บทที่ 4
การสร้างอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบการรั่วของแก๊ส

เนื่องจากการทดลองเป็นการทดลองวัดการรั่วในเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งไม่มีอุปกรณ์และเครื่องมือสำเร็จรูปใช้ในการทดลองจึงได้ทำการสร้างอุปกรณ์ในการทดสอบการรั่วของกาวเซรามิกเพื่อใช้ที่อุณหภูมิใช้งาน 800°C โดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM F 37-89 ในการทดสอบการรั่วของประเก็น (gasket)

4.1. หน้าแปลน (Flange)

หน้าแปลนที่ใช้ในการทดลองทำหน้าที่ประกบกับวัสดุที่ต้องการทดสอบการรั่วและให้แก๊สไหลผ่านได้ หน้าแปลนทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 (Ferritic stainless steel) ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง และการทดสอบการรั่วของแก๊สจะต้องนำท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว ซึ่งเป็นท่อส่งแก๊สสำหรับส่งแก๊สเข้าในระบบทดสอบการรั่ว ประกอบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 ที่มีอยู่มีความหนาเพียง 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีความหนาน้อยเกินไปไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นหน้าแปลนและเชื่อมเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ได้ จึงนำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 (Austenitic stainless steel) ซึ่งเป็นเกรดที่สามารถซื้อได้ทั่วไปมาทำเป็นหน้าแปลน มีการออกแบบหน้าแปลนออกเป็นหลายลักษณะดังนี้

4.1.1. แบบที่ 1 ประกอบท่อเหล็กล้าไร้สนิมเกรด 316 กับหน้าแปลนด้วยการขันเกลียว

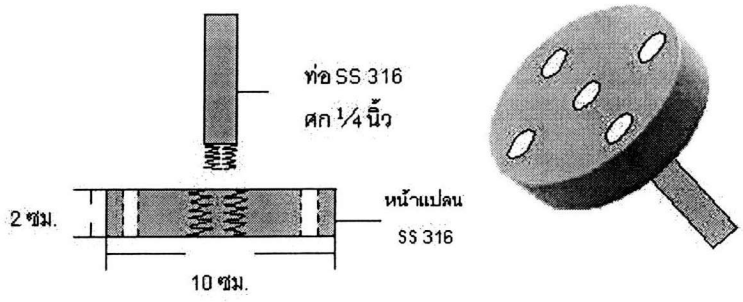
(1) นำท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร 2 ท่อ มาต๊าปเกลียวตรงปลายท่อทั้ง 2 ท่อ

(2) ตัดเหล็กกล้าไร้สนิม 316 รูปทรงกระบอก (cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ให้มีความหนา 2 เซนติเมตร 2 ชิ้น

(3) นำไปเจาะรูตรงกลาง และนำไปต๊าปเกลียวขนาดพอดีที่จะขันเกลียวได้กับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ถูกต๊าปเกลียวเอาไว้แล้วในข้อ (1)

(4) เจาะรูที่หน้าแปลนอีก 4 รู เพื่อใส่น็อตยึดหน้าแปลนเข้าด้วยกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.5 เซนติเมตร โดยรูทั้ง 4 ห่างจากขอบหน้าแปลน 0.5 เซนติเมตร

(5) ขันเกลียวท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 เข้ากับหน้าแปลนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 1

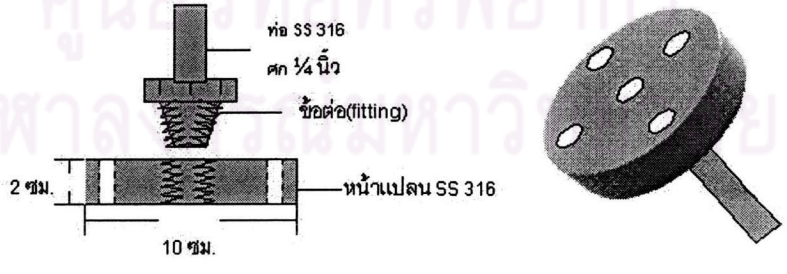
4.1.2. แบบที่ 2 ประกอบท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 กับหน้าแปลนด้วยข้อต่อเชื่อมท่อ (fitting)

(1) ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 รูปทรงกระบอก (cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ให้มีความหนา 2 เซนติเมตร 2 ชิ้น

(2) นำไปเจาะรูตรงกลาง และทำการต๊าปเกลียว เพื่อขันเกลียวกับตัวเชื่อมท่อ (fitting) เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ที่ใช้สำหรับท่อ ¼ นิ้ว เจาะรูที่หน้าแปลนอีก 4 รู เพื่อใส่น็อตยึดหน้าแปลนเข้าด้วยกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.5 เซนติเมตร โดยรูทั้ง 4 ห่างจากขอบหน้าแปลน 0.5 เซนติเมตร

(3) ตัดท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ

(4) ประกอบท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว กับตัวเชื่อมท่อ และขันเกลียวของตัวเชื่อมท่อกับหน้าแปลน ตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 2

4.1.3. แบบที่ 3 เชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 กับหน้าแปลนเหล็กกล้าไร้สนิม 316

(1) ตัดเหล็กกล้าไร้สนิม 316 รูปทรงกระบอก (cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ให้มีความหนา 2 เซนติเมตร 2 ชิ้น

(2) นำไปเจาะรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร 4 รู เพื่อใส่น็อตยึดหน้าแปลนเข้าด้วยกัน แต่ละรูห่างจากขอบหน้าแปลน 0.5 เซนติเมตร

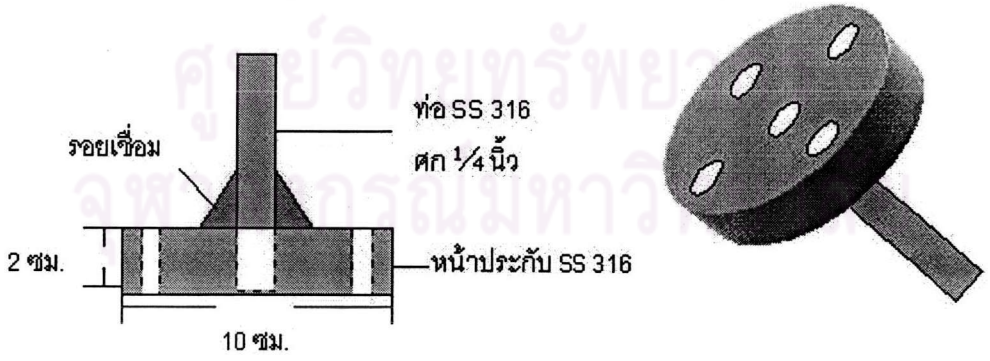
(3) นำท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร 2 ท่อ ใส่ลงไปในรูกลางของหน้าแปลนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 เชื่อมท่อและหน้าแปลนเข้าด้วยกันด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม TGS 308L ตามรูปที่ 4.3

4.1.4. แบบที่ 4 เชื่อมแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 430 เข้ากับหน้าแปลนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316

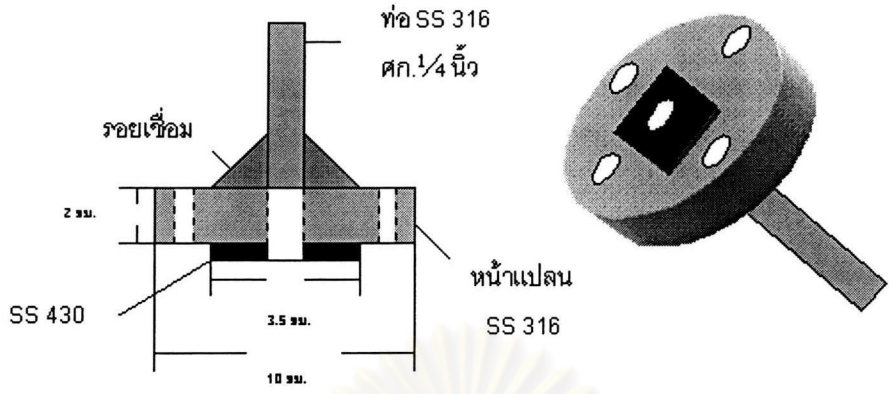
เนื่องจากในสภาวะการใช้งานจริงกาวเซรามิกถูกยึดติดอยู่กับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 เพราะเหล็กกล้าไร้สนิม 430 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนใกล้เคียงกับกาวเซรามิก ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม 316 มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูง มีค่าเท่ากับ $16.0 \times 10^{-6} / {}^{\circ}C$ [43] ซึ่งมีค่ามากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 จึงได้ทำการเตรียมหน้าแปลนดังนี้

(1) ตัดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ให้มีขนาดกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร นำมาเจาะรูตรงกลาง ขนาด 0.5 เซนติเมตร

(2) นำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 430 มาเชื่อมติดกับหน้าแปลนแบบที่ 3 ด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม TGS 308L ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 3



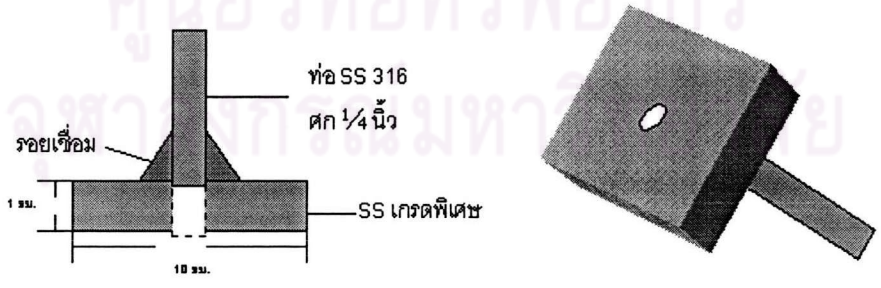
รูปที่ 4.4 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 4

4.1.5 แบบที่ 5 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดพิเศษที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (ferritic stainless steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดพิเศษนี้ตอนที่ได้รับมาทดลองยังไม่มีขายทางการค้า ได้รับตอนช่วงท้ายของการทดลอง และมีความหนา 1 เซนติเมตร มีความหนามากพอที่จะนำมาทำเป็นหน้าแปลนและเชื่อมเข้ากับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ได้

(1) ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร 2 ชิ้น

(2) เจาะรูตรงกลางขนาด ¼ นิ้ว ทั้ง 2ชิ้น นำท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 2 ท่อ ใส่ลงไปในรูที่เจาะไว้ เชื่อมท่อกับหน้าแปลนด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม TGS 308L



รูปที่ 4.5 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 5

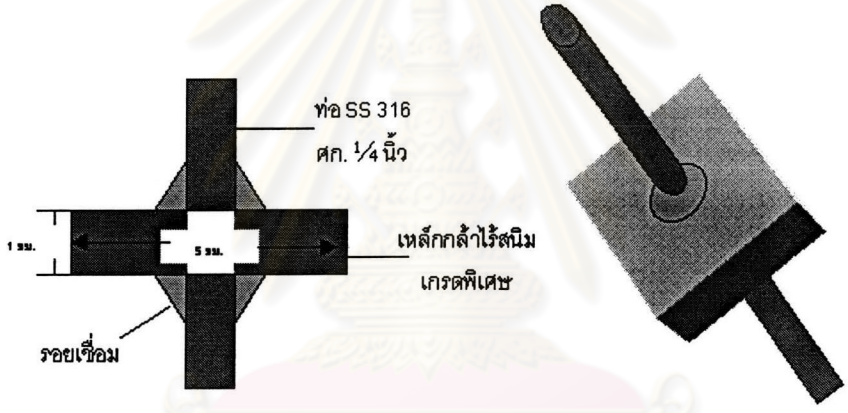
4.2. หน้าแปลนทดสอบการรั่วของระบบทดสอบการรั่ว

เนื่องจากการที่จะวัดการรั่วของวัสดุป้องกันการรั่วของแก๊ส จำเป็นจะต้องทราบการรั่วของระบบก่อน และได้จำลองรอยเชื่อม 2 รอย ซึ่งมีอยู่จริงบนหน้าแปลนทดสอบการรั่ว 2 ชิ้น ที่ประกบอยู่กับวัสดุที่ทำการทดสอบการรั่ว

4.2.1 ตัดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดพิเศษที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ออกเป็นขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร

4.2.2 เจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว จากนั้นนำท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว 2 ท่อ ใส่ในรูที่เจาะไว้ทั้ง 2 ด้าน

4.2.3 เชื่อมท่อกับหน้าแปลนเข้าด้วยกันทั้ง 2 ด้าน ของหน้าแปลนด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม TGS 308L ตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าแปลนทดสอบการรั่วของแก๊สของระบบทดสอบการรั่ว

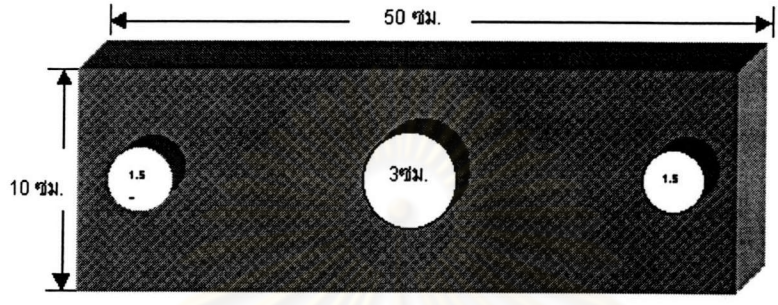
4.3. ชุดน้ำหนักกดทับ (load) บนหน้าแปลน

เนื่องจากระบบป้องกันการรั่วที่ทำการทดสอบเป็นระบบป้องกันการรั่วแบบใช้แรงกด (compressive seal)

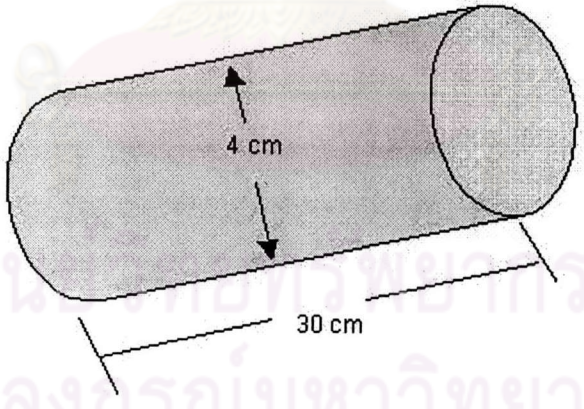
4.3.1 ตัดแท่งเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าออกเป็นขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น

4.3.2 เจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร เพื่อให้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่เชื่อมอยู่กับหน้าแปลน ลอดผ่านไปประกอบกับชุดทดสอบการรั่ว และเจาะรูด้านข้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร อีก 2 รู เพื่อใส่แท่งเหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เพื่อประคองให้ชุดน้ำหนักกดทับให้อยู่กับที่ โดยเจาะให้ห่างจากปลายเหล็กทั้ง2 ด้าน 1 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.7

4.3.3 ตัดท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร 2 ท่อน แต่ละท่อนหนัก 1100 กรัม เพื่อเป็นตัวส่งถ่ายน้ำหนักจากแท่งเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงบนหน้าแปลน ตามรูปที่ 4.8 โดยลักษณะการใช้งานของชุดน้ำหนักกดทับแสดงตามรูปที่ 4.9

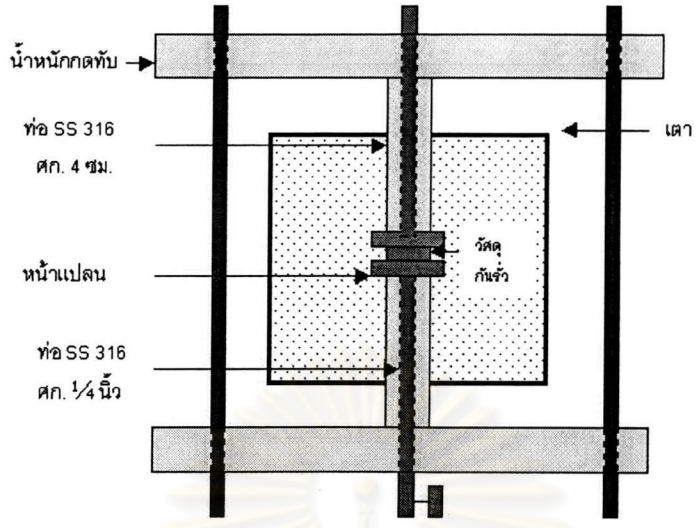


รูปที่ 4.7 แท่งเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้เป็นน้ำหนักกดทับ



รูปที่ 4.8 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ที่ใช้เป็นตัวส่งถ่ายน้ำหนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ลักษณะของชุดน้ำหนักกดทับที่กระทำบนหน้าแปลน

4.4. ระบบทดสอบการรั่วของแก๊ส

สาเหตุที่สร้างเนื่องจากเป็นการทดลองเฉพาะทางซึ่งยังไม่มีผู้ใดสร้างมาก่อน โดยสร้างตามมาตรฐาน ASTM F 37-89 การสร้างแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

4.4.1.แบบที่1

การสร้างเน้นการใช้ท่อสายเทปลอนและสายยางน้ำทำมาจากพีวีซี ในส่วนที่ต้องการความอ่อนตัวของท่อเพื่อความสะดวกในการทดลอง ตามรูปที่ 4.10

1. อุปกรณ์ที่สร้างประกอบด้วย

1.1 แก๊สฮีเลียมบรรจุถัง

1.2 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (pressure regulator) สเกลมีความละเอียด 1 psig

1.3 แมนอมิเตอร์แก้วใสบรรจุด้วยน้ำ

1.4 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว

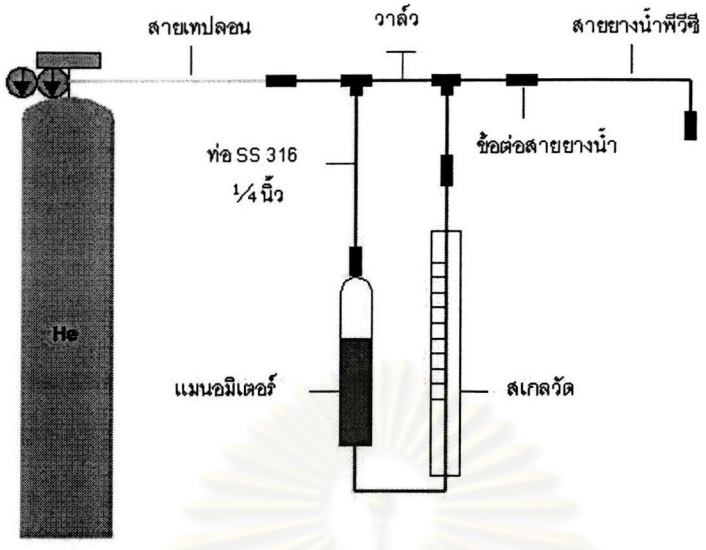
1.5 ข้อต่อท่อ (fitting) สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316

1.6 วาล์ว

1.7 สายยางน้ำพีวีซี

1.8 สายเทปลอน

1.9 แหวนรัดท่อ



รูปที่ 4.10 ชุดทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 1

จากการทดสอบการรั่วของระบบพบว่ามีการรั่วมากเมื่อสังเกตจากระดับน้ำในแมนอมิเตอร์ที่เลื่อนขึ้นแทนปริมาตรแก๊สที่รั่ว โดยอัตราการรั่วมีค่า 0.3927 cm^3 / min การรั่วมีสาเหตุมาจากการซึมของแก๊สผ่านออกมาตามรูพรุนของสายยางน้ำพีวีซี สังเกตจากเมื่อนำสายยางน้ำมาจุ่มน้ำพบว่ามีฟองแก๊สเกิดขึ้นที่ผิวสายยางเป็นจำนวนมาก จึงได้เปลี่ยนจากสายเทปลอนและสายยางน้ำพีวีซีมาเป็นท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 และใช้สายแก๊สพีวีซีเป็นข้อต่อระหว่างแก้วแมนอมิเตอร์กับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 จากเดิมที่ใช้สายยางน้ำพีวีซี เนื่องจากสายยางแก๊สพีวีซีมีความหนามากกว่าจึงป้องกันการรั่วของแก๊สได้ดีกว่า ตามแบบที่ 2

4.4.2. แบบที่ 2

การสร้างใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว เป็นท่อลำเลียงแก๊สทั้งระบบ โดยใช้วิธีการดัดท่อในส่วนที่ต้องการความอ่อนตัว และใช้สายแก๊สพีวีซีเป็นตัวเชื่อมระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316 กับแมนอมิเตอร์ แทนการใช้สายยางน้ำพีวีซีที่ใช้ในระบบแบบที่ 1 ตามรูปที่ 4.11

1. อุปกรณ์ที่สร้างประกอบด้วย

1.1 แก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ในถัง

1.2 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (pressure regulator) สเกลมีความละเอียด 1 psig

1.3 แมนอมิเตอร์แก้วใสบรรจุด้วยน้ำ

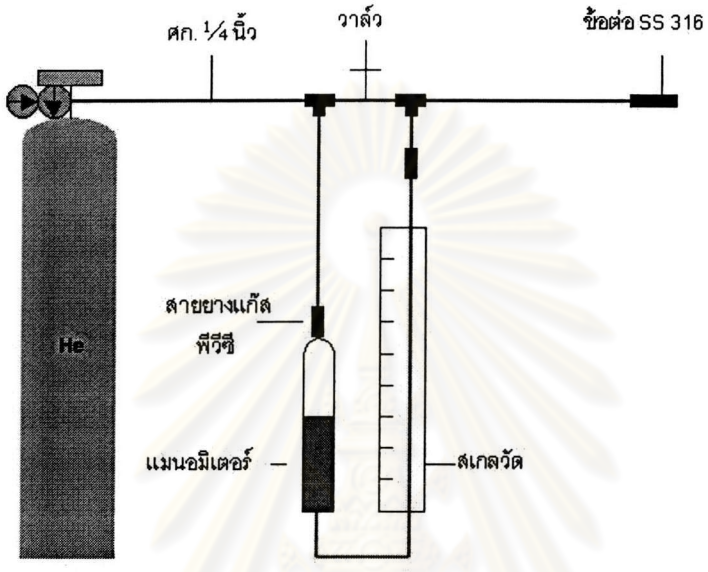
1.4 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ นิ้ว

1.5 ข้อต่อท่อ (fitting) สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316

1.6 วาล์ว

1.7 สายแก๊สพีวีซี

1.8 แหวนรัดท่อ



รูปที่ 4.11 ชุดทดสอบการรั่วของแก๊สแบบที่ 2

พบว่าอัตราการรั่วน้อยมาก ระดับน้ำที่เลื่อนขึ้นแทนที่ปริมาตรแก๊สที่รั่วเพียง 1.4 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง อัตราการรั่วมีค่าประมาณ $3.76X10^{-5}$ cm^3/ min . cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย