76	335.10	313.12	257.14	208.01	295.16	370.44	55.09
23	10195.71	334.29	30.5	2440	1830	390.23	409.89	407.77	396.69	380.70	358.70	326.88	261.31	167.11	213.51	299.66	384.84	81.21
24	10195.71	334.29	30.5	3050	1830	418.81	436.94	430.70	407.79	382.15	332.62	296.45	107.23	67.97	445.39	203.68	467.31	136.74
25	10195.71	334.29	30.5	0	2440	302.46	325.88	330.50	331.70	332.08	331.98	332.82	333.67	334.74	336.49	342.86	362.18	13.34
26	10195.71	334.29	30.5	610	2440	318.25	340.09	343.72	343.48	340.64	338.11	334.29	331.68	325.18	319.25	309.97	352.73	12.61
27	10195.71	334.29	30.5	1220	2440	337.52	358.73	360.25	357.50	351.43	344.46	336.00	325.99	309.33	270.87	284.21	361.08	30.37
28	10195.71	334.29	30.5	1830	2440	362.89	383.15	382.71	377.13	367.05	355.32	336.48	313.67	256.85	206.52	291.52	364.08	55.88
29	10195.71	334.29	30.5	2440	2440	392.76	411.45	408.89	398.28	382.18	360.26	328.27	261.86	166.82	212.02	296.02	378.49	81.84
30	10195.71	334.29	30.5	3050	2440	421.33	438.49	431.83	409.38	383.64	334.18	297.84	107.77	67.68	443.90	200.04	460.95	136.78
31	10195.71	334.29	30.5	0	3050	303.69	327.31	331.89	333.87	334.06	334.11	334.01	333.97	333.82	335.14	339.75	355.74	11.54
32	10195.71	334.29	30.5	610	3050	319.47	341.52	345.11	345.65	342.62	340.24	335.48	331.98	324.25	317.90	306.86	346.29	13.07
33	10195.71	334.29	30.5	1220	3050	338.75	360.16	361.64	359.67	353.41	346.59	337.19	326.29	308.40	269.53	281.10	354.64	31.28
34	10195.71	334.29	30.5	1830	3050	364.12	384.58	384.10	379.30	369.03	357.44	337.68	313.97	255.93	205.17	288.41	357.64	56.84
35	10195.71	334.29	30.5	2440	3050	393.98	412.88	410.29	400.45	384.16	362.39	329.46	262.17	165.89	210.68	292.91	372.04	82.66
36	10195.71	334.29	30.5	3050	3050	422.56	439.92	433.22	411.55	385.62	336.30	299.03	108.08	66.75	442.55	196.93	454.51	136.97
37	10195.71	334.29	30.5	0	3660	292.02	328.21	333.93	336.02	336.90	336.54	336.34	336.05	335.37	335.66	338.54	351.80	14.00
38	10195.71	334.29	30.5	610	3660	307.80	342.42	347.15	347.80	345.46	342.68	337.80	334.06	325.80	318.42	305.65	342.34	15.12

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)												ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
39	10195.71	334.29	30.5	1220	3660	327.07	361.06	363.69	361.82	356.25	349.03	339.51	328.37	309.95	270.04	279.89	350.70	31.74
40	10195.71	334.29	30.5	1830	3660	352.44	385.48	386.14	381.45	371.87	359.88	340.00	316.05	257.48	205.69	287.20	353.70	56.66
41	10195.71	334.29	30.5	2440	3660	382.31	413.77	412.33	402.60	387.00	364.82	331.78	264.24	167.44	211.19	291.70	368.10	81.98
42	10195.71	334.29	30.5	3050	3660	410.89	440.82	435.26	413.70	388.46	338.74	301.35	110.15	68.30	443.07	195.72	450.57	135.94
43	10195.71	334.29	30.5	0	4270	326.13	373.04	392.35	395.31	396.88	397.13	396.47	395.99	394.98	394.41	395.89	408.97	21.33
44	10195.71	334.29	30.5	610	4270	341.91	387.25	405.58	407.09	405.43	403.26	397.94	394.00	385.41	377.17	363.00	399.52	19.86
45	10195.71	334.29	30.5	1220	4270	361.19	405.89	422.11	421.10	416.23	409.61	399.65	388.31	369.56	328.79	337.24	407.87	32.34
46	10195.71	334.29	30.5	1830	4270	386.55	430.31	444.56	440.73	431.84	420.47	400.13	375.99	317.09	264.44	344.55	410.88	55.38
47	10195.71	334.29	30.5	2440	4270	416.42	458.61	470.75	461.88	446.98	425.41	391.91	324.18	227.05	269.94	349.05	425.28	79.66
48	10195.71	334.29	30.5	3050	4270	445.00	485.65	493.69	472.98	448.43	399.33	361.49	170.09	127.91	501.82	253.07	507.75	133.58

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 32.53

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)													ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	10980	337.5	32.53	0	0	283.31	314.01	319.44	319.80	320.50	321.78	324.41	329.90	335.85	341.93	350.54	368.19	403.60	29.11
2	10980	337.5	32.53	610	0	298.80	328.22	332.50	331.42	329.86	329.95	329.09	329.80	330.91	330.28	332.56	335.92	393.30	20.20
3	10980	337.5	32.53	1220	0	317.55	346.75	344.50	346.87	343.39	338.69	334.79	331.90	323.33	312.06	281.29	311.63	395.41	26.54
4	10980	337.5	32.53	1830	0	340.01	367.97	353.08	365.17	358.01	349.91	341.43	328.65	308.82	259.31	225.18	318.73	399.87	46.56
5	10980	337.5	32.53	2440	0	368.44	395.38	354.27	386.88	376.01	362.86	343.98	318.38	255.67	174.20	224.73	321.85	410.05	70.98
6	10980	337.5	32.53	3050	0	407.00	437.64	342.57	414.21	405.06	374.16	332.38	305.30	104.79	89.06	372.49	226.84	442.72	117.90
7	10980	337.5	32.53	0	610	292.78	316.68	323.17	324.81	325.90	326.12	327.47	330.00	333.33	338.84	345.67	360.64	387.84	22.64
8	10980	337.5	32.53	610	610	308.27	330.89	336.23	336.43	335.27	334.29	332.15	329.91	328.39	327.18	327.69	328.37	377.54	15.12
9	10980	337.5	32.53	1220	610	327.02	349.42	348.24	351.88	348.80	343.03	337.84	332.00	320.81	308.96	276.42	304.08	379.65	26.15
10	10980	337.5	32.53	1830	610	349.48	370.64	356.81	370.17	363.42	354.25	344.49	328.75	306.30	256.21	220.31	311.18	384.11	47.91
11	10980	337.5	32.53	2440	610	377.92	398.05	358.01	391.89	381.42	367.20	347.03	318.48	253.15	171.11	219.86	314.30	394.29	72.83
12	10980	337.5	32.53	3050	610	416.48	440.31	346.30	419.21	410.47	378.51	335.43	305.40	102.26	85.96	367.62	219.29	426.96	119.63
13	10980	337.5	32.53	0	1220	294.06	321.14	326.54	327.60	327.38	327.23	327.87	330.46	332.67	336.22	342.22	356.16	383.70	20.47
14	10980	337.5	32.53	610	1220	309.55	335.35	339.61	339.22	336.74	335.39	332.55	330.37	327.73	324.56	324.24	323.89	373.40	14.59
15	10980	337.5	32.53	1220	1220	328.31	353.88	351.61	354.68	350.27	344.13	338.24	332.46	320.15	306.34	272.97	299.60	375.51	27.58
16	10980	337.5	32.53	1830	1220	350.76	375.10	360.18	372.97	364.89	355.35	344.89	329.21	305.64	253.59	216.86	306.70	379.97	49.60
17	10980	337.5	32.53	2440	1220	379.20	402.51	361.38	394.69	382.89	368.31	347.43	318.94	252.49	168.49	216.41	309.82	390.15	74.48
18	10980	337.5	32.53	3050	1220	417.76	444.77	349.68	422.01	411.94	379.61	335.84	305.86	101.61	83.34	364.17	214.81	422.82	120.92
19	10980	337.5	32.53	0	1830	295.61	321.76	326.39	327.17	327.95	327.63	328.32	330.47	332.90	336.35	342.68	355.48	380.53	19.48

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)													ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
20	10980	337.5	32.53	610	1830	311.09	335.98	339.45	338.79	337.31	335.79	333.00	330.38	327.96	324.69	324.70	323.21	370.23	13.67
21	10980	337.5	32.53	1220	1830	329.85	354.51	351.45	354.25	350.84	344.54	338.69	332.48	320.38	306.47	273.43	298.92	372.34	27.19
22	10980	337.5	32.53	1830	1830	352.30	375.73	360.03	372.54	365.46	355.76	345.34	329.22	305.87	253.72	217.33	306.02	376.80	49.38
23	10980	337.5	32.53	2440	1830	380.74	403.14	361.22	394.26	383.46	368.71	347.88	318.96	252.72	168.62	216.88	309.14	386.98	74.34
24	10980	337.5	32.53	3050	1830	419.30	445.39	349.52	421.58	412.51	380.01	336.29	305.88	101.84	83.48	364.63	214.13	419.65	120.89
25	10980	337.5	32.53	0	2440	298.19	323.99	328.95	330.35	330.11	330.20	330.81	331.55	333.18	335.63	339.50	348.45	372.33	16.26
26	10980	337.5	32.53	610	2440	313.68	338.20	342.01	341.97	339.47	338.37	335.48	331.46	328.24	323.98	321.52	316.18	362.03	12.92
27	10980	337.5	32.53	1220	2440	332.43	356.73	354.02	357.43	353.00	347.11	341.18	333.56	320.66	305.76	270.25	291.89	364.14	28.52
28	10980	337.5	32.53	1830	2440	354.89	377.95	362.59	375.72	367.62	358.33	347.83	330.30	306.15	253.01	214.14	298.99	368.60	50.77
29	10980	337.5	32.53	2440	2440	383.32	405.36	363.79	397.44	385.62	371.28	350.37	320.04	253.00	167.90	213.69	302.11	378.78	75.51
30	10980	337.5	32.53	3050	2440	421.88	447.62	352.09	424.76	414.67	382.59	338.77	306.96	102.11	82.76	361.45	207.10	411.45	121.78
31	10980	337.5	32.53	0	3050	302.23	325.89	331.15	332.40	333.28	332.59	331.99	332.35	332.82	333.77	336.13	343.78	364.86	13.36
32	10980	337.5	32.53	610	3050	317.72	340.11	344.21	344.02	342.65	340.75	336.66	332.26	327.88	322.11	318.15	311.51	354.56	12.87
33	10980	337.5	32.53	1220	3050	336.47	358.64	356.21	359.48	356.17	349.49	342.36	334.35	320.31	303.89	266.88	287.22	356.67	30.06
34	10980	337.5	32.53	1830	3050	358.93	379.86	364.79	377.77	370.79	360.71	349.01	331.10	305.79	251.14	210.77	294.32	361.13	52.44
35	10980	337.5	32.53	2440	3050	387.36	407.27	365.98	399.49	388.80	373.67	351.55	320.84	252.65	166.04	210.33	297.44	371.31	77.06
36	10980	337.5	32.53	3050	3050	425.92	449.52	354.28	426.81	417.85	384.97	339.95	307.76	101.76	80.90	358.08	202.43	403.98	122.94
37	10980	337.5	32.53	0	3660	293.45	327.55	332.53	333.96	334.63	334.36	334.27	334.29	334.10	334.75	336.73	342.38	360.24	14.29
38	10980	337.5	32.53	610	3660	308.94	341.76	345.60	345.58	343.99	342.52	338.95	334.20	329.17	323.09	318.75	310.12	349.94	13.98

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)													ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
39	10980	337.5	32.53	1220	3660	327.70	360.29	357.60	361.04	357.52	351.27	344.65	336.29	321.59	304.87	267.48	285.82	352.05	30.34
40	10980	337.5	32.53	1830	3660	350.15	381.51	366.17	379.33	372.14	362.49	351.29	333.04	307.07	252.12	211.37	292.92	356.51	52.27
41	10980	337.5	32.53	2440	3660	378.59	408.92	367.37	401.05	390.14	375.44	353.84	322.77	253.93	167.02	210.92	296.04	366.69	76.57
42	10980	337.5	32.53	3050	3660	417.15	451.18	355.67	428.37	419.19	386.74	342.24	309.69	103.04	81.88	358.68	201.04	399.36	122.34
43	10980	337.5	32.53	0	4270	287.73	331.42	346.58	347.82	348.92	349.08	348.56	348.59	347.97	347.93	348.97	353.26	369.57	18.78
44	10980	337.5	32.53	610	4270	303.21	345.64	359.65	359.44	358.28	357.25	353.23	348.50	343.03	336.27	330.99	320.99	359.27	17.38
45	10980	337.5	32.53	1220	4270	321.97	364.17	371.65	374.89	371.81	365.99	358.93	350.60	335.45	318.05	279.72	296.70	361.38	31.03
46	10980	337.5	32.53	1830	4270	344.42	385.39	380.22	393.18	386.43	377.21	365.58	347.35	320.94	265.30	223.61	303.80	365.84	51.74
47	10980	337.5	32.53	2440	4270	372.86	412.80	381.42	414.90	404.43	390.16	368.12	337.08	267.79	180.20	223.16	306.92	376.02	75.25
48	10980	337.5	32.53	3050	4270	411.42	455.05	369.72	442.22	433.49	401.47	356.52	324.00	116.90	95.05	370.92	211.91	408.69	120.60

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม

ตารางผนวกที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 34.57

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)														ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุน (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	11764.29	340.34	34.57	0	0	282.18	314.60	319.85	320.34	321.05	321.46	322.82	325.83	329.86	335.70	341.73	351.90	372.08	408.14	29.49
2	11764.29	340.34	34.57	610	0	301.93	329.46	332.21	331.77	330.24	328.93	328.51	328.89	329.83	329.60	329.48	331.55	341.37	393.77	19.29
3	11764.29	340.34	34.57	1220	0	314.05	345.63	349.36	347.02	343.63	340.82	336.83	332.84	327.35	320.28	309.46	283.21	314.24	402.82	27.21
4	11764.29	340.34	34.57	1830	0	335.60	366.86	368.69	364.24	359.06	353.26	346.30	341.07	317.40	303.20	255.58	227.62	321.91	406.86	46.85
5	11764.29	340.34	34.57	2440	0	361.83	392.60	392.79	386.11	377.82	367.60	354.84	335.43	309.93	249.65	176.44	227.46	320.65	414.80	70.40
6	11764.29	340.34	34.57	3050	0	366.24	418.03	429.47	419.76	404.61	390.49	359.79	276.26	329.85	106.75	115.37	387.29	191.74	472.90	117.20
7	11764.29	340.34	34.57	0	610	287.05	318.85	323.86	324.47	323.91	323.51	324.33	326.25	329.22	333.45	338.74	346.77	366.74	400.37	25.83
8	11764.29	340.34	34.57	610	610	306.80	333.71	336.22	335.90	333.11	330.97	330.02	329.31	329.19	327.36	326.50	326.42	336.04	386.00	16.82
9	11764.29	340.34	34.57	1220	610	318.92	349.88	353.37	351.15	346.50	342.87	338.34	333.26	326.71	318.04	306.48	278.08	308.91	395.05	27.66
10	11764.29	340.34	34.57	1830	610	340.46	371.10	372.70	368.37	361.93	355.30	347.81	341.49	316.76	300.95	252.60	222.49	316.58	399.08	48.49
11	11764.29	340.34	34.57	2440	610	366.70	396.84	396.80	390.23	380.69	369.65	356.35	335.85	309.29	247.40	173.46	222.33	315.32	407.03	72.38
12	11764.29	340.34	34.57	3050	610	371.10	422.27	433.48	423.89	407.48	392.54	361.30	276.68	329.22	104.50	112.39	382.16	186.41	465.13	118.68
13	11764.29	340.34	34.57	0	1220	291.01	321.52	325.61	326.78	325.86	325.80	325.45	326.01	329.11	332.20	337.04	344.20	362.19	394.75	23.23
14	11764.29	340.34	34.57	610	1220	310.76	336.38	337.98	338.21	335.05	333.27	331.14	329.07	329.09	326.10	324.79	323.85	331.49	380.38	15.29
15	11764.29	340.34	34.57	1220	1220	322.88	352.54	355.12	353.46	348.44	345.16	339.46	333.02	326.61	316.78	304.78	275.50	304.36	389.43	28.05
16	11764.29	340.34	34.57	1830	1220	344.42	373.77	374.45	370.69	363.87	357.60	348.93	341.25	316.66	299.70	250.90	219.92	312.03	393.47	49.47
17	11764.29	340.34	34.57	2440	1220	370.66	399.51	398.55	392.55	382.63	371.94	357.47	335.61	309.18	246.14	171.75	219.76	310.76	401.41	73.58
18	11764.29	340.34	34.57	3050	1220	375.06	424.94	435.23	426.20	409.42	394.83	362.43	276.44	329.11	103.25	110.69	379.59	181.86	459.51	119.72
19	11764.29	340.34	34.57	0	1830	293.47	323.04	326.81	327.92	327.47	327.31	327.20	327.60	329.17	332.32	336.65	342.57	358.73	387.29	20.72

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)														ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรา การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผ่นพรุณ (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
20	11764.29	340.34	34.57	610	1830	313.21	337.90	339.18	339.35	336.67	334.78	332.89	330.66	329.14	326.22	324.40	322.22	328.02	372.91	13.54
21	11764.29	340.34	34.57	1220	1830	325.33	354.07	356.32	354.60	350.05	346.67	341.21	334.61	326.66	316.90	304.38	273.87	300.89	381.96	27.87
22	11764.29	340.34	34.57	1830	1830	346.88	375.30	375.65	371.82	365.49	359.11	350.68	342.84	316.71	299.82	250.50	218.29	308.56	386.00	49.76
23	11764.29	340.34	34.57	2440	1830	373.12	401.04	399.75	393.68	384.25	373.45	359.22	337.20	309.24	246.27	171.36	218.13	307.30	393.94	73.97
24	11764.29	340.34	34.57	3050	1830	377.52	426.47	436.43	427.34	411.03	396.34	364.18	278.03	329.17	103.37	110.29	377.96	178.39	452.05	119.89
25	11764.29	340.34	34.57	0	2440	297.36	324.63	329.51	330.53	330.32	329.66	329.19	328.94	330.64	332.32	334.96	339.09	352.20	378.19	17.24
26	11764.29	340.34	34.57	610	2440	317.10	339.49	341.87	341.95	339.52	337.12	334.87	332.01	330.61	326.22	322.71	318.74	321.50	363.81	12.27
27	11764.29	340.34	34.57	1220	2440	329.22	355.66	359.02	357.20	352.91	349.01	343.20	335.96	328.13	316.90	302.70	270.40	294.37	372.86	28.76
28	11764.29	340.34	34.57	1830	2440	350.77	376.88	378.35	374.43	368.34	361.45	352.67	344.19	318.18	299.82	248.82	214.81	302.04	376.90	51.02
29	11764.29	340.34	34.57	2440	2440	377.01	402.63	402.45	396.29	387.10	375.79	361.20	338.55	310.71	246.27	169.68	214.65	300.77	384.84	75.25
30	11764.29	340.34	34.57	3050	2440	381.41	428.05	439.13	429.95	413.89	398.68	366.16	279.38	330.64	103.37	108.61	374.48	171.87	442.94	120.81
31	11764.29	340.34	34.57	0	3050	298.67	324.03	328.88	329.64	330.43	330.12	329.57	329.51	330.99	332.87	335.60	339.80	351.64	375.79	16.55
32	11764.29	340.34	34.57	610	3050	318.41	338.89	341.25	341.07	339.62	337.58	335.26	332.57	330.96	326.78	323.35	319.45	320.93	361.41	11.51
33	11764.29	340.34	34.57	1220	3050	330.53	355.05	358.40	356.32	353.01	349.48	343.58	336.53	328.48	317.46	303.34	271.11	293.80	370.46	28.27
34	11764.29	340.34	34.57	1830	3050	352.08	376.28	377.72	373.55	368.44	361.91	353.05	344.75	318.53	300.37	249.45	215.52	301.47	374.50	50.60
35	11764.29	340.34	34.57	2440	3050	378.32	402.02	401.82	395.41	387.20	376.25	361.59	339.11	311.06	246.82	170.31	215.36	300.21	382.44	74.86
36	11764.29	340.34	34.57	3050	3050	382.72	427.45	438.50	429.06	413.99	399.14	366.54	279.95	330.99	103.92	109.25	375.19	171.30	440.55	120.47
37	11764.29	340.34	34.57	0	3660	293.93	325.65	330.03	331.49	332.02	331.96	331.30	331.36	331.92	333.16	335.41	339.51	349.20	370.58	15.98
38	11764.29	340.34	34.57	610	3660	313.68	340.52	342.40	342.92	341.22	339.42	336.99	334.42	331.89	327.07	323.16	319.16	318.49	356.20	11.81

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)														ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม (STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
39	11764.29	340.34	34.57	1220	3660	325.80	356.68	359.55	358.17	354.61	351.31	345.31	338.38	329.42	317.75	303.15	270.81	291.36	365.25	28.70
40	11764.29	340.34	34.57	1830	3660	347.34	377.91	378.87	375.40	370.04	363.75	354.78	346.61	319.47	300.67	249.26	215.23	299.03	369.29	50.90
41	11764.29	340.34	34.57	2440	3660	373.58	403.65	402.97	397.26	388.80	378.09	363.32	340.97	311.99	247.11	170.12	215.07	297.77	377.23	75.06
42	11764.29	340.34	34.57	3050	3660	377.98	429.08	439.65	430.91	415.59	400.98	368.28	281.80	331.92	104.21	109.06	374.90	168.87	435.33	120.63
43	11764.29	340.34	34.57	0	4270	277.04	321.79	332.36	333.52	334.40	334.66	334.41	334.28	334.75	335.54	337.25	340.46	348.15	368.91	19.35
44	11764.29	340.34	34.57	610	4270	296.79	336.65	344.72	344.95	343.60	342.12	340.10	337.34	334.73	329.44	325.00	320.12	317.45	354.53	14.72
45	11764.29	340.34	34.57	1220	4270	308.91	352.82	361.87	360.20	356.99	354.02	348.42	341.29	332.25	320.12	304.99	271.77	290.32	363.58	29.52
46	11764.29	340.34	34.57	1830	4270	330.46	374.04	381.19	377.43	372.42	366.45	357.89	349.52	322.30	303.04	251.10	216.19	297.99	367.62	50.64
47	11764.29	340.34	34.57	2440	4270	356.69	399.78	405.30	399.29	391.18	380.80	366.43	343.88	314.82	249.48	171.96	216.03	296.72	375.56	74.21
48	11764.29	340.34	34.57	3050	4270	361.10	425.21	441.98	432.94	417.97	403.69	371.38	284.71	334.75	106.59	110.89	375.85	167.82	433.67	119.94

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม

ตารางผนวกที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 38.63

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)																(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	13332.86	345.11	38.63	0	0	279.56	314.08	319.24	319.21	318.35	317.32	317.69	318.05	319.58	322.20	329.72	337.13	344.10	358.65	384.64	433.46	35.00
2	13332.86	345.11	38.63	610	0	288.63	325.76	329.48	328.80	325.61	323.27	319.78	318.75	318.89	322.58	325.11	334.25	337.18	350.28	373.51	411.07	27.08
3	13332.86	345.11	38.63	1220	0	305.61	343.05	346.03	343.62	339.44	334.61	329.29	327.69	324.78	321.39	323.90	321.73	317.05	306.42	338.94	409.36	23.75
4	13332.86	345.11	38.63	1830	0	324.32	360.12	363.95	361.36	353.71	349.13	341.29	337.15	329.05	323.02	317.81	300.74	274.43	252.40	344.17	400.28	35.88
5	13332.86	345.11	38.63	2440	0	347.11	383.42	385.01	380.34	371.66	364.21	356.67	343.42	332.37	323.34	301.42	256.86	191.02	243.96	339.91	412.20	58.94
6	13332.86	345.11	38.63	3050	0	384.92	431.66	417.72	399.46	405.85	376.76	382.18	346.86	344.27	309.77	272.23	160.12	39.62	367.28	164.28	529.89	121.81
7	13332.86	345.11	38.63	0	610	283.79	316.70	322.32	322.70	321.60	320.08	319.09	318.71	319.81	321.40	327.58	335.17	342.96	356.59	379.07	425.39	31.89
8	13332.86	345.11	38.63	610	610	292.87	328.38	332.57	332.29	328.87	326.03	321.18	319.42	319.12	321.78	322.98	332.30	336.04	348.22	367.93	403.00	24.22
9	13332.86	345.11	38.63	1220	610	309.84	345.67	349.11	347.10	342.69	337.37	330.69	328.36	325.00	320.60	321.76	319.78	315.92	304.36	333.37	401.29	22.49
10	13332.86	345.11	38.63	1830	610	328.55	362.74	367.03	364.85	356.96	351.90	342.69	337.81	329.27	322.22	315.67	298.78	273.29	250.34	338.60	392.21	36.20
11	13332.86	345.11	38.63	2440	610	351.35	386.04	388.09	383.83	374.91	366.97	358.07	344.09	332.60	322.55	299.28	254.90	189.89	241.90	334.34	404.12	59.79
12	13332.86	345.11	38.63	3050	610	389.16	434.28	420.80	402.94	409.11	379.52	383.58	347.53	344.49	308.98	270.09	158.17	38.49	365.22	158.71	521.82	122.69
13	13332.86	345.11	38.63	0	1220	287.22	318.25	323.92	323.73	322.86	321.71	320.51	319.88	321.57	323.18	328.75	335.16	341.61	352.08	374.78	417.77	29.05
14	13332.86	345.11	38.63	610	1220	296.30	329.93	334.17	333.32	330.13	327.66	322.61	320.58	320.88	323.56	324.14	332.28	334.68	343.70	363.64	395.38	21.48
15	13332.86	345.11	38.63	1220	1220	313.27	347.22	350.71	348.13	343.95	339.00	332.12	329.52	326.77	322.38	322.93	319.76	314.56	299.85	329.07	393.67	21.39
16	13332.86	345.11	38.63	1830	1220	331.98	364.29	368.63	365.88	358.22	353.53	344.11	338.98	331.04	324.00	316.84	298.77	271.94	245.83	334.31	384.59	36.56
17	13332.86	345.11	38.63	2440	1220	354.78	387.58	389.69	384.86	376.17	368.60	359.49	345.25	334.36	324.33	300.45	254.89	188.53	237.39	330.05	396.50	60.35
18	13332.86	345.11	38.63	3050	1220	392.59	435.83	422.40	403.97	410.36	381.15	385.00	348.69	346.25	310.76	271.26	158.15	37.13	360.71	154.42	514.20	122.88

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)																(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
19	13332.86	345.11	38.63	0	1830	286.30	319.67	324.47	323.36	322.00	320.85	321.00	319.21	321.85	324.93	331.47	335.76	344.57	352.96	374.02	410.55	27.75
20	13332.86	345.11	38.63	610	1830	295.38	331.35	334.72	332.95	329.27	326.80	323.10	319.92	321.17	325.31	326.86	332.89	337.65	344.59	362.88	388.16	20.11
21	13332.86	345.11	38.63	1220	1830	312.36	348.64	351.27	347.76	343.09	338.14	332.61	328.86	327.05	324.12	325.65	320.37	317.52	300.73	328.31	386.45	19.75
22	13332.86	345.11	38.63	1830	1830	331.06	365.71	369.18	365.51	357.36	352.66	344.61	338.31	331.32	325.75	319.56	299.38	274.90	246.71	333.55	377.37	35.34
23	13332.86	345.11	38.63	2440	1830	353.86	389.01	390.25	384.48	375.31	367.74	359.99	344.59	334.64	326.07	303.17	255.50	191.50	238.27	329.29	389.28	59.15
24	13332.86	345.11	38.63	3050	1830	391.67	437.25	422.96	403.60	409.50	380.28	385.50	348.03	346.54	312.50	273.98	158.76	40.09	361.59	153.66	506.97	121.64
25	13332.86	345.11	38.63	0	2440	286.94	316.99	322.63	323.17	323.46	322.27	323.25	323.94	326.04	328.71	332.38	337.57	343.30	350.06	367.84	404.40	25.51
26	13332.86	345.11	38.63	610	2440	296.01	328.67	332.88	332.77	330.73	328.22	325.34	324.64	325.36	329.09	327.78	334.70	336.38	341.69	356.71	382.01	17.69
27	13332.86	345.11	38.63	1220	2440	312.99	345.96	349.42	347.58	344.56	339.56	334.86	333.58	331.24	327.90	326.57	322.18	316.26	297.83	322.14	380.30	18.78
28	13332.86	345.11	38.63	1830	2440	331.70	363.03	367.34	365.32	358.83	354.09	346.85	343.04	335.51	329.53	320.47	301.19	273.63	243.81	327.38	371.22	35.30
29	13332.86	345.11	38.63	2440	2440	354.49	386.33	388.40	384.30	376.78	369.16	362.23	349.31	338.83	329.85	304.09	257.31	190.23	235.37	323.11	383.13	59.15
30	13332.86	345.11	38.63	3050	2440	392.30	434.57	421.11	403.42	410.97	381.71	387.74	352.75	350.73	316.28	274.90	160.57	38.83	358.69	147.48	500.83	121.62
31	13332.86	345.11	38.63	0	3050	289.55	318.33	322.77	324.50	323.78	323.94	323.83	324.78	326.55	329.52	332.88	337.28	342.85	349.56	364.89	397.96	23.49
32	13332.86	345.11	38.63	610	3050	298.62	330.01	333.02	334.09	331.05	329.89	325.92	325.48	325.87	329.90	328.27	334.41	335.92	341.19	353.75	375.57	15.73
33	13332.86	345.11	38.63	1220	3050	315.60	347.30	349.57	348.91	344.87	341.23	335.43	334.42	331.75	328.71	327.06	321.89	315.80	297.34	319.18	373.86	17.99
34	13332.86	345.11	38.63	1830	3050	334.31	364.37	367.48	366.65	359.14	355.75	347.43	343.88	336.02	330.34	320.96	300.90	273.17	243.32	324.42	364.78	35.34
35	13332.86	345.11	38.63	2440	3050	357.10	387.67	388.55	385.63	377.09	370.83	362.81	350.16	339.34	330.66	304.58	257.02	189.77	234.88	320.16	376.69	59.34
36	13332.86	345.11	38.63	3050	3050	394.91	435.91	421.26	404.75	411.29	383.37	388.32	353.60	351.24	317.09	275.39	160.28	38.37	358.19	144.53	494.39	121.73

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นพรุณ (cfm)																(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
37	13332.86	345.11	38.63	0	3660	295.73	322.04	327.43	328.02	328.14	327.66	327.16	326.68	326.78	328.54	330.46	334.42	338.19	343.38	358.52	389.81	19.61
38	13332.86	345.11	38.63	610	3660	304.81	333.72	337.68	337.61	335.41	333.61	329.25	327.39	326.09	328.92	325.86	331.55	331.26	335.01	347.38	367.42	12.66
39	13332.86	345.11	38.63	1220	3660	321.78	351.01	354.22	352.43	349.23	344.95	338.76	336.33	331.98	327.73	324.65	319.03	311.14	291.15	312.81	365.72	19.54
40	13332.86	345.11	38.63	1830	3660	340.49	368.08	372.14	370.17	363.50	359.47	350.76	345.78	336.25	329.36	318.55	298.03	268.52	237.13	318.05	356.64	38.21
41	13332.86	345.11	38.63	2440	3660	363.29	391.38	393.20	389.15	381.45	374.55	366.14	352.06	339.57	329.68	302.17	254.15	185.11	228.69	313.79	368.55	62.31
42	13332.86	345.11	38.63	3050	3660	401.10	439.62	425.91	408.26	415.64	387.10	391.65	355.50	351.47	316.11	272.98	157.41	33.71	352.01	138.15	486.24	123.95
43	13332.86	345.11	38.63	0	4270	240.32	361.21	329.26	330.10	329.99	329.49	329.37	329.44	329.42	330.83	333.12	335.74	338.78	343.27	355.83	386.82	29.48
44	13332.86	345.11	38.63	610	4270	249.40	372.89	339.50	339.69	337.25	335.43	331.47	330.14	328.73	331.21	328.52	332.86	331.85	334.89	344.69	364.42	25.65
45	13332.86	345.11	38.63	1220	4270	266.37	390.18	356.05	354.50	351.08	346.77	340.98	339.08	334.62	330.02	327.31	320.35	311.73	291.04	310.12	362.72	29.60
46	13332.86	345.11	38.63	1830	4270	285.08	407.25	373.97	372.24	365.35	361.30	352.97	348.53	338.88	331.65	321.21	299.35	269.11	237.02	315.36	353.64	43.86
47	13332.86	345.11	38.63	2440	4270	307.88	430.55	395.03	391.22	383.30	376.37	368.35	354.81	342.21	331.97	304.83	255.47	185.70	228.58	311.09	365.55	65.60
48	13332.86	345.11	38.63	3050	4270	345.69	478.79	427.74	410.34	417.49	388.92	393.86	358.25	354.10	318.40	275.64	158.73	34.30	351.90	135.46	483.24	125.56

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุณ

ตารางผนวกที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า b, d และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนที่ L/H = 44.73

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นพรุน (cfm)																			(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	15685.71	350.65	44.73	0	0	275.81	314.05	320.06	318.70	316.39	313.07	311.37	309.77	475.61	308.23	308.05	308.98	311.92	318.83	328.88	341.88	358.03	380.53	410.98	45.67
2	15685.71	350.65	44.73	610	0	281.06	320.21	328.39	329.77	328.80	326.36	324.52	323.11	320.77	322.44	323.13	325.65	330.75	338.94	352.95	392.17	359.14	235.69	467.37	44.52
3	15685.71	350.65	44.73	1220	0	301.20	342.16	348.09	345.95	343.14	338.14	334.26	329.63	324.63	320.80	317.33	315.93	314.21	314.45	319.30	314.44	298.67	348.81	460.33	34.37
4	15685.71	350.65	44.73	1830	0	319.31	358.91	364.38	361.40	358.62	352.48	348.01	341.96	333.60	328.04	322.65	316.82	308.68	305.80	296.05	257.59	247.70	351.81	458.14	44.76
5	15685.71	350.65	44.73	2440	0	338.21	377.65	382.72	378.71	374.32	368.57	362.45	355.57	345.43	337.77	329.49	315.44	303.11	286.45	240.17	188.29	245.52	346.47	456.45	61.07
6	15685.71	350.65	44.73	3050	0	380.48	433.69	428.82	408.92	389.17	380.74	363.59	348.75	509.25	312.52	286.64	249.02	229.11	142.84	-2.57	-108.97	299.58	904.46	378.32	205.38
7	15685.71	350.65	44.73	0	610	278.30	314.82	320.61	320.33	317.33	315.41	313.13	311.44	310.24	310.52	311.55	315.08	320.90	332.41	342.49	354.57	373.05	404.46	464.49	41.87
8	15685.71	350.65	44.73	610	610	283.54	320.98	328.94	331.40	329.74	328.71	326.28	324.77	155.39	324.74	326.63	331.75	339.73	352.51	366.56	404.86	374.16	259.62	520.89	68.11
9	15685.71	350.65	44.73	1220	610	303.68	342.92	348.64	347.58	344.08	340.49	336.02	331.29	159.26	323.10	320.83	322.03	323.19	328.02	332.91	327.14	313.69	372.74	513.85	61.00
10	15685.71	350.65	44.73	1830	610	321.79	359.68	364.93	363.03	359.56	354.83	349.77	343.63	168.22	330.33	326.15	322.93	317.66	319.38	309.66	270.28	262.72	375.73	511.66	64.65
11	15685.71	350.65	44.73	2440	610	340.69	378.41	383.28	380.34	375.27	370.92	364.21	357.23	180.06	340.07	332.99	321.55	312.09	300.03	253.78	200.98	260.54	370.40	509.97	73.95
12	15685.71	350.65	44.73	3050	610	382.97	434.45	429.37	410.55	390.11	383.08	365.35	350.41	343.88	314.82	290.14	255.12	238.09	156.42	11.04	-96.28	314.61	928.39	431.84	202.25
13	15685.71	350.65	44.73	0	1220	280.94	316.08	322.05	321.14	318.96	316.51	313.95	312.69	311.30	312.05	313.22	316.99	322.91	331.78	342.14	354.33	371.42	399.90	452.76	38.72
14	15685.71	350.65	44.73	610	1220	286.19	322.24	330.38	332.21	331.36	329.80	327.10	326.03	156.45	326.27	328.30	333.65	341.74	351.89	366.21	404.62	372.53	255.06	509.15	66.24
15	15685.71	350.65	44.73	1220	1220	306.33	344.19	350.08	348.40	345.71	341.59	336.85	332.54	160.32	324.63	322.50	323.94	325.20	327.40	332.56	326.90	312.05	368.18	502.12	58.74
16	15685.71	350.65	44.73	1830	1220	324.44	360.94	366.37	363.85	361.19	355.93	350.59	344.88	169.28	331.86	327.82	324.83	319.67	318.76	309.31	270.04	261.08	371.18	499.92	62.80
17	15685.71	350.65	44.73	2440	1220	343.34	379.68	384.72	381.15	376.89	372.01	365.04	358.49	181.12	341.60	334.66	323.45	314.11	299.41	253.43	200.74	258.90	365.84	498.23	72.58
18	15685.71	350.65	44.73	3050	1220	385.61	435.72	430.81	411.37	391.74	384.18	366.18	351.66	344.94	316.35	291.80	257.03	240.10	155.80	10.69	-96.52	312.97	923.83	420.10	201.37
19	15685.71	350.65	44.73	0	1830	282.66	315.89	321.16	320.54	319.03	317.14	314.85	313.93	312.62	313.49	315.37	318.04	322.89	331.91	341.70	351.09	367.77	397.33	453.72	38.02
20	15685.71	350.65	44.73	610	1830	287.90	322.04	329.49	331.61	331.44	330.44	328.00	327.27	157.78	327.71	330.44	334.71	341.72	352.01	365.78	401.38	368.88	252.49	510.12	65.96
21	15685.71	350.65	44.73	1220	1830	308.05	343.99	349.19	347.79	345.78	342.22	337.75	333.79	161.64	326.07	324.64	324.99	325.18	327.53	332.12	323.65	308.41	365.61	503.08	58.60
22	15685.71	350.65	44.73	1830	1830	326.15	360.75	365.49	363.24	361.26	356.56	351.49	346.12	170.61	333.30	329.97	325.89	319.64	318.88	308.87	266.80	257.44	368.61	500.89	63.07

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)																			(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
23	15685.71	350.65	44.73	2440	1830	345.06	379.48	383.83	380.55	376.97	372.65	365.94	359.73	182.44	343.04	336.80	324.51	314.08	299.53	253.00	197.50	255.26	363.27	499.20	73.08
24	15685.71	350.65	44.73	3050	1830	387.33	435.52	429.92	410.76	391.81	384.82	367.08	352.91	346.26	317.79	293.95	258.08	240.08	155.92	10.25	-99.76	309.33	921.26	421.07	201.38
25	15685.71	350.65	44.73	0	2440	284.35	316.96	321.81	322.34	320.74	318.60	316.81	315.25	313.70	315.05	316.44	319.24	324.35	331.85	341.25	350.30	366.18	394.38	441.51	34.99
26	15685.71	350.65	44.73	610	2440	289.59	323.12	330.14	333.41	333.15	331.89	329.96	328.59	158.86	329.27	331.52	335.91	343.17	351.96	365.33	400.59	367.29	249.54	497.90	64.02
27	15685.71	350.65	44.73	1220	2440	309.73	345.07	349.84	349.59	347.49	343.67	339.71	335.11	162.72	327.63	325.72	326.19	326.64	327.47	331.68	322.86	306.81	362.66	490.87	56.47
28	15685.71	350.65	44.73	1830	2440	327.84	361.82	366.14	365.04	362.98	358.01	353.45	347.44	171.69	334.86	331.04	327.09	321.10	318.83	308.43	266.01	255.84	365.66	488.67	61.41
29	15685.71	350.65	44.73	2440	2440	346.74	380.56	384.48	382.35	378.68	374.10	367.90	361.05	183.52	344.60	337.88	325.71	315.54	299.48	252.55	196.71	253.66	360.32	486.99	71.92
30	15685.71	350.65	44.73	3050	2440	389.02	436.60	430.57	412.56	393.53	386.27	369.04	354.23	347.34	319.35	295.03	259.28	241.53	155.87	9.81	-100.55	307.73	918.31	408.86	200.88
31	15685.71	350.65	44.73	0	3050	285.56	317.34	322.36	322.92	321.80	320.57	318.89	317.79	316.31	319.18	320.42	322.90	327.10	333.96	341.64	348.61	362.23	385.49	426.04	30.52
32	15685.71	350.65	44.73	610	3050	290.81	323.50	330.69	333.99	334.21	333.87	332.04	331.13	161.46	333.39	335.50	339.57	345.92	354.06	365.72	398.90	363.34	240.65	482.43	61.99
33	15685.71	350.65	44.73	1220	3050	310.95	345.45	350.39	350.18	348.55	345.65	341.79	337.65	165.33	331.75	329.70	329.86	329.39	329.57	332.06	321.18	302.87	353.77	475.39	53.57
34	15685.71	350.65	44.73	1830	3050	329.06	362.20	366.68	365.62	364.04	359.99	355.53	349.98	174.30	338.99	335.02	330.75	323.85	320.93	308.82	264.32	251.90	356.77	473.20	59.21
35	15685.71	350.65	44.73	2440	3050	347.96	380.94	385.02	382.93	379.74	376.08	369.98	363.59	186.13	348.72	341.86	329.37	318.29	301.58	252.94	195.02	249.72	351.43	471.51	70.35
36	15685.71	350.65	44.73	3050	3050	390.23	436.98	431.12	413.14	394.59	388.24	371.12	356.77	349.95	323.47	299.01	262.95	244.28	157.97	10.19	-102.24	303.79	909.42	393.38	199.21
37	15685.71	350.65	44.73	0	3660	285.79	316.44	321.67	322.66	321.54	320.17	319.98	318.67	318.11	318.71	320.23	322.03	326.75	333.37	341.10	349.32	361.08	385.71	427.77	30.76
38	15685.71	350.65	44.73	610	3660	291.03	322.59	330.00	333.73	333.95	333.47	333.13	332.01	163.26	332.93	335.31	338.70	345.58	353.48	365.18	399.61	362.19	240.87	484.16	61.90
39	15685.71	350.65	44.73	1220	3660	311.17	344.54	349.70	349.92	348.29	345.25	342.87	338.53	167.13	331.29	329.51	328.99	329.04	328.99	331.52	321.89	301.71	353.99	477.13	53.53
40	15685.71	350.65	44.73	1830	3660	329.28	361.30	365.99	365.37	363.78	359.59	356.62	350.86	176.10	338.52	334.83	329.88	323.51	320.34	308.28	265.03	250.74	356.98	474.93	59.21
41	15685.71	350.65	44.73	2440	3660	348.18	380.03	384.33	382.67	379.48	375.68	371.06	364.47	187.93	348.26	341.67	328.50	317.94	300.99	252.40	195.73	248.57	351.65	473.24	70.35
42	15685.71	350.65	44.73	3050	3660	390.46	436.07	430.42	412.89	394.33	387.85	372.21	357.65	351.75	323.01	298.82	262.08	243.94	157.38	9.65	-101.53	302.63	909.63	395.11	199.28
43	15685.71	350.65	44.73	0	4270	288.78	320.80	324.32	325.62	324.17	323.76	322.22	321.54	321.34	321.57	322.51	325.09	328.50	333.28	339.39	345.65	354.87	374.29	413.43	25.77
44	15685.71	350.65	44.73	610	4270	294.02	326.95	332.65	336.69	336.58	337.06	335.37	334.87	166.50	335.78	337.59	341.75	347.33	353.39	363.47	395.94	355.98	229.45	469.82	60.05

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

	L (mm)	H (mm)	L/H	b (mm)	d (mm)	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นพรม (cfm)																			(STD)
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
45	15685.71	350.65	44.73	1220	4270	314.16	348.90	352.35	352.87	350.92	348.84	345.11	341.39	170.36	334.14	331.79	332.04	330.79	328.90	329.82	318.21	295.50	342.57	462.79	51.21
46	15685.71	350.65	44.73	1830	4270	332.27	365.66	368.65	368.32	366.41	363.18	358.86	353.72	179.33	341.37	337.11	332.93	325.26	320.26	306.57	261.36	244.54	345.57	460.60	58.08
47	15685.71	350.65	44.73	2440	4270	351.17	384.39	386.99	385.63	382.11	379.26	373.30	367.33	191.16	351.11	343.95	331.55	319.69	300.91	250.69	192.05	242.36	340.23	458.91	70.14
48	15685.71	350.65	44.73	3050	4270	393.44	440.43	433.08	415.84	396.96	391.43	374.44	360.51	354.98	325.86	301.10	265.13	245.69	157.30	7.95	-105.21	296.42	898.22	380.78	198.25
49	15685.71	350.65	44.73	0	4880	260.37	316.14	323.53	324.52	323.84	323.35	322.40	322.57	322.33	323.15	324.40	326.99	330.34	335.28	341.04	349.18	360.09	379.20	422.44	31.31
50	15685.71	350.65	44.73	610	4880	265.61	322.29	331.86	335.59	336.25	336.64	335.55	335.90	167.49	337.36	339.48	343.65	349.17	355.38	365.11	399.47	361.20	234.35	478.83	62.48
51	15685.71	350.65	44.73	1220	4880	285.76	344.24	351.56	351.77	350.59	348.42	345.30	342.42	171.35	335.72	333.68	333.94	332.63	330.89	331.46	321.74	300.72	347.48	471.79	53.04
52	15685.71	350.65	44.73	1830	4880	303.86	361.00	367.85	367.22	366.07	362.76	359.04	354.76	180.32	342.96	339.00	334.83	327.10	322.25	308.21	264.89	249.75	350.47	469.60	58.64
53	15685.71	350.65	44.73	2440	4880	322.76	379.73	386.20	384.53	381.78	378.85	373.49	368.36	192.15	352.69	345.84	333.45	321.53	302.90	252.33	195.59	247.58	345.14	467.91	69.76
54	15685.71	350.65	44.73	3050	4880	365.04	435.77	432.29	414.74	396.62	391.02	374.63	361.54	355.97	327.45	302.99	267.03	247.53	159.29	9.59	-101.67	301.64	903.12	389.78	197.79
55	15685.71	350.65	44.73	0	5490	243.05	300.07	326.09	329.29	328.74	328.84	327.89	327.52	327.39	327.85	328.57	330.35	333.45	338.37	343.69	349.76	356.97	375.85	407.39	31.43
56	15685.71	350.65	44.73	610	5490	248.30	306.22	334.42	340.36	341.15	342.14	341.04	340.86	172.54	342.06	343.65	347.02	352.28	358.47	367.77	400.05	358.08	231.01	463.78	62.01
57	15685.71	350.65	44.73	1220	5490	268.44	328.17	354.12	356.54	355.49	353.92	350.79	347.38	176.41	340.42	337.85	337.30	335.74	333.99	334.11	322.32	297.60	344.13	456.74	51.69
58	15685.71	350.65	44.73	1830	5490	286.55	344.93	370.41	371.99	370.98	368.26	364.53	359.71	185.38	347.66	343.17	338.20	330.21	325.34	310.86	265.46	246.63	347.13	454.55	57.40
59	15685.71	350.65	44.73	2440	5490	305.45	363.66	388.76	389.30	386.68	384.35	378.98	373.32	197.21	357.39	350.01	336.81	324.65	305.99	254.98	196.16	244.45	341.79	452.86	68.50
60	15685.71	350.65	44.73	3050	5490	347.72	419.70	434.85	419.51	401.53	396.52	380.12	366.50	361.03	332.14	307.16	270.39	250.64	162.38	12.24	-101.10	298.52	899.78	374.73	196.42

หมายเหตุ STD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรม

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายอาชวี ริยะจันทร์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กรกฎาคม พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-