



การสร้างและทดสอบหม้อต้มแรงดันเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอน Design and Testing a Close Boiler for Teaching Apparatus Use in Heat Transfer Laboratory

อนุวัฒน์ บำรุงกิจ*, ไพโรจน์ ลิ้มปวยอม, ชชาติชาย สีสาสีริวิไล

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการถ่ายโอนความร้อน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000

*ติดต่อ: me.b.anuwat@gmail.com, 081-842-0235

บทคัดย่อ

การสร้างและทดสอบหม้อต้มแรงดันเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิ่มตัวกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำภายในภาชนะรับความดันเปรียบเทียบกับค่าสมบัติของน้ำจากตารางไอน้ำมาตรฐาน หม้อต้มแรงดันทำด้วยท่อไอน้ำ SCH80 มีความจุ 3 ลิตร ให้ความร้อนโดยตรงด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า 220V ขนาด 2 kW ทำการทดลองด้วยความดันไม่เกิน 9 บาร์ และวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ผลการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิอิ่มตัวและความดันอิ่มตัวเป็นไปตามตารางไอน้ำมาตรฐาน โดยมีความผิดพลาดเพียง 1.36% สำหรับการทดลองแบบลดแรงดัน และ 3.22% สำหรับการทดลองแบบเพิ่มแรงดัน

คำหลัก: ความดัน, ไอน้ำ, หม้อไอน้ำ

Abstract

This design and testing a pressure boiler for use as teaching aids on the basis of thermodynamics. To test for the relationship between saturated pressure and saturated temperature of water in a pressure boiler. The boiler was fabricated from SCH80 steam pipe with 3 liters of capacity and 2 kW direct heating with 220V of electric heater. The experiment was conducted with pressure did not over than 9 bar and temperature measured with type K of thermocouple. The results showed that the saturated temperature and saturated pressure be close to that in the standard steam table with an average error of 1.36% for pressure decrease tested and 3.22% for pressure increase tested.

Keywords: Pressure, Steam, Boiler

1. บทนำ

วิชาเทอร์โมไดนามิกส์เป็นวิชาพื้นฐานทางด้านความร้อนที่มีความสำคัญอย่างมากในการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์ในหลายสาขาวิชาด้วยกัน ซึ่งเนื้อหาหลักจะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาตร และความดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยสารทำงานต่างชนิดกันก็จะมีสมบัติแตกต่างกัน ใน

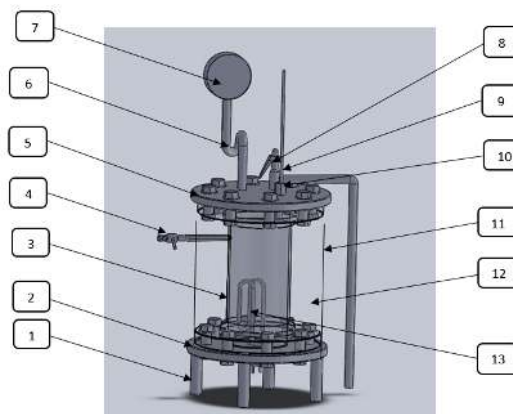
การเรียนการสอนนั้นมักจะกล่าวถึงสารทำงานที่เป็นน้ำและสารทำความเย็น โดยเฉพาะสารทำงานที่เป็นน้ำนั้นจะต้องทำความเข้าใจให้ลึกซึ้ง เนื่องจากเป็นสารทำงานที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมซึ่งหาได้ง่ายมีราคาถูก ในเนื้อหาการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆ ของน้ำนั้นมักทำการเรียนการสอนโดยอาศัยตารางไอน้ำมาตรฐาน ส่วนใหญ่ไม่มีการทำการทดลองให้เห็นจริงในเรื่องความสัมพันธ์ของ

อุณหภูมิ ปริมาตร และความดัน จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า [1] ได้สร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองจุดอิมตัวของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยผลที่ได้คลาดเคลื่อนจากตารางเอนิมาทรฐานเฉลี่ยเพียง $\pm 2\%$ ซึ่งสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี

สำหรับการผลิตวิศวกรซึ่งเป็นการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ต้องสามารถพิสูจน์ให้เห็นจริงได้เพื่อความเป็นเหตุเป็นผลในเชิงวิทยาศาสตร์ และสามารถนำเอาความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการจริง ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างอุปกรณ์ ที่สามารถใช้เป็นชุดทดลองในห้อง ปฏิบัติการ เพื่อเป็นการเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหาภาคทฤษฎี และการประยุกต์ใช้งาน ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป รวมถึงขั้นตอนในการออกแบบสร้างนั้นได้ดำเนินการโดยนักศึกษา ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการออกแบบสร้าง สมบัติของวัสดุ และการออกแบบภาชนะรับแรงดันได้อีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ส่วนประกอบของหม้อต้มแรงดัน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของหม้อต้มแรงดัน

หม้อต้มแรงดันมีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนโครงสร้างและถังบรรจุ ส่วนให้ความร้อน และส่วนการควบคุมและความปลอดภัย ซึ่งมีส่วนประกอบย่อยดังตารางที่ 1 โดยหม้อต้มนั้นสามารถบรรจุน้ำได้ 3 ลิตร ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ 220V ขนาด 2 kW วัดความดันภายในหม้อต้มด้วยเกจวัดความดันชนิดบูร์ดอง (Bourdon gauge) ควบคุมความดันภายในด้วยวิธีปรับขนาดของวาล์วระบายไอน้ำด้วยวาล์ว (Gate valve) วัดอุณหภูมิของน้ำอิมตัว (จุดเดือด) ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เสริมความปลอดภัยในการใช้งานด้วยวาล์วระบายแรงดันฉุกเฉิน (Safety valve)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของหม้อต้มแรงดัน

หมายเลข	ชื่อชิ้นส่วน
1	ขาตั้งฐานหม้อต้มแรงดัน
2	หน้าแปลนปิดหม้อต้มตัวล่าง
3	หม้อต้ม
4	วาล์วระบายน้ำและไอน้ำ (Gate valve)
5	หน้าแปลนปิดหม้อต้มตัวบน
6	ท่อสำหรับต่อเกจวัดแรงดัน
7	เกจวัดแรงดัน (Bourdon gauge)
8	วาล์วระบายไอน้ำฉุกเฉิน (Safety valve)
9	ท่อสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิล
10	ช่องทางสำหรับเติมน้ำ

11	แผ่นเหล็กปิดผนวกกันความร้อน
12	ฉนวนกันความร้อน (Ceramic Fiber)
13	ฮีตเตอร์ไฟฟ้า

2.2 การออกแบบหม้อต้มแรง

ในการออกแบบภาชนะทรงกระบอกเพื่อรับแรงดันนั้นจะวิเคราะห์ออกแบบด้วยค่าความเค้นตามแนวยาว (Circumferential Stress or Hoop Stress) ซึ่งมีขนาดเป็น 2 เท่าของความเค้นตามเส้นรอบวง (Longitudinal Stress) [4, 5] นอกจากนี้ ASME Boiler Code [2] ระบุว่าวัสดุที่ใช้สร้างหม้อไอน้ำต้องสามารถรับความเค้นได้อย่างน้อย ดังนี้ ความต้านแรงดึง (σ_t) = 380 N/mm² ความต้านแรงกด (σ_c) = 655 N/mm² ความต้านแรงเฉือน (τ) = 300 N/mm² โดยในงานออกแบบและสร้างหม้อต้มไอน้ำครั้งนี้จะใช้ค่าความต้านแรงดึงในการออกแบบ และใช้ค่าความปลอดภัยในการออกแบบเท่ากับ 5 สามารถที่จะคำนวณหาความหนาของภาชนะทรงกระบอกได้ด้วยสมการ (1)

$$\sigma_d = \frac{Pr}{t} \quad (1)$$

$$\text{โดยที่ความเค้นออกแบบ } (\sigma_d) = \frac{\text{Tensile Strength}}{\text{Design Factor}}$$

จากสมการ (1) จะได้ค่าความหนาเท่ากับ 4.27 mm โดยจาก ASME Boiler Code ได้แนะนำไว้ว่าผนังหม้อไอน้ำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าหรือต่ำกว่า 900 mm ควรมีความหนาน้อยกว่า 6 mm ดังนั้นในการออกแบบและสร้างครั้งนี้จึงเลือกใช้ความหนาของผนังหม้อต้มแรงดันเท่ากับ 6 mm ซึ่งเป็นวัสดุท่อไอน้ำ SCH80 [5]

2.3 การออกแบบและเลือกขนาดฮีตเตอร์

ในการออกแบบหม้อต้มแรงดันครั้งนี้กำหนดให้น้ำปริมาตร 3 ลิตร เดือดภายใต้ความดันบรรยากาศในเวลา

10 นาที โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเฉลี่ยประมาณ 27 °C สามารถคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์ไฟฟ้าได้ด้วยสมการที่ (2)

$$P_E = \frac{m\Delta h}{t} \quad (2)$$

จากตารางไอน้ำมาตรฐานพบว่าพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำเปลี่ยนจากอุณหภูมิ 27°C เป็นอุณหภูมิ 100°C (Δh) มีค่าเท่ากับ 305.79 kJ/kg น้ำ 3 ลิตร มีมวล (m) เฉลี่ยประมาณ 3 kg จะต้องให้พลังงานความร้อนทั้งหมดเท่ากับ ($305.79 \times 3 = 917.37$ kJ) โดยมีเวลา (t) ในการให้ความร้อนเท่ากับ 600 วินาที สามารถคิดเป็นกำลังไฟฟ้า (P_E) ได้เท่ากับ ($917.37 / 600 = 1.53$ kW) เลือกใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2 kW เพื่อชดเชยประสิทธิภาพของฮีตเตอร์และประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนของระบบ

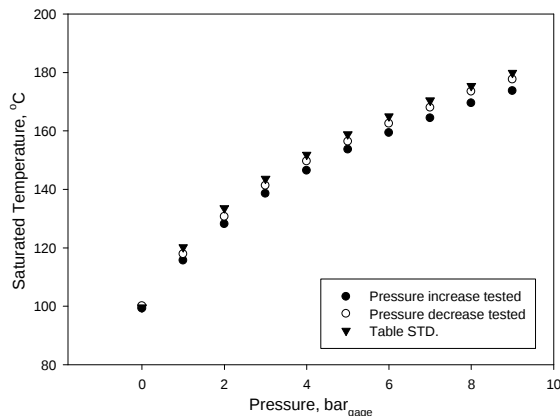
2.4 การทดลองและเงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองจะเริ่มต้มน้ำปริมาตร 3 ลิตร ให้เดือดที่ความดันบรรยากาศ หลังจากให้น้ำเดือดได้ประมาณ 1 บันทึกราคาอุณหภูมิอิ่มตัวแล้วปิดวาล์วระบายไอน้ำ จากนั้นปล่อยให้แรงดันและอุณหภูมิภายในหม้อต้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 9 bar_{gauge} โดยอ่านค่าอุณหภูมิอิ่มตัวเมื่อแรงดันเปลี่ยนเพิ่มขึ้นไปทุกๆ 1 bar ซึ่งจะเรียกการทดลองนี้ว่าเป็นการทดลองแบบเพิ่มแรงดัน (Pressure increase tested) หลังจากแรงดันภายในหม้อต้มแรงดันสูงถึง 9 bar จะหยุดป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่ฮีตเตอร์ แรงดันภายในจะสูงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยและรอจนกว่าแรงดันจะลดลงมาที่ 9 bar จากนั้นเริ่มอ่านค่าอุณหภูมิเมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลงลดลงไปทุกๆ 1 bar จนภายในเหลือแรงดันเท่ากับบรรยากาศ ซึ่งจะเรียกการทดลองนี้ว่าเป็นการทดลองแบบลดแรงดัน (Pressure decrease tested) เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิ่มตัวที่แรงดันต่างๆ

ในขณะที่ปริมาตรคงที่ และสามารถสังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เมื่อควบคุมระบบทั้งให้แรงดันเพิ่มและแรงดันลดลง

ตารางที่ 2 อุณหภูมิอิ่มตัวเมื่อแรงดันในหม้อต้มแรงดันเพิ่มขึ้นและลดลง

แรงดัน bar _{gage}	อุณหภูมิอิ่มตัว (°C)		
	เพิ่มแรงดัน	ลดแรงดัน	ค่ามาตรฐาน
0	99.25	99.12	99.63
1	115.69	117.89	120.23
2	128.14	130.65	133.55
3	138.56	141.32	143.63
4	146.47	149.61	151.86
5	153.65	156.35	158.85
6	159.39	162.48	164.97
7	164.42	167.98	170.40
8	169.51	173.49	175.38
9	173.74	177.64	179.90



รูปที่ 2 อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำจากการทดลองแบบเพิ่มแรงดันและลดแรงดัน กับค่าจากตารางไอน้ำมาตรฐาน

3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการต้มน้ำด้วยหม้อต้มแรงดันทั้งการทดลองแบบเพิ่มแรงดันและแบบลดแรงดัน เพื่อเทียบผลของอุณหภูมิอิ่มตัวที่ได้กับค่าจากตารางไอน้ำมาตรฐานดัง

ตารางที่ 2 [6] เมื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิอิ่มตัวดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามค่ามาตรฐานจากตารางไอน้ำ ซึ่งพบว่าการทดสอบแบบลดแรงดันสามารถอ่านค่าอุณหภูมิอิ่มตัวได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่าการทดสอบแบบเพิ่มแรงดัน เนื่องจากการทดสอบแบบเพิ่มแรงดันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เพิ่มขึ้นเร็วกว่าอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิอิ่มตัวที่อ่านได้จากการทดลองทั้งสองแบบนี้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นผลมาจากความละเอียดของเครื่องมือวัด การอ่านค่าแรงดันแบบเข็มด้วยสายตา และความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ที่ทำการทดลอง โดยการทดลองแบบเพิ่มแรงดันได้ผลต่ำกว่าค่ามาตรฐานเฉลี่ย 3.22% และการทดลองแบบลดแรงดันได้ผลต่ำกว่าค่ามาตรฐานเฉลี่ย 1.36% ซึ่งผลการทดลองชุดทดลองจุดอิ่มตัวของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศของ [1] มีค่าความผิดพลาดของผลการทดลองเฉลี่ย 2% จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของผลการทดลองไม่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า หม้อต้มแรงดันสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองในห้องปฏิบัติการได้ เนื่องจากให้ความเชื่อมั่นของผลการทดลองได้สูงกว่า 95% ทั้งการทดลองแบบเพิ่มแรงดันและแบบลดแรงดัน โดยมีค่าความผิดพลาดเพียง 1.36% สำหรับการทดลองแบบลดแรงดัน และ 3.22% สำหรับการทดลองแบบเพิ่มแรงดัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ต่อห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการถ่ายโอนความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี สำหรับการสนับสนุนทางการเงิน เทคโนโลยี และความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคต่างๆ จนทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

6. รายการสัญลักษณ์

σ_d	ความเค้นที่ใช้ในการออกแบบ (N/mm ²)
σ_t	ความเค้นดึง (N/mm ²)
σ_c	ความเค้นอัด (N/mm ²)
τ	ความเค้นเฉือน (N/mm ²)
P	แรงที่กระทำกับวัตถุ (N)
r	รัศมี (mm)
t	ความหนาของผนัง (mm)
P _E	กำลังไฟฟ้า (W)
m	มวล (kg)
Δh	ผลต่างของค่าความร้อน (kJ/kg)
t	เวลา (s)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนาพล สุขชนะ. (2551). การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองจุดอิมตัวของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- [2] Vukić Lazića, Dušan Arsića, Ružica R. Nikolića,b, Dragan Rakića, Srbislav Aleksandrovića, Milan Djordjevića, Branislav Hadzimab, (2016) Selection and Analysis of Material for Boiler Pipes in a Steam Plant, Procedia Engineering 149 (2016) 216 – 223.
- [3] ชนะ กสิภาร. ความแข็งแรงของวัสดุ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2522
- [4] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนังงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2556
- [5] วิวัฒน์ ภัททิยธนี. เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น , 2554.
- [6] สมชัย อัครทิวา, ขวัญจิตร วงษ์ขาริ. เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ : ท็อป/แมคกรอ-ฮิล.