

บทที่ 7

การทดสอบโปรแกรม EasyFEM

ก่อนที่จะใช้งาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทดลองกับหุ่นจำลองแทนของจริงนั้น สิ่งที่ต้องทำเป็นคือ การดำเนินการทดลองทดสอบความเที่ยงตรงแม่นยำของโปรแกรม เพื่อสร้างความเชื่อมั่นเสียก่อน (Reliability Test)

ในการทดสอบ โปรแกรมส่วนใหญ่มักจะทดสอบกับ โมเดลหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นมา โดยต้องตั้งค่า และเซตตัวแปรทุกอย่างที่เกี่ยวกับการทดลองให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด แล้วนำผลที่ได้มาเทียบกับการวิเคราะห์โดยการจำลอง (Simulate) ผ่าน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งหากผลลัพธ์ที่ออกมา นั้นมีผลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพใกล้เคียงกันก็หมายความว่า โปรแกรมมีความเชื่อถือได้

โดยทั่วไป การทดลองจริงเกี่ยวกับการไหลของของไหลมักจะทดสอบในพื้นที่ที่ปิด เช่น การทดลองการไหลผ่านท่อ เป็นต้น เพื่อรักษากระแสการไหลให้สม่ำเสมอ และไม่ให้มีสิ่งรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก (Surrounding Effect) ในงานวิจัยชิ้นนี้ จึงได้ทำการทดสอบการไหลจริงของไหลในสภาพแวดล้อมดังกล่าว เพื่อนำมาใช้กับการทดสอบของ โปรแกรมอยู่ 2 แบบ ได้แก่

- การทดสอบการไหลของอากาศผ่านกล่องท่อการไหล
- การทดสอบการไหลของอากาศผ่าน โมเดลทดลอง

7.1 การทดสอบการไหลของอากาศผ่านกล่องท่อการไหล

รูปแบบของการทดสอบคือ การทำกล่อง โมเดล แล้วเป่าลมเข้าไปในกล่อง โดยรักษาระดับ และการไหลของกระแสลมผ่านไปนกล่องให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ สม่ำเสมอ และมีลักษณะของการไหลที่พัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow)

7.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะ และ หลักเกณฑ์ทางฟิสิกส์ของการไหล

รูปแบบขั้นตอนการไหลของของไหลส่วนมาก โดยทั่วไปจะอธิบายในกฎ และทฤษฎีการรักษามวล และพลังงาน, ในกรณีที่มีมวล และพลังงานทั้งหมดอยู่ในระบบปิด และอยู่ในสภาวะคงที่ เราสามารถทำการสร้างให้เห็นภาพพฤติกรรมของการไหลได้ โดยมีการแยกทางเข้าออกของการไหล ระบบปิดต่างๆเหล่านี้ก็คือ ท่อ ร่องระบาย ช่อง ต่างๆ หรือระบบที่มีขอบเขตการปิดกั้นเช่น

ฝาย เขื่อน หรือ รังน้ำ , ทางด้านการคำนวณ การรักษารูปแบบ และสภาวะความต่อเนื่องตลอดของการไหลของไหล อาจจะแสดงออกมาในรูปของสมการ 7.1

$$-\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) \quad (7.1)$$

โดยที่อัตราของการรวมตัวกันของมวล หรือความเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น (ρ) ที่มีความสัมพันธ์กับเวลา ต้องเท่ากับผลรวมทั้งหมดของอัตราการไหลของพลังงานมวลสารในระบบ และนำเสนอตรงนี้ด้วยการไหลในท่อแบบปิดที่มีขนาดเท่าเดิม ทำให้ส่วนที่จะมีผลต่อการไหลของอากาศภายในท่อก็คือ ความหนาแน่น และองค์ประกอบความเร็วลม (V) สำหรับสภาวะคงที่สม่ำเสมอที่ซึ่งอัตราการรักษามวลสารเป็นศูนย์ และการไหลที่เป็นแบบต่อเนื่อง ทำให้เราสามารถเข้าใจว่า การไหลเข้าของมวลสารในระบบ \dot{m}_{in} ต้องเท่ากับการไหลออก \dot{m}_{out} หลาย ๆ รูปแบบของการวัดอัตราการไหลของอากาศถูกใช้โดยอ้างอิงหลักการนี้ ซึ่งได้มาจากอัตราความเร็วของการไหลทั้งหมด ความเร็วการไหล V ผ่านพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทราบ A ตามสมการ 7.2

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \rho A v = const \quad (7.2)$$

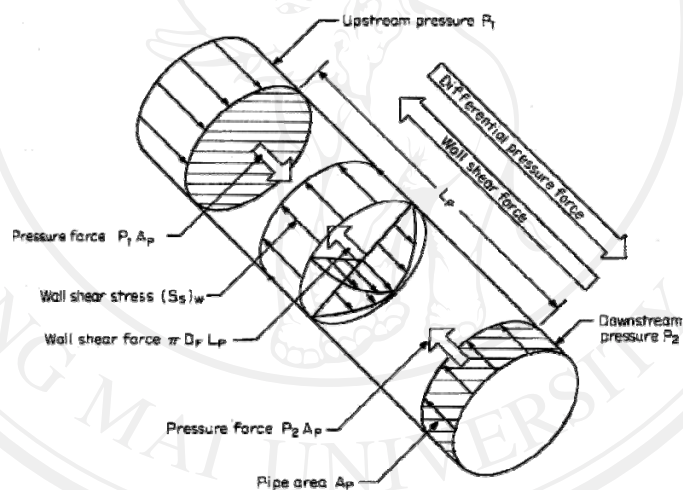
การรักษาพลังงานให้คงที่ถูกใช้ในหลักการเดียวกันสำหรับพลังงานโดยรวมของระบบภายในท่อ ที่แสดงในหลายๆหลักการทางกลศาสตร์ ซึ่งอธิบายใน 3 รูปแบบพลังงานได้แก่ พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) เป็นพลังงานที่มีผลต่อความเร็วการไหลของมวลสารในระบบ พลังงานที่มีอยู่ในวัตถุ (Potential Energy) เป็นพลังงานของมวลสารในระบบซึ่งเป็นผลจากประสิทธิภาพของงานต่อกับแรงดึงดูดของน้ำหนัก และพลังงานสถิต (Static Energy) เป็นพลังงานซึ่งเป็นผลจากประสิทธิภาพของงานต่อกับความดัน ในศตวรรษที่ 18 Bernoulli ได้แสดงกฎเกณฑ์ของการรักษาพลังงานด้วยความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทั้งสาม ได้สมการต่อไปนี้

$$\frac{\bar{v}^2}{2g} + Z + \frac{P}{\rho} = const \quad (7.3)$$

โดยที่ Kinetic Energy แสดงค่าเฉลี่ยของความเร็วการไหล \bar{v}^2 , Potential Energy คือ ความสูงของไหล Z บนระนาบอ้างอิงต่อน้ำหนัก g และ Static Energy เป็นความดันสถิต P ของระบบ หลักการของ Bernoulli ยังได้ถูกพัฒนาให้มีการนำใช้ที่แผ่หลายของการวัดการไหล รวมไปถึง

ถึงการไหลผ่านสิ่งกีดขวางรูปแบบต่างๆอีกด้วย เช่น Orifice, Nozzle, Venturi หรือพวกรองน้ำ ท่อระบายน้ำต่างๆ

สถานะรูปแบบการไหลจัดเป็นสิ่งที่มื่อทธิพลด้านคุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของ ของเหลว ความหนาแน่น และความเหนียวเป็นอีกสองสิ่งที่มีอิทธิพลมากที่สุด การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอาจจะสมมติไม่ให้เกี่ยวข้องได้ คือ ในส่วนของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Fluid) ซึ่งเป็นของเหลวที่มีลักษณะขุ่นๆ ส่วนของเหลวจำพวก แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ และไอต่างๆ จะถูกพิจารณาในรูปแบบของ ของเหลวที่อัดตัวได้ (Compressible Fluid) โดยที่ความแตกต่างความหนาแน่นจะเป็นส่วนสำคัญต่อพฤติกรรมของการไหล ในสองรูปแบบนี้ของไหลมีความหนาแน่นของการเคลื่อนที่ที่สร้างแรงเฉื่อยที่แสดงการเคลื่อนที่ของอนุกรมเล็ก ที่อาจถูกใช้ในการแสดงถึงการไหลของของเหลว

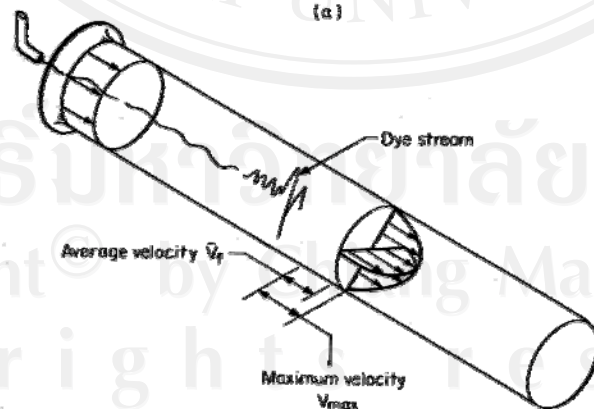
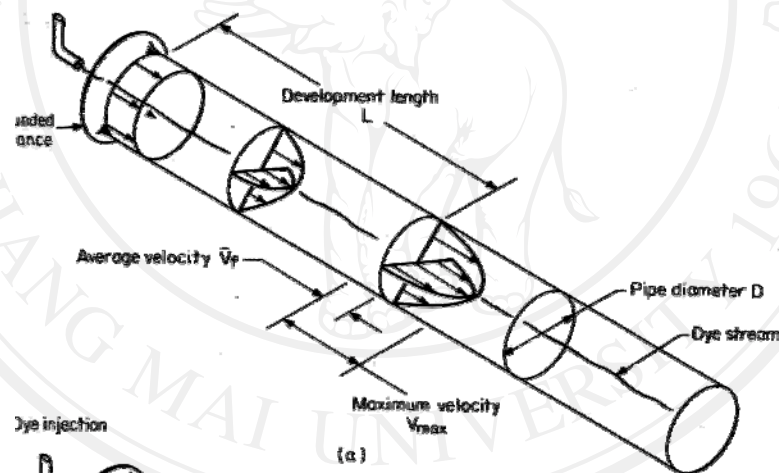


ภาพที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดผนัง และแรงดันของการไหลภายในท่อ

ความเหนียว (μ) จะแสดงถึงแรงเฉื่อยที่ส่งต่อให้กับของเหลวในท่อ โดยจะค่อย ๆ ลดความเร็วของการไหลลง สำหรับรูปแบบของ ของไหล ความเหนียวให้การเพิ่มขึ้นของสถานะการไม่เคลื่อนที่ ที่แสดงต่อของไหลของมวลที่ติดกับขอบผนังของท่อ อัตราความเร็วของกระแสการไหลถูกทำให้เกิดขึ้นอยู่ตามระยะต่างของขอบเขตท่อ ซึ่งความเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ความดันอากาศของของไหล คือ คุณลักษณะของการไหล

ถ้าหากไม่มีความเหนียว ความเร็วของกระแสการไหลจะเหมือนกันภายในหน้าตัดของท่อ การปรากฏของความสม่ำเสมอ ความเหนียวสมบูรณ์ของของเหลวก่อให้เกิดการแสดงลักษณะของแรงเค้นระหว่างอนุส่วนเล็กๆของของไหลที่อยู่ติดกันที่เป็นผลให้ความเร็วของการไหลลดไปสู่จุดที่เท่าศูนย์ที่ส่วนผนังของท่อ และจะเป็นทั้งความเหมือนกัน และไม่เหมือนของรูปแบบความเร็วการไหล (ภาพที่ 7.1)

Osborne Reynold ได้ทำการทดลองการไหลของอากาศภายในท่อพบว่าในความเร็วของกระแสการไหลที่ต่ำ การไหลของของไหล จะไหลไปในลักษณะเป็นชั้นๆแบบราบเรียบตามแกนท่อในทิศทางความยาว และ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็ว กระแสการไหลจะเกิดการแกว่งไปมา ซึ่งสิ่งนี้จะอธิบายโดยผ่านกฎเกณฑ์การเปลี่ยนผ่านชั้นของกระแสการไหลราบเรียบ ทำให้เกิดการไหลที่ไม่สงบ หรือเกิดกระแสวนภายในท่อวัดการไหล

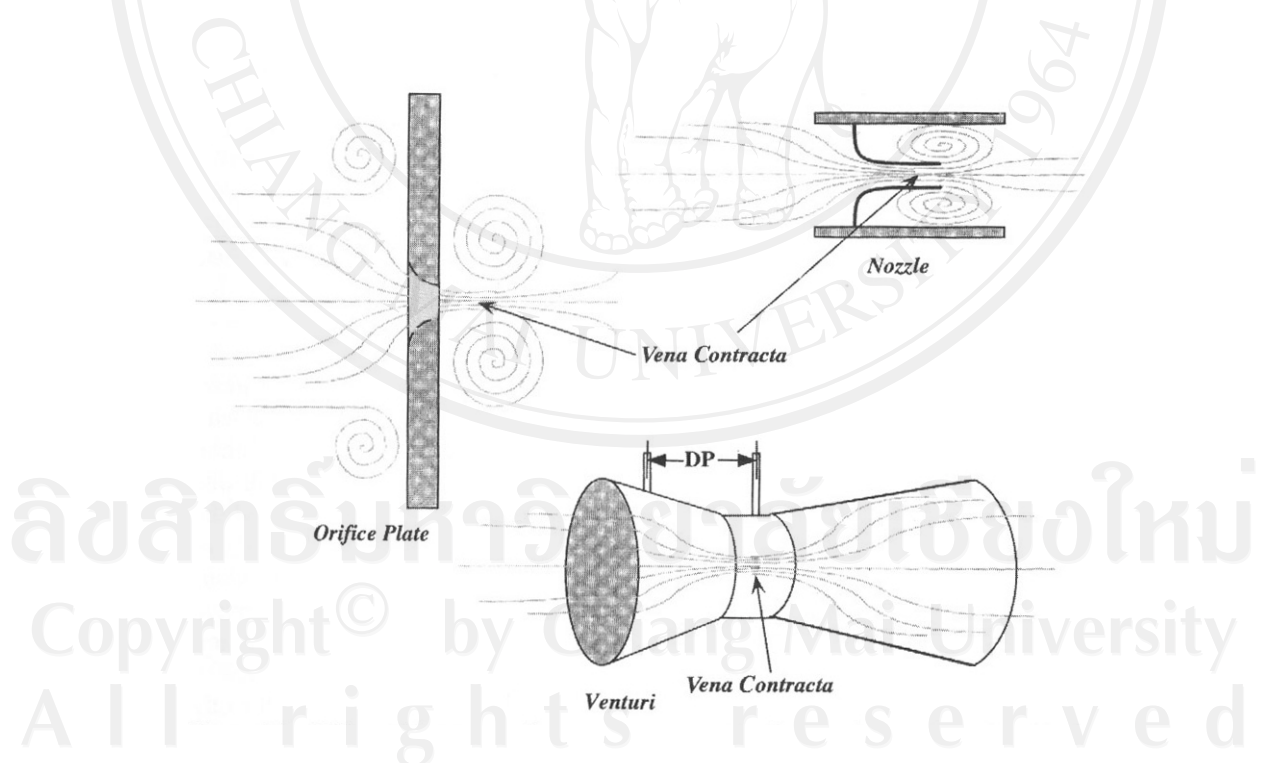


ภาพที่ 7.2 รูปแบบการทดสอบการไหลในท่อของ Reynold

ในรูปแสดงการทดสอบการไหลของ Reynold ในสภาวะของการไหลแบบราบเรียบ และการไหลวน โดยใช้การใส่สีลงไปเพื่อให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมของการไหลของของเหลวได้ดียิ่งขึ้น (ภาพที่ 7.2)

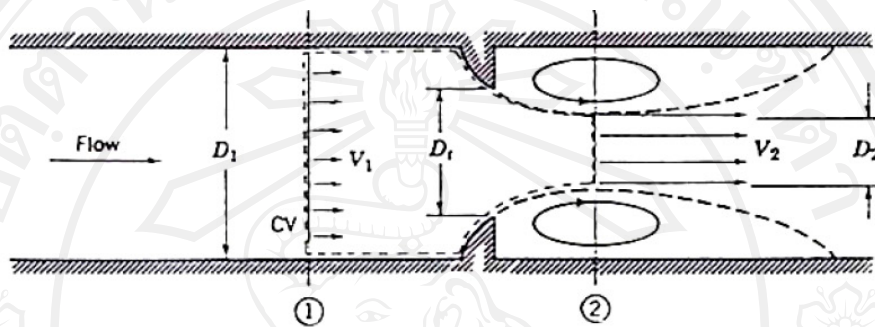
การไหลของอากาศผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อ

โดยทั่วไปแล้วการไหลผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อจะมีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ Orifice Nozzle และ Venturi (ภาพที่ 7.3) ซึ่งการไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ Orifice จะมีลักษณะเป็นแผ่นกีดขวาง และมีช่องว่างให้อากาศผ่านอยู่ตรงกลาง สำหรับแบบ Nozzle จะคล้ายกับการไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ Orifice แต่จะมีความโค้งตรงที่ขอบช่องว่างตรงกลางมากกว่าทำให้กระแสการไหลของอากาศผ่านได้มากกว่า และแบบ Venturi เป็นการไหลผ่านสิ่งกีดขวางซึ่งเป็นลักษณะการลดความเร็วของกระแสการไหลลงด้วยการลดขนาดท่อ ซึ่งในการศึกษาอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องเปิด มีลักษณะที่เป็นแบบ Orifice มากกว่า เพราะฉะนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงการไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ Nozzle และ Venturi



ภาพที่ 7.3 รูปแบบของการไหลผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อ

โดยทั่วไป การไหลของอากาศภายในท่อผ่านสิ่งกีดขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออากาศมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) นั้น จะทำให้อากาศมีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งอากาศที่ไหลผ่านนั้นจะมีลักษณะการไหลเป็นดังรูปข้างล่างนี้



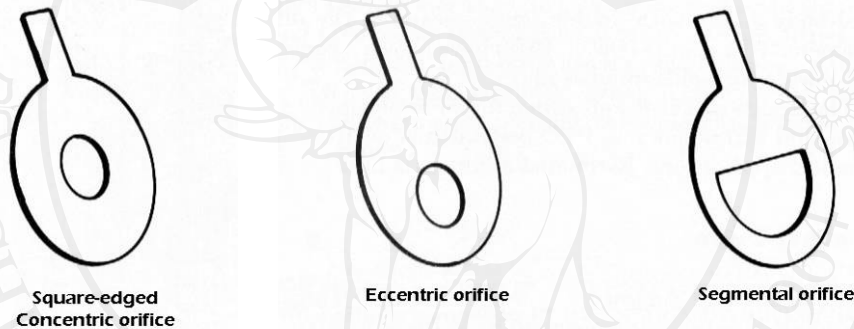
ภาพที่ 7.4 แสดงลักษณะของอากาศผ่านสิ่งกีดขวาง

อากาศที่ไหลผ่านนั้น จะเกิดการแยกตัวขึ้นที่บริเวณคอของสิ่งกีดขวาง ทำให้เกิดบริเวณที่มีการไหลวนขึ้น ดังแสดงเป็นเส้นเต็ม และทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนั้น อากาศส่วนมากยังคงไหลต่อไป และ ถูกเร่งความเร็วขึ้นจากคอของสิ่งกีดขวาง ไปจนถึงการไหลที่มีขนาดเล็กที่สุด (Vena Contracta) ดังตำแหน่งที่ 2 ในภาพที่ 4 จากนั้น อากาศจะลดความเร็วลงจนกระทั่งอากาศไหลจนเต็มท่อกอีกครั้ง ส่วนที่การไหลมีขนาดเล็กที่สุดนั้น แน่นนอนว่าพื้นที่การไหลต้องน้อยที่สุด และเส้นแสดงการไหล (Stream Line) เป็นเส้นตรง และมีความดันสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดนั้นด้วย

การไหลของอากาศผ่านสิ่งกีดขวางภายในท่อผ่านแบบ Orifice

ดังที่กล่าวมาเบื้องต้นแล้ว การไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ Orifice มีลักษณะเป็นแผ่นกีดขวางที่ตั้งฉากกับกระแสการไหลของอากาศภายในท่อ ซึ่งขนาดช่องเปิดตรงกลางแผ่น Orifice นี้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วของอัตราการไหล และความแตกต่างของความดันด้านหน้าและหลังแผ่นกีดขวาง โดยในการวัดการไหลจะกำหนดให้ช่องเปิดตรงกลางแผ่น Orifice เป็นอัตราส่วนกับ ขนาดแผ่น Orifice หรือขนาดท่อ (ในความเป็นจริงแล้ว ส่วนมากขนาดแผ่น Orifice และขนาดท่อจะเท่ากัน) เรียกสัดส่วนของช่องเปิด ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของ Orifice กับพื้นที่หน้าตัดของท่อ β (Beta Ratio) ซึ่งในการวัดตัวจริง ส่วนใหญ่จะกำหนดให้ค่าของ β อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.75 ซึ่ง

อย่างไรก็ตามก็แล้วแต่ความต้องการของผู้ที่จะทำการวัด โดยสามารถเลือกให้มาก หรือ น้อยกว่าค่านี้ได้ แต่ต้องระวังความน่าเชื่อถืออันเนื่องจากข้อผิดพลาดจากการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแล้วรู Orifice จะนิยมทำเป็นวงกลมเพื่อลดการสูญเสียความดันคงที่ และลดการเกิดการไหลแบบปั่นป่วนได้ หรืออาจใช้วิธีการกำหนดความยาวของท่อเพื่อให้การไหลมีลักษณะการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow) โดยความต้องการนี้เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ ชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะของท่อตรงที่ต้องการจะตกอยู่ใน 5-50 เท่า ของขนาดท่อ สำหรับการไหลด้านหน้าสิ่งกีดขวาง(Upstream) และ 2-4 เท่า ของขนาดท่อ สำหรับการไหลด้านหลังสิ่งกีดขวาง (Downstream) (Richard W.Miller,1989)



ภาพที่ 7.5 แสดงลักษณะรูปแบบต่างๆของแผ่น Orifice

การไหลแบบราบเรียบ Laminar Flow

การวัดการไหลด้วยการสร้างความแตกต่างของความดันก่อนหน้าและด้านหลังการใช้หลักการของ Bernoulli เพื่อสร้างการวัดการเปลี่ยนความดันในการไหลซึ่งเป็นผลต่อความเร็วของการไหลของของเหลว ในขณะที่ความตั้งใจจะให้มีการเสียพลังงานของกระแสการไหลน้อยที่สุดในระบบโดยปกกคิลักษณะทางกลศาสตร์ของของไหลที่ทำให้เกิดการขยาย หรือหดตัวของมวลของไหลอันเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานต่อความฝืดของขอบท่อวัดการไหล Bernoulli ได้อธิบายว่าความเร็ว และกระแสการไหลโดยพื้นฐานจะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ของความดันตกคร่อม

องค์ประกอบของ Laminar Flow นั้นก็คือความแตกต่างของความดันภายในท่อ กระแสของการไหลโดยปกติจะมีหลาย ๆ เส้นทางการไหลเล็ก ๆ ที่จะมารวมกันในกลุ่มเดียว จุดประสงค์ของการรวมกันเพื่อให้เกิดการไหลในกฎเกณฑ์ของแผ่น ด้วยการลดความยาวรัศมีของกระแสการไหลที่อลหม่าน (Turbulence Flow) หรือ ไม่มีแกนการไหล และ ความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นนั้น

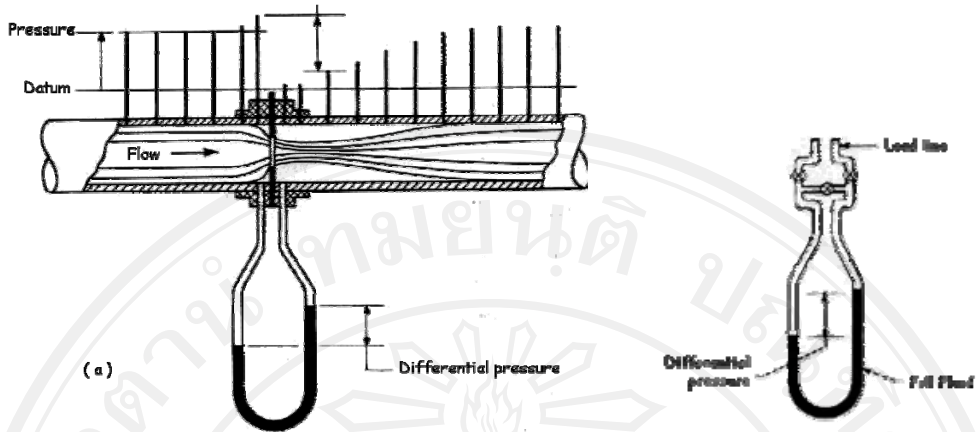
เนื่องมาจากความสูญเสียของพลังงานที่เกิดจากความฝืดของชั้นแรงเค้น ของกระแสการไหลตามระยะยาว และรัศมีของท่อการไหลแบบวนจะถูกทำให้เกิดขึ้นที่ทางเข้า และทางออกของท่อการไหล ในที่ที่กระแสการไหลถูกเร่งให้เข้าและออก ซึ่งการสูญเสียนี้ส่งผลให้อัตราการไหลแบบแผ่นไม่สามารถจับกันเป็นแผ่น และทำให้กระแสการไหลไม่เป็นเส้นตรง และมีลักษณะไม่ราบเรียบ

การไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow)

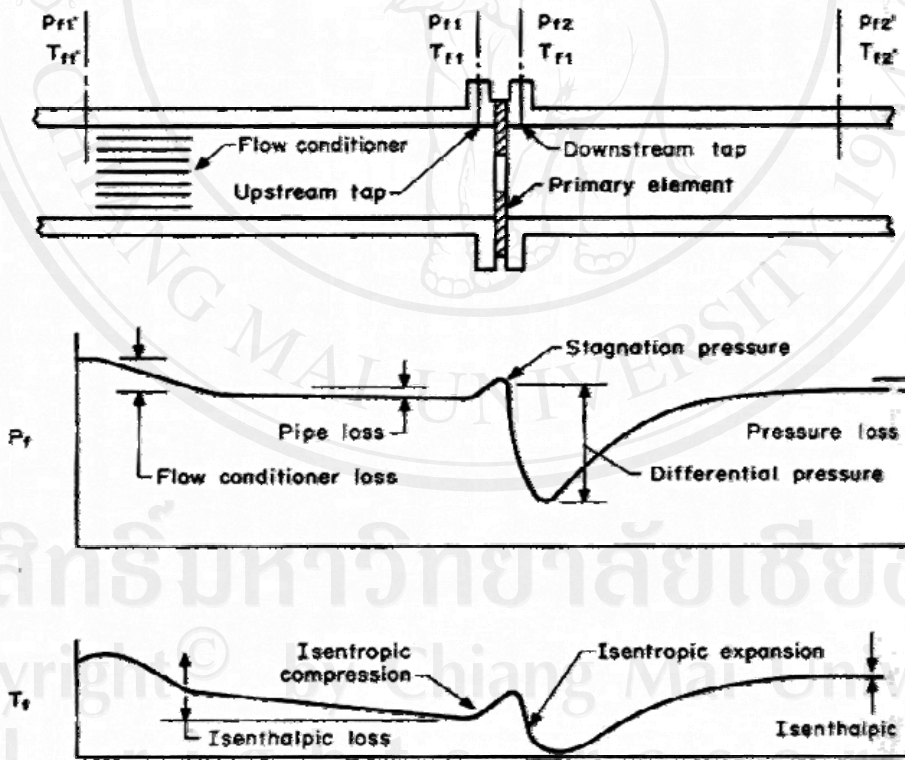
หลายๆแบบของลักษณะของการวัดการไหลจะเห็นพ้องกันว่า สถานะของการไหลจะมาจากสิ่งเล็กๆ ในขอบเขตของท่อใช้วัดการไหล รูปแบบการพัฒนาการไหลเต็มที่คือส่วนที่สำคัญ และจะเป็นสิ่งที่อธิบายเหตุผล สำหรับระบบของการวัดการไหลนั้น เนื่องจากความเฉื่อยและความเหนียว รูปแบบการไหลจะไม่เปลี่ยนโดยทันที แต่จะเปลี่ยนเมื่อสถานะขอบเขตของการไหลภายในท่อมีการเปลี่ยน เช่น เส้นทางไหลที่ไม่ราบเรียบ มีโค้ง มีการยื่นออกมา ซึ่งจะมีผลมาจากรูปแบบของลมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในกระแสการไหลผ่านท่อกว้างของการไหล การไหลที่มีการพัฒนาอย่างเต็มที่เป็นการอธิบายการไหลอยู่ในท่อกว้างการไหลที่เป็นรูปแบบของลมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง การเพิ่มความยาวของท่อจะเป็นการทำให้การไหลมีการพัฒนาอย่างเต็มที่ และจะต้องทำให้กระแสการไหลเป็นรูปแบบเหมือนกันก่อนที่จะทำการวัดอัตราการไหล โดยที่ความยาวของท่อนี้จะกำหนดให้เป็นอัตราส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยมีระยะอยู่ที่ 10-20 เท่าของความยาวหน้าตัดท่อ

ความดันตกคร่อม หรือ ความต่างของความดัน (Differential Pressure)

ความดันตกคร่อมหรือ ความต่างของความดันเป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่นของมวลในพื้นที่ด้านหน้า และด้านหลังของสิ่งกีดขวาง หมายความว่า โดยปกติแล้วเมื่อเป็นสิ่งกีดขวางแบบ Orifice ความดันในส่วนด้านหน้าจะมีค่าสูงกว่าความดันที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวาง ความดันตกคร่อมนี้ เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กระแสการไหลภายในท่อไม่เป็นแบบราบเรียบ ยิ่งขนาดของรู Orifice มีน้อยเท่าไร ความหนาแน่นจึงเกิดขึ้นมาก และกระแสการไหลจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อไหลใกล้ถึงสิ่งกีดขวาง และจะเพิ่มขึ้นใหม่หลังจากผ่านรูของแผ่นกีดขวางไปแล้ว ในการวัดจริง ๆ แล้ว เครื่องวัดจะมีสมการสำหรับคำนวณอัตราการไหลของอากาศในท่อ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าของความดันตกคร่อมภายในท่อ



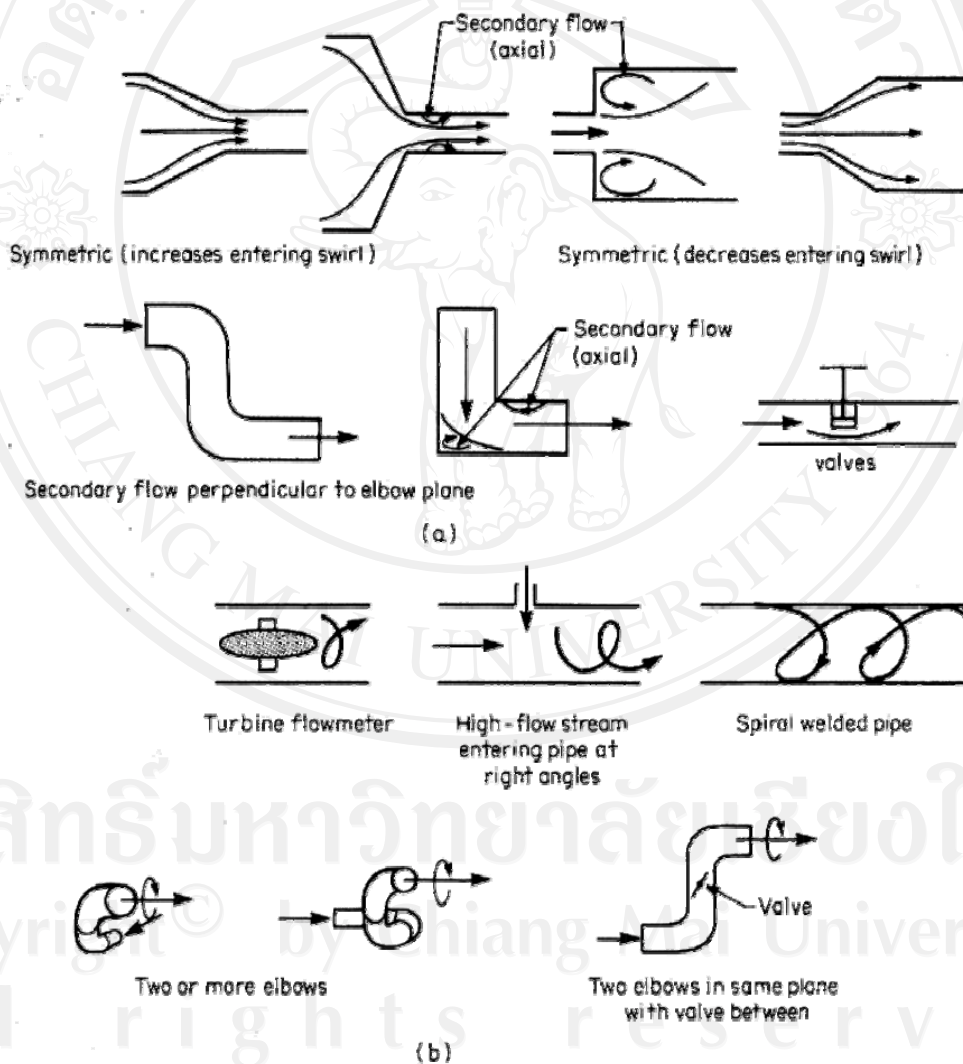
ภาพที่ 7.6 ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านรูของแผ่นกีดขวาง



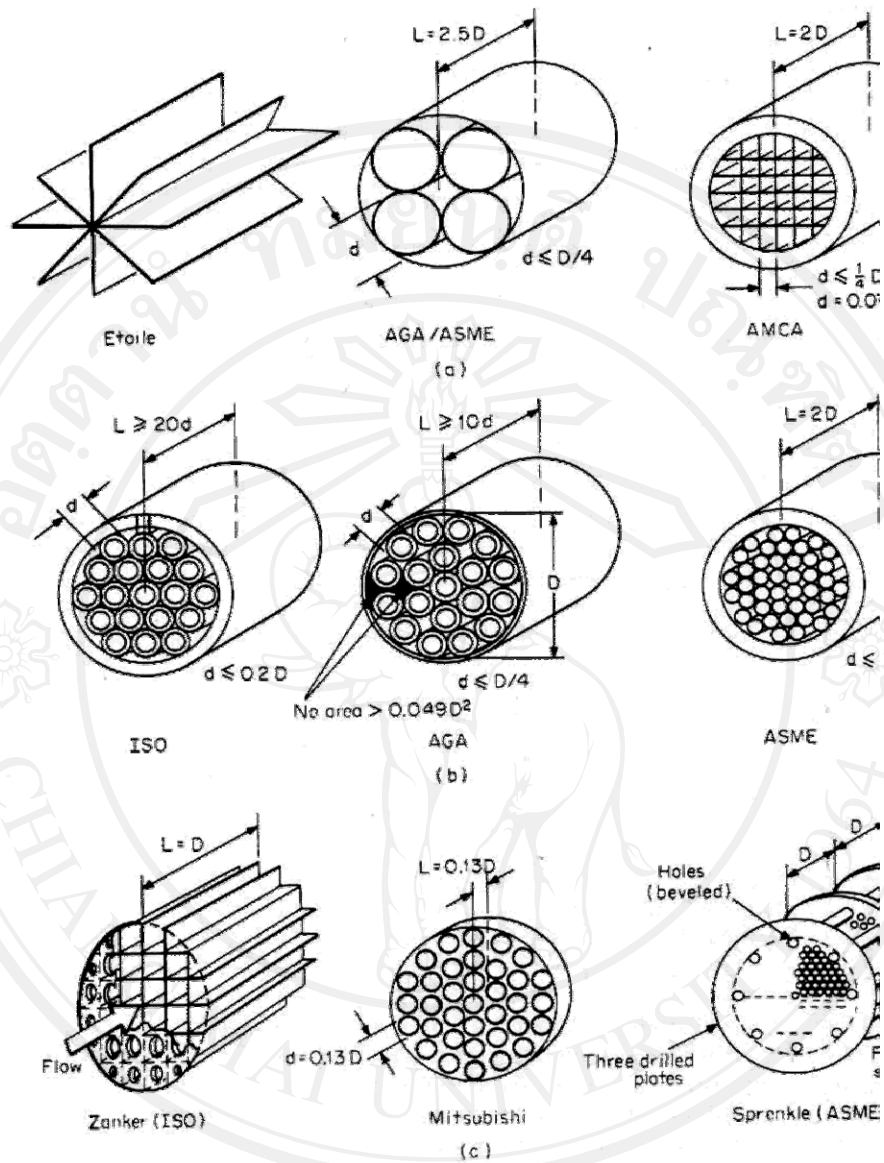
ภาพที่ 7.7 แสดงความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นอยู่หน้าและหลังแผ่นกีดขวาง

ชุดจัดเรียงการไหลของอากาศ (Flow Conditioner)

การวิเคราะห์กระแสการไหลที่เป็นการไหลวนนั้นทำได้ยากมาก การเกิดกระแสนวนนั้นเกิดได้จากเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระแสการไหลที่สัมพันธ์กับรัศมีความโค้ง รูปแบบการเข้ามาของกระแสการไหลวน การเกิดการไหลของกระแสที่สองจากช่องว่างของท่อโค้ง และมุมระหว่างทิศทางของท่อโค้ง กลุ่มรูปแบบการไหลกระแสที่ไม่สงบ ขนาดสั้น ยาว ของท่อ ความโค้งของท่อที่ไม่อยู่ในแกนเดียวกัน เหล่านี้ ทำให้เกิดการไหลของกระแสที่ผิดไปจากความเป็นจริงดังภาพที่ 7.8

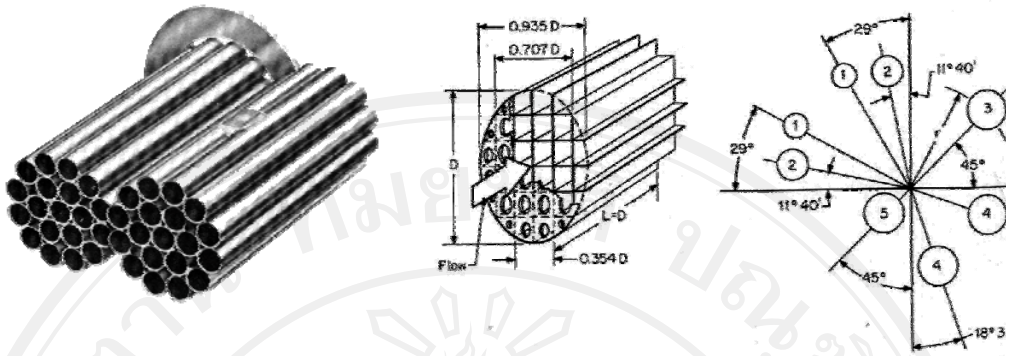


ภาพที่ 7.8 แสดงลักษณะกระแสการไหลวนที่เกิดขึ้นตามรูปแบบของท่อการไหล

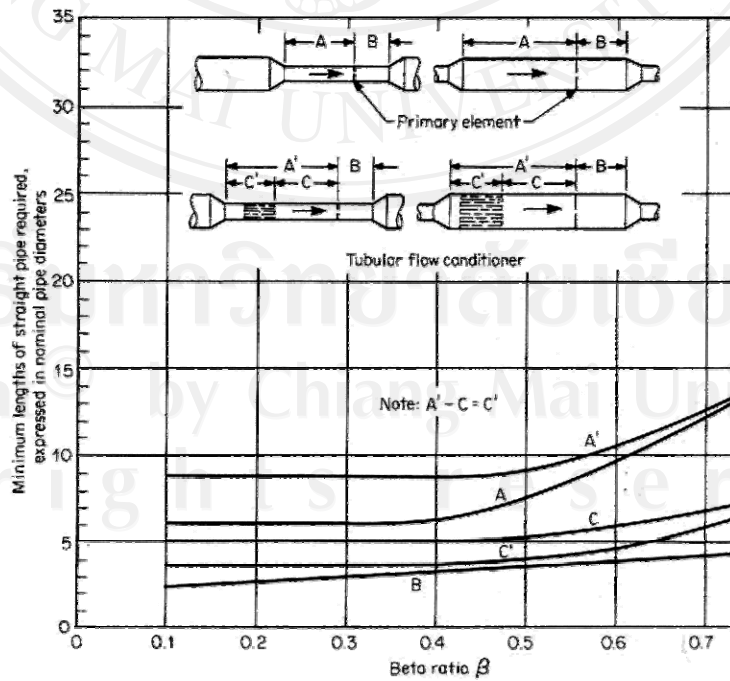
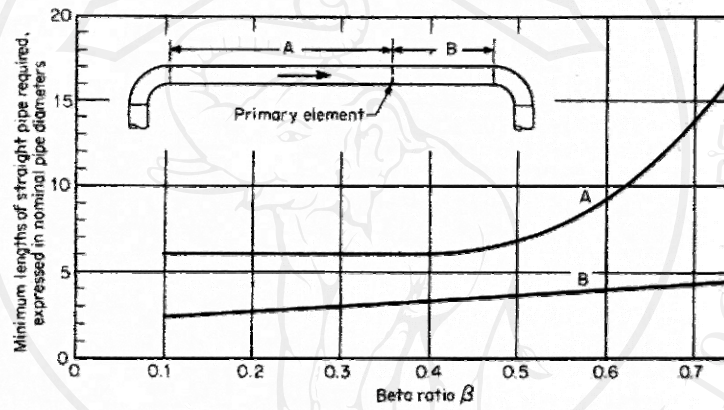


ภาพที่ 7.9 รูปแบบต่างๆของชุดจัดเรียงการไหล

ความต้องการระยะความตรงของท่อการไหลขึ้นอยู่กับรูปแบบส่วนทดสอบ และ ชนิดของ กระแสการไหลเข้าที่ไม่สงบ หลายองค์กรในต่างประเทศได้ทดสอบใช้โปรแกรมที่นำใช้เข้าใน การหารูปแบบของกระแสไหลเข้าในท่อที่ไม่สงบที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ Orifice Nozzle และ Venturi ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เพื่อสร้างข้อแนะนำในการเลือกระยะของท่อน้อยสุด ถึงอย่างไรก็ตาม ข้อแนะนำของการใช้ระยะความยาวของท่อในการทดสอบการไหลยังมีความแตกต่างกัน ระหว่าง U.S (ANSI 2530, ASME MFC-3) และ ISO Standard 5167 เช่นแสดงในภาพที่ 7.9



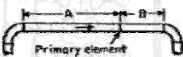


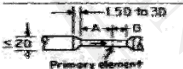


AGA-ASME tube-bundles conditioners (Daniel Industries Inc.)



ภาพที่ 7.10 ตัวอย่างการกำหนดระยะติดตั้งชุดจัดเรียงการไหลอากาศ

ในหลายๆการใช้งานจริง มีความเป็นไปได้ในการใช้ระยะที่พอเพียงของความยาวของท่อ โดยจะไม่ทำให้เกิดกระแสวน และตัดแก้ความขอมให้ทางรูปแบบเรขาคณิต สำหรับเหตุผลนี้ สถานะการไหลอาจจะถูกใช้ในการผสมผสานด้วยการกำหนดระยะความยาวท่อให้เป็นลักษณะเฉพาะ การใช้ชุดจัดเรียงการไหลอากาศเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการหลีกเลี่ยงไม่ให้มีกระแสวนภายในท่อ โดยทำการติดตั้งสิ่งนี้เข้าไปในท่อ เพื่อปรับกระแสวนไหลวนให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งจะมีการกำหนดระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง (Miller, 1989) ดังภาพที่ 7.10

Table 9.1 ISO Standard 5167 Required Straight Lengths for Orifice, Nozzle, ISA Venturi Nozzle, and Venturi in Multiples of Pipe Diameter *D*

Upstream disturbance	Dimension	Device	β						
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75
 Primary element	A	Orifices Nozzles	10	10	14	14	18	28	36
Single elbow		Venturis		0.5	0.5	1.5	3	4	4.5
 Primary element	A	Orifices Nozzles	14	16	18	20	26	36	42
Two elbows in same plane		Venturis		1.5	1.5	2.5	3.5	4.5	4.5
 Primary element	A	Orifices Nozzles	34	34	36	40	48	62	70
Two elbows in different planes		Venturis†		0.5	0.5	8.5	17.5	27.5	29.5
 Primary element	A	Orifices Nozzles	5	5	5	6	9	14	22
Expander		Venturis		1.5	1.5	2.5	3.5	5.5	6.5
 Valve Primary element	A	Orifices Nozzles	18	18	20	22	26	32	36
Globe valve, fully open		Venturis							
 Valve Primary element	A	Orifices Nozzles	12	12	12	12	14	20	24
Gate valve, fully open		Venturis		1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	5.5
Downstream length for all pictured disturbances	B	Orifices Nozzles	4	5	6	6	7	7	8
		Venturis		4 <i>d</i>	4 <i>d</i>	4 <i>d</i>	4 <i>d</i>	4 <i>d</i>	4 <i>d</i>

†Add ±0.5 percent additional uncertainty.

NOTES: 1. For upstream and downstream lengths equal to one-half the values shown, add ±0.5 percent to the accuracy values in Table 9.54.

2. Any flow conditioner shall be installed in the straight length between the primary element and the upstream disturbance, or the fitting closest to the element. The straight length between fitting and conditioner shall be at least 20*D*, and the length between conditioner and element shall be at least 2*D*.

3. Interpolate pipe diameters for intermediate beta ratios.

ภาพที่ 7.11 ตัวอย่างการกำหนดระยะความยาวท่อ และการติดตั้งชุดจัดเรียงการไหลอากาศ (Miller, 1989)

7.1.2 วิธีการทดลอง

โดยทั่วไปลักษณะการไหลของอากาศผ่านในท่อ จะแบ่งเป็น 3 รูปแบบที่แบ่งตามลักษณะของสิ่งกีดขวางด้วย ได้แก่ Orifice, Nozzle and Venturi ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะทดสอบในแบบที่ไม่มีสิ่งกีดขวางอะไรเลย และ แบบมีสิ่งกีดขวาง ซึ่งในการทดสอบในแบบที่มีสิ่งกีดขวางนั้น จะทำการทดสอบการทดลองในรูปแบบการไหลแบบ (Orifice) โดยเป็นการไหลที่ไหลผ่านแผ่นกีดขวาง Orifice plate แล้ววัดความเร็วลมในภายในส่วนต่างๆของกล่อง

การศึกษาการไหลในท่อนั้นศึกษาในสภาวะการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) จะทำให้อากาศมีการไหลที่สูงขึ้นกว่าปกติ พร้อมทั้งมีทิศทาง และความเร็วการไหลที่สม่ำเสมอ

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการจัดสร้างชุดทดลองขึ้น เพื่อทำการทดลองโดยชุดจำลองที่สร้างใหม่จะเป็นลักษณะท่อที่ทำมาจากกล่องกระดาษ หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 40 x 40 เซนติเมตร ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนทางเข้าของชุดทดลอง ส่วนและส่วนทางออก ที่ใช้ทดลอง (วางแผ่นทดลอง) ซึ่งทั้งสามส่วนนี้จะประกอบกันเป็นชุดทดลอง

ส่วนทางเข้าชุดทดลอง

ส่วนทางเข้าของชุดทดลองนี้เป็นส่วนที่อยู่ด้านหน้าสุดของชุดทดลอง เป็นส่วนที่อากาศจะไหลผ่านเป็นส่วนแรกก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนที่ใช้ในการทดลองต่อไป โดยส่วนนี้จะใช้กล่องกระดาษที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 40 เซนติเมตร x 40 เซนติเมตร บริเวณปากทางเข้าของส่วนนี้ได้ออกแบบ และทำการสร้างให้ปากทางเข้าขยายกว้างขึ้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดูดอากาศเข้าสู่ชุดทดลองมากขึ้น ซึ่งในส่วนนี้ได้มีการจัดทำชุดจัดเรียงการไหลของอากาศ (Flow Conditioner) ไว้บริเวณปากทางเข้า โดยชุดจัดเรียงการไหลของอากาศนี้จะทำหน้าที่จัดเรียงการไหลของอากาศให้เป็นระเบียบมากขึ้น และมีความเร็วสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดการไหล เพื่อให้อากาศมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ(Laminar Flow) ก่อนที่จะนำไปใช้ในส่วนทดลองต่อไป

ภายหลังที่อากาศถูกเป่าด้วยพัดลม เข้าสู่ส่วนทางเข้าของชุดทดลอง และไหลผ่านชุดจัดเรียงการไหลของอากาศ นอกจากจะทำให้เป็นระเบียบแล้ว ยังทำให้ความเร็วของอากาศภายในหน้าตัดมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด และมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งอากาศที่ไหลผ่านชุดจัดเรียงการไหลของอากาศนี้แล้ว ต้องไหลผ่านท่อที่มีลักษณะที่เป็นท่อตรงยาว เพื่อให้อากาศที่ออกจากส่วนทางเข้าของชุดทดลองนี้ มีลักษณะการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow) ก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนการทดลองต่อไป

ส่วนทางออกชุดทดลอง

ส่วนทางออกคือส่วนที่ต่อจากส่วนทางเข้าการไหล เป็นส่วนที่รับการไหลของอากาศจากส่วนทางเข้าหลังจากที่ไหลผ่านชุดจัดเรียงการไหลแล้ว โดยจะมีลักษณะรูปแบบเหมือนกับส่วนทางเข้า คือ มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เท่ากันคือ ขนาด 40 เซนติเมตร x 40 เซนติเมตร ทางด้านส่วนปลายของกล่องทดลองจะเปิดเพื่อให้อากาศไหลออกไป ซึ่งอากาศที่ไหลผ่านออกมาทางนี้นั้น จะเป็นอากาศที่ถูกปรับให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ และมีความเร็วที่สม่ำเสมอแล้ว

ส่วนที่ใช้ทดลอง

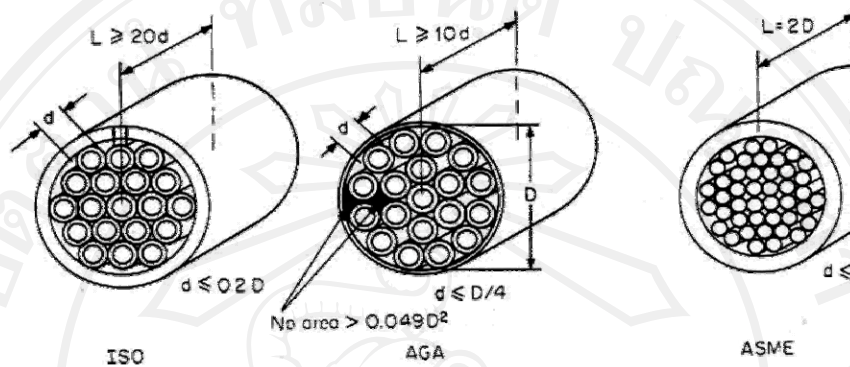
ในส่วนที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นส่วนที่อยู่ท้ายสุดของกล่องทดลอง เป็นส่วนที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วที่ไหลผ่านแผ่นสิ่งกีดขวาง โดยส่วนนี้จะออกแบบให้เป็นที่วางวัสดุที่จะใช้ในการทดสอบ ซึ่งลักษณะของการวางวัสดุทดสอบ จะวางตั้งฉากกัน (มุม 90°) กับทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ ซึ่งจะไหลผ่านส่วนของการทดลองนี้ ซึ่งชุดทดสอบวัสดุนี้จะอยู่ห่างจากทางออกของชุดจัดเรียงการไหลของอากาศประมาณ 5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

จากการทำ Literature Review และ ทฤษฎีการวัดของไหลในท่อ (Fluid Flow Measurement) สามารถกำหนดขนาดต่างๆของความยาวท่อ หรือลักษณะรูปแบบการวัดของไหลนี้ได้ ความยาวของท่อที่ใช้วัดสัมประสิทธิ์การไหลผ่านช่องเปิดนี้ได้จากตารางกำหนดความยาวของท่อที่ใช้ในการไหล (Miller, 1989) ตามลักษณะของท่อที่ตรงและมีกรวยไว้ด้านหน้า เพื่อให้สามารถรับลมได้มากขึ้น ซึ่งลักษณะของท่อที่ใช้วัดแบบนี้ ตารางในภาพที่ 7.11 กำหนดให้ความยาวของท่อในช่วง Upstream คือ 8 เท่าของหน้าตัดท่อ และ Downstream คือ 3 เท่า ของขนาดหน้าตัดท่อ เพราะฉะนั้น ท่อสำหรับการวัดทั้งหมด คือ 4.40 เมตร โดย ทางเข้าชุดทดลองมี 3.20 เมตร และ ส่วนทางออกคือ 1.20 เมตร และส่วนสุดท้ายก็จะเป็นส่วนที่ใช้ทดลอง โดยได้เลือกการทดลองการไหลผ่านแผ่นกีดขวางที่มีลักษณะเป็นบานเกล็ดทั่วไป

ขนาดของท่อปรับกระแสการไหล (Flow Conditioner)

ในการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ท่อหลอดดูดพลาสติกที่มีขนาด 0.8 เซนติเมตร นำมาติดเรียงกันให้มีขนาดเท่ากับหน้าตัดท่อ 40 x 40 เซนติเมตร โดยได้กำหนดขนาดของท่อปรับกระแสการไหลนี้ด้วยคู่มือข้อกำหนดขนาดของท่อปรับการไหลรูปแบบต่างๆ (Miller, 1989) โดยในที่นี้ได้เลือกเอารูปแบบของท่อปรับการไหล ชนิด AGA เพราะมีลักษณะที่คล้ายกัน และทำได้ง่าย โดยกำหนดให้

ขนาดความยาวเท่ากับหรือ มากกว่า 10 เท่าของขนาดท่อปรับการไหลที่ใช้ เพราะฉะนั้น ความยาวที่ได้ก็คืออย่างน้อย ต้อง 8 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7.12



ภาพที่ 7.12 ตัวอย่างการกำหนดระยะความยาวท่อชุดจัดเรียงการไหลอากาศ

เครื่องมือวัด

เครื่องมือหลักๆที่ใช้วัดเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศก็คือเครื่องวัดลม Anemometer Thermometer Airflow TA5 ในภาพที่ 7.13 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิอากาศและความเร็วลม มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$ และ m/sec ตามลำดับ โดยในการวัดจริงจะทำการวัดในด้านหน้าและด้านหลังของส่วนที่ใช้ทดลอง เพื่อดูความแตกต่างของความเร็วการไหล ก่อนและหลังแผ่นที่ใช้ทำการทดลอง



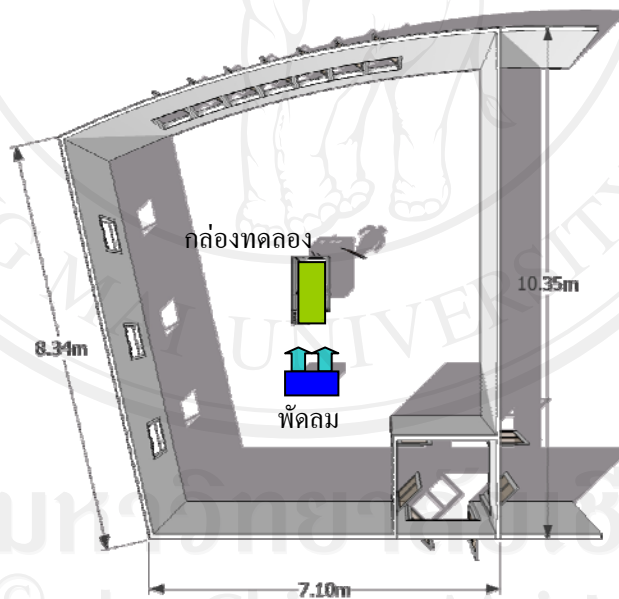
ภาพที่ 7.13 Anemometer Thermometer Airflow TA5

นอกจากเครื่องมือวัดลมแล้ว ยังมีพัดลมสำหรับเครื่องมือสำหรับทำกระแสลม และใช้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์เช่น MS Excel เพื่อคำนวณหา และประมวลผลที่เก็บได้จากการทดลอง

7.1.3 รูปแบบการทดลอง

ในการทดลองการไหลของกระแสลมผ่านท่อทดลองนั้น ได้ออกแบบให้มีลักษณะของการไหลแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง และ การไหลแบบมีสิ่งกีดขวาง จุดประสงค์เพื่อให้ได้ตัวเลขชุดของการทดสอบที่กว้าง และมีหลายลักษณะในการเปรียบเทียบกับ การทดลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการนำโปรแกรมไปใช้งาน

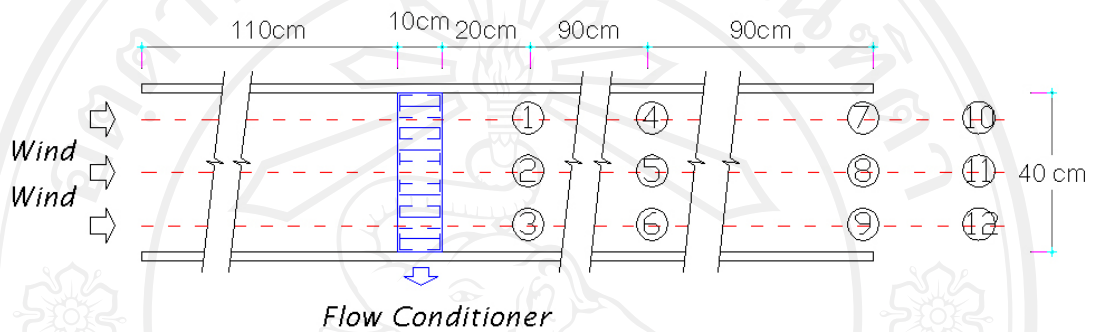
การทดลองถูกจัดทำในสภาพแวดล้อมทั่วไปที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด คือ ทดลองในห้องปิดเพื่อไม่ให้มีผลจากสภาพแวดล้อมภายนอกน้อยสุด แต่มีการใช้ช่องเปิดบางส่วน เพื่อลดความดันภายในห้องที่อาจมีผลต่อกระแสลมที่สร้างขึ้น (ภาพที่ 7.14)



ภาพที่ 7.14 แผนผัง และสภาพแวดล้อมของห้องที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบการไหลของอากาศผ่านท่อในลักษณะการไหลแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

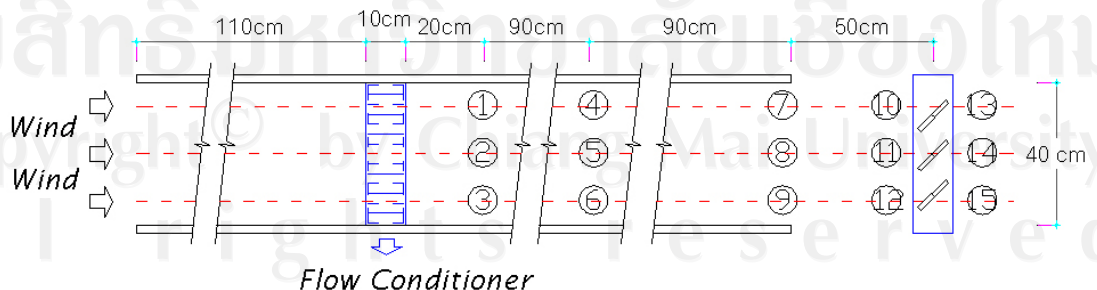
คือการวัดค่าความเร็วลมตามส่วนต่างๆภายในกล่องทดสอบต้องวัดในตำแหน่งละ 3 จุด คือ บน กลาง ล่าง เพื่อให้รู้ความเร็วในแต่ละชั้นของกระแสการไหล ซึ่งการวัดนั้นได้แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนก่อนถึงชุดจัดเรียงการไหล 6 จุด ตรงกลางกล่อง ส่วนที่หลังจากผ่านชุดจัดเรียงการไหล 9 จุด รวมทั้งหมดเป็น 15 จุด ดังภาพที่ 7.15



ภาพที่ 7.15 การทดสอบการไหลลักษณะการไหลแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

การทดสอบการไหลผ่านท่อในการไหลแบบลักษณะมีสิ่งกีดขวาง

คือมีการวัดค่าความเร็วลมตามส่วนต่างๆภายในกล่องทดสอบเหมือนกับการทดลองแบบแรก แต่ได้มีการเพิ่มแผ่นสิ่งกีดขวางเข้าไปอีก ทำให้จำนวนจุดวัดความเร็วลม มี ทั้งหมด 18 จุด คือเพิ่ม การวัดความเร็วตรงตำแหน่ง ด้านหน้า และด้านหลังของแผ่นกีดขวาง โดยในการทดลองนี้ได้เลือกรูปแบบของวัสดุเป็นบานเกล็ด โดยทำเป็นแบบบานเกล็ดจำลองที่ใช้กันทั่วไปตามบ้าน ปริมาตรเอียง 45 องศา กับทิศทางกระแสการไหลของลม ดังภาพที่ 7.16



ภาพที่ 7.16 การทดสอบการไหลลักษณะการไหลแบบมีสิ่งกีดขวาง

การวัดการไหล

การวัดอัตราการไหลของอากาศในกล่องทดลองจะใช้เครื่องมือสำหรับวัดลม Anemometer Thermometer Airflow TA5 โดยจะวัดตามระยะที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้นี้ ห่างจากส่วนทำการทดสอบ ทั้งในส่วนก่อนถึงชุดจัดเรียงการไหล และหลังผ่านชุดจัดเรียงการไหล

โดยการทดลอง จะทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วของการไหลอากาศผ่านกล่อง และแผ่นกีดขวางนั้น ต้องวัดในสภาพที่ไม่มีอากาศรบกวนจากภายนอก กระแสลมที่ใช้เข้าไปในกล่องทดลอง มาจากการเป่าของพัดลมที่มีทิศทางเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว และสภาพแวดล้อมโดยรอบต้องอยู่ในความดันอากาศปกติ (มีความดันน้อยมาก)

7.1.4 ผลการทดลอง

การไหลของอากาศจริงผ่านท่อในลักษณะการทดสอบการไหลแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

จากการเก็บข้อมูลการทดลองการไหลของอากาศจริงผ่านท่อ สามารถนำผลทดสอบมาสรุป และ วิเคราะห์ได้ดังนี้

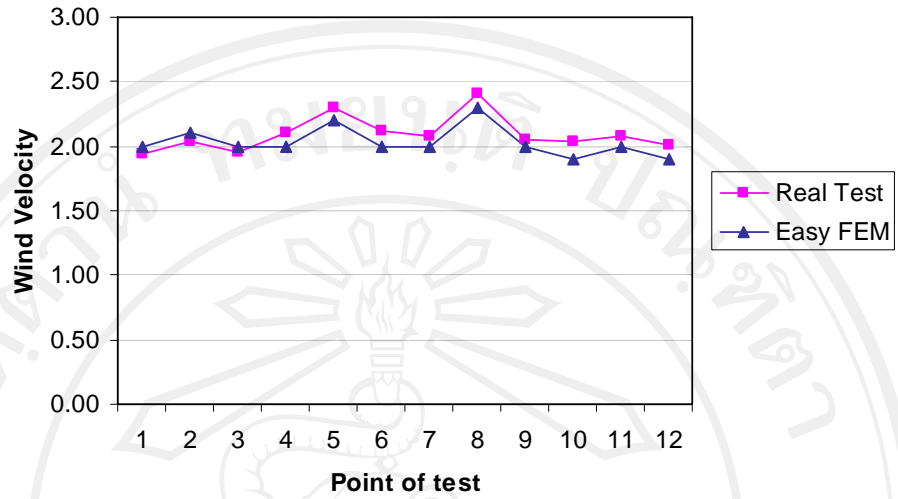
- 1) กระแสลมที่ผ่านชุดจัดเรียงกระแสการไหลอากาศมีความสม่ำเสมอ และเป็นไปในลักษณะการไหลแบบ Fully Developed Flow เห็นได้จากค่าความเร็วในจุดที่ 1-3 , 4-6 และ 7-9 โดยความเร็วของกระแสการไหลที่วัดได้ ในแต่ละส่วนจะเป็นลักษณะรูปโค้ง คือ ความเร็วตรงกลางท่อ มีความเร็วมากกว่า ความเร็วที่ใกล้กับขอบท่อ
- 2) กระแสลมที่ออกจากกล่องทดลอง ในจุดที่ 10-12 มีความเร็วใกล้เคียงกันมากขึ้น เนื่องจากไม่มีความหนืดของผนังท่อ ทำให้กระแสการไหลที่ออกจากท่อ ที่เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอแล้ว ยังมีความเร็วที่เกือบเท่ากัน ทำให้เราสามารถที่ใช้กระแสการไหลในช่วงของจุดที่ 10-12 มาใช้ในการทดสอบกับสิ่งกีดขวางได้

ตาราง 7.1 แสดงความเร็วลม (หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ที่วัดได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองกับหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยโปรแกรม EasyFEM กราฟในภาพที่ 7.17 แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบกับหุ่นจำลองและการใช้โปรแกรม EasyFEM มีความใกล้เคียงกันมาก

ตาราง 7.1 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการไหลแบบไม่มีแผ่นกีดขวาง

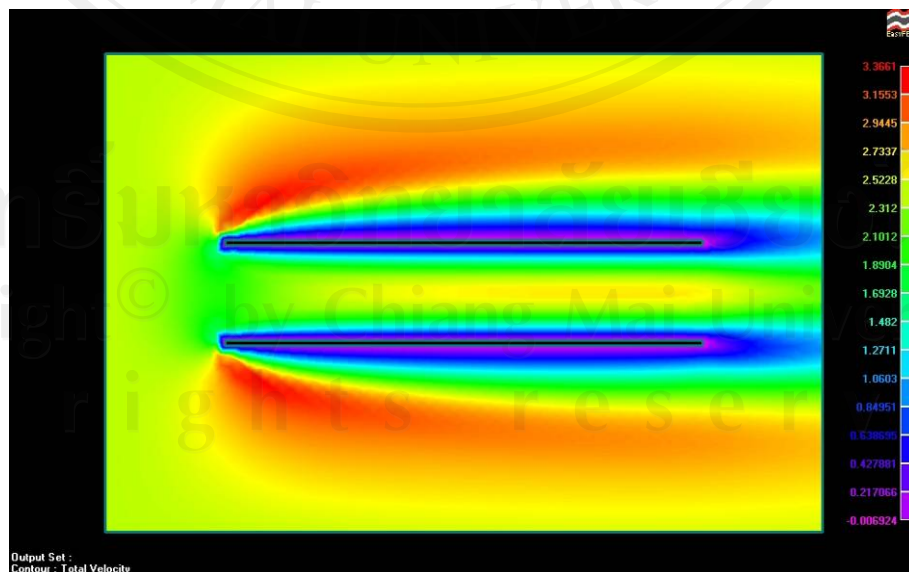
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
หุ่นจำลอง	1.94	2.04	1.96	2.10	2.30	2.12	2.08	2.41	2.05	2.03	2.08	2.01
Easy FEM	2.00	2.10	2.00	2.00	2.20	2.00	2.00	2.30	2.00	1.90	2.00	1.90

Comparison between Real test & Easy FEM

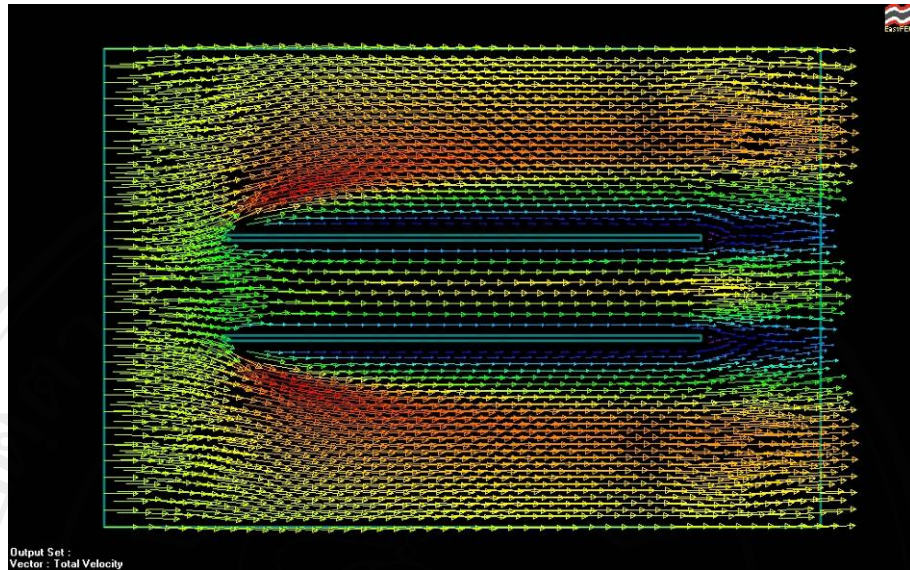


ภาพที่ 7.17 กราฟเปรียบเทียบการทดสอบการไหลแบบไม่มีแผ่นกีดขวาง

ภาพที่ 7.18 และ 7.19 แสดงผลจากการทดสอบการไหลของอากาศในท่อโดยใช้โปรแกรม EasyFEM



ภาพที่ 7.18 การแสดงผลความเร็วลมโดยรวม (Total-Velocity)



ภาพที่ 7.19 การแสดงเวกเตอร์กระแสการไหลของอากาศ

การไหลของอากาศผ่านท่อในลักษณะการทดสอบการไหลแบบมีสิ่งกีดขวาง (บานเกร็ด)

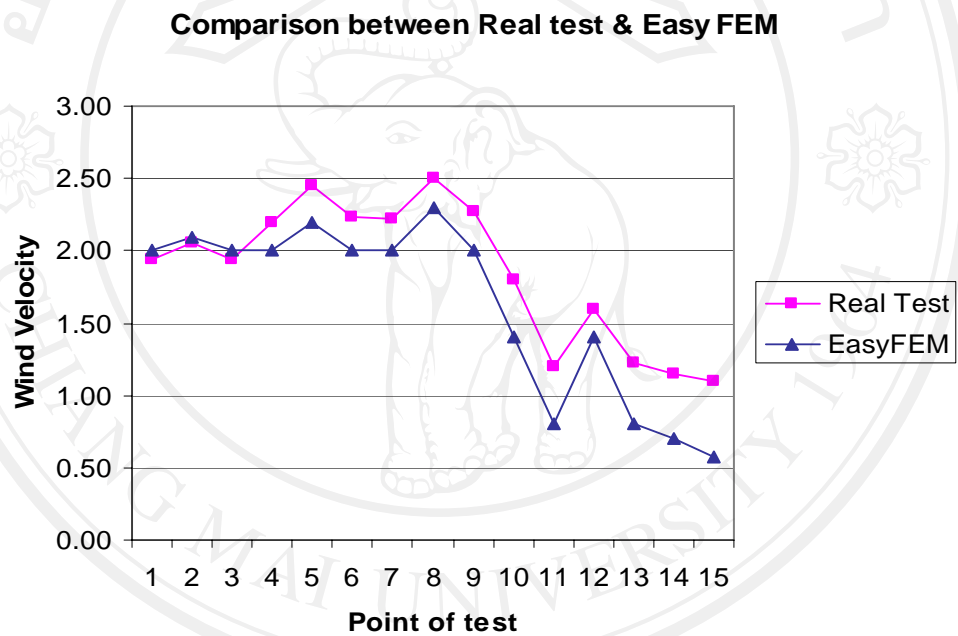
จากการเก็บข้อมูลการทดลองการไหลของอากาศจริงผ่านท่อ สามารถนำผลทดสอบมาสรุปและวิเคราะห์ได้ดังนี้

- 1) ลักษณะการไหลผ่านจุดที่ 1-3 , 4-6 และ 7-9 มีลักษณะเหมือนกับการทดลองแบบแรกโดยความเร็วของกระแสการไหลที่วัดได้ ในแต่ละส่วนจะเป็นลักษณะรูปโค้ง คือ ความเร็วตรงกลางท่อ มีความเร็วมากกว่า ความเร็วที่ใกล้กับขอบท่อ
- 2) ความเร็วที่ไหลผ่านจุดที่ 10-12 มีความเร็วที่ลดลงเนื่องจากกำหนดให้มีสิ่งกีดขวาง (บานเกร็ด) มาขึ้นกลางกระแสการไหล และความเร็วตรงกลาง (จุดที่ 11) มีความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่จุดที่ 10 และ 12 เนื่องจากความดันที่ตรงจุดที่ 11 มีมากกว่านั่นเอง
- 3) ความเร็วที่ผ่านสิ่งกีดขวาง (จุดที่ 13-15) ลดลงอย่างมาก แต่สังเกตว่า ความเร็วตรงจุดที่ 13 จะมีมากกว่าเนื่องจากลักษณะของสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะทำให้กระแสการไหลตรงจุดนี้เพิ่มขึ้น

ตาราง 7.2 แสดงความเร็วลม (หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ที่วัดได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองกับหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยโปรแกรม EasyFEM กราฟในภาพที่ 7.20 แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบกับหุ่นจำลองและการใช้โปรแกรม EasyFEM มีความใกล้เคียงกันมาก

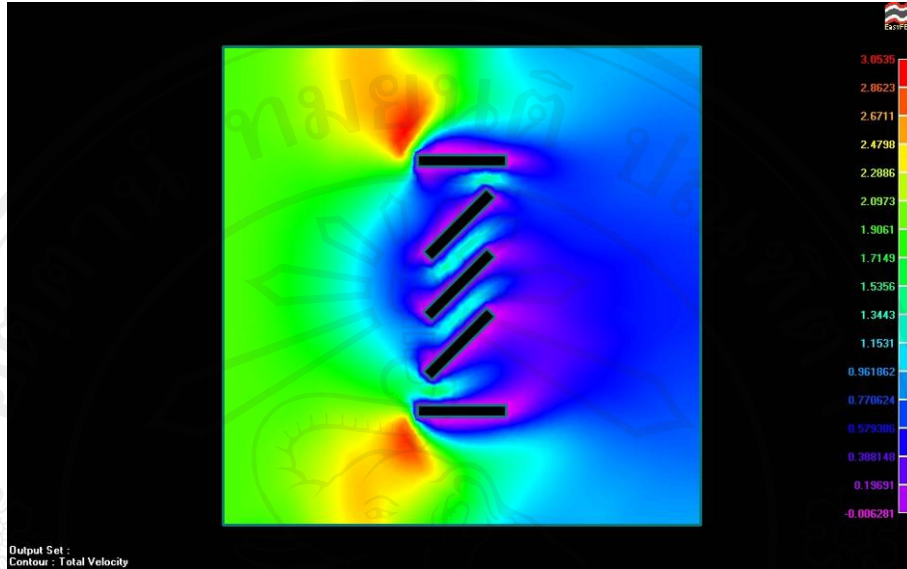
ตาราง 7.2 เปรียบเทียบการทดสอบการไหลแบบมีแผ่นกีดขวาง

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
หุ่นจำลอง	1.95	2.05	1.94	2.20	2.45	2.23	2.22	2.50	2.27	1.80	1.20	1.60	1.23	1.15	1.10
Easy FEM	2.00	2.10	2.00	2.00	2.20	2.00	2.00	2.30	2.00	1.40	0.80	1.40	0.80	0.70	0.57

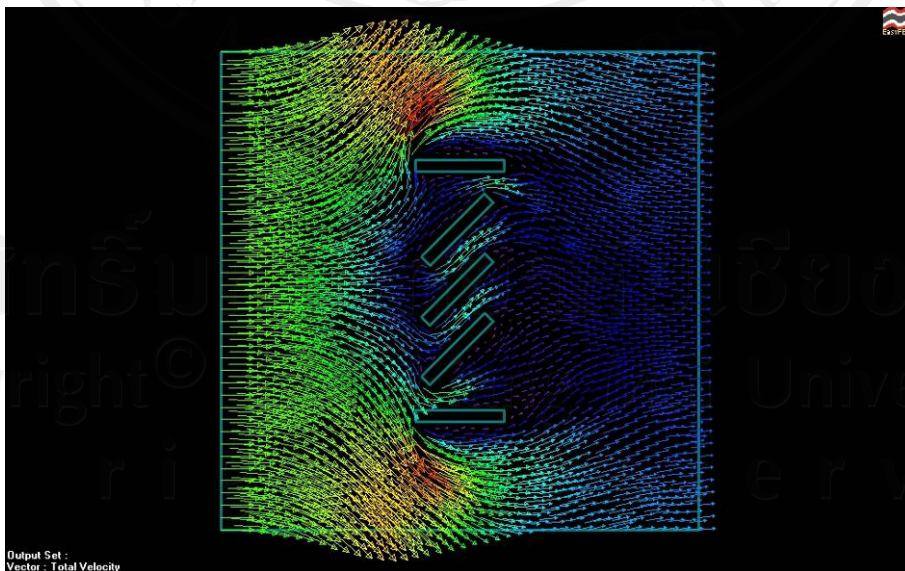


ภาพที่ 7.20 กราฟแสดงการเทียบการทดสอบการไหลแบบมีแผ่นกีดขวาง

ภาพที่ 7.21 และ 7.22 แสดงผลจากการทดสอบการไหลของอากาศผ่านบานเกล็ด โดยใช้โปรแกรม EasyFEM



ภาพที่ 7.21 การแสดงผลความเร็วลมโดยรวม (Total-Velocity)



ภาพที่ 7.22 การแสดงเวกเตอร์ของกระแสการไหล

7.2 การทดสอบการไหลของอากาศผ่านหุ่นจำลองของห้องพักอาศัย

7.2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาถึงการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ในความเป็นจริงแล้วก็คือกระบวนการที่ใช้ธรรมชาติเป็นเครื่องมือในการถ่ายเทความร้อน จากจุดที่ไม่ต้องการออกไปนั่นเอง ซึ่งในที่นี้ธรรมชาติก็คืออากาศ หรือกระแสลมที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการพาความร้อนออกไปจากตัวอาคาร โดยที่ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปนั้น จะเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกัน ระหว่างค่าความจุความร้อนของอากาศ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในตัวอาคาร ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \frac{H}{\rho C_p (T_i - T_o)} \quad (7.4)$$

หรือถ้าปรับสมการใหม่จะได้

$$H = \dot{Q} \times \rho C_p (T_i - T_o) \quad (7.5)$$

ซึ่ง	H	ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไป, มีหน่วยเป็น วัตต์
	\dot{Q}	อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ มีหน่วยเป็น เมตร ³ /วินาที
	C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (Specific Heat), มีหน่วยเป็น จูล / กิโลกรัม °C (มีค่าประมาณ 1000)
	ρ	ค่าความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม / เมตร ³ (มีค่าประมาณ 1.2)
	$T_i - T_o$	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น °C

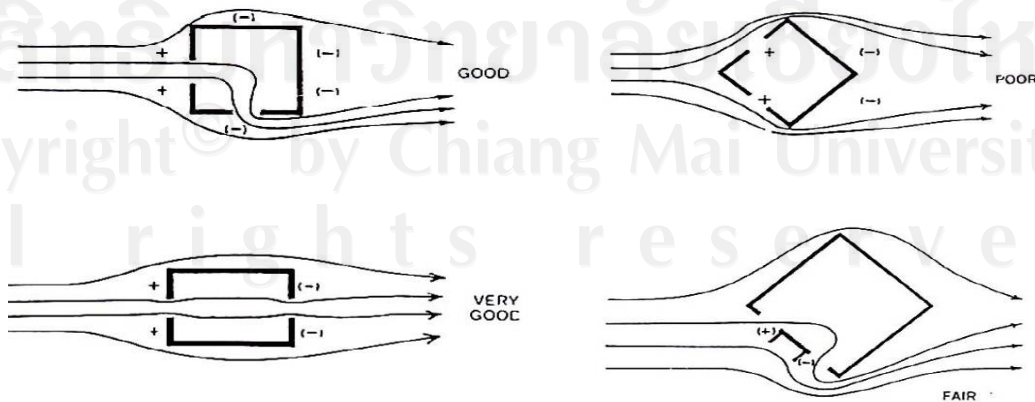
และเมื่อแทนค่าด้วยค่าคงที่ในส่วนของ C_p และ ρ จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$H = 1200\dot{Q}(T_i - T_o) \quad (7.6)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปจากตัวอาคาร จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ (\dot{Q}) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) เป็นสำคัญ โดยจะพบว่าในส่วนของอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ จะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนหลายที่สุด เนื่องจากในส่วนของความต่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคารนั้น (ΔT) สำหรับในประเทศไทยตามความเป็นจริง ค่าแตกต่างดังกล่าวไม่เกิน 10°C และ เป็นปัจจัยที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ จึงเป็นส่วนที่สามารถกำหนดได้ด้วยการออกแบบอาคาร และรายละเอียดของการออกแบบช่องเปิดในลักษณะต่างๆ เช่นในภาพที่ 7.23 ที่ส่งเสริมให้เกิดอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเพิ่มขึ้นซึ่งจะก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาต่อไปถึงปัจจัยในการกระตุ้นอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศโดย Liddament (1988) ที่พบความแตกต่างระหว่างความเร็วลม ในฤดูหนาว และฤดูร้อน รวมทั้งทิศทางของการพัดพาของลมธรรมชาติ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เช่นเดียวกัน และความสัมพันธ์ของความเร็วลม กับทิศทางของกระแสลม ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ขนาดของช่องเปิดจะสามารถแสดงได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q} = C_D \times A \times V \tag{7.7}$$

- ซึ่ง \dot{Q} อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ มีหน่วยเป็น เมตร³/วินาที
- A ขนาดพื้นที่ของช่องลมเข้า, มีหน่วยเป็นเมตร²
- V ความเร็วลม มีหน่วยเป็น เมตร / วินาที
- C_D ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของอากาศ

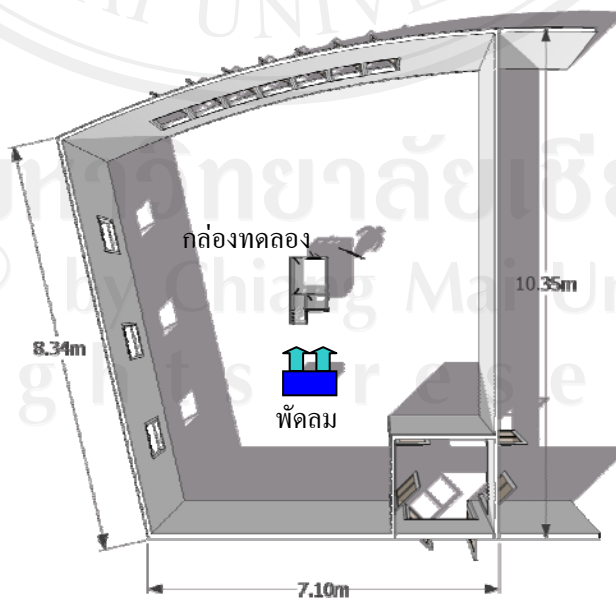


ภาพที่ 7.23 แสดงการลักษณะการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดอาคาร

7.2.2 วิธีการทดลอง

ที่ผ่านมาได้ทดสอบถึงความเชื่อมั่นในลักษณะการไหลของอากาศผ่านกล่องทดลองไปแล้ว โดยเป็นเพียงการทดลองการไหลที่ไหลแบบราบเรียบธรรมดา และผ่านอุปสรรคสิ่งกีดขวางจำนวนหนึ่ง เพราะฉะนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีการเพิ่มสิ่งกีดขวางมากขึ้นอีก เพื่อความน่าเชื่อถือเวลานำไปอ้างอิงกับการเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ของโปรแกรม EasyFEM โดยในลักษณะของการทดลองเรื่องกระแสการไหลที่เกี่ยวกับงานสถาปัตยกรรมแล้ว มักจะทดสอบกับโมเดลของอาคารกลุ่มใหญ่ๆ หรือเป็นการทดสอบการไหลของอากาศผ่านห้องใดห้องหนึ่ง และเนื่องจากในวิชา 801325 Basic Building and Energy system ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นั้น จะทำการทดสอบเรื่องการไหลของอากาศในห้องปฏิบัติงาน โดยใช้โต๊ะน้ำทดสอบการไหลกับหุ่นจำลองโมเดลของห้องเพียงห้องเดียวที่ได้ออกแบบช่องเปิดไว้แล้ว เพราะฉะนั้นในการทดสอบเรื่องการไหลเพื่อนำไปใช้ในการวัดความน่าเชื่อถือของโปรแกรม EasyFEM นั้น ก็ควรจะต้องทดสอบการไหลของอากาศผ่านโมเดลห้องหนึ่งด้วย เพื่อเป็นตัวอ้างอิงในการศึกษาขีดความสามารถของโปรแกรม EasyFEM ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางซับซ้อนมากได้หรือไม่

การศึกษาการไหลนั้นจะศึกษาในสภาวะของลมพัดทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นลักษณะของลมที่ไม่ราบเรียบ (Turbulent Flow) แต่มีทิศทางและความเร็วการไหลที่ปกติ สม่ำเสมอ การทดลองถูกจัดทำในสภาพแวดล้อมทั่วไปที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด คือ ทดลองในห้องปิด เพื่อไม่ให้มีผลจากสภาพแวดล้อมภายนอกน้อยที่สุด แต่มีการใช้ช่องเปิดบางส่วนเพื่อลดความดันภายในห้องที่อาจมีผลต่อกระแสลมที่สร้างขึ้น (ภาพที่ 7.24)



ภาพที่ 7.24 แผนผัง และสภาพแวดล้อมของห้องที่ใช้ทดสอบ

พฤติกรรมการไหลผ่านโมเดลห้องคือ เมื่อกระแสการไหลของอากาศไหลไปกระทบโมเดล จะเกิดการแยกตัว ส่วนหนึ่งจะไหลออกด้านข้างโมเดล และอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเข้าไปในโมเดลผ่านช่องเปิดที่เจาะไว้ แล้วไหลผ่านเข้าไปหาห้องต่างๆที่ได้จัดแบ่งไว้ บริเวณที่ไหลผ่านช่องแต่ละช่องจะเกิดลักษณะของการไหลที่เรียกว่า Vena Contracta คือการไหลจะถูกเร่งความเร็วจากคอของสิ่งกีดขวาง (ผนังที่มีช่องเปิด) เกิดเป็นการไหลที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งทำให้กระแสการไหลที่ผ่านช่องนั้นเบาลงเป็นกระแสการไหลที่เป็นเส้นตรง และมีความดันสม่ำเสมอจนถึงพื้นที่ห้องที่โล่งถัดมา ความเร็วของการไหลก็จะถูกลดลงและถูกกระจายไปทั่วห้อง แต่เรายังเห็นว่าทิศทางการไหลหลักๆยังอยู่ และไหลไปสู่ช่องเปิดผนังชั้นสุดท้าย (ผนังด้านหน้าห้อง)

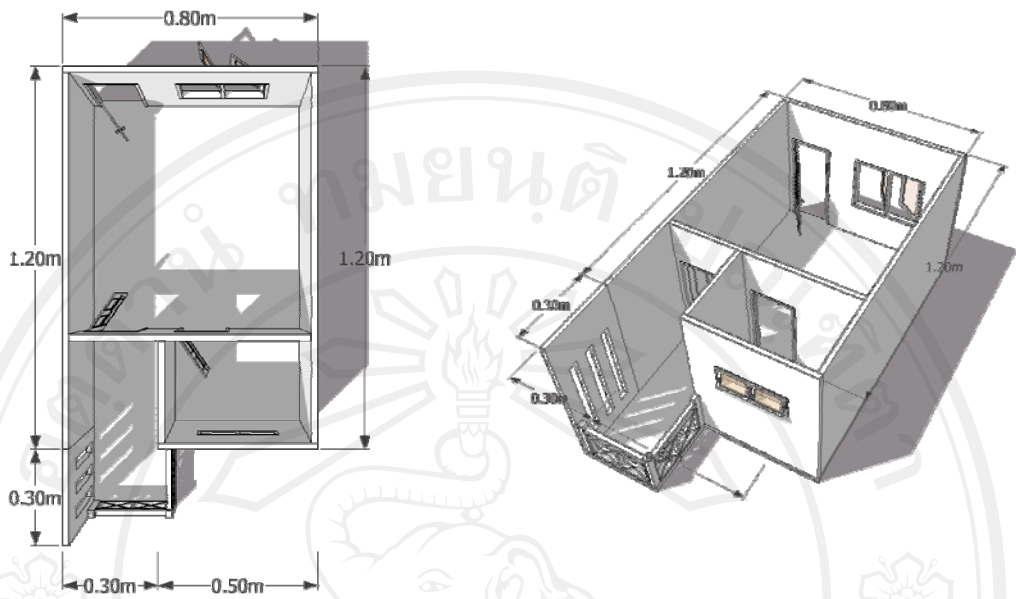
เครื่องมือวัด

เครื่องมือหลักที่ใช้วัดเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศก็คือเครื่องวัดลม Anemometer Thermometer Airflow TA5 สามารถวัดอุณหภูมิอากาศและความเร็วลม มีหัวหน่วยเป็น °C และ m/sec ตามลำดับโดยในการวัดจริงจะทำการวัดในด้านหน้าและด้านหลังของส่วนที่ใช้ทดลอง เพื่อดูความแตกต่างของความเร็วการไหล ก่อนและหลังแผ่นที่ใช้ทำการทดลอง

นอกจากเครื่องมือวัดลมแล้ว เรายังมีพัดลมสำหรับเครื่องมือสำหรับทำกระแสลม และใช้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์เช่น MS Excel เพื่อคำนวณหา และประมวลผลที่เก็บได้จากการทดลอง

7.2.3 รูปแบบการทดลอง

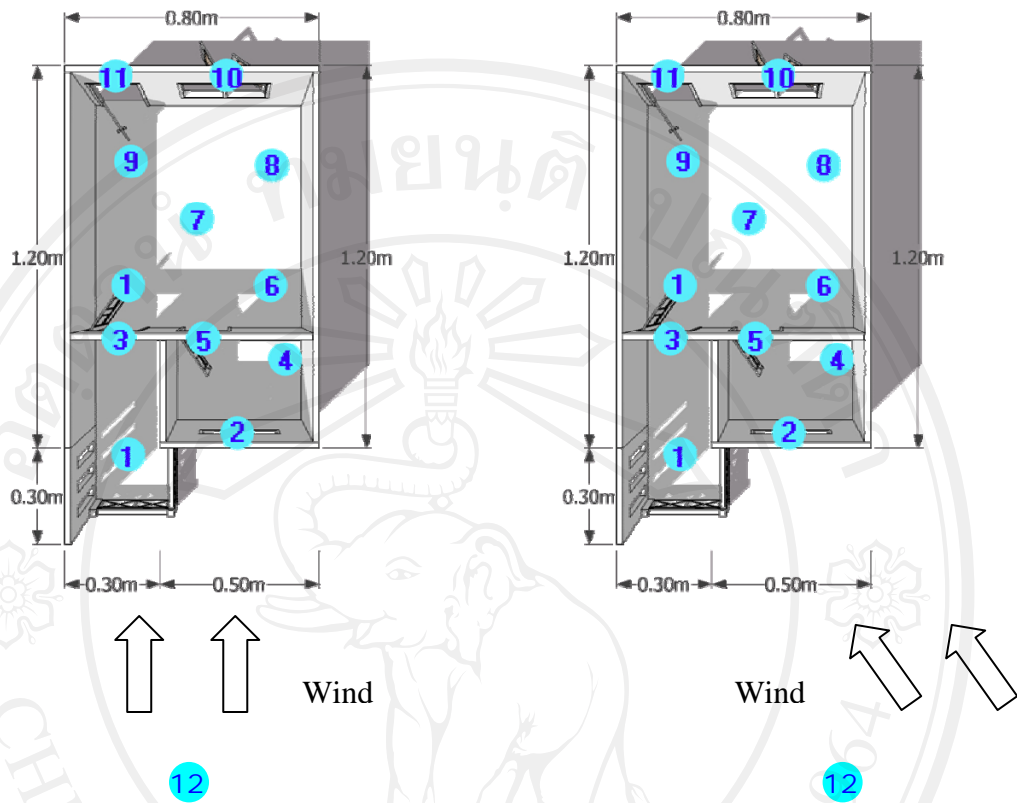
ในการทดสอบนี้ได้สร้างกล่องโมเดลห้องหนึ่งขึ้น โดยเป็นลักษณะของห้องพักในหอพักทั่วไป คือมีส่วนของห้องนอน ห้องน้ำ และส่วนระเบียงด้านนอก โดยขึ้นส่วนของกล่องโมเดลเลือกใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด มีขนาดหน้า 5 ซม. ทำเป็นกล่องโมเดลในสัดส่วนสเกล 1/5 ของขนาดห้องจริง นั่นก็หมายความว่า โมเดลมีขนาดคือ 0.80ม x 1.20 ม วิธีการทดลองคือ การเป่าลมเข้าส่วนด้านหลังของห้องผ่านช่องเปิดหน้า และประตู (ส่วนระเบียง และห้องน้ำ) ผ่านพื้นที่ห้องนอน และไหลออกผ่านประตู และช่องเปิดด้านหน้าห้อง โดยในการวัดความเร็วลมเราจะทำการวัดทั่วทั้งห้อง และส่วนที่กระแสลมผ่านช่องเปิด รวมทั้งหมด 12 จุด (ภาพที่ 7.25)



ภาพที่ 7.25 ลักษณะรูปแบบห้องที่ใช้ในการทดสอบการไหล

การวัดการไหล

การวัดอัตราการไหลผ่าน โมเดลกล่องทดลองจะใช้เครื่องมือสำหรับวัดลม Anemometer Thermometer Airflow TA5 โดยให้จุดกำเนิดลมที่มาจากพัดลมตัวใหญ่พัดให้กระแสการไหลของอากาศไหลทำมุม 45 และ 90 กับกล่องโมเดลทดสอบ สภาพแวดล้อมรอบข้างต้องเปิดเพื่อไม่ให้เกิดความดันที่มีผลต่อการไหลของกระแสลม แล้ววัดความเร็วลมที่ผ่านกล่องตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้จำนวน 12 จุด โดยจุดที่ 12 คือจุดที่ความเร็วลมห่างจากโมเดล 1.5 เมตร ความห่างระหว่างจุด กระแสลมที่ปล่อยจากจุดกำเนิดลมต้องเป็นความเร็วที่คงที่ และมีทิศทางเดียว การวัดกระแสลมในกล่องเริ่มจากการวัดที่จุดข้างนอกที่วัดได้ง่ายกว่า สำหรับจุดที่อยู่ในกล่องต้องมีการเจาะรูเพื่อให้ท่อวัดความเร็วลมสามารถสอดใส่เข้าไปได้ (ทั้งหมดแสดงในภาพที่ 7.26)



ภาพที่ 7.26 แสดงทิศทางการลมเข้า และตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายใน
 หุ่นจำลองของห้องที่ใช้ในการทดสอบการไหลของอากาศ

7.2.4 ผลการทดลอง

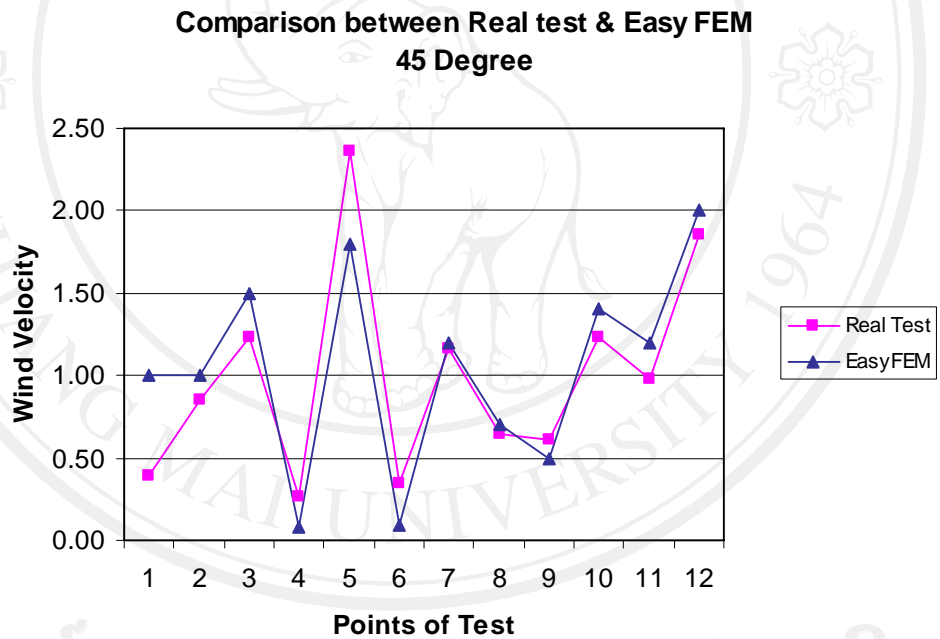
การไหลของอากาศมีทิศทางทำมุม 45 องศา กับโมเดลทดสอบ

- จากการเก็บข้อมูลการทดลองการ สามารถนำผลทดสอบมาสรุป และ วิเคราะห์ได้ดังนี้
- 1) ลักษณะการไหลผ่านจุดที่ 5 มีความเร็วของการไหลที่มากกว่าจุดอื่นเนื่องมาจากรูปแบบลักษณะของช่องเปิด และมีความดันน้อย ทำให้กระแสการไหลของอากาศไหลผ่านจุดนี้ได้เต็มที่
 - 2) ตรงกันข้ามกับการไหลที่จุด 4 และ 6 ที่มีความเร็ว้น้อยมากเมื่อเทียบกับจุดอื่น เนื่องจากในจุดที่4 ไม่มีช่องเปิดที่ให้การไหลผ่านจึงเกิดความดันมาก และในจุดที่6 ถึงจะมีความดันน้อยแต่ไม่มีช่องเปิดหน้าจุดนี้ทำให้เป็นจุดอับที่ไม่มีกระแสการไหลผ่านของอากาศ

ตาราง 7.3 แสดงความเร็วลม (หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ที่วัดได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองกับหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยโปรแกรม EasyFEM กราฟในภาพที่ 7.27 แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบกับหุ่นจำลองและการใช้โปรแกรม EasyFEM มีความใกล้เคียงกันมาก

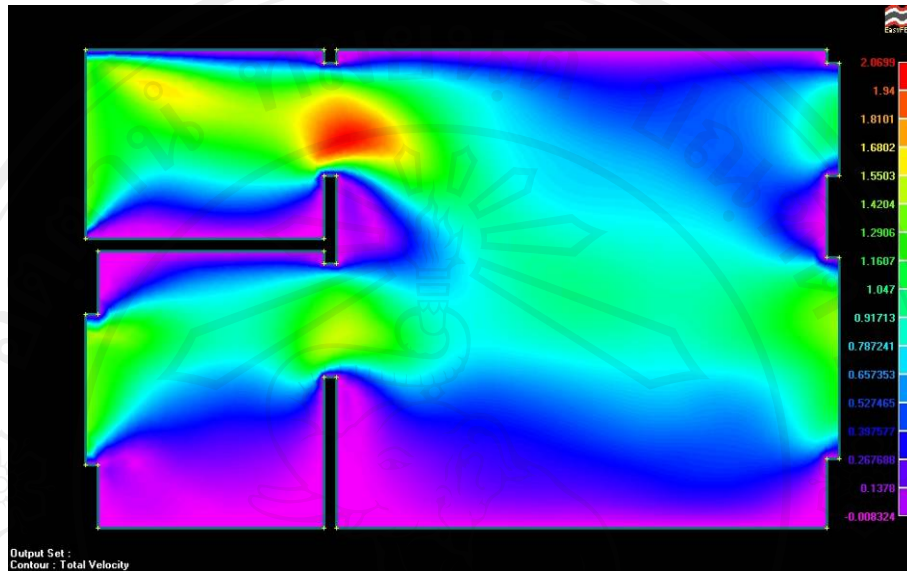
ตาราง 7.3 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการไหลในทิศทาง 45 องศา กับโมเดลทดสอบ

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
หุ่นจำลอง	0.39	0.85	1.23	0.26	2.36	0.34	1.16	0.65	0.61	1.23	0.98	1.86
EasyFEM	1.00	1.00	1.50	0.08	1.80	0.09	1.20	0.70	0.50	1.40	1.20	2.00

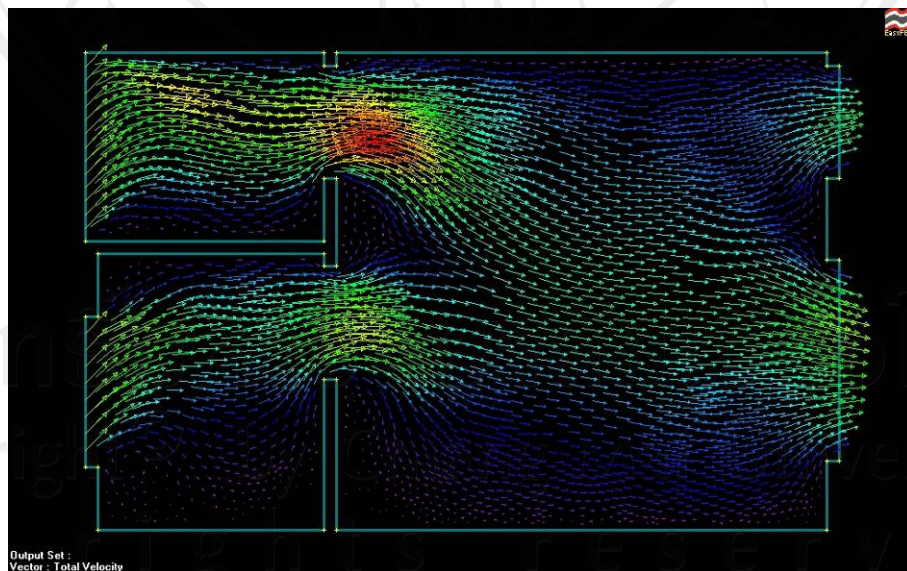


ภาพที่ 7.27 กราฟแสดงการเทียบการทดสอบการไหลในทิศทาง 45 องศา

ภาพที่ 7.28 ถึง 7.29 แสดงผลจากการทดสอบการไหลของอากาศผ่านห้องพักอาศัยโดยใช้โปรแกรม EasyFEM



ภาพที่ 7.28 การแสดงผลความเร็วลมโดยรวม (Total-Velocity)



ภาพที่ 7.29 การแสดงเวกเตอร์กระแสการไหล

การทดสอบการไหลของอากาศมีทิศทางทำมุม 90 องศา กับหุ่นทดสอบ

จากการเก็บข้อมูลการทดลองการ สามารถนำผลทดสอบมาสรุป และ วิเคราะห์ได้ดังนี้

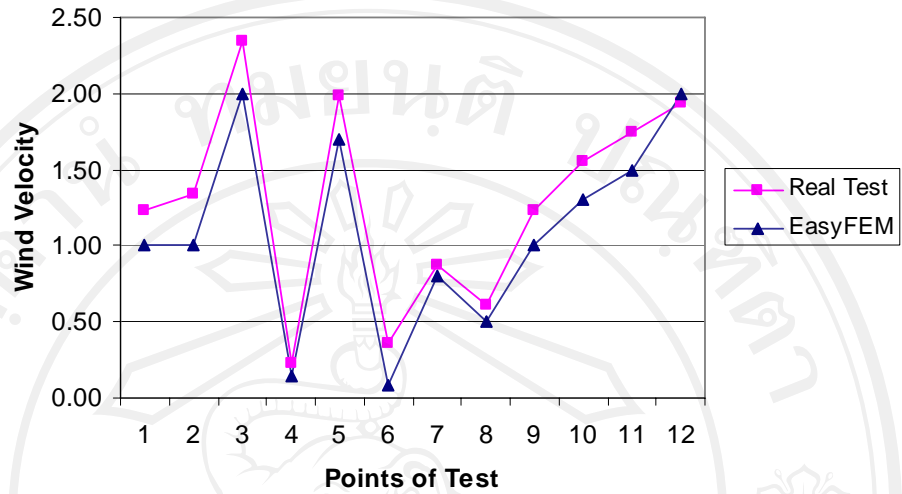
- 1) กระแสและความเร็วของการไหลในทิศทางทำมุม 90 องศา ส่วนใหญ่มีลักษณะเหมือนกับการไหลในทิศทางทำมุม 45 องศา กับโมเดลทดสอบ
- 2) ลักษณะการไหลผ่านจุดที่ 3 และ 5 มีความเร็วของการไหลที่มากกว่าจุดอื่นเนื่องมาจากรูปแบบลักษณะของช่องเปิด และมีความดันน้อย ทำให้กระแสการไหลของอากาศไหลผ่านจุดนี้ได้อย่างเต็มที่
- 3) เช่นกันกับการไหลในทิศทางทำมุม 45 องศา กับโมเดลทดสอบ โดยการไหลที่จุด 4 และ 6 ที่มีความเร็วช้ามากเมื่อเทียบกับจุดอื่น เนื่องจากในจุดที่ 4 ไม่มีช่องเปิดที่ให้การไหลผ่าน จึงเกิดความดันมาก และในจุดที่ 6 ถึงจะมีความดันน้อยแต่ไม่มีช่องเปิดหน้าจุดนี้ก็ทำให้เป็นจุดอับที่ไม่มีกระแสการไหลผ่านของอากาศ

ตาราง 7.4 แสดงความเร็วลม (หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ที่วัดได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองกับหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยโปรแกรม EasyFEM กราฟในภาพที่ 7.32 แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบกับหุ่นจำลองและการใช้โปรแกรม EasyFEM มีความใกล้เคียงกันมาก

ตาราง 7.4 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการไหลในทิศทาง 90 องศา กับโมเดลทดสอบ

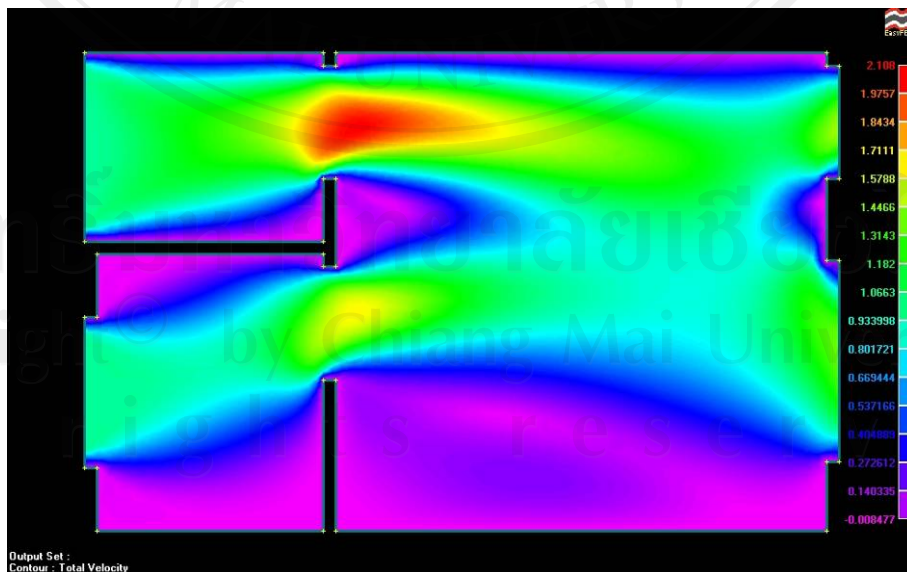
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
หุ่นจำลอง	1.23	1.34	2.34	0.23	1.98	0.36	0.87	0.61	1.23	1.56	1.75	1.94
EasyFEM	1.00	1.00	2.00	0.14	1.70	0.08	0.80	0.50	1.00	1.30	1.50	2.00

**Comparison between Real test & Easy FEM
90 Degree**

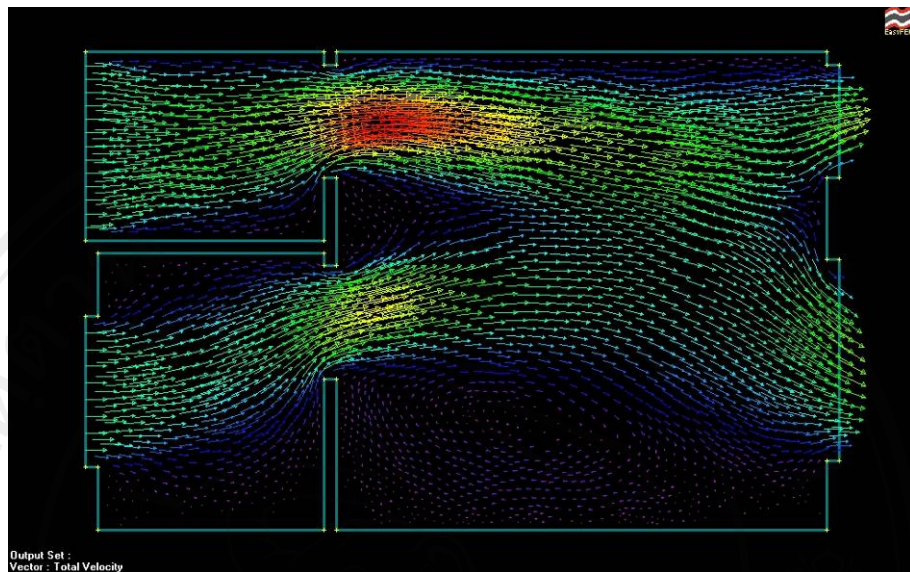


ภาพที่ 7.30 กราฟแสดงการเทียบการทดสอบการไหลในทิศทาง 90 องศา

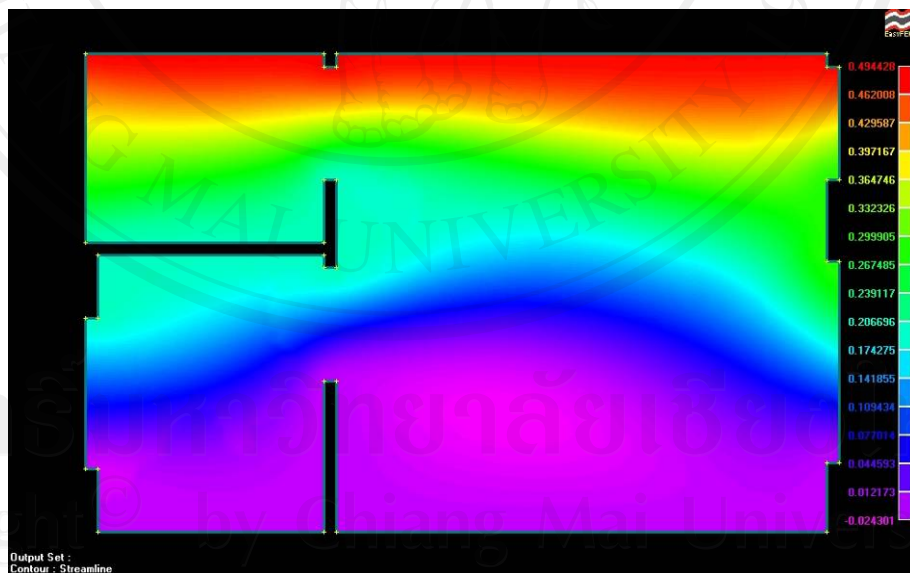
ภาพที่ 7.31 ถึง 7.32 แสดงผลจากการทดสอบการไหลของอากาศในห้องพักอาศัยโดยใช้โปรแกรม EasyFEM



ภาพที่ 7.31 การแสดงผลความเร็วลมโดยรวม (Total-Velocity)



ภาพที่ 7.32 การแสดงเวกเตอร์กระแสการไหล



ภาพที่ 7.33 การแสดงผลทิศทางกระแสการไหล (Stream line)

7.3 สรุปผลการทดสอบการเปรียบเทียบการใช้งานโปรแกรม EasyFEM กับการทดลองการไหลในสภาพแวดล้อมจริง

จากการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่า การทดสอบการไหลด้วยโปรแกรม EasyFEM นั้นให้ผลที่มีความเหมือนใกล้เคียงจากผลการทดสอบการไหลในสภาพแวดล้อมจริง (ในลักษณะของทิศทางและความเร็วที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน) อาจจะมีเพียงบางจุดของการทดสอบเท่านั้นที่มีความแตกต่างของความเร็วการไหลอยู่บ้าง ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของการจัดวางสภาพแวดล้อม (Condition) ของการทดลองโดยการใช้โปรแกรม และการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงนั้นไม่สามารถทำให้เหมือนกันได้ทั้งหมด จึงเกิดความแตกต่างของผลการทดสอบอยู่บ้าง แต่โดยรวมแล้วถือว่าให้ผลที่ได้เป็นน่าพอใจอย่างยิ่ง

โดยสรุป การทดสอบการไหลโดยใช้โปรแกรม EasyFEM V1.0 นี้ ให้ผลการวิเคราะห์ที่ให้ผลใกล้เคียงมากโดยประมาณ ก็คือให้เราสามารถเห็นแนวโน้ม (Trend) ของทิศทางและความเร็วของการไหล ซึ่งไม่ต่างจากวัตถุประสงค์ของการเรียนการสอนการทดสอบการไหลของอากาศด้วยโตะน้ำในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพราะฉะนั้น จึงเห็นว่ามีเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้โปรแกรม EasyFEM แทนที่หรือควบคู่ไปกับการใช้งานโตะน้ำ เนื่องจากโปรแกรม EasyFEM ให้ผลที่หลากหลายมากกว่าการทดลองด้วยโตะน้ำ เช่น ความเร็วการไหลในแกน X,Y และความดันของการไหล เป็นต้น