

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุนสำหรับระบบปรับอากาศ  
แบบพื้นยก

## An Investigation on Pressure Loss Coefficient of Perforated Plate in Raised Floor System

เมธี ดวงสร้อยทอง และ ชวลิต กิตติชัยการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

\*ติดต่อ: โทรศัพท์: +6629428555 ต่อ 1801, โทรสาร: +6625794576, E-mail: [fengclk@ku.ac.th](mailto:fengclk@ku.ac.th)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(Computational Fluid Dynamics, CFD)เพื่อจำลองลักษณะการไหลของอากาศ โดยการสร้างแบบจำลองแผ่นพรุนทางคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นพรุนแล้วนำค่าที่ได้มาสอบเทียบ(Validation)กับผลการทดลอง โดยในการจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการใส่คุณลักษณะสภาพต้านทานของปริมาตร (Porous Zone) และของหน้าตัด (pressure jump) เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณแทนการจำลองแผ่นพรุนเสมือนจริง ในการสร้างแบบจำลอง จากผลการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของแผ่นพรุนขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร มีพื้นที่เปิดซึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร จำนวน 468 รู ที่ความเร็วการไหลของอากาศช่วงเลขเรย์โนลด์(Re)  $2.34 \times 10^4$  -  $6.25 \times 10^4$  พบว่าค่าความดันสูญเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CFD และที่วัดได้จริงมีค่าแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียสูงสุดไม่เกิน 6% สำหรับการสร้างโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการใส่คุณลักษณะสภาพต้านทาน ดังนั้นเทคนิคการใส่คุณลักษณะสภาพต้านทานของหน้าตัดนี้จะสามารถถูกนำไปใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื้นยกให้สามารถกระจายลมเย็นได้ดีและทั่วถึงทุกส่วนในห้องเก็บข้อมูลได้

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน, แผ่นพรุน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, ห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่

### Abstract

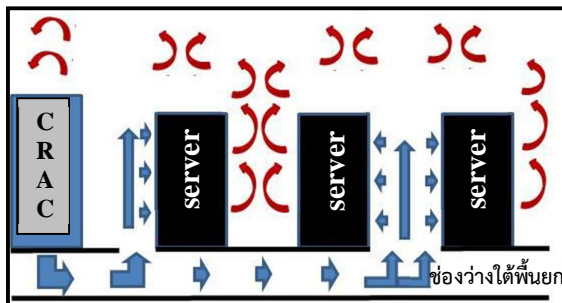
This paper presents the use of Computational Fluid Dynamics program (CFD) to simulate the air flow through perforated plate in the data center. Pressure loss coefficient was obtained from this simulation and was validated with the experiment. New technique of using pressure jump and resistance coefficient was introduced and used in the simulation. This technique helps to reduce simulation time consumption. The computational model of the perforated plate was 200x200 mm with 2 mm thick. It has 468 holes, each has diameter of 6.5 mm. Air flow possess Reynolds number in the range of  $2.34 \times 10^4$ - $6.25 \times 10^4$ . From the results obtained, it was found that the pressure loss coefficient from the simulation agreed well with those obtained from the experiment. However using the pressure jump technique helps to reduce computer resources and save time. The discrepancies between the computational and the experimental results were about 6 %. Therefore this technique can be used to obtain the pressure loss coefficient and improve the efficiency of the raise floor air conditioning system.

Keywords: Pressure loss coefficient, Perforated Plate, CFD, Datacenter

## 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินธุรกิจและการดำรงชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการเข้าถึงข้อมูลต่างๆ บนอินเทอร์เน็ต การซื้อขายสินค้าผ่านระบบออนไลน์ การทำธุรกรรมทางการเงินผ่านช่องทางออนไลน์ (e-service) ดังนั้นห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ (Datacenter) ซึ่งเป็นศูนย์คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลและประมวลผลสำหรับรองรับการเชื่อมต่อเพื่อเข้าถึงข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จึงมีการขยายเพื่อรองรับกับความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นระบบต่างๆ ของห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่จึงเป็นที่ควรให้ความสำคัญตั้งแต่เรื่องการออกแบบ รวมทั้งระบบปรับอากาศก็เช่นกัน

ระบบปรับอากาศของห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่มีหลายรูปแบบ แต่ที่เป็นที่นิยมอยู่ในปัจจุบันคือระบบปรับอากาศแบบพื่นยกเป็นระบบที่ระบายความร้อนให้กับเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ภายในห้อง โดย CRAC (Computer Room Air Condition) จะปล่อยลมเย็นเข้าสู่พื้นที่ว่างภายใต้พื่นยก หลังจากนั้นลมเย็นจะไหลผ่านแผ่นพรุน (Perforated Plate) ขึ้นสู่ห้องเก็บข้อมูลด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระบบปรับอากาศแบบพื่นยก

การกระจายตัวของอัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลผ่านแผ่นพรุนจะขึ้นอยู่กับ ขนาดความสูงของพื่นยก การจัดเรียงตัวของแผ่นพรุน พื้นที่เปิดของแผ่นพรุน ตำแหน่งของ CRAC และ สิ่งกีดขวางการไหลภายใต้พื่นยก ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความซับซ้อนในการควบคุมการกระจายของความดัน ที่ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุน ซึ่งโดยส่วนมากรูปแบบของแผ่นพรุนสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื่นยกจะมี

รูปแบบและเปอร์เซ็นต์การเปิดอยู่ไม่กี่ค่า จึงทำให้การออกแบบทำได้ลำบาก ต่อมาในระยะหลังได้มีการผลิตแผ่นพรุนที่สามารถปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดเพื่อที่จะสามารถปรับแก้ค่าของอัตราการไหลให้ตรงตามที่ต้องการ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุนเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความดันสูญเสียและประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลช่วยในการคำนวณ เพื่อที่จะนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอีกทั้งยังช่วยให้ผู้ผลิตสามารถผลิตแผ่นพรุนได้ตามความต้องการของระบบปรับอากาศอีกด้วย

## 2. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุน

James และ Roger (2005) ได้ศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของอากาศที่ออกจากแผ่นพรุนโดยใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์มาศึกษา กับห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ของจริงพบว่าเปอร์เซ็นต์เปิดของแผ่นพรุนที่น้อยจะส่งผลให้ลมมีการกระจายตัวสม่ำเสมอดีกว่าเปอร์เซ็นต์เปิดที่มาก จึงควรใช้แผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์เปิดที่มากเป็นบางกรณีไป

Kailash และ Suhaz (2004) ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายของลมที่ออกจากแผ่นพรุนสำหรับระบบปรับอากาศแบบพื่นยกโดยใช้วิธีทางคอมพิวเตอร์โมเดลหนึ่งมิติ ในรูปแบบตัวแปรที่เป็น Dimensionless พบว่าพื้นที่หน้าตัดของพื่นยก, จำนวนแผ่นพรุนและเปอร์เซ็นต์เปิดของแผ่นพรุนล้วนส่งผลโดยตรงกับแรงดันใต้พื่นยก

อาซัว และ ขวลิต (2553) ได้ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นพรุนในห้องเก็บข้อมูลแห่งหนึ่งโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางด้านพลศาสตร์ พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากแผ่นพรุนมีค่าไม่เท่ากัน โดยอัตราการไหลในบริเวณที่อยู่ไกลจาก CRAC จะมีอัตราการไหลที่สูงสุดแล้วจะมีค่าอัตราการไหลลดลงตามลำดับเมื่อตำแหน่งแผ่นพรุนเข้าใกล้ CRAC

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียแผ่นพรุนจึงเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศแบบพื่นยกงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาลักษณะทางกายภาพต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุนโดยในที่นี้ผู้วิจัยสนใจตัวแปรเรื่องเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดของแผ่นพรุนและความหนา ว่าส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียอย่างไร

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแผ่นพรุนแต่ละรูปแบบสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta P = \delta \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

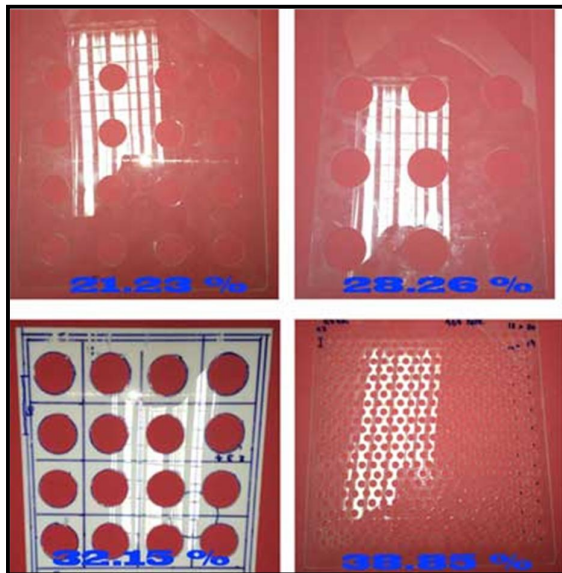
โดยที่  $\Delta P$  คือ แรงดันตกคร่อมของอุปกรณ์  
 $\delta$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย  
 $\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล  
 $V$  คือ ความเร็วของไหลที่ผ่านอุปกรณ์

### 3. วิธีการวิจัย

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

#### 3.1 การวิจัยในส่วนการทดลอง

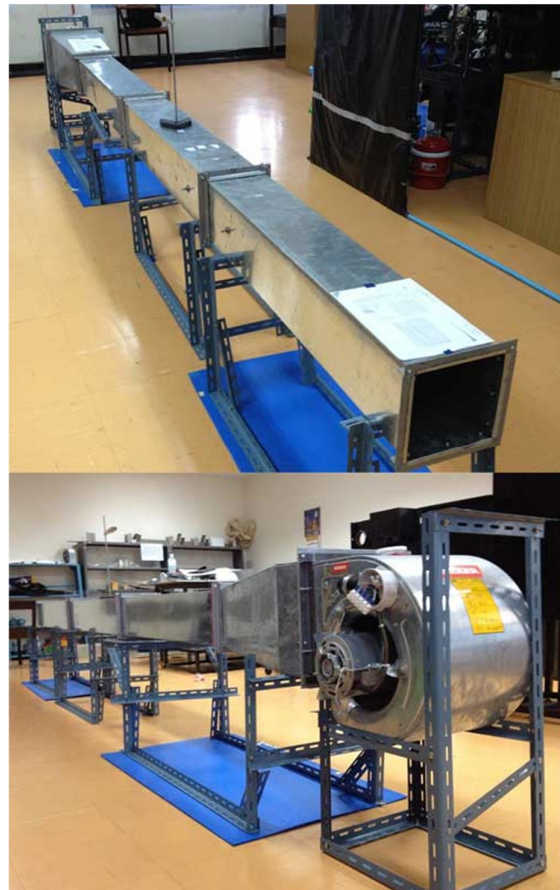
ในส่วนการทดลองจำลองแผ่นพรุนซึ่งทำมาจากแผ่นอะคริลิกที่มีขนาดกว้าง 200 มม. ยาว 200 มม. โดยสร้างแผ่นพรุนให้มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดแตกต่างกัน 4 ค่า คือ ที่เปอร์เซ็นต์เปิด 21.23% , 28.26% , 32.15% และ 38.85% และ 38.85% ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปแผ่นพรุนที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่างๆ

นอกจากนี้การศึกษายังได้ครอบคลุมปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของแผ่นพรุน นอกจากเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิด แล้วก็คือความหนาของแผ่นพรุน โดยในงานวิจัยนี้ได้สร้างแผ่นพรุนที่มีเปอร์เซ็นต์เปิด

38.85 % ที่มีความหนาแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ ที่มีความหนา 1 มม. , 2 มม. และ 3 มม. ตามลำดับแผ่นพรุนทุกรูปแบบนี้ได้ถูกติดตั้งเข้ากับชุดทดลองที่ใช้พัดลมขนาดกำลัง 550 W สร้างลมให้ไหลในท่อขนาดหน้าตัด 200 x 200 มม. ยาว 3600 มม. โดยมีช่วงความยาวก่อนเข้า 2400 มม. และมีความยาวหลังผ่านแผ่นพรุน 1200 มม. ทำให้การไหลของอากาศภายในท่อเป็นแบบพัฒนาเต็มท่อแล้ว ความเร็วและความดันของอากาศที่ไหลในท่อได้ถูกบันทึกโดยใช้ Hotwire Anemometer และ pressure difference ที่ตำแหน่ง 1D ก่อนเข้าแผ่นพรุน และ 1D หลังออกจากแผ่น ความเร็วของอากาศภายในท่อสามารถปรับได้โดยใช้การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม โดยการทดลองทั้งหมดทำในช่วงความเร็วอากาศที่เลขเรย์โนลด์  $1.35 \times 10^4$  -  $5.41 \times 10^4$



รูปที่ 3 ชุดการทดลองสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการวัดและเครื่องมือวัด

### 3.2 การวิจัยในส่วนการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล CFD

โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล CFD ได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุน เพอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดและความหนาเหมือนที่ใช้ในการทดลอง

อย่างไรก็ตามในการจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความสามารถของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองแผ่นพรุนเสมือนจริงที่มีจำนวนรูพรุนซึ่งเป็นพื้นที่เปิดของแผ่นพรุนจำนวน 468 รู ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์อย่างมหาศาลในการสร้างกริดให้กับอากาศที่ไหลผ่านรูพรุนเหล่านี้และต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้คุณลักษณะสภาพด้านของแผ่นพรุน (Boundary Porous Zone) ซึ่งแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i\right) \quad (2)$$

- โดยที่ ค่า  $\mu$  คือ ความหนืดของของไหล  
 $\alpha$  คือ ความพรุนของปริมาตรนั้น  
 $C_2$  คือ ค่าความต้านทานการไหล (Inertial resistance factor)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของไหล  
 $v$  คือ ความเร็วของของไหล

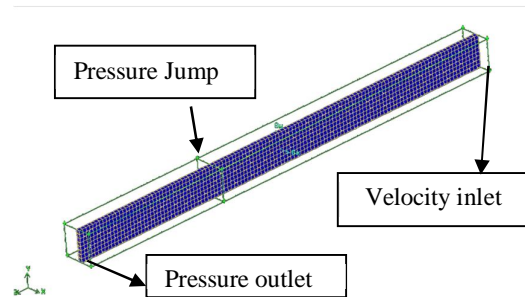
นอกจากนี้ยังใช้คุณลักษณะการก้าวกระโดดของค่าความดัน (Pressure Jump) ของการไหลของอากาศผ่านแผ่นพรุนแทนการใช้คุณลักษณะสภาพด้านของแผ่นพรุนเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

สมการ Boundary Condition Pressure Jump คือ

$$\Delta p = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2\right) \Delta m \quad (3)$$

- $\mu$  คือ ความหนืดของของไหล  
 $\alpha$  คือ ความพรุนของปริมาตรนั้น  
 $C_2$  คือ ค่าความต้านทานการไหล (Inertial resistance factor)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของไหล  
 $v$  คือ ความเร็วของของไหล  
 $\Delta m$  คือ ความหนาแผ่นพรุน

สำหรับการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 กรณี จะกำหนดให้รูปแบบการไหลเป็นแบบปั่นป่วนสามมิติโดยแบบจำลองความปั่นป่วน  $k-\epsilon$  กำหนดช่วงการไหลในช่วงเลขเรย์โนลด์เดียวกับที่ใช้ในการทดลองค่าขอบเขตของปัญหาได้กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 5



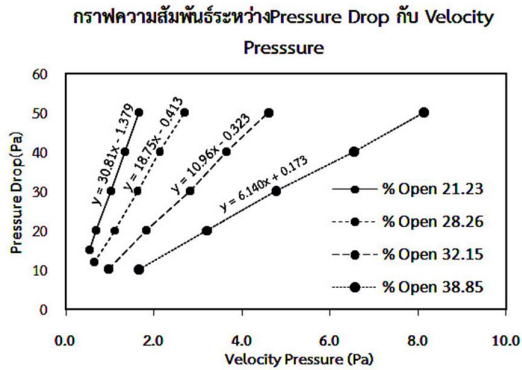
รูปที่ 5 แสดงขอบเขตปัญหา (Boundary Condition) ที่ใช้ในการทดลอง



#### 4. ผลการศึกษา

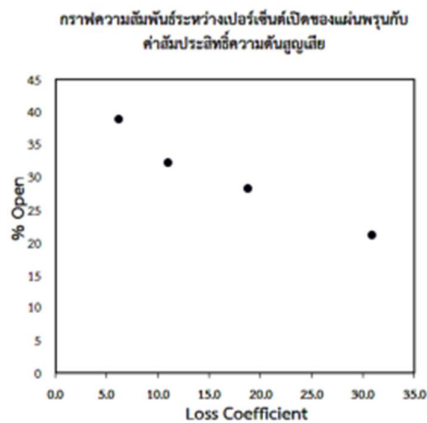
##### 4.1 ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองค่าความสัมพันธ์สำหรับแรงดันตกคร่อมแผ่นพอร์นที่ความหนา 2 มม. ที่เปอร์เซ็นต์เปิดต่างกันกับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพความสัมพันธ์แรงดันตกคร่อมแผ่นพอร์นและแรงดันจากการเคลื่อนที่ของของไหลที่เปอร์เซ็นต์เปิดต่างกัน

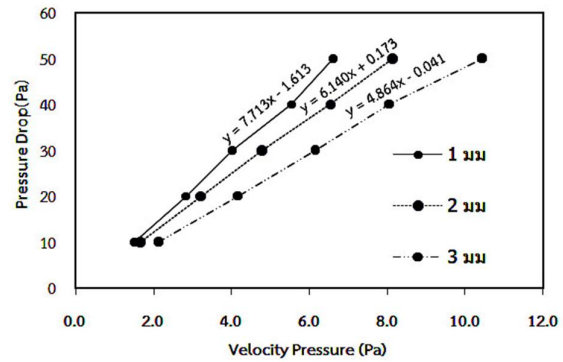
จากรูปที่ 6 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมกับแรงดันจากการเคลื่อนที่ (Velocity Pressure) เทียบกับสมการที่ 1 แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่สามารถหาค่าได้จากค่าความชันของแผนภูมิ



รูปที่ 7 แผนภาพความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์เปิดของแผ่นพอร์นและสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย

ผลจากการทดลองค่าความสัมพันธ์สำหรับแรงดันตกคร่อมแผ่นพอร์นที่เปอร์เซ็นต์เปิด 38.85 % ที่ความหนาต่างๆกันกับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure Drop กับ Velocity Pressure



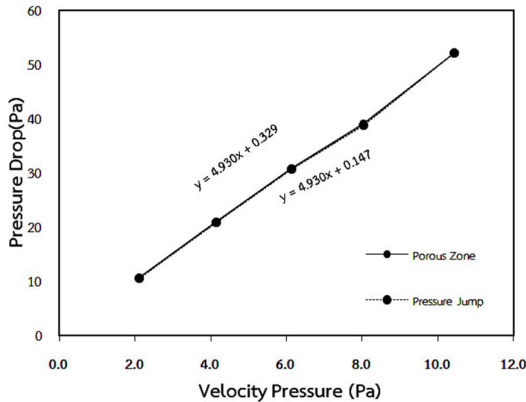
รูปที่ 8 แผนภาพความสัมพันธ์แรงดันตกคร่อมแผ่นพอร์นและแรงดันจากการเคลื่อนที่ของของไหลที่ความหนาต่างกัน

จากรูปภาพที่ 8 แผนภูมิได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมกับแรงดันจากการเคลื่อนที่เทียบกับสมการที่ 1 แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่ได้จากค่าความชันของแผนภูมิที่แปรผันตามความหนาของแผ่นพอร์น ซึ่งก็คือ 7.713 สำหรับที่ความหนา 1 มม. 6.140 สำหรับที่ความหนา 2 มม. และ 4.864 สำหรับที่ความหนา 3 มม.

##### 4.2 ผลวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์

การศึกษาในส่วนที่ของโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหล ได้ประยุกต์ใช้คุณลักษณะสภาพต้าน 2 ลักษณะคือ การกำหนดแผ่นพอร์นเป็นปริมาตรที่มีค่าความพอร์น (Porous Zone) และกำหนดแผ่นพอร์นเป็นพื้นที่หน้าตัดที่มีสภาพต้าน (Pressure Jump) โดยการวิเคราะห์นี้ได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของการทดลองแผ่นพอร์นที่มีความหนา 1 มม. มาเป็นตัวกำหนดค่าสภาพต้านของทั้งสอง แล้วเปรียบเทียบค่าแรงดันตกคร่อมแผ่นพอร์นกับผลการทดลอง ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 9

กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure Drop กับ Velocity Pressure ที่ได้การคำนวณโดยโปรแกรมทางด้าน พลศาสตร์



รูปที่ 9 แผนภาพความสัมพันธ์ความดันตกคร่อมแผ่นพรุนและความดันจากการเคลื่อนที่ของอากาศที่ความหนาต่างกัน

จากรูปที่ 9 พบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดของค่าแรงดันตกคร่อมของวิธีการ Porous Zone และ Pressure Jump คือ 6.6% และ 5.5% ตามลำดับ

## 5. สรุปและวิจารณ์

ผลจากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียมีค่าแปรผกผันกับค่า%การเปิดและความหนาของแผ่นพรุน ผลจากการศึกษาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลจากการประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดสภาพต้านทานด้วย Porous Zone และ Pressure Jump พบว่าค่าผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม อีกทั้งวิธีการดังกล่าวเมื่อมาประยุกต์ใช้กับการคำนวณอัตราการไหลที่ผ่านแผ่นพรุนสำหรับห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่จะช่วยลดเวลาตั้งแต่ในขั้นตอนการสร้างขึ้นประกอบจำกัดรวมถึงเวลาในการประมวลผล โดยเฉพาะวิธีการใส่ค่าสภาพต้าน Pressure Jump ยังใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ที่น้อยกว่าวิธีการ Porous Zone เนื่องจาก Pressure Jump กำหนดเป็นพื้นผิว (Face Boundary) ทำให้ไม่ต้องสร้างขึ้นประกอบจำกัดในส่วนบริเวณนั้น ซึ่งต่างจาก Porous Zone เป็นการกำหนดให้เป็น Volume ที่มีความหนาทำให้ต้องสร้างขึ้นประกอบจำกัดในตัวปริมาตรนี้ด้วย

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] James W. Van Gilder, Roger R. Schmidt, (2005) AIRFLOW UNIFORMITY THROUGH PERFORATED TILES IN A RAISED-FLOOR DATA CENTER, Proceedings of IPACK2005 ASME InterPACK '05
- [2] Kailash C. Karki, Suhas V. Patankar, (2006) Airflow Distribution through perforated tiles in Raised-floor data centers, Building and Environment 41 (2006) 734-744
- [3] อาชวี และ ชวลิต (2553) .การศึกษาการไหลของอากาศเย็นใต้พื้นยกภายในห้องเก็บข้อมูลขนาดใหญ่, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24