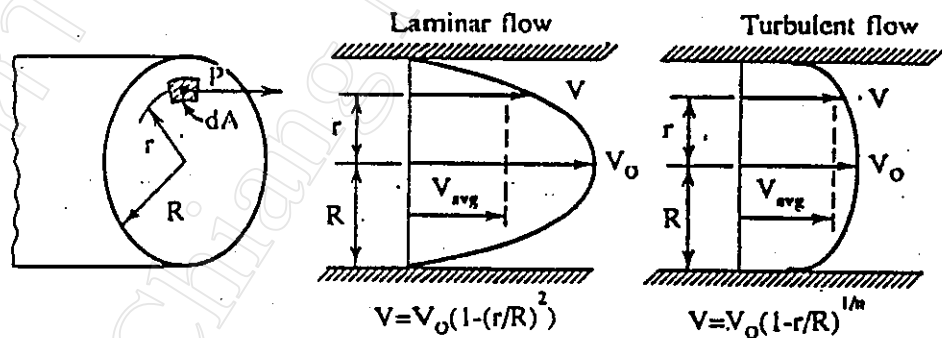


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในการควบคุมปริมาณการผลิตทางอุตสาหกรรม ระบบประปา ระบบน้ำร้อนในอาคาร ระบบขนถ่ายปิโตรเลียมก๊าซธรรมชาติ และระบบปรับอากาศในอาคาร การวัดอัตราการไหลของของไหลนับว่าเป็นสิ่งที่มีประโยชน์และจำเป็นอย่างยิ่ง โดยปริมาณดังกล่าวอาจแสดงอยู่ในรูปของ อัตราการไหลเชิงมวล หรือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร ซึ่งปริมาณนี้มีความเกี่ยวข้องกับความเร็วเฉลี่ยของการไหล ซึ่งในรูป 1.1 จะแสดงความเร็วของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆและความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ ทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน (Laminar and Turbulent)



รูป 1.1 แสดงความเร็วของไหล ณ ตำแหน่งต่างๆของการไหลภายในท่อ

(Dally *et al.*, 1983)

ในปัจจุบันเรามีเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่เป็นที่รู้จักกันดีและเที่ยงตรงอยู่หลายแบบเช่น แอนิโมมิเตอร์แบบลวดร้อนและฟิล์มร้อน (Hot wire and hot film anemometer) โรตاميเตอร์ (Rotameter) เครื่องมือวัดแบบก้างห่าน เครื่องวัดแบบคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic meter) แอนิโมมิเตอร์แบบเลเซอร์-ดอปเปลอร์ (Laser doppler anemometer) เครื่องมือวัดแบบใช้หลักการแม่เหล็ก (Magnetic flow meter) ซึ่งอุปกรณ์การวัด

เหล่านี้โดยมากแล้วมีหลักการทำงานที่ต้องอาศัยส่วนที่ใช้วัด (Sensor) สอดเข้าไปสัมผัสกับของไหลที่อยู่ในท่อ จะยกเว้นบ้างก็แต่เพียงเครื่องวัดแบบคลื่นความถี่เหนือเสียงและแอนิโมมิเตอร์แบบเลเซอร์-คอปเปิลอร์ และเนื่องจากอุปกรณ์วัดมีราคาสูง จึงทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในจุดที่สำคัญจริงๆ เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ การวัดด้วยวิธีดังกล่าวมาแล้ว บางครั้งจึงอาจก่อปัญหาในการวัดเมื่อต้องการทราบค่าอัตราการไหล ณ ตำแหน่งที่มีได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า เพราะต้องมีการหยุดเดินระบบการผลิตเพื่อทำการตัดต่อท่อและติดตั้งเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบ

งานวิจัยนี้จะมุ่งพัฒนาวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลของของไหลในท่อ โดยของไหลต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าถึงแนวคลื่นพอสสมทวร โดยอาศัยการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนผ่านผนังท่อและฉนวนความร้อน จากนั้นจะทำการทดสอบความเที่ยงตรงแม่นยำในการประยุกต์กับการไหลของน้ำมัน น้ำและอากาศ ซึ่งของไหลเหล่านี้ต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าถึงแนวคลื่นภายนอก ซึ่งการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยไม่ต้องสอดอุปกรณ์ตรวจวัดเข้าไปสัมผัสกับของไหล เพียงแต่วัดอุณหภูมิที่ผิวท่อและฉนวนตามแนวยาวของท่อเพื่อหาการกระจายของอุณหภูมิ จึงเป็นการสะดวกกว่าวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy audit) ซึ่งจำเป็นต้องทำการวัดอัตราการไหลในหลายๆ ตำแหน่งและโดยทั่วไปตำแหน่งที่ต้องการวัดมักมิได้มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลไว้ก่อนล่วงหน้า

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ใช้งานในปัจจุบัน

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่มีขายในท้องตลาดโดยทั่วไปสามารถให้ความเชื่อถือได้ค่อนข้างสูง แต่เมื่อลองพิจารณาถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละประเภทแล้วก็จะพบว่าอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้มักต้องทำการติดตั้งตายตัวอยู่กับท่อส่งของไหล เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ต้องอาศัยหัววัด (Sensor) คอยสัมผัสกับของไหลตลอดเวลา ซึ่ง Dally *et al.* (1983) เรียกอุปกรณ์วัดอัตราการไหลประเภทนี้ว่า Insertion-type transducer โดยสามารถแยกประเภทย่อยๆ ตามหลักการทำงานของหัววัด ที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

(1) ท่อปีโตสแตติก (Pitot-static tube)

เป็นอุปกรณ์ที่ขนาดกระทัดรัด ประหยัดติดตั้งง่าย มีความดันตกคร่อมเครื่องมือไม่มาก แต่ผิดพลาดได้ง่ายถ้ารูปแบบของความเร็วเปลี่ยนไปจากที่สอบเทียบไว้ และไม่เหมาะกับของไหลที่มีความสกปรก เป็นแบบที่ใช้วัดความเร็วของของไหลโดยตรง ปลายที่ใช้วัดจะมีการเจาะรู 2 รู อันหนึ่งใช้วัดความดันสถิต อีกส่วนอีกอันใช้วัดความดันที่เกิดจากความเร็ว โดยในรูป 1.2 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดแบบท่อปีโตสแตติก

(2) เครื่องมือวัดการไหลแบบลวดร้อน และ ฟิล์มร้อน (Hot-wire and Hot-film)

เป็นเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลที่มีความไว (Sensitivity) สูงตัวลวดมักทำจากพลาตินัมหรือ โลหะผสมของพลาตินัมกับอิริเดียม มักใช้วัดการไหลของก๊าซและอากาศ ส่วนแบบฟิล์มร้อนจะทนทานกว่าแบบลวดร้อนจึงมักใช้กับของเหลวและก๊าซที่มีสิ่งสกปรกสูง ลักษณะดังแสดงในรูป 1.3 อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถวัดความเร็วของไหลได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเซนเซอร์ โดยมักควบคุมให้ผลต่างอุณหภูมิของเซนเซอร์กับของไหลมีค่าคงที่ตลอดเวลา เมื่อนำไปใช้กับของไหลต้องระมัดระวังอุณหภูมิที่จะทำให้เซนเซอร์

สกปรก และหากของไหลนั้นสามารถนำไฟฟ้าได้ก็อาจเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสทำให้หัววัดเสียได้ หรือแม้กระทั่งการเกิดฟองของของไหลทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเปลี่ยนไป

(3) เครื่องมือวัดแบบอุณหภูมิแตกต่างคงที่ (Constant temperature difference)

Shane (1990) และ Medlock *et al.* (1990) อธิบายหลักการทำงานของเครื่องมือวัดประเภทนี้ว่าจะมีเซนเซอร์คอยวัดอุณหภูมิของไหลทั้งก่อนและหลังจากผ่านหลอดความร้อนแบบไฟฟ้า อุณหภูมิทั้งคู่นี้จะถูกประมวลผลและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะทำการรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนหลอดความร้อน เพื่อรักษาให้ผลต่างอุณหภูมิคงที่ค่าคงที่อยู่เสมอ ดังนั้นเมื่อเราวัดกำลังไฟฟ้าได้ก็สามารถทราบอัตราการไหลเชิงมวลได้อย่างง่ายดาย

(4) เครื่องมือวัดแบบอาศัยแรงต้านของของไหล (Drag-force velocity transducer)

เครื่องมือชนิดนี้อาศัยการวัดแรงต้านของของไหลที่กระทำกับพื้นที่ภาคตัดของวัตถุที่ตั้งฉากกับทิศการไหล (F_D) โดยแรงดังกล่าวสัมพันธ์กับสมการ

$$F_D = (C_D \rho V^2 A)/2 \quad (1.1)$$

$C_D = f(Re)$ แต่จะค่อนข้างคงที่เมื่อวัตถุเป็นแผ่นบางรูปร่างกลม ดังนั้นเมื่อกรณีใช้แผ่นกลมถ้าสามารถวัดแรง F_D ก็จะสามารถทราบอัตราการไหลได้จากความเร็ว (V) นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์วัดที่เรียกว่า โรตาริเตอร์ซึ่งก็อาศัยหลักการของแรงต้านจากของไหลเช่นกัน

(5) เครื่องมือวัดแบบกังหันหมุน (Turbine flow meter)

อาศัยการวัดความเร็วของใบพัดของมิเตอร์ที่จะหมุนตามความเร็วของของไหล

(6) เครื่องมือวัดแบบวอร์เทก (Vortex shedding transducer)

เมื่อของไหลไหลผ่านตัวกีดขวางการไหลที่มีลักษณะตัว T จะก่อให้เกิดกระแสไหลวนที่สร้างคลื่นความถี่ โดยความถี่นี้จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วการไหล ซึ่งสามารถใช้เซนเซอร์ที่ทำจากเทอร์มิสเตอร์ หรือผลึกกึ่งตัวนำ (Piezoelectric crystal) นำไปบรรจุในตัวกีดขวางการไหลผลึกดังกล่าวก็จะกำเนิดสัญญาณความถี่เท่ากับของกระแสไหลวน นำไปหาอัตราการไหลได้

นอกจาก Insertion-type transducer แล้ว ISO (1993) และ Halsey (1986) ยังสามารถจัดกลุ่มเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่อาศัยหลักการความดันที่เปลี่ยนไป (Pressure variation measurements) โดยลักษณะของเครื่องมือวัดกลุ่มนี้แสดงไว้ในรูป 1.4 และ 1.5 โดยมีชนิดย่อยๆดังนี้

(7) แบบเวนจูรี (Venturi meter)

มีส่วนที่มีลักษณะเป็นท่อเรียวเล็กลง (Converging) ส่วนคอ (Throat) และส่วนผายออก (Diverging) ใช้ต่อเข้าเป็นส่วนหนึ่งกับระบบท่อ มีขนาดสำหรับท่อกลมตั้งแต่ 2 “ -30” สามารถวัดอัตราการไหลได้จากการวัดความดันแตกต่างของขาเข้า และขาออกจากกึ่งกลางอุปกรณ์

(8) แบบนอซเซิล (Flow nozzle)

เหมาะสำหรับของไหลที่มีความเร็วสูง และสามารถทนการเสียดสีได้ดีกว่าแบบออร์ฟิซสามารถใช้งานได้ดีทั้งของไหลที่เป็นก๊าซ และของเหลว ราคาสูงกว่าแบบออร์ฟิซ

(9) แบบออร์ฟิซ (Orifice meter)

มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆเจาะรูตรงกลางหรือเยื้องศูนย์กลางก็ได้ มีความดันตกคร่อมมากกว่าอุปกรณ์วัดที่ใช้หลักการเดียวกัน แต่ก็สามารถใช้กับของไหลความหนืดสูงๆได้

(10) แบบข้องอ (Elbow meter)

อาศัยข้องอเป็นตัวสร้างความดันแตกต่างแล้ววัดความดันแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังเข้าอุปกรณ์ เหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากนัก และการไหลต่ำมาก

และเครื่องมือวัดอัตราการไหลประเภทอื่นๆ (Miscellaneous flow measurement methods for closed system) ดังนี้

(11) แบบคาปิลลารี (Capillary flow meter)

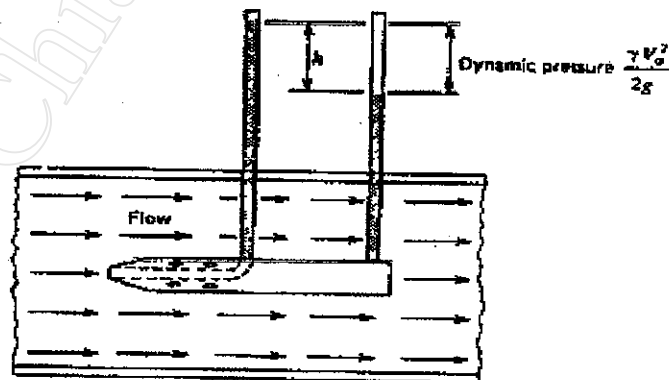
อุปกรณ์นี้ใช้วัดอัตราการไหลที่ค่าน้อยมากๆได้ดี โดยอาศัยหลักการของ Hagen-Poiseuille ที่ว่า $(P_1 - P_2)/\gamma = (32\mu L/V)/(\gamma D^4)$ เมื่อ L คือ ความยาวของท่อคาปิลลารี นั่นคือถ้าทราบผลต่างของความดันก่อนและหลังเข้าอุปกรณ์ก็จะทราบอัตราการไหล โดยอุปกรณ์นี้ต้องมีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 2000

(12) แบบแทนที่ด้านบวก (Positive-displacement flow meter)

แต่ละรอบการหมุนของอุปกรณ์จะแบ่งของไหลออกเป็นห้วงแต่ละห้วงมีปริมาตรที่แน่นอน ดังนั้นอัตราการไหลจึงขึ้นกับจำนวนห้วงที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง มักใช้ในการวัดที่มีการซื้อขายของไหล เช่น น้ำประปา น้ำมัน ก๊าซ

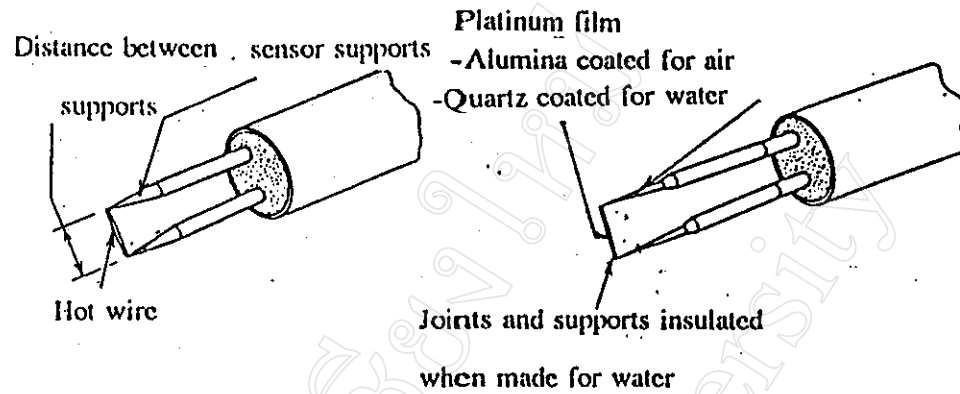
(13) แบบเลเซอร์ดอปเปลอร์และคลื่นเหนือเสียง (Laser-doppler and Ultra-sonic anemometers)

สมศักดิ์ กิตติวิเศษ (2539) อธิบายหลักการของอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์ดอปเปลอร์ว่า อาศัยการส่งคลื่นความถี่ออกไปกระทบกับอนุภาคที่ไหลปนมากับของไหล แล้วคลื่นที่สะท้อนกลับมามีความถี่ต่างไปจากเดิมซึ่งแปรผันตรงกับความเร็วกการไหล ส่วนแบบคลื่นความถี่เหนือเสียงจะอาศัยหลักการว่าความเร็วคลื่นจะเพิ่มมากกว่าเดิมเมื่อคลื่นเดินทางไปทางเดียวกันกับของไหล และในทางกลับกันคลื่นจะเดินทางช้าลงเมื่อไปคนละทางกับของไหล ดังนั้นจึงต้องหาผลต่างของช่วงเวลาทั้ง 2 ประเภท ก็จะสามารถหาอัตราการไหลได้ และลักษณะของเครื่องมือวัดแบบเลเซอร์ดอปเปลอร์แสดงไว้ในรูป 1.6

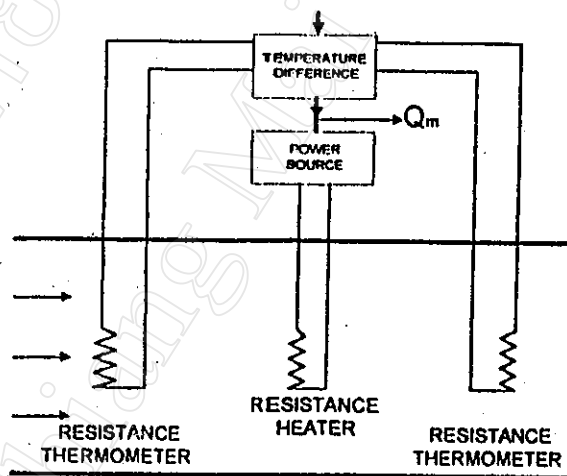


รูป 1.2 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบท่อปีโตต์สแตติก

(Dally et al., 1983)



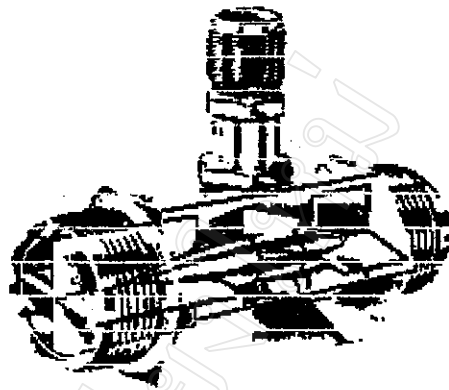
ก. เครื่องวัดแบบลวดร้อนและฟิล์มร้อน



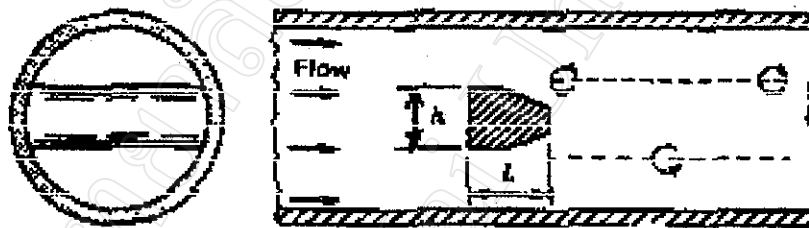
ข. เครื่องวัดแบบอุณหภูมิแตกต่างคงที่

รูป 1.3 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ

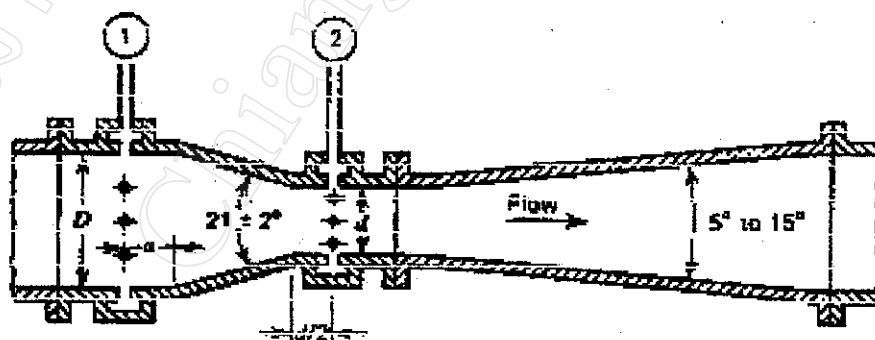
(Rosaler, 1983) และ (Dally *et al.*, 1983)



ก. เครื่องมือวัดแบบก้านหมุน



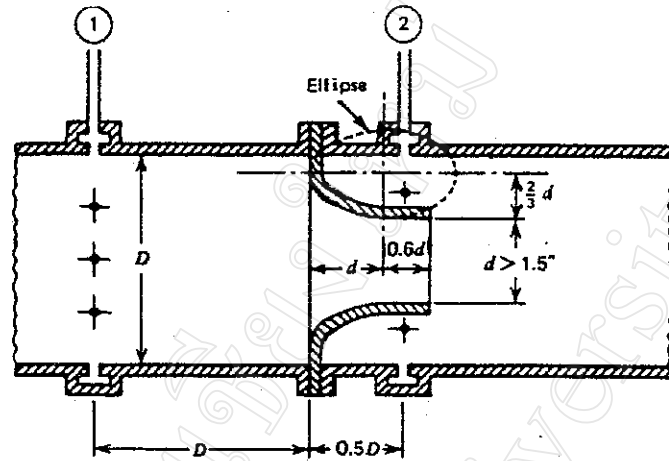
ข. เครื่องวัดแบบวอร์เทก



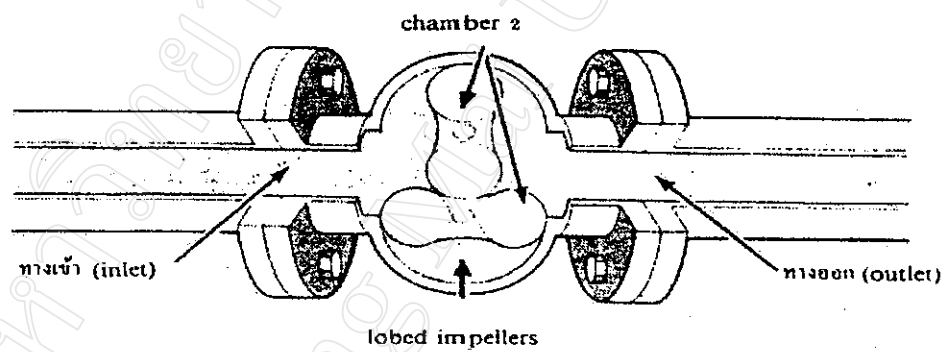
ค. เครื่องมือวัดแบบเวนจูรี

รูป 1.4 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ (ต่อ)

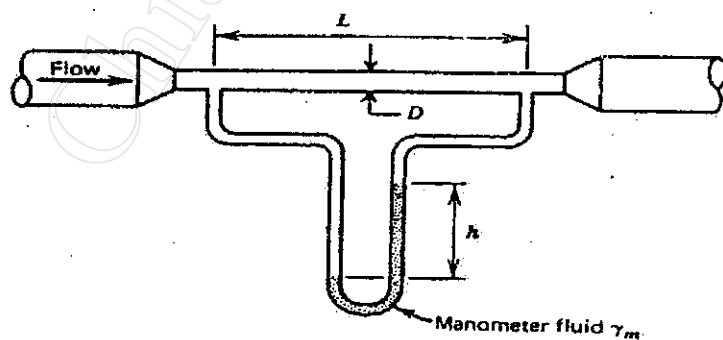
(Dally *et al.*, 1983)



ก. เครื่องมือวัดแบบนอซเชิล



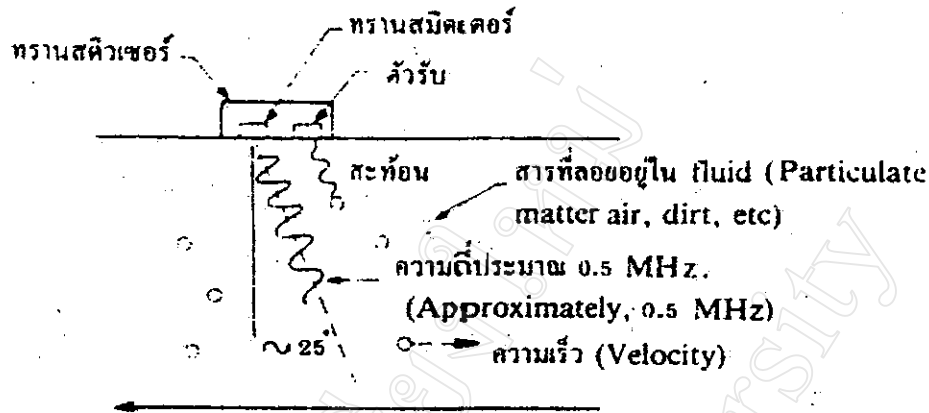
ข. เครื่องมือวัดแบบแทนที่ทางคำนวณ



ค. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบคาปิลลารี

รูป 1.5 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ (ต่อ)

(Dally *et al.*, 1983) และ (สมศักดิ์ กิริติวุฒิสรรพ, 2539)

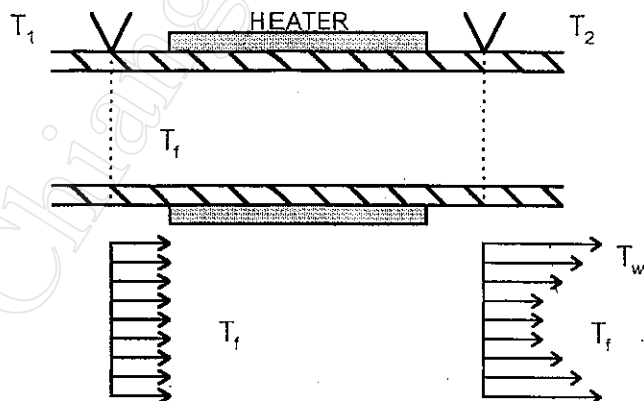


รูป 1.6 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบเลเซอร์คอปเปิลอร์
(สมศักดิ์ กิริตวุฒิสรรพ, 2539)

1.2.2 งานวิจัยที่พัฒนาการวัดอัตราการไหลโดยหลักการทางความร้อน

จากที่กล่าวแล้วจะพบว่าในเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่มีแพร่หลายในห้องทดลองนั้นมียุทธศาสตร์ที่อาศัยหลักการทางความร้อนในการทำงาน ดังนั้นจึงมีผู้เสนอให้นำหลักการนี้มาปรับปรุงใช้ในการวัดอัตราการไหลดังนี้

Wijeyesundera *et al.* (1987) เสนอให้ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Thermal flow meter ในการประเมินอัตราการไหลในท่อ โดยการให้ความร้อนแก่ของไหลในท่อจากแหล่งความร้อนภายนอกท่อ แล้วทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อสองตำแหน่ง ทั้งก่อนและหลังให้ความร้อน



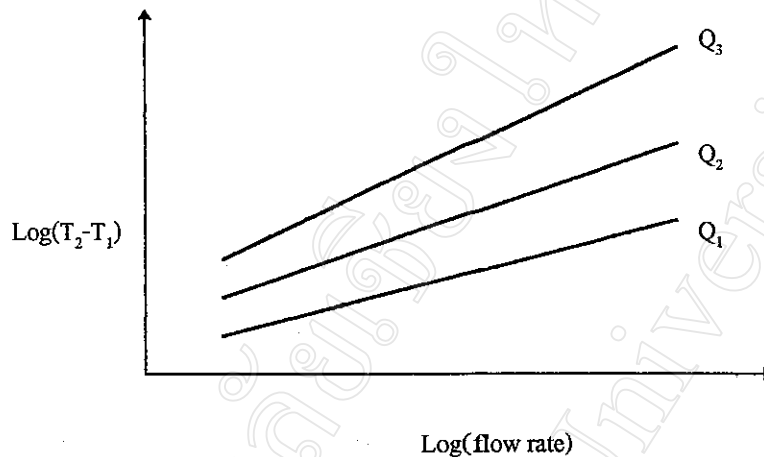
รูป 1.7 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลของ Wijeyesundera *et al.* (1987)

กรณีที่ไม่นำความร้อนที่ผิวดังนั้นจากแหล่งความร้อนภายนอกจะมีความสัมพันธ์ว่า

$$Q = hA(T_w - T_f) = hA(T_2 - T_1) \quad (1.2)$$

$$h = f(\dot{m}) \quad (1.3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน Q อุณหภูมิแตกต่าง $(T_2 - T_1)$ กับอัตราการไหลเชิงมวล $\dot{m}$ ได้ถูกนำมาสร้างเป็น Calibration curve ดังตัวอย่างในรูป 1.7 ซึ่งเป็นการไหลของน้ำในท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.3 mm



รูป 1.8 แสดงลักษณะ calibration curve คร่าวๆ ของ Wijesundera *et al.* (1987)

กรณีที่ใช้ หน้าแปลนแบบมีฉนวนและแบบไม่มีฉนวนกราฟที่ได้จะแตกต่างออกไปบ้างอันเนื่องมาจากการนำความร้อนตามแนวยาวของท่อ ข้อได้เปรียบของการประมาณอัตราการไหลวิธีนี้คือไม่จำเป็นต้องวัดอุณหภูมิของไหลที่อยู่ภายในท่อ หากแต่ยังมีข้อเสียคือต้องมีแหล่งความร้อนภายนอกคอยป้อนพลังงานให้กับของไหลขณะทำการประมาณ และของไหลที่มีอุณหภูมิสูงอยู่แล้วไม่เหมาะกับวิธีนี้ อีกทั้งในการไหลจริง $T_2 \neq T_w$ และ $T_1 \neq T_f$

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์และประสิทธิ์ โฉมงาม(2533) ได้เสนอวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลในท่อโดยอาศัยความร้อนที่สูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมมาช่วยในการคำนวณ โดยอาศัยวิธีคำนวณที่ไม่ซับซ้อน เพียงแต่ทราบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนและท่อ ตลอดจนชนิดและสมบัติของไหล เมื่อจะทำการวิเคราะห์ก็ทำการวัดอุณหภูมิที่หัวและท้ายท่อตามความยาวที่พิจารณาโดยวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อและผิวฉนวน รวมแล้วมีตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิเพียง 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการคำนวณด้วยการลองค่า (Trial and error) เพื่อหาอัตราการไหลจาก

$$\dot{m} = Q / (T_f - T_w) \quad (1.4)$$

เมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อน Q ทำการอินทิเกรตผลต่างอุณหภูมิผิวท่อกับผิวฉนวน $(T_w - T_f)$ ตลอดทั้งความยาวที่พิจารณาภายใต้สมมุติฐานว่า อุณหภูมิผิวท่อ และผิวฉนวนมีการกระจายตัวเป็นสมการเส้นตรง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลภายในท่อสามารถหาได้จาก

การไหลแบบราบเรียบ

$$h = (3.66 k/D_p) \quad (1.5)$$

การไหลแบบปั่นป่วน

$$h = (0.023 Re_D^{0.8} Pr^{0.3} k)/D_i \quad (1.6)$$

จากการทดสอบความเชื่อถือได้ขั้นต้นของวิธีการนี้ โดยการประมาณอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลในท่อกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33.4 และ 60.3 มิลลิเมตร กับอัตราการไหลสองค่าคือที่ 43.2 kg/hr และ 57.6 kg/hr และลองเพิ่มระยะห่างของตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการประมาณมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าจริงเมื่อระยะห่างของตำแหน่งที่วัดมีค่ามากกว่า 2.5 เมตร

หากกล่าวโดยสรุปถึงวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลของ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ ประสิทธิ์ โจมงาม (2533) จะพบว่า

- ก. การคำนวณหาความร้อนสูญเสียที่ผ่านฉนวนเป็นการตั้งสมมุติฐานว่าอุณหภูมิผิวท่อและผิวฉนวนมีการกระจายอุณหภูมิตามแนวยาวเป็นสมการเส้นตรง
- ข. การประยุกต์ใช้งานยังมีข้อจำกัดการใช้งานโดยระยะห่างที่จะวัดอุณหภูมิต้องมากกว่า 2.5 เมตร จึงจะให้การประมาณใกล้เคียงความจริง และไม่ได้ระบุค่าความถูกต้องจากการใช้วิธีดังกล่าว
- ค. ยังขาดข้อมูลการทดสอบกับของไหลสถานะก๊าซ เช่น อากาศ และของเหลวเช่น น้ำมัน เป็นต้น
- ง. มีเพียงการทดสอบกับท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 33.4 และ 60.3 มิลลิเมตร ยังขาดการทดสอบกับท่อน้ำตัดแบบอื่นๆ

1.2.3 แนวทาง ปรับปรุงการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลด้วยความร้อน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เราสามารถสังเกตว่า แนวทางประมาณค่าอัตราการไหลโดยอาศัยหลักการทางความร้อนตามวิธีของ Wijeysondera *et al.* (1987) มีสิ่งที่น่าสนใจคือ สามารถประมาณค่าได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบตัวแปรอื่นๆภายในท่อ แต่มีข้อเสียเปรียบที่ต้องจัดหาแหล่งความร้อนภายนอกเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลภายในท่อ นั่นคือถ้าของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้วย่อมเกิดอุปสรรคในการใช้การประมาณวิธีนี้ แต่วิธีการประมาณอัตราการไหลของ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์และประสิทธิ์ โจมงาม (2533) สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมอีกทั้งเป็นการอาศัยหลักการทางความร้อนเช่นเดียวกัน หากแต่วิธีนี้ตั้งสมมุติฐานว่าอุณหภูมิผิวท่อและผิวฉนวนมีการลดลงเป็นสมการเส้นตรง ซึ่งจริงแล้ว Kutateladze and Borishanskii (1966) เสนอว่าการกระจายของอุณหภูมิผิวของท่อยาวที่อยู่ในตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นจึงเป็นการน่าสนใจที่จะปรับปรุงสมมุติฐานการกระจายอุณหภูมิของผิวท่อและผิวฉนวนให้เป็นสมการเอกซ์โพเนนเชียล และปรับสมการในการคำนวณให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งเรายังสามารถเพิ่มข้อมูลการทดสอบความเชื่อถือได้ของวิธีการประมาณอัตราการไหลเชิงมวลภายหลังปรับปรุงแล้วกับของไหลให้หลากหลายกว่าเดิมทั้งของเหลวและก๊าซ รวมถึงการทดสอบกับท่อที่มีภาคตัดไม่กลม

Olin (1993) เสนอให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่อาศัยหลักการทางความร้อนเพราะสามารถลดค่าลงทุนโดยรวมได้มาก ดังนั้นวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลโดยการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้หาข้อมูลอัตราการไหลได้จริงและแพร่หลายในอนาคต เพราะการคำนวณทางตัวเลขก็สามารถทำได้ง่ายในยุคที่คอมพิวเตอร์มีความสามารถสูง อีกทั้งต้องการทำ

การวัดเพียงอุณหภูมิ ซึ่งอุปกรณ์วัดก็สามารถหาได้สะดวก และไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวจึงทำให้ค่าบำรุงรักษาต่ำ ทำให้ค่าลงทุนต่ำกว่าเครื่องมือวัดประเภทอื่น ซึ่งอุปกรณ์ที่มีค่าลงทุนโดยรวมต่ำเช่นนี้ สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มาก

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลกรณีของเหลวและอากาศ จากการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย ทั้งในท่อกลมและท่อเหลี่ยม

1.3.2 เพื่อหาเงื่อนไขที่เทคนิคข้างต้นเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้ทราบถึงวิธีการประมาณอัตราการไหลเชิงมวลของของไหล โดยการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้

1.4.2 ได้ทราบถึงขีดจำกัด ข้อดี และข้อเสียของการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลด้วยวิธีดังกล่าว

1.4.3 ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการประมาณอัตราการไหลเชิงมวล และสามารถเลือกใช้วิธีการประมาณค่าดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม

1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.5.1 งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลที่มีการเสนอไว้แต่เดิม โดยอาศัยหลักการความร้อนสูญเสีย พร้อมทั้งศึกษาความเที่ยงตรงแม่นยำ ของการประยุกต์ใช้งานที่อัตราการไหลต่างๆ ซึ่งมีทั้งการไหลในช่วงราบเรียบ (Laminar flow) ช่วงการไหลแบบทรานสิชัน (Transition flow) และช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

1.5.2 ของไหลที่ทำการทดสอบเป็นของไหลที่มีอุณหภูมิระหว่าง 50-90 องศาเซลเซียส มี 3 ชนิดคือ

- (1) อากาศ เป็นตัวแทนของไหลในสถานะก๊าซ
- (2) น้ำมันสำหรับงานถ่ายเทความร้อน (Heat transfer oil)
- (3) น้ำ

1.5.3 ท่อที่ทำการทดสอบมี 4 แบบดังนี้

- (1) ท่อกลมสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร(4 นิ้ว) ทดสอบกับอากาศ
- (2) ท่อกลมเหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) ทดสอบกับอากาศ
- (3) ท่อภาคตัดสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยมขนาด 101.6×101.6 ตารางมิลลิเมตร (4"×4") ทดสอบกับอากาศ
- (4) ท่อกลมเหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทดสอบกับ น้ำมัน และน้ำ

1.5.4 ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อเป็นฉนวนยางสีดำแบบเซลล์ปิด(Closed cell insulator) หนา 6.35 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) และในการคำนวณใช้ค่า การนำความร้อนของฉนวน(k_f)มีค่าคงที่ คือ $0.0375 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ (ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และประสิทธิ์ โฉมงาม , 2533)