

การควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรมสำหรับระบบปรับอากาศแบบ พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

A Control of an Air Flow Rate for Raised Floor Air Conditioning System in a Large Data Center

อาชว์ ริยะจันทร์ และ ชวลิต กิตติชัยการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

ติดต่อ: E-mail: fengclk@ku.ac.th

โทรศัพท์: +6629428555 ต่อ 1801, โทรสาร: +6625794576,

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคใหม่ที่สามารถใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ให้มีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่น โดยในการศึกษาจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาจำลองลักษณะการไหลของอากาศเย็นผ่านแผ่นพรม เทคนิคที่นำเสนอนี้จะใช้การติดตั้งแผ่นกั้นทึบ (solid partition) ที่พื้นห้อง (sub floor) ให้มีลักษณะเอียงขึ้น โดยการเปรียบเทียบได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมเป็นตัวเปรียบเทียบระหว่างพื้นห้องลักษณะเอียงขึ้นกับพื้นห้องแบบระนาบธรรมดาเพื่อที่ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดนั่นหมายความว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ผลที่ได้จากการใช้เทคนิคนี้สามารถปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมให้มีค่าใกล้เคียงกันได้มากกว่าแบบพื้นราบปกติถึง 78.9% นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศแบบพื้นยกสำหรับห้องเก็บข้อมูล ซึ่งค่าเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศแบบพื้นยก สามารถนำไปพัฒนาสร้างหรือปรับปรุงให้ระบบมีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นได้

คำหลัก: ห้องเก็บข้อมูล, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, แผ่นพรม, ระบบปรับอากาศแบบพื้นยก

Abstract

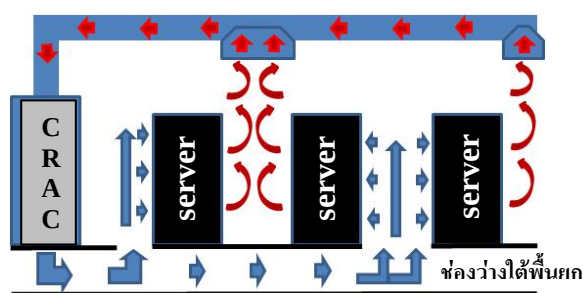
This paper presents a new technique which can be used to uniformly distribute the air flow rates through all perforate plates in a large data center. The commercial software in Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to simulate the air flow through all perforate plates. The standard deviation of air flow rate through the perforate plates was used to compare the distribution of air flow between using

tilted subfloor (the new technique proposed in this research) and flat subfloor (typical used nowadays). 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 was improved up to 78.9%. Moreover the correlation of all important 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.

Keywords: Data Center, CFD, Perforate plate, raised floor air conditioning system.

1. บทนำ

การปรับอากาศแบบพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่เป็นการปรับอากาศแบบที่มีการจ่ายลมเย็นใต้พื้นยกเพื่อที่จะระบายความร้อนให้กับเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ภายในห้อง โดย CRAC (Computer Room Air Condition) จะปล่อยลมเย็นเข้าสู่พื้นที่ว่างภายใต้พื้นยก หลังจากนั้นลมเย็นจะไหลผ่านแผ่นพอร์น (Perforated Plate) ขึ้นสู่ห้องเก็บข้อมูลด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระบบปรับอากาศแบบพื้นยก

การกระจายตัวของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นจะขึ้นอยู่กับ ขนาดความสูงของพื้นยก การจัดเรียงตัวของแผ่นพอร์น พื้นที่เปิดของแผ่นพอร์น ตำแหน่งของ CRAC และ สิ่งกีดขวางการไหลภายใต้พื้นยก ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความซับซ้อนในการควบคุมการกระจายของความดัน ที่ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพอร์น โดยพื้นฐานการจัดการความร้อนภายในห้องเก็บข้อมูลที่ดีจะต้องมีการจ่ายลมเย็นให้สามารถ

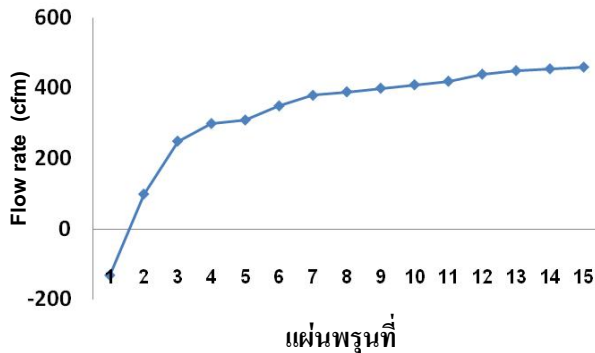
ระบายความร้อนออกจากเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องได้อย่างเพียงพอ แต่การออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นยกในปัจจุบัน ยังขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการไหลของอากาศภายใต้พื้นยก ส่งผลทำให้การระบายความร้อนในห้องเก็บข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากอากาศเย็นไหลผ่านแผ่นพอร์นในแต่ละบริเวณในอัตราที่แตกต่างกันมาก ซึ่งในบางบริเวณแทบไม่มีอากาศเย็นไหลผ่านแผ่นพอร์น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคใหม่เพื่อใช้ในการปรับอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นให้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะทำให้การระบายความร้อนภายในห้องเก็บข้อมูลทั่วถึงกันทั้งห้องมากขึ้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. การควบคุมอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์น

อาซัว และ ซวลิต (2553) ได้ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นในห้องเก็บข้อมูลแห่งหนึ่ง พบว่ามีค่าไม่เท่ากัน อัตราการไหลในบริเวณที่อยู่ไกลจาก CRAC จะมีอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นที่สูงแล้วจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจาก CRAC ลดลงตามแนวขนานกับทิศทางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นมีอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน โดยในแผ่นที่ 1 มีอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นติดลบอยู่ที่ประมาณ -130 cfm (หมายความว่ามีการไหลย้อนกลับ) และในแผ่นที่ 15

มีอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณเท่ากับ 500 cfm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแผ่นแรกและแผ่นสุดท้ายมีค่าแตกต่างกันมาก ถึงประมาณ 630 cfm



รูปที่ 2 แสดงค่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณตามระยะห่างจาก CRAC ตามแนวนานกับทิศทางการไหล

Schmidt et al (2001) ได้พยายามอธิบายถึงผลกระทบของความสูงของพื้นยก และ พื้นที่เปิดของแผ่นพรุณที่มีต่ออัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่น โดยทำการจำลองการไหล 2 มิติ ของอากาศเย็นโดยใช้ CFD ในการศึกษาได้ใช้ความสูงเฉลี่ยของพื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ และได้แสดงผลของการกระจายตัวของความเร็ว และความดัน ภายใต้พื้นยก

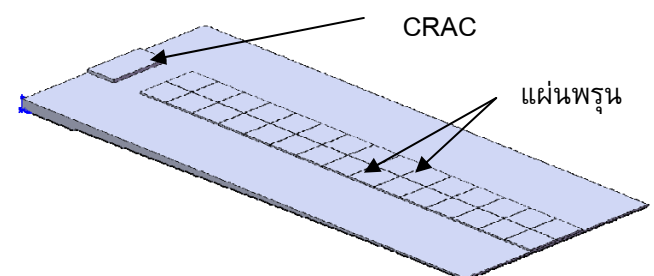
Karki et al (2003) ได้ศึกษาการไหลของอากาศเย็นในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ที่ใช้งานจริง โดยใช้โปรแกรม CFD ในการจำลองแบบ 3 มิติ และได้แสดงผลการกระจายตัวของอัตราการไหลผ่านแผ่นพรุณภายในห้อง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดใหม่เพื่อที่จะทำให้อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันตลอดทั้งความยาวห้องเก็บข้อมูล โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็วของอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วความเร็วใต้พื้นยกมีค่าลดลงส่งผลให้ค่าความดันมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะห่างจาก CRAC ในแนวนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกจาก CRAC ดังนั้น

เทคนิคใหม่ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นการลดพื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเย็นใต้พื้นยก โดยทำให้พื้นใต้พื้นยกมีลักษณะเอียง เพื่อปรับการกระจายความดันของอากาศเย็นใต้พื้นยกให้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณมีค่าใกล้เคียงกัน

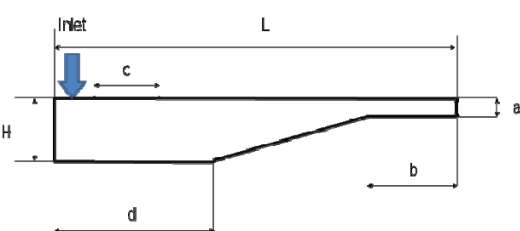
3.การจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาใช้วิเคราะห์ค่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณภายในห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดรูปแบบการไหลภายใต้พื้นยกเป็นการไหลแบบปั่นป่วนสามมิติ ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน k- ϵ และสมมติให้ภายใต้พื้นยกไม่มีสิ่งกีดขวางการไหล ซึ่งรูปแบบและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงแบบจำลองความปั่นป่วนและข้อกำหนดต่างๆที่เลือกใช้จะเหมือนกับที่ได้นำเสนอในบทความ อาซัว และ ซวลิต (2553) ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบแล้วว่ามี ความถูกต้องแม่นยำกับผลการทดลองที่ได้มีการวัดค่าอัตราการไหลจริงในห้องเก็บข้อมูล เพียงแต่ในบทความนี้ได้มีการปรับรูปแบบของพื้นใต้พื้นยกให้มีความลาดเอียง โดยจะจำลองห้องเก็บข้อมูลที่มี CRAC 1 เครื่อง ที่ป้อนอากาศเย็นให้กับช่องว่างใต้พื้นยกในอัตราการไหล 10,000 cfm และ มีแผ่นพรุณ 2 แถว วางในแนวนานกับทิศทางการไหลของอากาศเย็นที่ไหลออกจาก CRAC ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบที่จะใช้การปรับปรุงที่เป็นแบบพื้นห้องเอียง

การออกแบบเพื่อกำหนดให้มีลักษณะเป็นพื้นเอียงนั้นต้องกำหนดตัวแปรต่างๆ ขึ้นมาเพื่อที่จะทำให้อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับตัวแปรที่สนใจได้กำหนดในรูปที่ 4 โดยทั่วไปขนาดความยาวของพื้นที่สำหรับ CRAC 1 เครื่องจะส่งผลไปถึงมีค่าไม่เกิน 15 m ($L \leq 15$ m) และความสูงของเพดานโดยทั่วไปมีค่าไม่น้อยกว่า 0.3 m ($H \geq 0.3$ m) ตัวแปรและรูปภาพการปรับปรุงพื้นเอียงได้เพื่อกำหนดเป็นดังแสดงในรูปที่ 4



L คือ ระยะความยาวของห้องในแนวทิศทางการไหล

H คือ ระยะความสูงของเพดาน

a คือ ระยะความสูงจากพื้นห้องด้านบนถึงเพดาน

b คือ ระยะความยาวของพื้นห้องด้านบน

c คือ ระยะห่างจาก CRAC จนถึงแผ่นพรุนแผ่นแรก

d คือ ระยะความยาวของพื้นห้องด้านล่าง

รูปที่ 4 แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่สนใจในการปรับปรุงพื้นได้เพื่อกำหนดให้มีความลาดเอียง

สำหรับการวัดผลที่จะทำให้ทราบว่าค่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันทุกแผ่นหรือไม่ จะใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, σ) ซึ่งแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N คือ จำนวนแผ่นพรุน

x คือ ค่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่น

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุน

ในการเปรียบเทียบ ถ้ารูปแบบพื้นห้องเอียงแบบใดมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยแสดงว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าแตกต่างกันมาก

เนื่องด้วยระยะความสูงของช่องใต้เพดานโดยทั่วไปมีค่าไม่ต่ำกว่า 300 mm (H) และความยาวในการส่งลมเย็นของ CRAC 1 ตัว ไม่เกิน 1500 mm (L) ดังนั้นจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่แสดงในรูปที่ 4 พบว่ามุมเอียงของเพดานจะถูกกำหนดโดยระยะ b และ d ซึ่งเมื่อนำมาสร้างเป็นตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless parameters) เพื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดจะได้ตัวแปรไร้มิตินี้

A คือ a / H โดยค่า a จะกำหนดเป็นค่าคงที่เท่ากับ 50 mm H = 300 mm ตามข้อกำหนด ดังนั้นค่าคงที่ $A = 50/300$

B คือ b / L โดยค่า b จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 3050 mm

C คือ c / L โดยค่า c นี้จะกำหนดเป็นค่าคงที่เท่ากับ 1220 mm ที่ความยาวห้องเท่ากับ 5490 mm ดังนั้นค่าคงที่ $C = 1220/5490$

D คือ d / L โดยค่า d จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 3050 mm

4. ผลและวิจารณ์

ตารางที่ 1 แสดงค่า B และ D ที่ส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนแต่ละแผ่นมีค่าต่ำที่สุดที่ค่า (L/H) นั้นๆ เมื่อนำค่าต่างๆ ในตารางที่ 1 มาแสดงกราฟ (รูปที่ 5 และ 6) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และ D เทียบกับ (L/H) จะได้สมการ

ความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ L/H และ D กับ L/H ดัง
แสดงในสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

L/H	B	D	Min Std
18.3	0	0.305	7.700228
20.33333	0	0.308	8.325568
22.36667	0.047	0.295	7.205261
24.4	0.046	0.304	7.79555
26.43333	0.045	0.276	7.634676
28.46667	0.048	0.286	8.649295
30.5	0.031	0.277	8.75027
32.53333	0.03	0.294	11.51904
34.56667	0.033	0.282	9.830694
38.63333	0.059	0.25	17.18958
44.73333	0	0.219	30.67171

ตารางที่ 1 แสดงค่า B และ D ที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานมีค่าต่ำที่สุดที่ค่า (L/H) ต่างๆ

$$B = \beta_1 \left(\frac{L}{H}\right)^4 + \beta_2 \left(\frac{L}{H}\right)^3 + \beta_3 \left(\frac{L}{H}\right)^2 + \beta_4 \left(\frac{L}{H}\right) + \beta_5 \quad (3)$$

โดยที่ $\beta_1 = -7.22\text{e-}06$

$$\beta_2 = 9.33\text{e-}04$$

$$\beta_3 = -0.04432$$

$$\beta_4 = 0.9169$$

$$\beta_5 = -6.928$$

$$B = \alpha_1 \left(\frac{L}{H}\right)^4 + \alpha_2 \left(\frac{L}{H}\right)^3 + \alpha_3 \left(\frac{L}{H}\right)^2 + \alpha_4 \left(\frac{L}{H}\right) + \alpha_5 \quad (4)$$

โดยที่ $\alpha_1 = 3.05\text{e-}07$

$$\alpha_2 = -4.65\text{e-}05$$

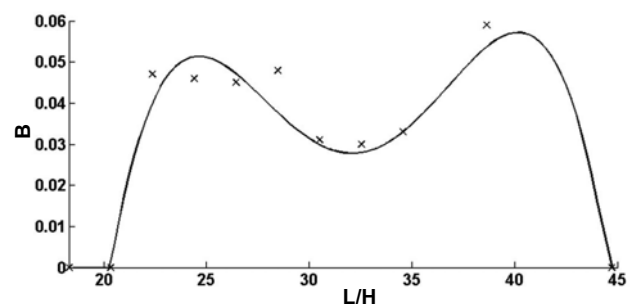
$$\alpha_3 = 0.002417$$

$$\alpha_4 = -0.05391$$

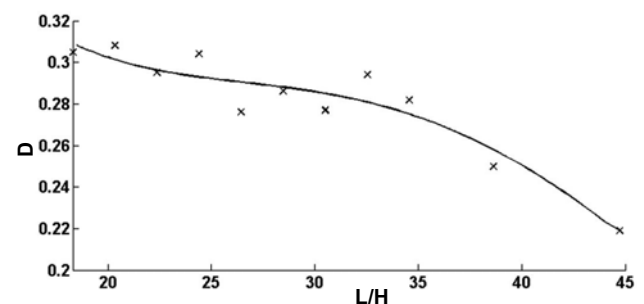
$$\alpha_5 = 0.7373$$

รูปที่ 7 แสดงคอนทัวร์ของความเร็วของ
อากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นโดย

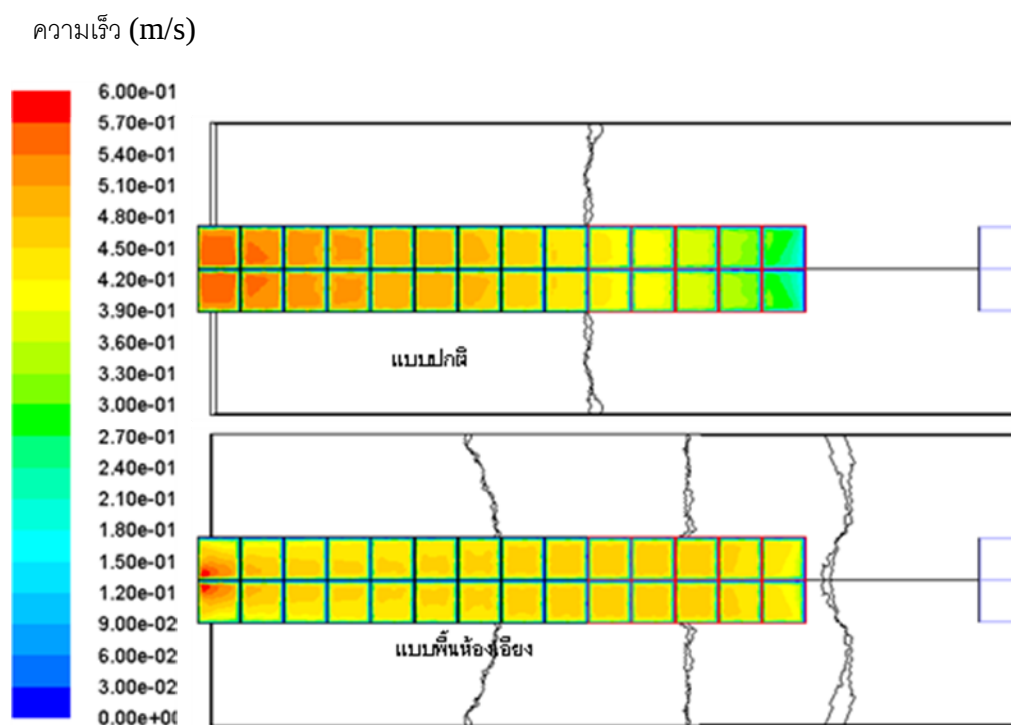
เปรียบเทียบกับระหว่างแบบพื้นห้องใต้พื้นยกที่มี
ความลาดเอียงกับแบบพื้นห้องปกติที่ค่า L/H =
34.56 จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้น
ห้องใต้พื้นยกให้มีความลาดเอียงสามารถทำให้
ความเร็วของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละ
แผ่นมีค่าใกล้เคียงกันเกือบทุกแผ่น และจากรูปที่ 8
ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ
เย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละแผ่นที่ L/H = 34.56
พบว่าการปรับปรุงพื้นใต้พื้นยกให้มีความลาดเอียง
สามารถให้อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่าน
แผ่นพรุณแต่ละแผ่นมีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น และ
จากการปรับปรุงพื้นใต้พื้นยกให้มีความลาดเอียงนี้จะ
ทำให้สามารถปรับปรุงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ
อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุณแต่ละ
แผ่นให้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงได้ โดย
สามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้มากถึง 78.9%
ดังแสดงในรูปที่ 9



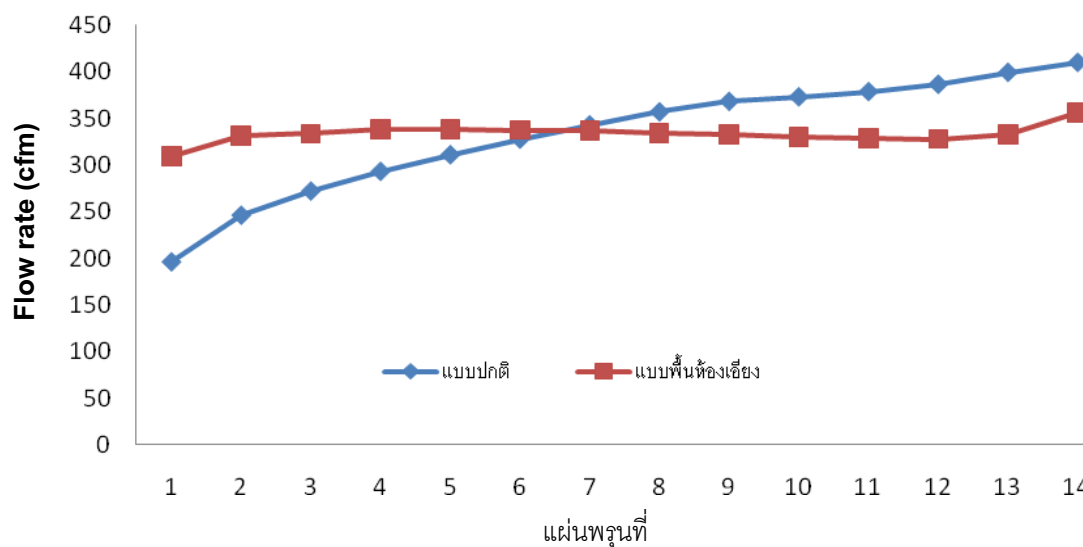
รูปที่ 5 แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย B ที่ค่า L/H ต่างๆ



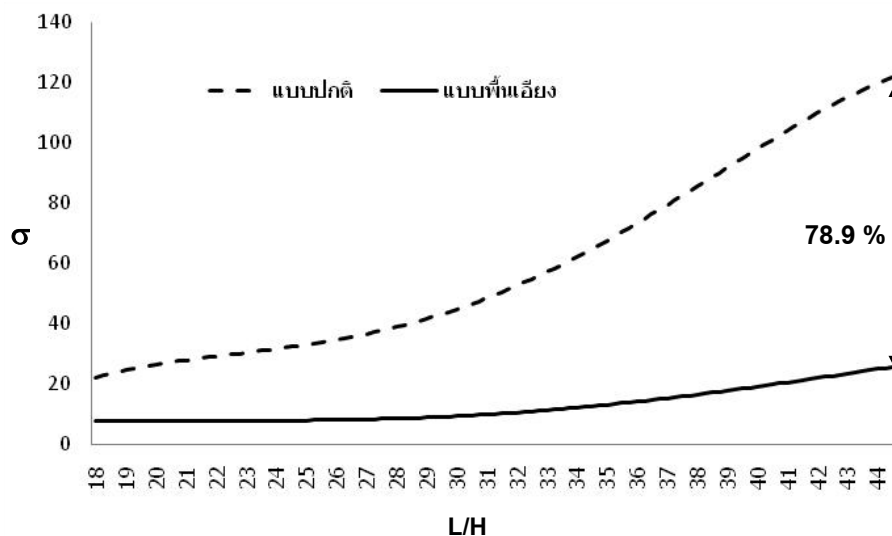
รูปที่ 6 แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วย D ที่ค่า L/H ต่างๆ



รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของความเร็วของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นที่ค่า $L/H = 34.56$



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรมแต่ละแผ่นระหว่างแบบพื้นห้องเอียงกับแบบปกติที่ค่า $L/H = 34.56$



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นระหว่างพื้นห้องแบบปกติกับแบบพื้นห้องเอียง

5.สรุป

จากการนำเสนอรูปแบบพื้นใต้พื้นยกรูปแบบใหม่ให้มีความลาดเอียงซึ่งแตกต่างจากแบบเดิมที่เป็นพื้นแนวราบ ทำให้สามารถปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นแต่ละแผ่นภายในห้องเก็บข้อมูลให้มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นได้ ส่งผลให้มีการกระจายลมเย็นสม่ำเสมอและทั่วถึงภายในห้องเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้น โดยรูปแบบพื้นใต้พื้นยกที่มีความลาดเอียงนี้สามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพอร์นแต่ละแผ่นได้ถึง 78.9% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นแบบปกติ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ที่ใช้หาตัวแปรไร้มิติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นยกที่มีการปรับพื้นใต้พื้นยกให้มีความลาดเอียงได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณภูวนาถ สุนตระกูล จากบริษัท DATA CENTER CONSULTANT และ คุณอิสรากรรณิกา จากบริษัท Site Preparation Management Co.,Ltd (SITE) ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานในการทดลองในสถานที่การทำงานจริงของ

ห้องเก็บข้อมูลทางคอมพิวเตอร์และให้คำแนะนำคราะห์ตัวอย่างของแผ่นพอร์นและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อาชวี วัชรจันทร์ และ ขวลิขิต กิตติชัยการ (2553) การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่, เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี
- [2] Schmidt, R. R., Karki, K. C., Kelkar, K. M., Radmehr, A., and Patankar, S. V., (2001), "Measurements and Predictions of the Flow Distribution Through Perforated Tiles in Raised-Floor Data Centers," Paper No. IPACK2001-15728, Proceedings of InterPack'01, The Pacific Rim/ASME International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition, July 8-13, 2001, Kauai, Hawaii, USA.
- [3] Karki, K. C., Radmehr, A., and Patankar, S. V., (2003), "Use of Computational Fluid Dynamics for Calculating Flow Rates Through Perforated Tiles in Raised-Floor Data Centers," to appear in International Journal of HVAC&R Research