การออกแบบและสร้างระบบ Gas to Liquid Interface ความดันต่ำพิสัย 35 บาร์
Design and Set up the Gas to Liquid Interface of Low Pressure 35 bar System

สมชาย เอมสมบูรณ์[1], ลิขิต ใสหนู[2], ฉันทนา เอี่ยมพนากิจ[3]
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต – นครนายก อ.ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
ห้องปฏิบัติการความดัน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.)
3/4-5 หมู่ที่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

สถานที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา : ห้องปฏิบัติการความดัน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบต้นแบบในการสอบเทียบความดันที่ใช้แก๊สและของเหลว (Gas to Liquid Interface) ที่ความดันต่ำพิสัย 35 bar เพื่อลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ โครงสร้างของระบบทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel, AISI 304) นอกจากจะทนต่ออากาศและของเหลวแล้วจะต้องทนต่อความดันได้ถึง 35 bar ซึ่งการออกแบบและสร้างขึ้นจะคำนวณหาความหนาของผนังที่เหมาะสมโดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมและอะคริลิก (acrylic) จากการคำนวณพบว่าความหนาที่สามารถทนต่อความดัน 35 bar ได้ ต้องใช้ความหนา 10 mm ซึ่งมีความปลอดภัยสองเท่า จากการทดสอบความแข็งแรงของระบบสามารถทนความดันได้ถึง 40 bar โดยใช้แก๊ส N_2 และมีการสอบเทียบ 2 ครั้งโดยสอบเทียบด้วยมาตรวัดความดัน Additel 681 และใช้ gas pressure balance 2465 พบว่าการสอบเทียบมีค่า accuracy เท่ากับ 0.1% FS แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือมีค่าความผิดพลาดอยู่ในค่าความถูกต้องที่สามารถยอมรับได้และเป็นไปตามเป้าหมายทำให้สามารถนำมาใช้ในการสอบเทียบได้จริงที่มีความถูกต้องและแม่นยำ

คำสำคัญ : มาตรวัดความดัน, การสอบเทียบที่ใช้แก๊สและของเหลว, ความดันต่ำพิสัย 35 บาร์

1. บทนำ

ในการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีความก้าวหน้านั้น นักวิทยาศาสตร์หรือนักวิจัยที่ทำการวิจัยจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน เพื่อให้ผลการวิจัยที่ได้มีความเที่ยงตรง สามารถทดลองซ้ำได้ ทั้งนี้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยจำเป็นต้องทำการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง ในการสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อผู้วิจัย

ความดัน (pressure) [1] คืออัตราส่วนของแรงต่อพื้นที่ที่รับแรงซึ่งเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแก๊สและของเหลว ในการวัดความดันจะใช้มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างมากทั้งภาครัฐและเอกชน หรือในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมทางด้านแก๊สและน้ำมันเชื้อเพลิงหรือแม้แต่ไอน้ำที่อัดในถัง แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นมาตรวัดความดันแก๊ส หรือของเหลว เช่น น้ำมัน อุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องมีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ ในห้องปฏิบัติการความดันของทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) มีเครื่องมือที่ใช้ระบบแก๊สและระบบของเหลวเพื่อทำให้เกิดความดัน ซึ่งของเหลวที่ใช้นั้นคือน้ำมัน เพื่อให้ได้ความแม่นยำสูง มีความผิดพลาดที่น้อยลง และไม่เกิดความเสียหายต่อวัสดุและเครื่องมือ ในการสอบเทียบเครื่องมือแต่ละประเภทนั้นต้องสอบเทียบภายในระบบเดียวกันเท่านั้น เช่น มาตรวัดความดันที่วัดความดันของน้ำมันก็ต้องใช้เครื่องมือมาตรฐานที่เป็นระบบน้ำมัน หรือ มาตรวัดความดันที่วัดความดันของแก๊สก็ต้องใช้เครื่องมือมาตรฐานที่เป็นแก๊ส แต่ก็มีเครื่องมือบางประเภทที่ใช้ของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำมัน ทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จึงนำเข้าเครื่องมือทดสอบจากต่างประเทศ คือ Gas to Liquid Interface High Pressure พิสัย 1,000 bar ซึ่งมีราคาแพงมากหลักล้านบาท ปัญหาคือเครื่องมือมีพิสัยที่สูงถึง 1,000 bar แต่เครื่องมือต่าง ๆ ในประเทศไทยมีพิสัยแค่ 100 psi หรือ 6.9 bar เท่านั้น ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่เหมาะสมจะต้องมีพิสัยที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้จะใช้มาตรฐาน DKD R6-1 ในการสอบเทียบ [2]

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบสอบเทียบความดันดังกล่าว เพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบต้นแบบในการสอบเทียบความดันที่ใช้แก๊สและของเหลวที่ความดันต่ำพิสัย 35 bar เพื่อลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ และก่อให้เกิดองค์ความรู้สำหรับการสร้างและออกแบบของระบบสอบเทียบความดันที่ใช้แก๊สและของเหลว เพื่อพัฒนาต่อยอดและนำไปใช้ได้จริงต่อไป

2. วิธีดำเนินการทดลอง

การออกแบบและสร้างชุด Gas to Liquid Interface นั้น ต้องคำนึงถึงความดันสูงสุดของภาชนะ (Chamber) และวัสดุที่นำมาประกอบเพื่อให้ได้สมบัติทางวิศวกรรมที่ต้องการ และเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในช่วงพิสัยที่ต้องการวัด ในขั้นตอนการออกแบบและสร้างจึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง [3] จากการคำนวณความหนาของภาชนะตามสมการการหาความหนาของถังความดันตามมาตรฐาน ASME Code (American Society of Mechanical Boiler and Pressure Vessel Code) ดังสมการที่ (1)

$$t_s = \frac{Pr}{\sigma_y E - 0.6P} + C.A \qquad (1)$$

เมื่อ t_s คือ ความหนาของผนังถังตามความดันที่ต้องการ (mm)

P คือ ความดันสูงสุด (N/mm^2)

r คือ รัศมีของถังความดัน (mm)

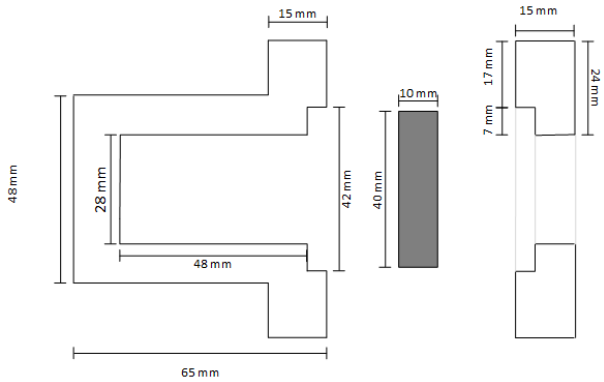
σ_y คือ ค่าความเค้นที่ยอมรับได้ (N/mm^2)

E คือ ประสิทธิภาพของรอยต่อไม่มีการตรวจสอบด้วยรังสี = 0.7

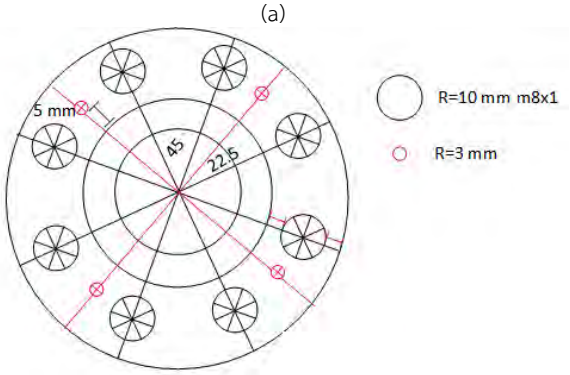
C.A คือ ค่าเผื่อการกัดกร่อน (mm)

ทำให้ได้ความหนาด้านข้าง 10 mm ในงานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 76 mm ยาว 65 mm กลึงให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 48 mm มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 28 mm และเจาะรูรอบด้าน โดยให้ได้ความหนาด้านข้าง 10 mm ด้านหลัง 10 mm และด้านหน้าที่เป็นช่องเปิดจะใช้แผ่นวงกลมอะคริลิก ความหนา 10 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm (ใช้จริง 41.85 mm) เป็นแผ่นปิดช่องที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 42 mm และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมอีกชิ้นไว้ประกบแผ่นอะคริลิก โดยแบบการสร้างแสดงดังรูปที่ 1

ด้านข้าง ด้านหน้า



(a)



(b)

รูปที่ 1 แบบการสร้าง Gas to Liquid Interface ความดันต่ำพิสัย 35 bar (a) ด้านข้าง และ (b) รายละเอียดแผ่นปิดด้านหน้า

รูปของชิ้นงานที่ออกแบบไว้ในแต่ละส่วนถูกสร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2

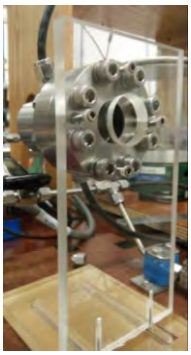
แผ่นอะคริลิก

รูปที่ 2 ภาชนะที่ทำตามแบบในรูปที่ 1

นำเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองชิ้นที่เจาะรูมาทำเกลียวและรอยผ่าน ตัดแผ่น Acrylic ให้ได้ขนาด 19 × 10 mm และ 15 × 10 mm นำมา

แผ่นปิดด้านหน้า

เจาะรูตามแบบรูปที่ 1 (a) เสร็จแล้วประกอบระบบ Gas to Liquid Interface และ ฐานรอง ดังรูปที่ 3

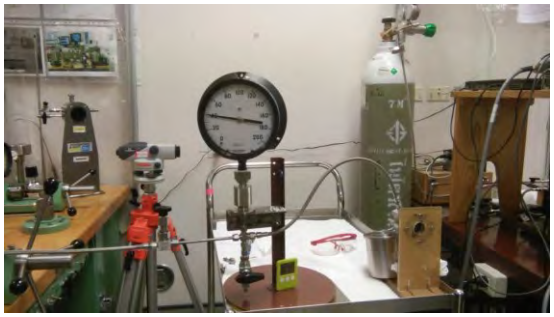


รูปที่ 3 ระบบ Gas to Liquid Interface

เมื่อทำการสร้างและประกอบระบบ Gas to Liquid Interface เสร็จแล้ว ในส่วนของการทดสอบการรับความดันของภาชนะมีการทดสอบกับอากาศและแก๊สไนโตรเจนผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 และการทดสอบความแข็งแรงของภาชนะที่ความดัน 40 bar ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความดับของภาชนะกับอากาศและแก๊สไนโตรเจน

แก๊ส	เวลา (นาที)	ผลการทดสอบ	หมายเหตุ
Air			
8 bar	30	แก๊สรั่วบริเวณ Connector	ใช้เทปพันเกลียว (PTAE)
8 bar	30	ผ่าน ปกติ	
N_2			เปลี่ยนไปใช้แก๊ส N_2
20 bar	30	ผ่าน ปกติ	-
35 bar	30	ผ่าน ปกติ	-
40 bar	30	ผ่าน ปกติ	-



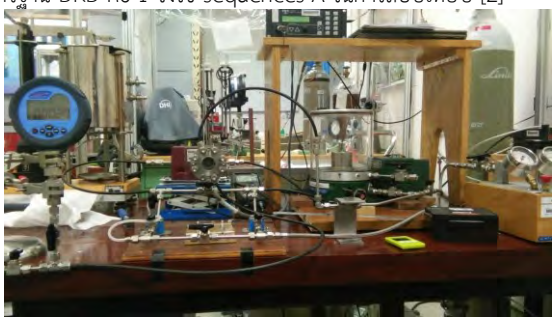
รูปที่ 4 การทดสอบความแข็งแรงของภาชนะที่ความดัน 40 bar

ขั้นตอนการสอบเทียบจะติดตั้งชุดเครื่องมือสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel ดังรูปที่ 5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681 S/N : 211H1390012 : โดยใช้ Gas Pressure Balance 2465 เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ Piston : C-325 Mass Set : 24 และ Trim mass : 2465

ติดตั้งอุปกรณ์ โดยใส่น้ำสะอาดลงในภาชนะปริมาณครึ่งหนึ่งของภาชนะ โดยให้ Gas Pressure Balance 2465 ปล่อยความดันเข้าภาชนะ จากนั้น ความดันในภาชนะจะดันน้ำที่อยู่ในภาชนะเข้า Digital Pressure Gauge Additel 681 โดยไม่ให้มีอากาศอยู่ในท่อส่งความดันระหว่าง Gas to Liquid Interface กับ Digital Pressure Gauge Additel 681

เนื่องจาก Digital Pressure Gauge Additel 681 มีค่าความถูกต้อง 0.1 % FS จากตารางที่ 1 Calibration sequences ของมาตรฐาน DKD R6-1 จึงใช้ sequences A ในการสอบเทียบ [2]



รูปที่ 5 ติดตั้งชุดเครื่องมือสอบเทียบ

การตรวจสอบการปิด-เปิดของวาล์ว มีรายละเอียด ดังนี้

เปิดเครื่อง Gas Pressure Balance 2465 โดยใช้ Mass set ทั้งหมด แล้วใช้แก๊สไนโตรเจนจากถังในการเตรียมเครื่อง ห้ามเปิดวาล์วเข้าสู่ Digital Pressure Gauge เนื่องจากความดันสูงเกินค่าสูงสุดของ Digital Pressure gauge และปรับระดับอยู่ใน Mid Float ตลอด ใช้เวลาในการเตรียม 30 นาที จึงเปิดวาล์วสู่บรรยากาศ เพื่อให้ความดันในเครื่องเป็นศูนย์จึงปิดวาล์ว

ตรวจสอบอัตราการรั่วของ Digital Pressure Gauge ที่ความดันสูงสุด 100 psi เป็นเวลา 1 นาที และบันทึกค่าในการสอบเทียบ

ก่อนที่จะเริ่มสอบเทียบจะต้องมีการอ่านค่า Digital Pressure Gauge ให้เป็นศูนย์ด้วยขณะที่ระบบไฮโดรลิคถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ถ้าไม่ใช่ศูนย์ให้กด set zero

ทั้งนี้ ในการสอบเทียบความดันตามมาตรฐาน DKD R6-1 ตาม sequences A ต้องทำตามมาตรฐานอย่างเคร่งคัด

การจดบันทึกที่จำเป็นต้องรออย่างน้อย 30 วินาที และหากจบ 1 series รออย่างน้อย 2 นาที จึงจะเริ่มสอบเทียบใหม่ในอีก 1 series จนกระทั่งการสอบเทียบเสร็จสิ้น ปล่อยความดันทั้งหมดสู่บรรยากาศ

3. ผลการทดลอง

จากการทดลองการออกแบบและสร้าง Gas to Liquid Interface ได้คำนวณเพื่อหาความหนาของภาชนะเพื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของภาชนะ และทำการสอบเทียบ 2 ครั้ง ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

3.1 การคำนวณและการออกแบบ Gas to Liquid Interface

ผลของการทดลองคำนวณหาความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมและอะคริลิกที่สามารถรับความดันได้ 35 bar ผลที่ได้คือ ทุกด้านที่เป็นทรงกระบอกมีความหนาถึง 10 mm ทั้งเหล็กกล้าไร้สนิมและอะคริลิกซึ่งมีความปลอดภัยสองเท่าของความดันสูงสุด

3.2 การทดสอบความแข็งแรงของภาชนะ

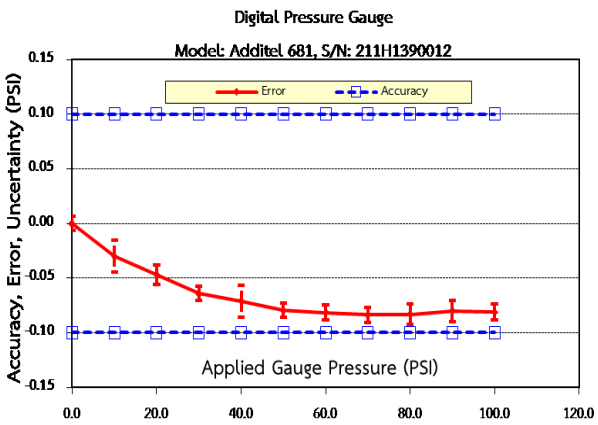
ผลการทดลองการทดสอบความแข็งแรงของภาชนะพบว่าสามารถรับแรงดันได้ถึง 40 bar ซึ่งสามารถรับได้มากกว่า 40 bar แต่เพื่อความปลอดภัยแล้วระยะการใช้งานของเครื่องมือจึงกำหนดค่าสูงสุดที่ความดันรับได้ไม่เกิน 35 bar

3.3 การสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681

การสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681 โดยใช้ Gas Pressure Balance 2465 เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ Piston : C-325 Mass Set : 24 และ Trim mass : 2465 สอบเทียบครั้งที่ 1 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการทดลองสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681 โดยใช้ Gas Pressure Balance 2465 เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ Piston : C-325 Mass Set : 2465 และ Trim mass : 2465 สอบเทียบครั้งที่ 1

Pressure psi	Error psi	Uncertainty psi
0.0000	0.000	0.0066
10.0000	-0.030	0.0145
20.0019	-0.047	0.0088
30.0041	-0.064	0.0067
40.0060	-0.071	0.0145
49.9996	-0.080	0.0068
60.0015	-0.081	0.0068
70.0036	-0.084	0.0069
80.0057	-0.083	0.0096
90.0078	-0.080	0.0097
100.0013	-0.081	0.0072



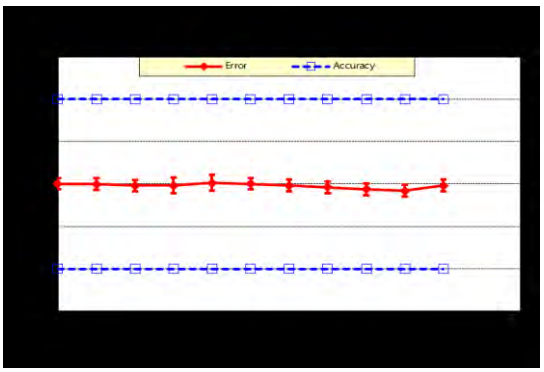
รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและค่าความผิดพลาดในช่วงของความถูกต้อง ± 0.1 % FS

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นค่าความผิดพลาดจะไม่อยู่ในช่วงของความถูกต้อง ± 0.1 % FS สาเหตุอาจจะเนื่องจากการมีอากาศภายในเหลืออยู่ เมื่อมีความดันสูงอากาศเพียงเล็กน้อยทำให้เซ็นเซอร์ของ Digital Pressure Gauge Additel 681 ผิดพลาดสูงสุดถึง ± 0.84 % FS อยู่ในช่วงของค่าความถูกต้องที่กำหนดไว้ ± 0.1 % FS

ดังนั้นจึงมีการติดตั้งและสอบเทียบครั้งที่ 2 เพื่อไม่ให้มีอากาศอยู่ใน Gas to Liquid Interface กับ ของ Digital Pressure Gauge Additel ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 7

ตารางที่ 3 ผลการทดลองสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681 โดยใช้ Gas Pressure Balance 2465 เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ Piston : C-325 Mass Set : 2465 และ Trim mass : 2465 สอบเทียบครั้งที่ 2

Pressure psi	Error psi	Uncertainty psi
0.0000	0.000	0.0066
10.0001	0.000	0.0066
20.0020	-0.002	0.0067
30.0043	-0.002	0.0093
40.0062	0.001	0.0093
49.9998	0.000	0.0068
60.0018	-0.002	0.0068
70.0039	-0.004	0.0069
80.0060	-0.006	0.0070
90.0082	-0.008	0.0071
100.0018	-0.002	0.0072



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและค่าความผิดพลาด ในช่วงของความถูกต้อง ± 0.1 % FS

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อย ซึ่งมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ± 0.008 % FS อยู่ในช่วงของค่าความถูกต้องที่กำหนดไว้ ± 0.1 % FS

3. สรุปผลการทดลอง

การทำโครงในครั้งนี้สามารถออกแบบและสร้าง Gas to Liquid Interface ที่รับความดันได้ถึง 35 bar เครื่องมือมีความแข็งแรงทนต่อสารกัดกร่อนที่มาจากของไหล มีน้ำหนักเบา ราคาประหยัด และยังสามารถสอบเทียบได้ผลออกมาถูกต้องตามเป้าหมายที่วางไว้ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. การคำนวณและออกแบบ Gas to Liquid Interface โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมและอะคริลิกพบว่าสามารถคำนวณความหนาของผนังที่มีความปลอดภัยถึง 2 เท่ามีความหนาเท่ากับ 10 mm

2. การสร้างระบบ Gas to liquid Interface แบบกะทัดรัดสามารถทำได้ตามแบบที่วางไว้

3. ความแข็งแรงของภาชนะสามารถรับแรงดันได้เกิน 35 bar แต่เพื่อความปลอดภัยของชิ้นงานและยืดระยะเวลาการใช้งานจึงกำหนดค่าสูงสุดของ Gas to Liquid Interface ไว้ที่ 35 bar

4. การสอบเทียบ Digital Pressure Gauge Additel 681 โดยใช้ Gas Pressure Balance 2465 เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ Piston : C-325 Mass Set : 24 และTrim mass : 2465 ทั้ง 2 ครั้ง พบว่าการสอบเทียบครั้งที่ 1 มีอากาศค้างอยู่จึงทำให้ค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.08 % FS และเมื่อติดตั้งใหม่และสอบเทียบครั้งที่ 2 พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยมาก มีความผิดพลาดอยู่ 0.008 % FS โดยการสอบเทียบอยู่ในค่าความถูกต้อง 0.1 % FS

เอกสารอ้างอิง

[1] บทที่ 1 ความดัน (pressure) เข้าถึงได้ที่, http://www.indyteacher.wordpress.com (วันที่สืบค้นข้อมูล: 18 เมษายน 2559)

[2] บทที่ 2 มาตรฐาน DKD R6-1 เข้าถึงได้ที่, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) (วันที่สืบค้นข้อมูล: 10 เมษายน 2559)

[3] บทที่ 2 ความแข็งแรงและการออกแบบ เข้าถึงได้ที่, นายเชวงคำนวณศักดิ์,นายอนันต์แก้วสิมมา "การออกแบบและสร้างชุดหม้อปฏิกรณ์ความดันและอุณหภูมิสูง (DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR HIGH PRESSURE AND HIGH TEMPERATURE PRESSURE VESSEL)," วิทยานิพนธ์ระดับดุษฎีบัณฑิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2547.
(วันที่สืบค้นข้อมูล: 18เมษายน 2559)

ชื่อ – สกุล นายสมชาย เอมสมบูรณ์
สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ที่อยู่ 36/7 หมู่1 ซอย เลียบคลองหกตะวันออก8
หมู่บ้าน/อาคาร โพธิ์ทอง อพาร์ทเมนท์ ชั้น 3 ห้อง 312
ถนนเลียบคลองหก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120
เบอร์โทรศัพท์ 09 -5075 - 0553
E-mail Perfectnz69@gmail.com