

การศึกษาทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด Experimental Study on the Performance of a Spiral-Tube Steam Generator

อธิบัติ กลับสูงเนิน^{1,2}, ธนิสร์ ้วยโรจนวงศ์² และ บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

*ติดต่อ: boonrit.p@en.rmutt.ac.th, athibodee_g@mail.rmutt.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 088-242-5691, 087-100-4628

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมหุ่นยนต์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
เลขที่ 35 หมู่ที่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12120

ติดต่อ: athibodee@tistr.or.th, เบอร์โทรศัพท์ 087-100-4628

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไอน้ำที่มีขนาดกะทัดรัดหรือมีค่ากำลังการผลิตไอน้ำต่อน้ำหนักสูง บทความนี้รายงานผลการศึกษาเชิงทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด (STSG) ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดจำนวน 6 ชุด โดยแต่ละชุดทำด้วยท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ม้วนเป็นขดจำนวน 9 รอบ วางซ้อนกัน 6 ชั้น โดยที่ห้องเผาไหม้จะมีการวางหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส (Gas Burner) จำนวน 3 หัว การทดสอบใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิง มีการปรับอัตราการไหลเพื่อหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) ที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงของระบบต้นแบบ เพื่อให้ระบบผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ค่าอัตราส่วน A/F เท่ากับ 15.5:1 (มีค่าอากาศส่วนเกิน 15%) มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงและให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 23.81% สามารถผลิตไอน้ำได้ดีและเร็วที่สุดที่อัตรา 7.06 kg/h

คำหลัก: เครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดกะทัดรัด, กำลังการผลิตไอน้ำต่อน้ำหนัก, เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด

Abstract

The objective of this research is to design and fabricate a compact steam generator with high power to weight ratio. This paper reports the experimental study results on the performance test of a Spiral-Tube Steam Generator (STSG). This proposed STSG consists of 6 sets of coiled heat exchanger sets, each set made of stainless steel pipe, inner diameter of 6 mm, fold into 9 coils, and stacked for 6 layers. Where three premixed gas burners were located in the combustion chamber. In this study, Liquefied Petroleum Gas (LPG) was used as fuel. Actual air to fuel ratio (A/F) for the prototype STSG was figured out for obtaining the optimum efficiency. The experimental results shown that the actual A/F ratio of 15.5:1 (with 15% excess air) was suitable for operating the proposed system and the thermal efficiency of 23.81% with the maximum steam generation rate of 7 kg/h was obtained.

Keywords: Compact Steam Generator, Power to Weight Ratio, Spiral-Tube Steam Generator

1. บทนำ

ในช่วงที่เชื้อเพลิงและแหล่งพลังงานมีปริมาณลดลง การควบคุมมลภาวะและการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าเป็นประเด็นที่ต้องได้รับความสนใจ ทั้งนี้ปัญหาการใช้พลังงานความร้อนและเชื้อเพลิงอย่างไร้ประสิทธิภาพจากภาคอุตสาหกรรม จึงมีผลทำให้เกิดการคิดค้นการนำพลังงานทดแทนหรือแม้แต่การหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเกรดต่ำเข้ามาแทนที่การใช้พลังงานเชื้อเพลิงประสิทธิภาพสูง แต่ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าชีวมวลประสบปัญหาในด้านการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน นิยมใช้เชื้อเพลิงประสิทธิภาพสูงในการเผาไหม้ ซึ่งเมื่อต้องการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อลดต้นทุน จึงมีการเปลี่ยนแปลงในด้านพลังงาน โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคอร์ที่มาจากกาเผาไหม้ชีวมวลทดแทนในภาคอุตสาหกรรมทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันทาร์ทำให้เกิดเครื่องยนต์สันดาปภายในเกิดคราบน้ำมันทาร์สะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์สันดาปภายใน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องและมีภาระค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สูง

จากปัญหาข้างต้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขดซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกประเภทหนึ่ง เพราะมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนเหมาะสมกับการนำมาใช้งานกับพลังงานเชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคอร์ที่มาจากกาเผาไหม้ชีวมวล เนื่องจากโครงสร้างและส่วนประกอบภายในของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขดไม่มีชิ้นส่วนในการเคลื่อนที่ใดๆ มีเพียงห้องเผาไหม้เท่านั้น โดยอาศัยการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคอร์ที่มาจากกาเผาไหม้ชีวมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดพลังงานความร้อน จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกลไกการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด แต่ใช้เพียงพลังงานความร้อนที่ได้จากห้องเผาไหม้ส่งผ่านไปยังหม้อต้มไอน้ำแบบท่อขด (Water Tube Boiler) ทำให้น้ำที่อยู่ภายในท่อเกิดความร้อนและเปลี่ยนแปลงสถานะกลายเป็นไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในระบบการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขดมี

ข้อดีในด้านการใช้เชื้อเพลิงเกรดต่ำ มีขนาดกะทัดรัดและมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี

งานวิจัยนี้มีความมุ่งเน้นในการศึกษาและทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด โดยจะศึกษาการปรับค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) ที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง เพื่อให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดในการผลิตไอน้ำ โดยการทดสอบจะใช้เชื้อเพลิง แก๊ส LPG เพื่อให้สะดวกกับการทดสอบและให้ได้ค่าทางความร้อนที่คงที่

2. ทฤษฎี

2.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{boiler} = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_w)}{(\dot{m}_f \times HHV)} \times 100$$

โดย

η_{boiler} คือ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

\dot{m}_s คือ มวลของไอน้ำ(kg/h)

h_s คือ เอนทัลปีของไอน้ำ(kJ/kg)

h_w คือ เอนทัลปีของน้ำป้อน(kJ/kg)

\dot{m}_f คือ ปริมาณเชื้อเพลิง(kg/h)

HHV ค่า ความร้อนสูงของแก๊สหุงต้ม(kJ/kg)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำแสดงถึงความสามารถในการในการผลิตไอน้ำ ยิ่งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง แสดงว่ามีความสามารถในการผลิตไอน้ำได้ดี

3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

3.1 ลักษณะของเครื่องกำเนิดไอน้ำต้นแบบ

เครื่องกำเนิดไอน้ำต้นแบบประกอบด้วยห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยที่ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีการวางหัวเผาไหม้แก๊ส (Burner) จำนวน 3 หัว มีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 6 ชุด แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยแต่ละชุดจะม้วนขดเป็นวง และยึดด้วยลวดสแตนเลสขนาด 1.5 มิลลิเมตร และจะยึดทั้ง 6 ชุด เข้าด้วยกันโดยวางทับกันเป็น 6 ชั้น แล้วยึดด้วยลวดสแตนเลสขนาด

1.5 มิลลิเมตร โดยที่ท่อหมุนขดทำจากท่อสแตนเลสแบบไร้ตะเข็บขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 6 มิลลิเมตร ความหนาท่อ 1 มิลลิเมตร ลักษณะของเครื่องกำเนิดไอน้ำต้นแบบและเครื่องมือวัดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.3

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบจะเดินเครื่องไปที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้เท่ากับ 850 °C จะเริ่มเก็บผลทุก 1 นาที เก็บผลใช้เวลาที่ 20 นาทีต่อ 1 ตัวอย่างการทดสอบ โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ที่ค่าอัตราส่วน A/F เท่ากับ 15.5:1 โดยค่าอากาศส่วนเกินที่ทำการปรับที่ 0% , 5% , 10% , 15% , 20% ดังนี้

-การทดสอบจะใช้อัตราป้อนแก๊สคงที่ 1.5 kg/h

-การทดสอบจะใช้อัตราป้อนน้ำเข้าระบบที่แรงดันบรรยากาศที่ 101.325 kPa

-การทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขดจะทำการทดสอบโดยให้ไอน้ำระเหยออกที่แรงดันบรรยากาศที่ 101.325 kPa และวัดปริมาณน้ำป้อนที่ลดลงเทียบกับเวลาในการทดสอบ

-การทดสอบจะใช้อัตราป้อนอากาศส่วนเกินตามตารางที่ 3.1

-การวัดค่าอัตราป้อนแก๊สจะใช้ ตาชั่ง และ Gas Rotameter

-การวัดค่าอัตราป้อนอากาศจะใช้ Air Rotameter

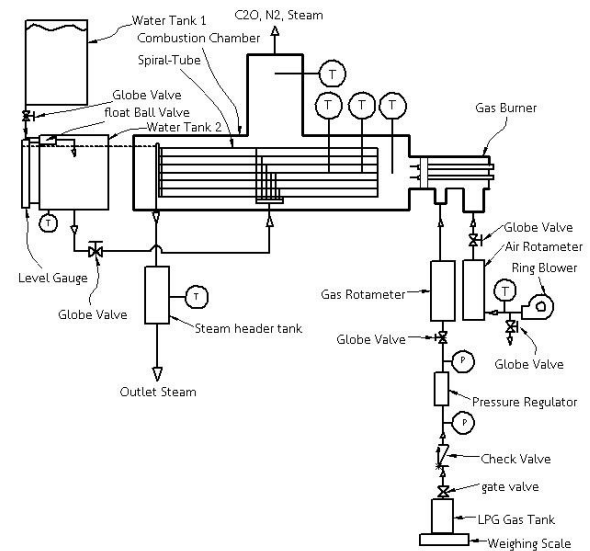
-การวัดค่าอัตราป้อนน้ำเข้าระบบจะวัดโดยการวัดระดับน้ำที่ลดลงจากถังจ่ายน้ำ

-การวัดค่าของอุณหภูมิห้องเผาไหม้ทั้ง 3 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอเสีย, ค่าของอุณหภูมิไอน้ำ, ค่าของอุณหภูมิอากาศป้อน, ค่าของอุณหภูมิบรรยากาศจะวัดโดย Thermocouple Type B และ Type K โดยบันทึกผลด้วย Data Logger

-การวัดค่าของกระแสไฟฟ้าจะใช้ Ammeter

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 5 ตัวอย่าง

ค่าอากาศส่วนเกิน (%)	อัตราเชื้อเพลิง LPG (Kg/h)	อัตราป้อนอากาศ (Kg/h)	อุณหภูมิเชื้อเพลิง LPG (K)	อุณหภูมิอากาศป้อน (K)
0	1.5	23.28	300	318.15
5	1.5	24.44	300	318.15
10	1.5	25.60	300	318.15
15	1.5	26.77	300	318.15
20	1.5	27.93	300	318.15



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการทดสอบ และอุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด (STSG)

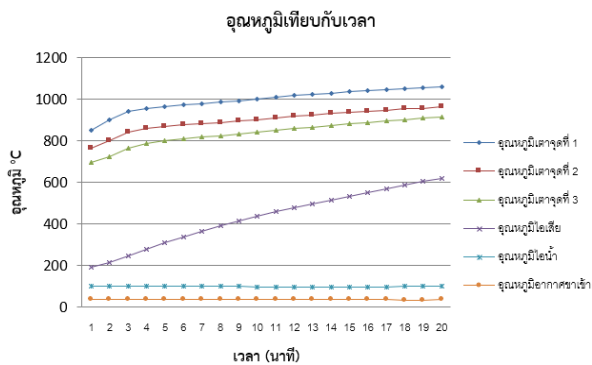


รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของท่อขดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อขด (STSG)

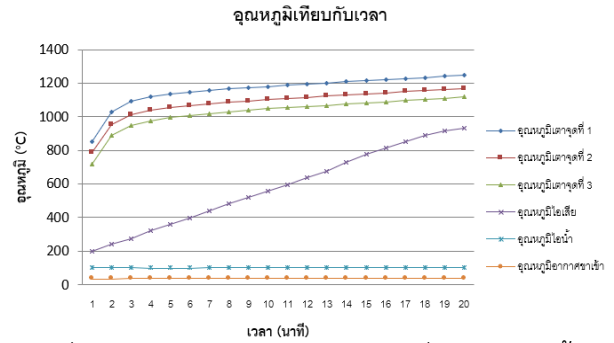


รูปที่ 3.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อซัด (STSG)

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

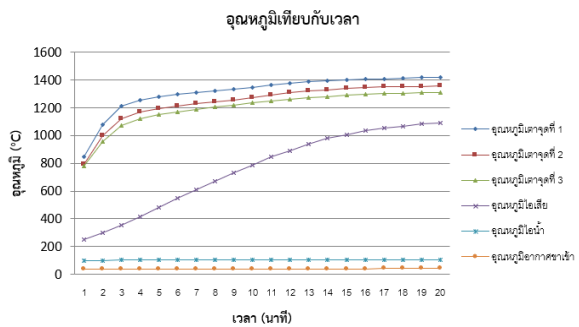


รูปที่ 4.1 กราฟผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อซัด (STSG) โดยมีค่าอากาศส่วนเกินที่ 0%
จากรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1062°C โดยมีอุณหภูมิทางออกไอเสียอยู่ที่ 620°C และมีอัตราการผลิตไอน้ำอยู่ที่ 5.43 kg/h. โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 18.31%



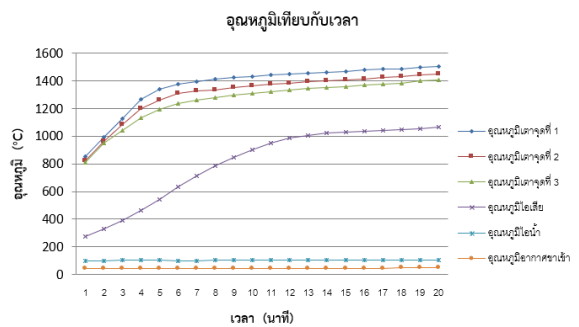
รูปที่ 4.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อซัด (STSG) โดยมีค่าอากาศส่วนเกินที่ 5%

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1247°C โดยมีอุณหภูมิทางออกไอเสียอยู่ที่ 933°C และมีอัตราการผลิตไอน้ำอยู่ที่ 6.24 kg/h. โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 21.04%



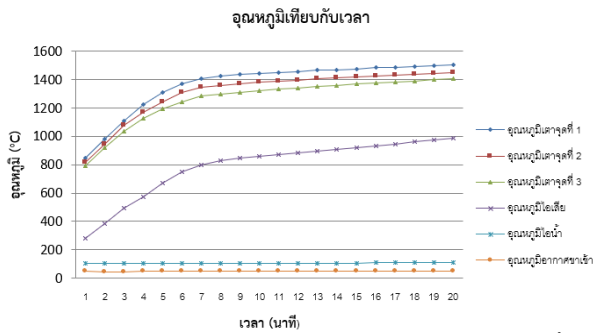
รูปที่ 4.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อซัด (STSG) โดยมีค่าอากาศส่วนเกินที่ 10%

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1420°C โดยมีอุณหภูมิทางออกไอเสียอยู่ที่ 1091°C และมีอัตราการผลิตไอน้ำอยู่ที่ 6.52 kg/h. โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 21.99%



รูปที่ 4.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อซัด (STSG) โดยมีค่าอากาศส่วนเกินที่ 15%

จากรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1506°C โดยมีอุณหภูมิทางออกไอเสียอยู่ที่ 1064°C และมีอัตราการผลิตไอน้ำอยู่ที่ 7.06 kg/h . โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 23.81%



รูปที่ 4.5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อชุด (STSG) โดยมีค่าอากาศส่วนเกินที่ 20%

จากรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 1505°C โดยมีอุณหภูมิทางออกไอเสียอยู่ที่ 986°C และมีอัตราการผลิตไอน้ำอยู่ที่ 6.68 kg/h . โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 22.53%

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบพบว่าที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) เท่ากับ $15.5:1$ (มีค่าอากาศส่วนเกิน 15%) มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงและให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 23.81% สามารถผลิตไอน้ำได้ดีและเร็วที่สุดที่อัตราการผลิตไอน้ำ 7.06 kg/h . จากทั้ง 5 ตัวอย่างการทดสอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยจากโครงการภาคีบัณฑิต ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณ สถานที่ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chung-Jen Tseng and John R. Howell, 1994, "Liquid Fuel Combustion With Porous Inert Media", Heat Transfer with Combined Modes, Vol. 299.
- [2] Yoshinori Itaya, Tomohiro Suzuki and Masanobu Hasatani, 1995, "Combustion Characteristics of a Liquid Fuel in a Porous Burner", ASME Thermal Engineering, Vol. 3.
- [3] Michele Kaplan, Matthew J.Hall, 1995, "The Combustion of Liquid Fuels within a Porous Media Radiant Burner", Experimental Thermal and Fluid Science 1995, 11: 11-20.
- [4] บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว และสำเร็จ จักรใจ, 2544, "การระเหยและการเผาไหม้ของละอองเชื้อเพลิงเหลวภายในวัสดุพรุน", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, 28-30 พฤศจิกายน, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร), กรุงเทพฯ, หน้า CM-34 ถึง CM-43.
- [5] สำเร็จ จักรใจ. การเผาไหม้ Combustion. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [6] Stephen R. Turns. An introduction to Combustion. 3rded. Boston : McGRAW-HILL, 2012.