

การออกแบบเพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซแบบปฐมภูมิ Improvement Design of Primary Standard for Gas Flow Measurement

ขนิษฐา ลีแดง^{1*}, อธิราชย์ ชินารักษ์และธวัช ช่างปั้น

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 3/4-5 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: khanistha@nimt.or.th, โทรศัพท์ 025775100, โทรสาร 025773659

บทคัดย่อ

เครื่องมือมาตรฐานการสอบเทียบอัตราการไหลแบบปฐมภูมิหรือ Bell Prover เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซที่ช่วงการวัดอัตราการไหลต่ำ ที่มีอยู่ในสถาบันมาตรวิทยาในประเทศต่างๆ ซึ่งมีราคาสูงและระดับน้ำมันในถังไม่คงที่ในระหว่างการสอบเทียบซึ่งเป็นปัญหาที่กระทบต่อความแม่นยำในการวัดอัตราการไหล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) จึงออกแบบ Bell Prover เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการออกแบบถังน้ำมันด้านข้างเพื่อทำให้ระดับน้ำมันคงที่ขณะทำการสอบเทียบ ส่วนสำคัญในการออกแบบ Bell Prover คือการทดน้ำหนักเพื่อรักษาแรงดันภายในถังขณะทำการสอบเทียบให้มีค่าคงที่ประมาณ 2 นิ้วน้ำ (Inch of water) โดยผลที่ได้จากการวัดแรงดันภายในถังตลอดช่วงการสอบเทียบมีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.03 นิ้วน้ำ

คำหลัก: การสอบเทียบอัตราการไหล, เครื่องวัดอัตราการไหล, Bell Prover

Abstract

The primary standard for gas flow “Bell prover” has been used for calibrating gas flow at low flow rate. Bell prover also exists in other National Metrology Institutes NIMs. However, the accuracy and uncertainty in flow measurement is affected by the oil level in the moving tank. Thus, the bell prover at National Institute of Metrology Thailand (NIMT) has a new design by adding a small oil tank and using counter weight. Both of additional elements control the pressure inside the bell at 2 inch of water with the deviation of ± 0.03 inch of water

Keywords: Calibration of Flow, Flow Meter, Bell Prover

1. บทนำ

Bell Prover เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรแบบปฐมภูมิ โดยใช้ถังปริมาตรในการกักเก็บก๊าซเทียบกับเวลาที่จุดต่างๆ ซึ่งในระหว่างการทำงานนั้นระดับแรงดันภายในถังปริมาตรต้องมีค่าคงที่ เนื่องจากก๊าซเป็นของไหลที่มีคุณสมบัติบีบอัดตัวได้ส่งผลต่อผลการวัดอัตราการไหลโดยตรง ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการควบคุมแรงดันคือ ต้มน้ำหนักจำนวน 2 ต้มที่อยู่ด้านข้างและด้านบนของถัง (ดังแสดงในรูปที่ 1) นอกจากนี้ระดับน้ำมันภายในถังที่ทำหน้าที่ไม่ให้อากาศรั่วซึมออกนอกถังขณะทำงาน ยังมีผลต่อการวัดอัตราการไหลของก๊าซอีกด้วย

^[1]Bell Prover (ดังแสดงในรูปที่ 1) มีส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อการวัดคือ ต้มน้ำหนักจำนวน 2 ต้มคือ ต้มน้ำหนัก 1 , ต้มน้ำหนัก 2 ,CAM Profile และถังปริมาตร ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีส่วนสำคัญในการทำหน้าที่ควบคุมแรงดันภายในถังและกักเก็บปริมาตรสำหรับแปลงเป็นอัตราการไหลตามลำดับ ต้มน้ำหนัก 1 ทำหน้าที่ในการรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ขณะทำการสอบเทียบและ ต้มน้ำหนัก 2 ทำหน้าที่ในการทดแรงให้เกิดความสมดุลขณะทำงาน เนื่องจากถังปริมาตรขณะลอยขึ้นจากระดับน้ำมันที่ระดับความสูงต่างๆ ขณะทำการสอบเทียบจะทำให้หน้าหนักของถังปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเพื่อให้แรงดันภายในถังมีค่าคงที่ ต้มน้ำหนักที่ใช้ต้องมีการคำนวณโดยใช้หลักการโมเมนต์เพื่อทดแรงให้เกิดความ

สมดุลระหว่างถังปริมาตรที่เคลื่อนที่ขึ้นลงในน้ำมันกับตุ้มน้ำหนัก 2 และตุ้มน้ำหนัก 1

หลักการการทำงานของ Bell Prover

Bell Prover เป็นเครื่องสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซเชิงปริมาตรแบบปฐมภูมิ เหมาะสำหรับการวัดอัตราการไหลของก๊าซในช่วงการไหลต่ำ การสอบเทียบอัตราการไหลโดยมีทิศทางการไหลของก๊าซ (ดังแสดงในรูปที่ 1) เริ่มจากการจ่ายก๊าซเข้าไปภายในถังปริมาตรทางเข้าก๊าซ ซึ่งก๊าซที่เข้าไปจะไหลลงด้านล่างของถังและลอยขึ้นเข้าไปทอภายในถังปริมาตรเข้าสู่ถังปริมาตรที่ถูกแขวนอยู่กับลวดสลิง ทำให้ถังปริมาตรลอยขึ้นพร้อมกับจับเวลาขณะที่เริ่มต้นและจบการทำงาน ซึ่งในขณะที่ถังปริมาตรลอยขึ้นนั้นต้องไม่มีการรั่วซึมของก๊าซออกจากระบบและมีการออกแบบถังปริมาตรเพื่อติดตั้งเครื่องวัดแรงดันและเครื่องวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบนของถังปริมาตรเพื่อวัดค่าแรงดันและอุณหภูมิของก๊าซสำหรับใช้เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซ เนื่องจากอุณหภูมิและแรงดันภายในถังปริมาตรส่งผลต่อการวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรโดยตรง การคำนวณอัตราการไหลของระบบในกรณีแรงดันและอุณหภูมิมีค่าคงที่ตลอดการทำงาน สามารถหาได้จากสมการ

$$Q = \frac{V}{t} \tag{1}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
t = เวลา (นาที)

เนื่องจากก๊าซเป็นของไหลที่มีสถานะถูกบีบอัดได้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องรักษาระดับแรงดันภายในถังปริมาตรให้มีค่าคงที่ในช่วงที่สามารถรับได้และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดมากเกินไปที่จะยอมรับได้

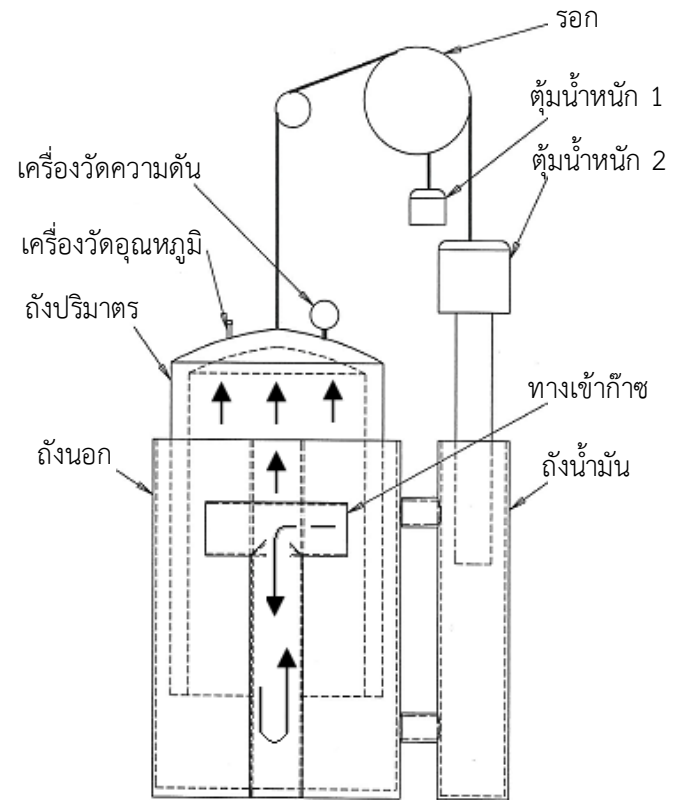
2. ส่วนประกอบของ Bell Prover

Bell Prover มีส่วนประกอบต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการสร้างความสมดุลของระบบ เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการออกแบบส่วนต่างๆ ของระบบล้วนมีผลต่อการวัดอัตราการไหลทั้งสิ้น โดย Bell Prover มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

2.1 ตุ้มน้ำหนัก 1

เป็นตุ้มน้ำหนักขนาดเล็กติดตั้งบริเวณรอกใหญ่ด้านบนของ Bell Prover ทำหน้าที่ในการสร้างความ

สมดุลของระบบ โดยการต่อน้ำหนักของถังปริมาตรให้เท่ากับตุ้มน้ำหนัก 2 ในระหว่างกระบวนการทำงานเนื่องจากขณะทำงานนั้นถังปริมาตรจะค่อยๆลอยขึ้นจากน้ำมันทำให้น้ำหนักของถังปริมาตรมีมากขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแรงดันภายในถังปริมาตร



รูปที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Bell Prover และทิศทางการไหลของก๊าซ

2.2 ตุ้มน้ำหนัก 2

เป็นตุ้มน้ำหนักมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกติดตั้งบริเวณด้านข้างของถัง ตุ้มน้ำหนัก 2 ทำหน้าที่ในการรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ ซึ่งใช้หลักการแทนที่ของปริมาตร โดยปริมาตรของตุ้มน้ำหนัก 2 ที่จมลงในน้ำมันขณะทำงานต้องมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของถังปริมาตรที่ลอยขึ้น ดังนั้นการออกแบบตุ้มน้ำหนัก 2 จึงต้องออกแบบให้ปริมาตรของตุ้มน้ำหนัก 2 ที่จมในน้ำมันมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของถังปริมาตรที่จมในน้ำมันและน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 ควรมีน้ำหนักน้อยกว่าถังปริมาตร โดยผลต่างของน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 กับถังปริมาตรจะส่งผลต่อระดับแรงดันภายในถังปริมาตร กล่าวคือถ้าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 น้อยกว่าถังปริมาตรมากจะส่งผลให้ระดับแรงดันภายในถังปริมาตรสูง แต่ถ้า



น้ำหนักของตัมน้ำหนัก 2 น้อยกว่าถึงปริมาตรน้อยจะส่งผลให้ระดับแรงดันภายในถึงปริมาตรน้อยตามไปด้วย

2.3 ถังนอก

ถังนอกมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในบรรจุ น้ำมันเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศออกจากระบบระหว่างการ ทำงาน ดังนั้นการออกแบบถังนอกจำเป็นต้องออกแบบให้ ถึงมีความสูงมากกว่าถึงปริมาตรเพื่อป้องกันน้ำมัน กระเด็นออกจากถึงเมื่อถึงปริมาตรลอยขึ้นเหนือระดับ น้ำมัน

2.4 ถังน้ำมัน

ถังน้ำมันมีลักษณะเป็นทรงกระบอกติดตั้งบริเวณ ด้านข้างของ Bell Prover ทำหน้าที่รักษาระดับน้ำมันให้ คงที่ระหว่างกระบวนการทำงานโดยอาศัยการแทนที่ ปริมาตรของตัมน้ำหนัก 2 และใช้ในการสังเกตระดับ น้ำมันระหว่างการทำงานของ Bell Prover ซึ่งการ ออกแบบจุดเชื่อมต่อระหว่างถังนอกกับถึงน้ำมันต้อง ออกแบบให้มีขนาดกว้างพอที่น้ำมันสามารถถ่ายเท ระหว่าง 2 ถึงได้อย่างรวดเร็วจนสามารถสังเกตการ เปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมันได้ เพื่อใช้เป็นจุดในการ สังเกตการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมันภายในถึง ก่อนเริ่ม การทำงาน ขณะทำงานและหลังการทำงานของระบบ

2.5 ถึงปริมาตร

ถึงปริมาตรเป็นส่วนที่มีความสำคัญของระบบ มี ลักษณะเป็นทรงกระบอกคล้ายระฆังคว่ำที่ต้องมีการขึ้น รูปร่างพิถีพิถัน ต้องไม่มีรอยบุบ รอยขีดหรือรอยเชื่อม อันส่งผลให้ค่าความเป็นทรงกระบอกผิดเพี้ยนไป เนื่องจากผลการวัดอัตราการไหลจะใช้ปริมาตรที่วัดได้ จากถึงปริมาตรนี้ในการคำนวณหาอัตราการไหลที่ได้จาก การสอบเทียบ การติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆภายในถึง ปริมาตรต้องคำนึงถึงสมดุลของถึงเพื่อไม่ให้ถึงเอียงไปด้าน ใดด้านหนึ่งขณะทำงาน

ในที่นี้การวัดเพื่อหาปริมาตรของถึงปริมาตร โดยใช้ $\pi - tape$ วัดเส้นรอบวงของถึงปริมาตรที่ระดับความสูง ต่างๆ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรของถึงปริมาตร สามารถคำนวณได้จาก^[2]

$$V = \pi r^2 \times L \quad (3)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของถึงปริมาตร (ลบ.ซม.)

L คือ ความสูงของถึงปริมาตร (ซม.)

จากตารางที่ 1 แสดงผลที่ได้จากการวัดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของถึงปริมาตรโดยใช้ $\pi - tape$ ที่ระดับความ สูงต่างกันจำนวน 6 จุด พบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของถึงปริมาตรใกล้เคียงกันทำให้ผลต่างของปริมาตรที่ ระดับความสูงต่างๆ ของถึงมีค่าใกล้เคียงกันและสามารถ ยอมรับได้ โดยผลที่ได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังกล่าวจะนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการไหลและค่า ความไม่แน่นอนในการวัดต่อไป

ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ถึงปริมาตร

ความสูงของ ถึงปริมาตร (ซม.)	เส้นรอบวงของ ถึงปริมาตร (ซม.)	ปริมาตรถึง (ลิตร)	ผลต่าง ปริมาตร (ลิตร)
10	157.2	19.36	19.36
20	157.1	38.69	19.33
30	157.2	58.06	19.37
40	157.2	77.41	19.35
50	157.1	96.73	19.32

2.6 น้ำมัน

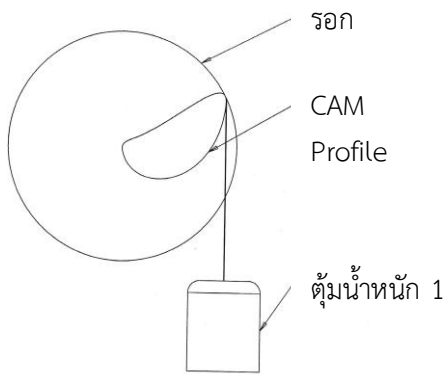
^[3]น้ำมันที่ใช้ต้องเป็นน้ำมันเหมาะกับการทำงานของ Bell Prover และมีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดที่ เหมาะสม เนื่องจากค่าความหนาแน่นของน้ำมันส่งผลต่อ การคำนวณน้ำหนักของถึงปริมาตรและตัมน้ำหนัก 2 ส่วน ค่าความหนืดจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของถึงปริมาตร ใน ที่นี้เลือกใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่น 888 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร และค่าความหนืด 9.0 นิวตันวินาทีต่อ ตารางเมตร

2.7 CAM Profile

เป็นส่วนประกอบที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษสำหรับ Bell Prover เฉพาะตัว (ดังแสดงในรูปที่ 2) ติดตั้งกับรอกเพื่อ แขนงตัมน้ำหนัก 1 ที่ได้จากการคำนวณตามหลักการ โมเมนต์ตามแนวแกนหมุนของรอกดังแสดงในรูปที่ 2 CAM Profile เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดของ Bell Prover ทำหน้าที่สร้างสมดุลระหว่างถึงปริมาตรกับตัม น้ำหนัก 2 โดยใช้ตัมน้ำหนัก 1 ในการทดแรงให้เกิดความ สมดุล และควบคุมแรงดันภายในถึงปริมาตร

3. การคำนวณ CAM Profile

การคำนวณ CAM Profile ที่ถูกต้องจะส่งผลให้แรงดันภายในถังปริมาตรมีค่าคงที่ โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ น้ำหนักของถังปริมาตร น้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 1 และตุ้มน้ำหนัก 2 การออกแบบ CAM Profile แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณระยะห่างระหว่างตุ้มน้ำหนัก 1 กับจุดศูนย์กลางของรอกและการคำนวณการเคลื่อนที่ของถังปริมาตรที่แปรผันกับการหมุนของรอก



รูปที่ 2 แสดงลักษณะ CAM Profile ที่ติดอยู่กับรอกของ Bell Prover

3.1 การคำนวณระยะห่างของตุ้มน้ำหนัก 1

การคำนวณระยะห่างจากจุดศูนย์กลางรอกเพื่อแขวนตุ้มน้ำหนัก 1 เป็นการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีโมเมนต์สมดุลที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตุ้มน้ำหนัก 2 ต่อกับถังปริมาตร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M_3 = M_1 + M_2 \quad (4)$$

- เมื่อ M_3 = มวลของถังปริมาตรขณะจมน้ำมัน
 M_1 = มวลของตุ้มน้ำหนัก 1 ที่ระยะต่างๆ
 M_2 = มวลของตุ้มน้ำหนัก 2 ขณะจมน้ำมัน

จากสมการที่ 2 พบว่า M_3 คือมวลของถังปริมาตรขณะจมน้ำมัน คำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักของถังปริมาตรที่ได้จากการออกแบบขนาดของถังปริมาตรตามช่วงอัตราการไหลที่ต้องการวัดที่ทราบน้ำหนักแน่นอนกับน้ำหนักของถังปริมาตรที่จมน้ำมัน เนื่องจากขณะที่ถังปริมาตรจมน้ำมันที่ระดับต่างๆ เกิดแรงพยุงตัวจากน้ำมัน ทำให้น้ำหนักปริมาตรมี

น้ำหนักลดลง M_1 คือมวลของตุ้มน้ำหนัก 1 ที่ระยะต่างๆ หมายถึง แรงที่เกิดขึ้นจากการแขวนตุ้มน้ำหนัก 1 ที่ระยะต่างๆ จากจุดศูนย์กลางรอก (R) และ M_2 คือมวลของตุ้มน้ำหนัก 2 ขณะจมน้ำมัน คำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 ที่ได้จากการออกแบบขนาดของตุ้มน้ำหนัก 2 ที่สอดคล้องกับถังปริมาตรเพื่อรักษาระดับน้ำมันกับน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 ที่จมน้ำมัน โดยผลการคำนวณ CAM Profile แสดงในตารางที่ 2

3.2 การคำนวณการเคลื่อนที่ของถังปริมาตรที่แปรผันกับการหมุนของรอก

เมื่อเรารู้ระยะห่างที่ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างตุ้มน้ำหนักทั้ง 2 ต่อกับถังปริมาตรที่ทำให้แรงดันภายในถังปริมาตรคงที่แล้ว จะต้องคำนวณมุมของระยะห่างในช่วงการหมุนของรอกที่ตำแหน่งต่างๆ โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{h \times 360}{2\pi r} \quad (3)$$

- เมื่อ θ = มุมของระยะในช่วงการหมุนของรอก (°)
 h = ระยะที่ถังปริมาตรลอยขึ้น (ซม.)
 r = รัศมีของรอก (ซม.)

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณเพื่อสร้าง CAM Profile

h (ซม.)	R (ซม.)	θ (°)
50	23.6	14.3
100	47.1	28.7
150	70.7	43.0
200	94.2	57.3
250	117.8	71.7
300	141.3	86.0
350	164.9	100.3
400	188.4	114.7

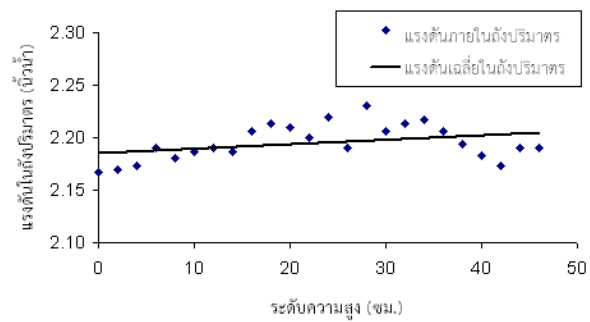
จากตารางที่ 2 แสดงผลจากการคำนวณ CAM Profile สำหรับเครื่องวัดอัตราการไหลหรือ Bell Prover ขนาด 200 ลิตรต่อนาที ถังปริมาตรมีความจุ 100 ลิตร น้ำหนักประมาณ 30 กิโลกรัม

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบแรงดันภายในถังปริมาตร

การทดสอบแรงดันภายในถังปริมาตรกระทำระดับความสูงต่างๆของถังปริมาตรที่ลอยขึ้น โดยการป้อนก๊าซเข้าไปในระบบและบันทึกค่าแรงดันเฉลี่ยที่ความสูงต่างๆ 24 จุดห่างกันจุดละ 2 เซนติเมตรจำนวน 3 รอบ และนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแรงดันภายในถังปริมาตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 แสดงการวัดแรงดันภายในถังโดยใช้ Pressure transmitter พบว่าตลอดช่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของถังปริมาตรตั้งแต่ 0 – 45 เซนติเมตร ค่าแรงดันภายในถังปริมาตรที่วัดได้ประมาณ 2.17 ± 0.03 นิวตัน โดยค่าแรงดันภายในถังปริมาตรทั่วไปมีความดันไม่เกิน 2 นิวตัน แต่เราสามารถปรับค่าความดันได้โดยการเพิ่มหรือลดน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 โดยน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 จะแปรผกผันกับแรงดันภายในถังปริมาตรกล่าวคือ ถ้าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันภายในถังปริมาตรลดลง ในทางกลับกันถ้าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 ลดลงจะส่งผลให้แรงดันภายในถังปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มหรือลดน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก 2 นั้นต้องกระทำโดยไม่ส่งผลต่อความสมดุลของแรงดันภายในถังปริมาตร

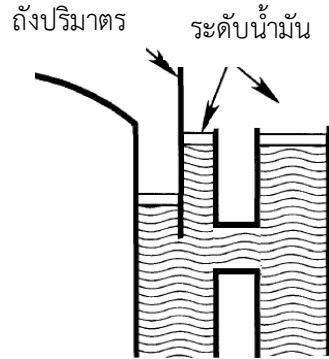


รูปที่ 3 ผลการวัดแรงดันภายในถังปริมาตรขณะทำงานที่ระดับความสูงต่างๆ

4.2 การทดสอบระดับน้ำมันของระบบ

การทดสอบค่าคงที่ของระดับน้ำมันภายในถังในช่วงก่อนการทดสอบ ขณะทำการทดสอบและหลังการทดสอบพบว่าเมื่อเริ่มจ่ายก๊าซเข้าไปในถังจนถังปริมาตรลอยขึ้น ระดับน้ำมันภายในถังปริมาตรจะเพิ่มระดับขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแรงดันภายในถังปริมาตรกดระดับน้ำมันในถังปริมาตรให้ลดลงส่งผลให้ระดับน้ำมันภายใน

ถังปริมาตรต่ำกว่าระดับน้ำมันนอกถังปริมาตรและขณะระบบทำงานระดับน้ำมันนอกถังปริมาตรจะเท่ากับระดับน้ำมันภายในถังปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงระดับน้ำมันของระบบขณะทำงาน

5. สรุป

การออกแบบระบบสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซเชิงปริมาตรในช่วงการวัดอัตราการไหลต่ำ เป็นการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาหาระดับน้ำมันภายในถังไม่คงที่และลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเครื่องที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ โดยสิ่งที่สำคัญในการออกแบบมี 4 ส่วน คือ CAM Profile, ถังปริมาตร, ตุ้มน้ำหนัก 1 และตุ้มน้ำหนัก 2 เพราะเป็นส่วนที่ส่งผลต่อการวัดอัตราการไหลคือ ส่งผลให้แรงดันภายในถังปริมาตรไม่คงที่ขณะทำงาน ซึ่งในการคำนวณอัตราการไหลของก๊าซนั้น แรงดันจะแปรผันกัน อัตราการไหลของก๊าซ ในที่นี้เป็นการออกแบบระบบการวัดอัตราการไหลช่วงการวัดไม่เกิน 200 ลิตรต่อนาทีและเมื่อนำมาทดสอบ พบว่าแรงดันภายในถังปริมาตรตลอดช่วงการวัดที่ความสูงของถังปริมาตรลอยขึ้นไม่เกิน 50 เซนติเมตรสามารถวัดแรงดันภายในถังปริมาตรได้ประมาณ 2.17 ± 0.03 นิวตันและสามารถปรับค่าแรงดันในถังปริมาตรได้โดยการเพิ่มน้ำหนักให้กับตุ้มน้ำหนัก 2 เพื่อให้แรงดันภายในถังปริมาตรมีค่าไม่เกิน 2 นิวตัน ในอนาคตอาจมีการออกแบบ CAM Profile รูปแบบใหม่ที่สามารถรักษาระดับแรงดันภายในถังปริมาตรได้คงที่ดีกว่า ± 0.03 นิวตัน

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[1] Berislav Pavlovic, Hrvoje Kozmar, Miljenko Sunic. A new system for the calibration of gas flow meters, 2009.

- [2] B.Pavlovic et.al., Advance in Gas Flow Measurement using Weighing Method, 2008.
- [3] A.J.Ward Smith. The effect of oil films on the performance of bell prover, 1976.
- [4] Cui Lishui, Lixu. A kind of New Calibration Method for the Volume of Bell Prover, paper presented in *the 15th International Flow Measurement Conference*, Taipei, Taiwan.
- [5] Miroslava Benkova, Stefan Makovnik, Ivan Mikulecky and Vlastimil Zamecnik. Calibration and Monitoring of Time Stability, paper presented in *the 15th International Flow Measurement Conference*, Taipei, Taiwan.
- [6] Brooks instrument, Installation and operation manual (1997)