บทที่ ๓

การดำเนินการวิจัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

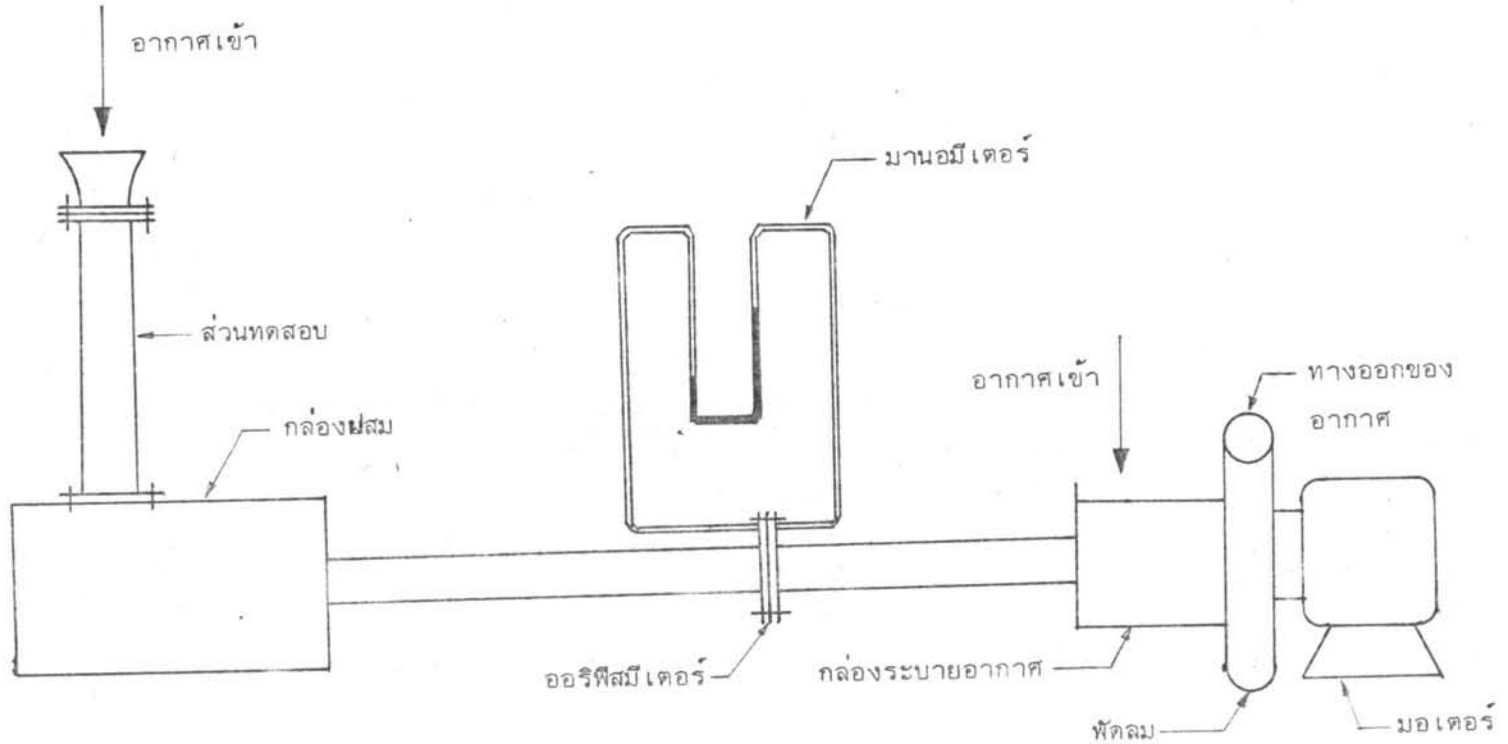
๓.๑ อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์สำหรับทำการทดลอง เพื่อเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงอยู่ในรูปที่ ๓-๑ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ส่วนทดสอบ กล่องผสม ออริฟิสมิเตอร์ กล่องระบายอากาศ และพัดลม ขณะทำการทดลองพัดลมจะเป็นตัวดูดอากาศให้ไหลผ่านส่วนทดสอบ เนื่องจากพัดลมหมุนด้วยความเร็วคงที่ เราจึงปรับเปลี่ยนแปลงอัตราไหลของอากาศที่ผ่านส่วนทดสอบด้วยกล่องระ-บายอากาศ และมีออริฟิสมิเตอร์ เป็นตัววัดปริมาตรอัตราไหลของอากาศที่ไหลผ่านส่วนทดสอบ ที่ส่วนทดสอบมีน้ำร้อนหล่อเลี้ยงอยู่รอบๆท่อเป็นตัวให้ความร้อนแก่อากาศที่ไหลในท่อ อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าท่อ อากาศที่ออกจากท่อ อุณหภูมิผิวท่อตรงปากทางเข้า และปากทางออกใช้คู่ควบอุณหภูมิเป็นตัววัด ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในภายหลัง ทางปากทางเข้าของท่อที่ทำการทด-ลองต่อไว้ด้วยท่อซึ่งมีปากท่อบานออกเล็กน้อย เพื่อให้อากาศไหลเข้าท่อทดสองด้วยความเร็วสม่ำ-เสมอตลอดหน้าตัด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด กล่องผสมและหม้อน้ำร้อนที่ใส่น้ำร้อนรอบท่อทดลองมีฉนวนอย่างดีบุ

หัวข้อต่อไปนี้ จะได้กล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ทดลองในแง่รายละเอียดเพิ่ม-เติมจากที่ได้กล่าวมาแล้ว

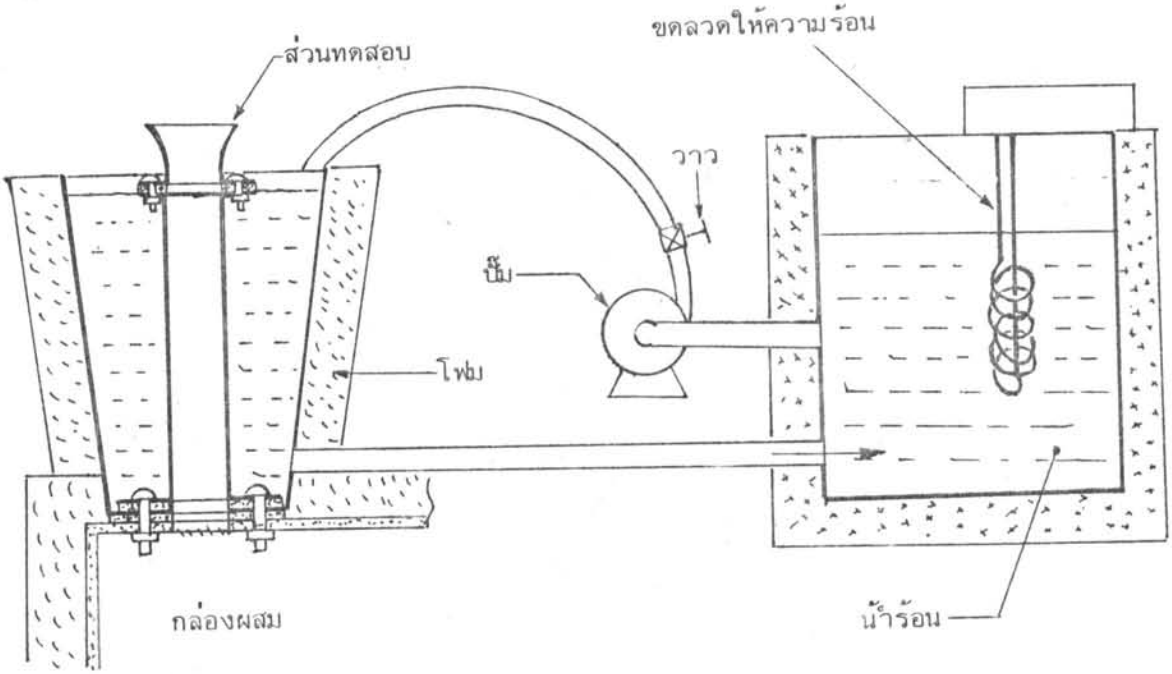
๓.๑.๑ ส่วนทดสอบ และระบบให้ความร้อน

ส่วนทดสอบเป็นบริเวณที่ติดตั้งท่อที่จะทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ๓-๒ ท่อที่ทำการทดลองมี ๔ อัน คือ ท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ยาวประมาณ ๓๐๐ มม.และ ๑๓๐ มม. และท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากยาวประมาณ ๓๐๐ มม.และ ๑๓๐ มม. ท่อทุกอันทำด้วยแผ่นทองแดงหนาประมาณ ๑ มม.พับให้เป็นท่อได้รูปทรงตามต้องการ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกประมาณ ๒๕.๔ มม.



รูปที่ ๓-๑ ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ทดลอง

ท่อที่ทำการทดลองติดตั้งให้อยู่ในแนวดิ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้ลักษณะการแจกแจงอุณหภูมิบิดรูปไปอันเนื่องมาจากการพาความร้อนโดยธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ติดตั้งท่อในแนวระดับ



รูปที่ ๓-๒ ส่วนทดสอบและระบบให้ความร้อน

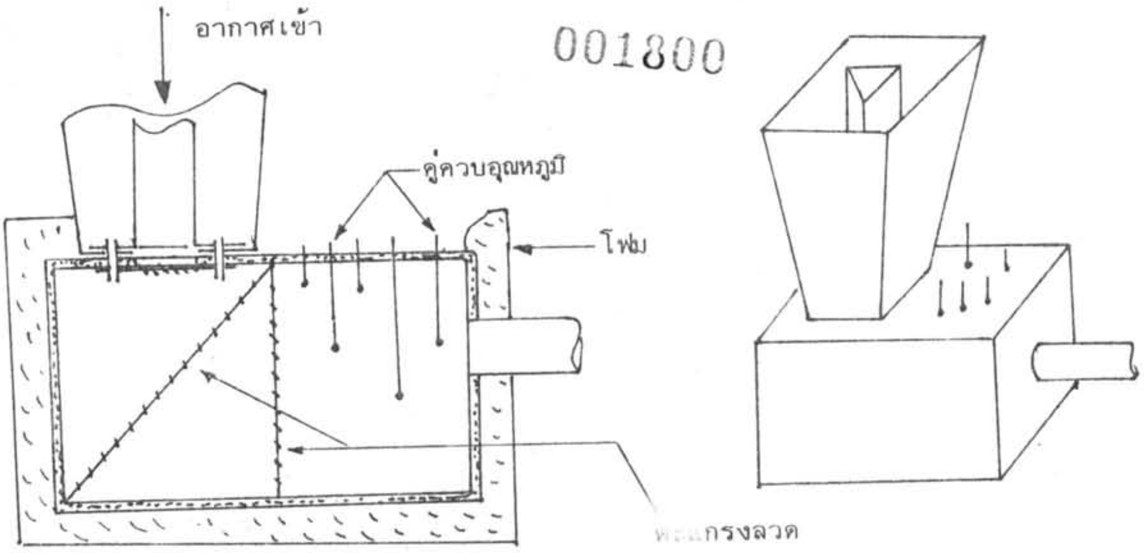
ระบบให้ความร้อนแสดงอยู่ในรูปที่ ๓-๒ เพื่อให้อุณหภูมิที่ผิวท่อสม่ำเสมอโดยตลอดตามความต้องการ เราจึงใช้น้ำร้อนหล่อเลี้ยงรอบๆท่อเป็นตัวให้ความร้อน โดยมีหม้อน้ำร้อนหุ้มรอบๆท่อสำหรับใส่น้ำร้อน ทั้งนี้มีหม้อน้ำร้อนต่างหากอีกใบหนึ่งเป็นที่ต้มน้ำ แล้วจึงใช้ปั๊มขนาดเล็กสูบน้ำที่ต้มแล้วมายังหม้อรอบๆท่อ อัตราไหลของน้ำปรับได้ด้วยวาว ขดลวดที่ให้ความร้อนแก่น้ำเป็นขนาด ๑,๕๐๐ วัตต์ การควบคุมน้ำให้มีอุณหภูมิตามต้องการ ใช้ควบคุมด้วยมือ ซึ่งจากการทดลองเปรียบเทียบดูแล้วพบว่า สะดวกกว่าและแม่นยำกว่าใช้ เธอร์โมสแตต ปริมาณน้ำที่หมุนเวียนทั้ง-

หมดประมาณ ๐.๐๑๐ ม.^{๓}

๓.๑.๒ <u>กล่องผสม</u>

รูปที่ ๓-๓ แสดงลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในของกล่องผสม ซึ่งทำหน้าที่ผสมอากาศที่ออกจากส่วนทดสอบ ให้ผสมเข้ากันอย่างดี เพื่อให้อุณหภูมิของอากาศสม่ำเสมอตลอดทุกส่วนของอากาศ ดังนั้นในการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อ จึงวัดจากอากาศตอนที่อยู่ในกล่องผสม

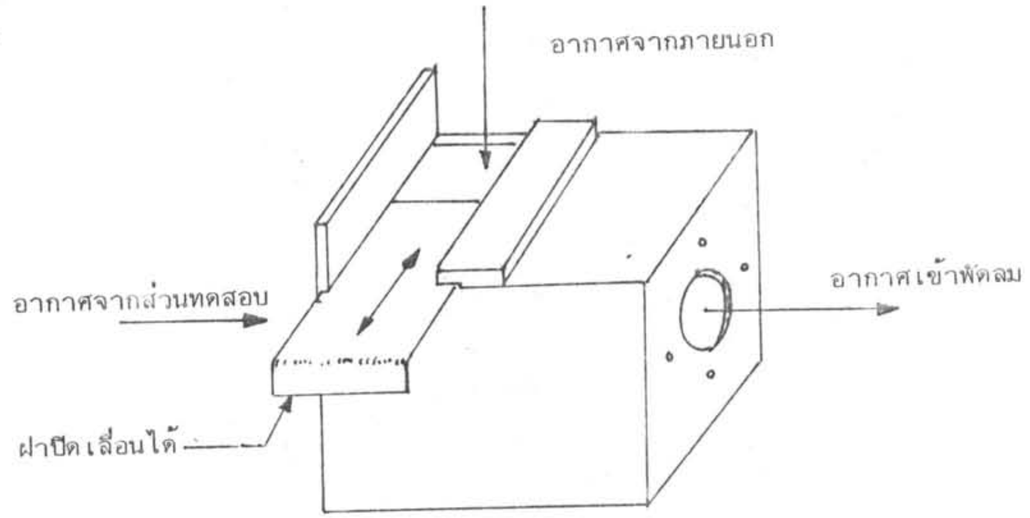
กล่องผสมมีขนาดประมาณ ๑๕๐X๓๐๐X๑๐๐ มม.^{๓} ทำด้วยไม้อัด หนา ๑๐ มม. ด้านบนของกล่องเจาะเป็นช่องกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕๐ มม. เป็นทางเข้าของอากาศที่ออกจากท่อทดลอง ด้านข้างด้านหนึ่งของกล่องเจาะเป็นช่องกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๓๐ มม. เพื่อต่อท่อไปยังพัดลม รอยต่อทุกแห่งทากาวอุดรูให้สนิทเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ ฝาด้านบนติดกับตัวกล่องด้วยตะปูเกลียว เพื่อให้สามารถถอดออกได้ในขณะที่ทำการประกอบท่อที่จะทดลองเข้ากับฝาด้านนี้ นอกจากนี้ ยังมีคู่ควบอุณหภูมิติดอยู่ที่ฝากล่องนี้ด้วย ๕ ตัว เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศภายในกล่อง ซึ่งก็คืออุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อนั่นเอง การติดคู่ควบอุณหภูมิทั้ง ๕ ตัว พยายามให้สามารถวัดอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆในกล่องนี้ แล้วจึงนำค่าที่อ่านจากคู่ควบอุณหภูมิทั้ง ๕ ตัว ไปหาค่า



001800

<u>รูปที่ ๓-๓</u> กล่องผสม

เฉลี่ยอีกทีหนึ่ง เพื่อให้อากาศที่ออกจากท่อส่วนที่ใกล้ผิวท่อซึ่งร้อน กับส่วนที่อยู่แกนกลางท่อซึ่งเย็นกว่าผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น จึงติดตั้งตะแกรงลวดภายในกล่องผสม ๓ แห่ง ดังแสดงในรูป และเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน รอบๆกล่องบุด้วยโฟมหนาประมาณ ๕๐ มม.



รูปที่ ๓-๔ กล่องระบายอากาศ

๓.๑.๓ กล่องระบายอากาศ

รูปที่ ๓-๔ แสดงลักษณะโครงสร้างของกล่องระบายอากาศ ซึ่งทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแปลงอัตราไหลของอากาศที่ผ่านส่วนทดสอบ กล่องระบายอากาศที่ใช้มีขนาดประมาณ ๒๒๐x๒๔๐x๒๕๐ มม.^{3} ทำด้วยไม้อัดหนา ๑๐ มม. ติดอยู่ทางด้านลมเข้าของพัดลม ด้านบนของกล่องเจาะเป็นช่องกว้างประมาณ ๑๐๐ มม. ตลอดความยาวของกล่อง โดยมีแผ่นอลูมิเนียมหนาประมาณ ๒ มม. ปิดช่องดังกล่าวนี้ แผ่นอลูมิเนียมสามารถเลื่อนปิดเปิดให้อากาศเข้ามากน้อยได้ตามต้องการ กล่าวคือ ถ้าเปิดแผ่นอลูมิเนียมให้อากาศเข้ามาก ก็จะมีอากาศผ่านส่วนทดสอบน้อย แต่ถ้าเปิดให้อากาศเข้าได้น้อยอากาศก็จะผ่านส่วนทดสอบมาก เมื่อ[illegible]แผ่นอลูมิเนียมไว้ตรงตำแหน่งใด

แล้ว มีน้อตเป็นตัวยึดไม่ให้มันเลื่อนไปเนื่องจากการสั่นของพัดลม

๓.๑.๔ ออริฟิสมีเตอร์

ลักษณะของออริฟิสมีเตอร์ และการประกอบเข้าในท่อ แสดงในรูปที่ ๓-๕ ออริฟิสมีเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ VDI ซึ่งมาตรฐานและการออกแบบออริฟิสมีเตอร์ชนิดนี้มีอยู่ในหนังสือเกี่ยวกับกลศาสตร์ของไหลทั่วๆไป เช่น[๑,๒] เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ ต้องการข้อมูลในช่วงเรย์โนลด์สนัมเบอร์กว้างมาก กล่าวคือต้องปรับอัตราไหลในช่วงกว้าง เพื่อไม่ให้การสูญเสียความดันขณะผ่านออริฟิสมีเตอร์มากเกินไป จึงใช้ออริฟิสมีเตอร์ ๒ ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู D_o ๑๙.๔ มม. และ ๔๑.๓ มม. ส่วนท่อใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ๗๖.๒ มม. การนำมานอมีเตอร์มาต่อ เพื่อวัดผลต่างของความดัน เป็นการต่อแบบเฟลนจ์แทบ(Flange tap)

การหาค่าปริมาตรอัตราไหลนั้น สำหรับออริฟิสมีเตอร์ตัวเล็ก (D_o= ๑๙.๔ มม.) ใช้วิธีวัดเทียบด้วยมีเตอร์มาตรฐานคือ Parkinson Cowan Measurement โดยวัดเทียบให้สามารถวัดปริมาตรอัตราไหลได้ในช่วง ๒.๔๒๑x๑๐$^{-๓}$- ๗.๓๘๙x๑๐$^{-๓}$ ม^{๓}/วินาที ในขณะที่วัดเทียบนั้นควบคุมให้อากาศที่ไหลผ่านเครื่องมือมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านขณะทดลองจริงๆ ส่วนออริฟิสมีเตอร์ตัวใหญ่ (D_o = ๔๑.๓ มม.)ใช้วัดปริมาตรอัตราไหลตั้งแต่ ๗.๓๘๙x๑๐$^{-๓}$ ม^{๓}/วินาที ขึ้นไป เนื่องจากเกินกำลังของมีเตอร์มาตรฐานจะสามารถวัดเทียบได้ จึงหาปริมาตรอัตราไหลโดยคำนวณจากสูตร[๓]

---

[1]Daugherty R.L., and Franzini J.B., "Fluid Mechanics with Engineering Applications", (6th ed., New York: McGraw-Hill, 1965), pp.356-360.

[2]Streeter V.L., and Wylie E.B., "Fluid Mechanics",(6th ed., McGraw-Hill, Inc., 1975), pp.471-473.

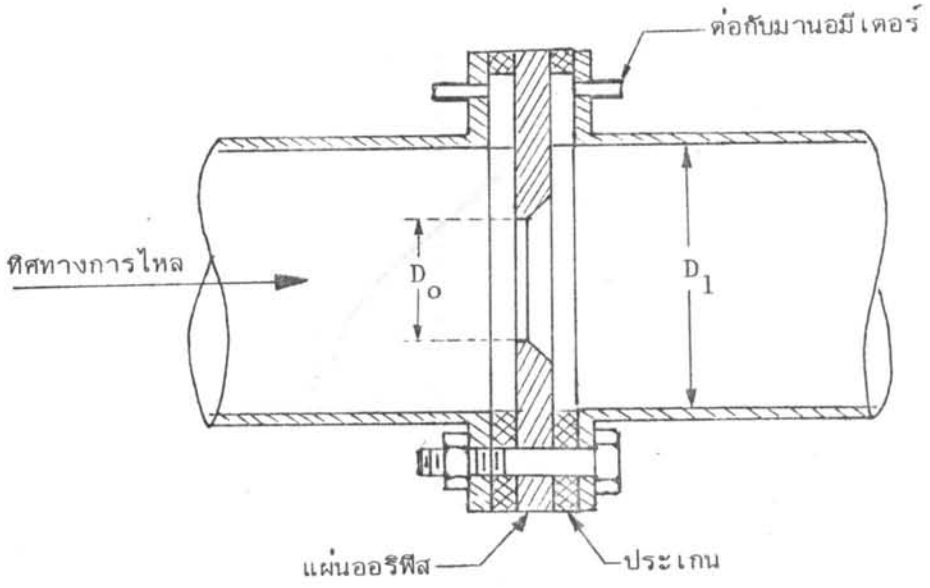
[3]Daugherty, and Franzini, <u>op. cit.</u>, p.359.

$$V = KA\sqrt{2gh}$$

K = Flow Coefficient ซึ่งเป็นฟังชั่นของเรย์โนลด์สนัมเบอร์

A = พื้นที่รูของออริฟิสมิเตอร์

h = ผลต่างของความดันด้านหน้าและหลังของออริฟิสมิเตอร์ วัดเป็นความสูงของของไหลที่กำลังไหลในท่อ



รูปที่ ๓-๕ ออริฟิสมิเตอร์ ตามมาตรฐานของ VDI

๓.๑.๔ การวัดอุณหภูมิ

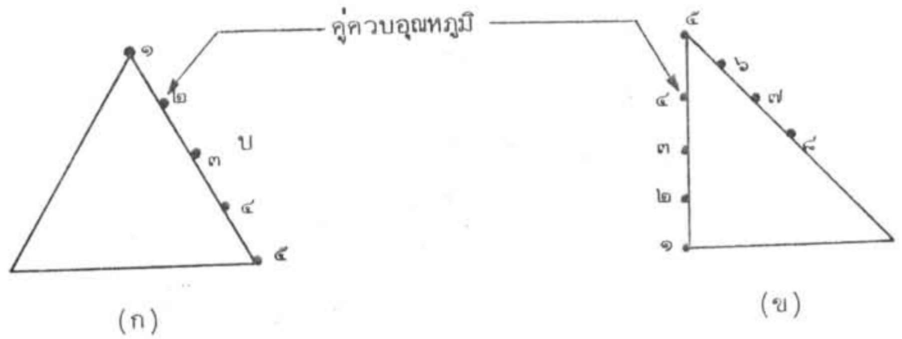
อุณหภูมิที่ต้องวัดมีด้วยกัน ๔ จุด คืออุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่ท่อทดลอง อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อทดลอง อุณหภูมิของผิวท่อทดลองตรงปากทางเข้า และตรงปากทางออก ซึ่งเราใช้คู่ควบอุณหภูมิเป็นตัววัดอุณหภูมิทุกแห่ง โลหะที่ใช้ทำคู่ควบอุณหภูมิ คือ ทองแดงกับคอนสแตน-

ตัน และขั้วเย็นแช่อยู่ในน้ำแข็ง

ในการวัดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่ท่อทดลอง ใช้คู่ควบอุณหภูมิ ๒ ตัว ติดขวางทางเดินของอากาศตรงบริเวณปากกรวยของท่อทดลอง แล้วจึงนำค่าทั้งสองที่วัดได้มาเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่ท่อทดลอง ส่วนการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อทดลอง ใช้คู่ควบอุณหภูมิ ๕ ตัว ติดให้ยื่นลงมาจากฝาด้านบนของกล่องผสม (ดูรูปที่ ๓-๓) โดยให้ยื่นลงมายาวไม่เท่ากัน เพื่อให้วัดอุณหภูมิของอากาศภายในกล่องผสมได้หลายตำแหน่งต่างๆกัน จากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้ทั้ง ๕ ค่ามาเฉลี่ยเป็นค่าอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากท่อทดลอง

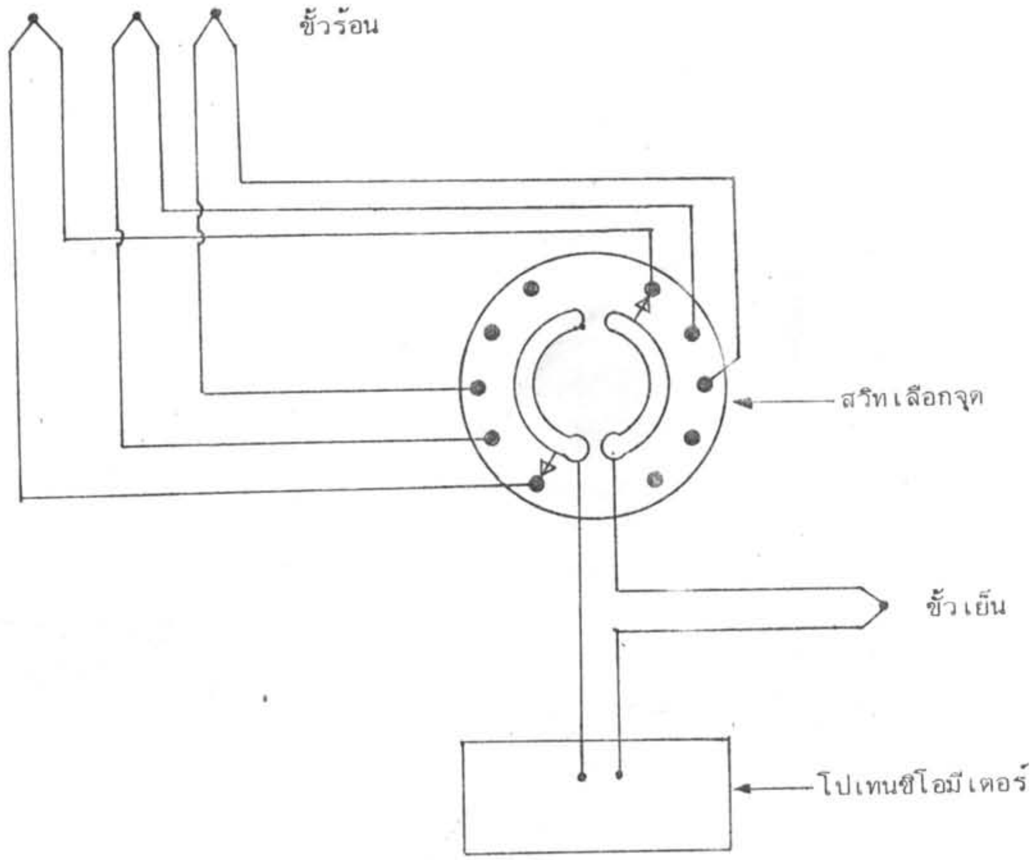
สำหรับการวัดอุณหภูมิของผิวท่อมีปัญหาบางประการที่จะต้องพิจารณาแก้ไข เนื่องจากความไม่สะดวกในการติดคู่ควบอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิผิวในของท่อโดยตรง ในการแก้ปัญหานี้ เราพิจารณาเห็นว่า เนื่องจากท่อค่อนข้างบาง คือประมาณ ๑ มม. เท่านั้น และทำด้วยทองแดงซึ่งเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ดังนั้นอุณหภูมิของผิวท่อด้านในและด้านนอกต่างกันน้อยมาก เราจึงติดคู่ควบอุณหภูมิที่ผิวด้านนอก และถือว่าค่าที่วัดได้เป็นอุณหภูมิของผิวท่อด้านใน

ในกรณีของท่อสามเหลี่ยม อุณหภูมิของผิวท่อรอบๆหน้าตัดหนึ่งๆจะไม่เท่ากัน เช่น อุณหภูมิของผิวท่อตรงมุมจะสูงกว่าผิวบริเวณห่างมุมออกมา เนื่องจากตรงบริเวณมุมการพาความร้อนเลวกว่าบริเวณที่ห่างจากมุมออกมา ดังนั้นถ้าต้องการวัดอุณหภูมิของผิวท่อตรงหน้าตัดใด จึงต้องติด



รูปที่ ๓-๖ การติดคู่ควบอุณหภูมิบนผิวท่อ

คู่ควบอุณหภูมิหลายๆตำแหน่งของผิวท่อรอบหน้าตัดนั้น แล้วจึงนำค่าทั้งหมดที่วัดได้มาเฉลี่ยเป็นค่าอุณหภูมิของผิวท่อณ หน้าตัดนั้น รูปที่ ๓-๖ แสดงลักษณะการติดคู่ควบอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิของผิวท่อ ซึ่งติดในลักษณะเดียวกันทั้งปากทางเข้าและปากทางออก รูปที่ ๓-๖(ก) เป็นของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ส่วนรูปที่ ๓-๖(ข) เป็นของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก



รูปที่ ๓-๗ การจัดวงจรเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ

จะเห็นได้ว่า ในการบันทึกข้อมูลครั้งหนึ่งๆ มีจุดที่ต้องวัดอุณหภูมิหลายจุด (๑๗ จุดและ ๒๓ จุด สำหรับท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากตามลำดับ) เพื่อให้การเปลี่ยน

จุดที่วัดเป็นไปด้วยความสะดวกและรวดเร็ว จึงได้จัดวงจรดังแสดงในรูปที่ ๓-๗ วิธีวัดอุณหภูมิใช้โปเทนชิโอมีเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในคู่ควบอุณหภูมิเป็นมิลลิโวลท์ จากนั้นจึงใช้ตาราง[4] เทียบออกมาเป็นองศา

๓.๑.๖ อุปกรณ์อื่นๆ

พัดลม (Centrifugal fan) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด ๑.๕ แรงม้า ๓๘๐/๔๔๐ โวลท์ ๕๐ รอบ/วินาที ๓ เฟส กระแสสลับ กระแสไฟฟ้าขณะทำงานเต็มที่ ๒.๕ แอมแปร์ รอบหมุนขณะทำงานเต็มที่ ๒๘๖๐ รอบต่อนาที อัตราไหลของลมประมาณ ๑๐๐ CFM ที่ ๒๔ WG,

ปั๊ม เป็นชนิดปั๊มหอยโข่ง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด ๒๒๐/๒๔๐ โวลท์ ๕๐ รอบ/วินาที ๑ เฟส กระแสสลับ ความสามารถในการสูบ ๗๓๐/๑๕๐ GPMในช่วง ๑๐/๔๕ ft-hd

โปเทนชิโอมีเตอร์ แบบ P.๓ เบอร์ ๑๘๑๙๕ ของ Croydon Precision Instrument Co. สามารถวัดได้ละเอียดถึง ๑ ไมโครโวลท์ ซึ่งเมื่อเราใช้ ทองแดง-คอนสแตนตัน เป็นคู่ควบอุณหภูมิ ทำให้เราสามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียดประมาณ ๐.๐๓ K

๓.๒ วิธีทดลอง

เมื่อประกอบเครื่องมือเรียบร้อยมีลักษณะดังปรากฏในรูปที่ ๓-๑ วิธีการทดลองทั่วๆไปเหมือนกันทั้งสี่ท่อ ดังนั้นวิธีการทดลองที่บรรยายต่อไปนี้ จึงใช้ได้กับท่อทั้งสี่อัน หากมีรายละเอียดซึ่งของท่อแต่ละอันไม่เหมือนกัน จะได้ระบุเป็นกรณีไป

หลังจากตรวจสอบเครื่องมือจนเรียบร้อยแล้ว เปิดพัดลมโดยให้ฝาของกล่องระบายอากาศเปิดเต็มที่ นั่นคือมีอากาศไหลผ่านท่อทดลองน้อยที่สุด เพื่อลดงานของพัดลม จากนั้นเปิดปั๊มและ

---

[4]Beckwith T.G., and Lewis Buck N., "Mechanical Measurements", (1st ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1965), p.413.

[illegible]

เมื่อบันทึก [illegible] เพิ่มขึ้นอีก ๑ ขั้นตามที่กำหนดไว้ ประมาณ ๑๕ นาที เพื่อให้เครื่อง [illegible] ค่า [illegible] เดียวกับชุดแรก [illegible] แล้วจึงปรับอัตราไหลเพิ่มขึ้นอีก [illegible] สูงสุด สำหรับท่อทดลอง [illegible] ยาวทั้งท่อสาม [illegible] อัตราไหลสูงสุดประมาณ ๓.๒๒๓×๑๐^{-๒} ม.^{๓}/วินาที [illegible] ประมาณ ๓๐ ชุด [illegible] ท่อทดลองตัวสั้นทั้งสองตัวได้ค่าอัตราไหลสูงสุดประมาณ [illegible] ม.^{๓}/วินาที รวมได้ [illegible] ประมาณ ๒๕ ชุด เหตุที่อัตราไหลสูงสุด [illegible] ยาว เนื่องจาก [illegible] ท่อสั้นนั้น ที่อัตราไหลมาก [illegible] อากาศที่ออกจากท่อทดลองมีอุณหภูมิสูง [illegible] ของอากาศ [illegible] ทดลองก่อนข้างน้อย [illegible] ให้เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน [illegible] สูง ส่วนในกรณีของ [illegible] ยาว ปัญหา [illegible] จากมีพื้นที่สำหรับ [illegible] ความร้อนมาก [illegible]