

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง

Performance Study of Low Pressure Steam Generator for Pasteurizing Straw Mushroom House

ไพโรจน์ พิพัฒน์สุวรรณ^{1*}, ภาคภูมิ ศรีธรรม¹, ภรณี ศรีธรรม², พิชัย อัญมมงคล¹ และ สมมาส แก้วล้วน¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถ.รังสิต-นครนายก ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

*ติดต่อ: P.Pairote itd@yahoo.com, 0970080009

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางด้วยเตาแก๊สชีวมวลประสิทธิภาพสูงซึ่งควบคุมการปนเปื้อนอากาศด้วยวาล์ว การวิจัยนี้ได้ศึกษาตำแหน่งวาล์วปนเปื้อนอากาศ 0% 50% และ 100% โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตความร้อนคือกิ่งไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความร้อน 15.83 เมกะจูล/กิโลกรัม ผลการทดสอบผลิตไอน้ำพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต่ำสุด 120 และ 100 ลิตร/ชั่วโมง และอัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนสูงสุดและต่ำสุด 33 และ 29 กิโลกรัม/ชั่วโมงโดยผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง 66% และ 54 % สำหรับการทดสอบอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางขนาด 308 ลูกบาศก์เมตร ใช้เวลาทั้งสิ้น 8 ชั่วโมง โดย 3 ชั่วโมงแรกอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้นจาก 28 °C เป็น 60 °C และ 5 ชั่วโมงสุดท้ายเป็นการปนไอน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้คงที่ 60 °C เครื่องผลิตไอน้ำให้ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์โดยสามารถประหยัดไม้ฟืนได้ร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางลดลงจาก 600 บาท เหลือประมาณ 240 บาท จากการตรวจวัดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศพบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO จาก 9,630ppm ลดลงเหลือ 522 ppm และจากการสังเกตไอเสียที่ปล่องควันพบว่าไม่มีสีน้ำตาลในขณะที่ไอเสียจากเตาเดิมมีสีน้ำตาลส่งผลให้การปล่อยมลพิษลดลง ดังนั้นเมื่อกลุ่มเกษตรกรเพาะเห็ดฟางนำเครื่องผลิตไอน้ำนี้ไปใช้จะทำให้ลดผลกระทบการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลดีต่อสุขภาพของเกษตรกรด้วย

คำหลัก: เครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำ, เตาแก๊สชีวมวล, ชีวมวล, โรงเรือนเพาะเห็ดฟาง

Abstract

The purpose of this study is analyzing the efficiency of low-pressure steam generator for pasteurizing a straw mushroom house by using biomass gasifier stove controlled air inlet by valve. The air inlet valve position at 0%, 50% and 100% were studied in this work. Eucalyptus wood with the heating value at 15.83 MJ/kg was used as fuel in this biomass gasifier stove. The results showed that the maximum and minimum of steam production were 120 and 100 L/h respectively. The highest consumption rate of fuel use was at 33 kg/h and the lowest rate was 29 kg/h. The efficiency of the steam generator represented in the range of 66% to 54%. The experiment took 8 hours for the steam produced to pasteurize a 308 m³ steam mushroom house. For the first three hours, the temperature in the straw mushroom house increased from 28 °C to 60 °C. About 5 hours before finishing, the steam was feed for maintaining the temperature in the straw mushroom house at 60 °C. This steam generator is cost-effective. The amount of eucalyptus wood was used as fuel in this biomass gasifier stove less than the conventional stove almost 60%. Therefore, the cost was reduced from 600 to 240

Baht. Moreover, air pollution emission of CO was decreased from 9,630 ppm to 522 ppm. In addition, the exhaust gas was found brownish from the self-designed steam generator while black exhaust gas was found from the original type burning affect to decrease pollution. This work indicated that the agriculturists will be healthier and this technique is more environments friendly.

Keywords: Low-Pressure steam generator; Gasifier stove; Biomass; Straw mushroom house

1. บทนำ

จากการลงพื้นที่สำรวจสภาพปัญหาและความต้องการของชุมชนรอบมหาวิทยาลัย ตามโครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากชีวมวลสู่ชุมชน พบว่าพื้นที่ตำบลโพธิ์แทน อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก มีปัญหาทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการประกอบอาชีพเพาะเห็ดฟางของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งมีโรงเรือนเพาะเห็ดฟางมากกว่า 50 โรงเรือน โดยสภาพปัญหาที่พบสามารถสรุปได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

ปัญหาแรกคือการใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำฆ่าเชื้อในโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง ซึ่งการเผาเยางรถยนต์แบบไม่สมบูรณ์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อการอบฆ่าเชื้อ 1 โรงเรือน ซึ่งการเผาไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศ มีกลุ่มควันพิษจำพวกก๊าซไตรนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [1] และฝุ่นยาง ฟุ้งกระจายตามลมดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบหายใจของคนในชุมชน นอกจากนั้นฝุ่นยางยังไปตกปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำจับตามใบพืชผักและผลไม้ และเกาะเสื้อผ้าที่ผึ่งแดดไว้



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 การใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิง (ก) เพื่อผลิตไอน้ำ
ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ (ข)

ปัญหาที่สองคือการใช้เตาเผาเชื้อเพลิงแข็งประสิทธิภาพต่ำ (ที่เป็นแบบง่าย ๆ) คือการวางเชื้อเพลิงบนพื้นเตาและเป่าลมเข้าผสม ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ โดยผลตรวจวัดการเผาไหม้เบื้องต้นพบว่า มีค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงถึง 9,630 ppm และจากการสังเกตไอเสียพบว่า มีสีดำ เนื่องจากเชื้อเพลิงแข็งมีขนาดใหญ่การเป่าลมเข้าสัมผัสกับเชื้อเพลิงจึงไม่สม่ำเสมอ ไม่ทั่วถึง และใช้ปริมาณอากาศมาก จากการสอบถามในชุมชนพบว่า การอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำในโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง 1 ครั้งใช้ยางรถบรรทุก 5 ถึง 7 เส้น ดังรูปที่ 1 มีค่าใช้จ่ายประมาณ 500 ถึง 700 บาท หรือกรณีใช้ไม้ฟืนดังรูปที่ 2 จะใช้ไม้ฟืนประมาณ 1 คันรถ มีค่าใช้จ่ายประมาณ 600 ถึง 800 บาท



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 การใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง (ก) เพื่อผลิตไอน้ำ
ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ (ข)

ปัญหาที่สามคือ ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำจากการใช้ถ่านน้ำมันเก่ามาดัดแปลงเป็นเครื่องผลิตไอน้ำ นอกจากประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนจะต่ำ มีความร้อนสูญเสียมาก และสิ้นเปลืองค่าเชื้อเพลิงแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการระเบิดระหว่างการใช้งานอีกด้วย ปกติเครื่องผลิตไอน้ำแบบถ่านน้ำมันเก่าดัดแปลงจะมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี (อ้างอิงจากผู้ใช้งาน) แต่หากไม่ระมัดระวังปล่อยให้ให้น้ำแห้งก็จะทำให้น้ำมันเกิดการทะลุได้เสียหายทันที ซึ่งการสร้างเครื่องผลิตไอน้ำแบบถ่านน้ำมันเก่าจะมีค่าใช้จ่าย ประมาณ 6,000 บาทต่อชุด

การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนมีการพัฒนาเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำที่มีประสิทธิภาพสูง โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของการผลิตไอน้ำแบบท่อน้ำ และท่อไฟที่ถูกออกแบบให้เป็นชุดเดียวกันภายในตัวเรือน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงLPG มีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 71.3% [2] และมีการศึกษา ทดสอบ และเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวล ที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง กับเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้เตาแก๊สหุงต้ม 80% [3]

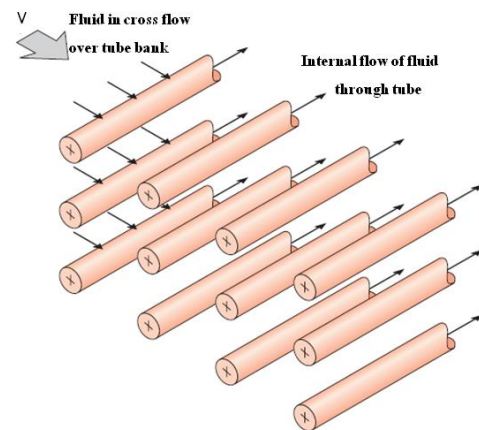
คณะผู้วิจัยมีความตระหนักถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มเกษตรกรเพาะเห็ดฟางทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมจึงได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับกระบวนการอบฆ่าเชื้อในโรงเรือนเพาะเห็ดฟางโดยใช้เตาแก๊สชีวมวล ประสิทธิภาพสูง นอกจากนั้นผลการวิจัยที่เกิดขึ้นยังสามารถสร้างประโยชน์โดยนำไปบริการวิชาการแก่ชุมชนต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

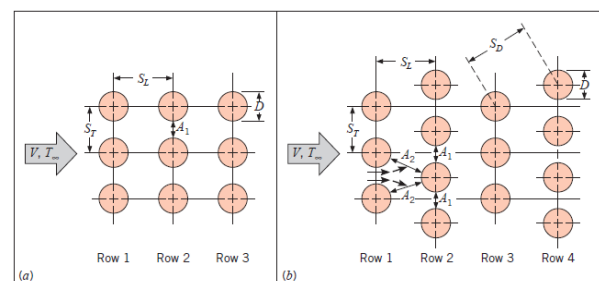
การต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำความดันต่ำโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นอากาศร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ ซึ่งแนวความคิดในการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับน้ำนั้นจะใช้ชุดกลุ่มท่อ(Tube bank) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากต้องการปริมาณไอน้ำมากในการใช้งานจึงให้น้ำไหลไปรับความร้อนในชุดกลุ่มท่อซึ่งมีหลักการทำงานและการคำนวณดังนี้

2.1 ชุดกลุ่มท่อ

ชุดกลุ่มท่อจะเป็นลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลภายในท่อกับของไหลที่ไหลตัดภายนอกท่อตามรูปที่ 3 โดยท่อจะมีการวางเรียงเป็นแถวเป็นแนวแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือแบบวางในแนวเดียวกัน (Aligned) และแบบวางสลับหรือเอียงกัน (Staggered) ตามรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะการไหลผ่านชุดกลุ่มท่อ [4]



(ก)

(ข)

รูปที่ 4 ลักษณะชุดกลุ่มท่อแบบวางในแนวเดียวกัน (ก) และแบบวางเอียงกัน (ข) [4]

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนในรูปของค่า Nu (Nusselt number) [4-5] มีสมการดังนี้

$$\overline{Nu}_D = C_1 C_2 Re_{D,max}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr_\infty}{Pr_s} \right)^{0.25} \quad (1)$$

โดยที่

$\overline{Nu}_D$ คือ ค่าเฉลี่ยนัสเซลล์นัมเบอร์

C_1, C_2 คือค่าคงที่ของลักษณะการจัดวางท่อ

$Re_{D,max}$ คือค่า Reynolds number ของของไหลที่ไหลผ่านกลุ่มท่อที่มีค่ามากที่สุด (คิดจากความเร็วกว่าที่ไหลผ่านมากที่สุด)

m คือค่าคงที่ของลักษณะการจัดวางท่อ

Pr_∞, Pr_s คือค่า Prandtl number ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่สัมผัสกับของไหลที่บริเวณผิวท่อ

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การคำนวณหาความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ Nu เป็นตัวแปรในการบ่งชี้ถึงการถ่ายเทความร้อนว่า

มากหรือน้อยเนื่องจากเป็นตัวแปรไร้มิติซึ่งจะสามารถใช้เทียบกับขนาดหรือคุณสมบัติบางประการที่ต่างกันได้โดยคำนวณจากสมการ (1) แล้วนำมาหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการป้อนให้ความร้อนตามสมการที่ (2) และ (3) [4]

$$\overline{Nu}_D = \frac{hD_h}{k} \quad (2)$$

$$Q = mC_p(T_{in} - T_{out}) = hA_s(T_w - T_b) \quad (3)$$

โดยที่

Q คือความร้อนที่ป้อนให้กับชุดกลุ่มท่อ, W

m คือมวลการไหลของแก๊สร้อน, kg

C_p คือค่าความร้อนเฉพาะของแก๊สร้อน, kJ/kg·K

T_{in} คืออุณหภูมิทางเข้าของแก๊สร้อนก่อนกระทบกับกลุ่มท่อ, °C

T_{out} คืออุณหภูมิทางออกของแก๊สร้อนหลังกระทบกับกลุ่มท่อ, °C

h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m²·K

A_s คือพื้นที่ผิวของกลุ่มท่อ, m²

T_w คืออุณหภูมิเฉลี่ยผนังท่อ, °C

T_b คืออุณหภูมิของไหลเฉลี่ย, °C

D_h คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, m

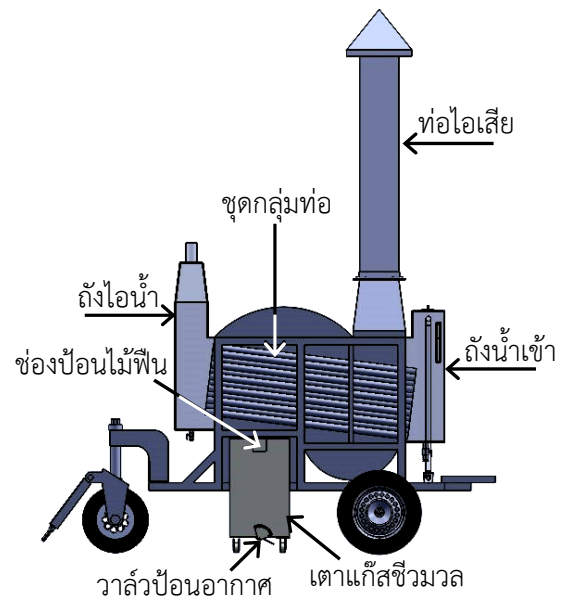
k คือค่าการนำความร้อนของอากาศ, W/m·K

3. เครื่องผลิตไอน้ำ

3.1 การออกแบบและการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ

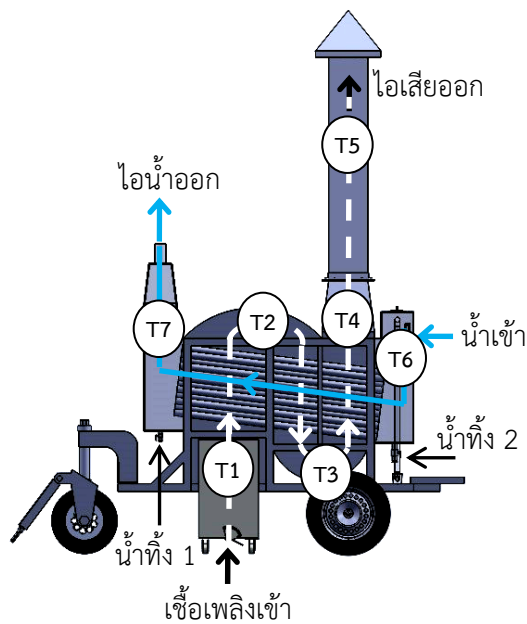
เครื่องผลิตไอน้ำมีลักษณะเป็นกลุ่มท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จำนวน 36 ท่อ ที่จัดวางแบบเอียงกัน โดยมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 8.54 m² ทำให้ได้ความยาวท่อเท่ากับ 1.5 m โดยท่อน้ำวางเอียง 10 องศาเพื่อให้ น้ำไหลเข้ากลุ่มท่อด้านหนึ่งและไอน้ำไหลออกจากกลุ่มท่อด้านหนึ่ง เครื่องผลิตไอน้ำถูกออกแบบให้เคลื่อนย้ายสะดวกและใช้งานง่าย การเติมน้ำสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยการควบคุมระดับน้ำเข้าด้วยระบบลูกลอย เตาแก๊สชีวมวลถูกติดตั้งภายในเครื่องผลิตไอน้ำที่ถูกออกแบบให้ป้อนไม้ฟืนด้านหน้าเตาโดยไม้ฟืนที่ใช้เป็นไม้ยูคาลิปตัสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว และยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มีค่าความร้อนประมาณ 15.83 เมกะจูล/กิโลกรัมเตาแก๊สชีวมวลสามารถเร่งหรือการเผาไหม้ได้โดยการปรับวาล์วป้อนอากาศเพื่อผลิตอากาศร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในชุดกลุ่มท่อ

เพื่อให้ น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและมีการออกแบบโครงสร้างเครื่องให้มีการหมุนวนของอากาศร้อน 3 กลีบ โดยกลีบที่ 2 และ 3 อากาศร้อนจะผ่านบริเวณที่ไม่ได้รับความร้อนโดยตรงจากเตาแก๊สชีวมวลและปล่อยออกสู่ท่อไอเสียตามรูปที่ 6 ซึ่งการหมุนวนของอากาศร้อนในกลีบที่ 3 นี้ ทำให้น้ำเข้าเครื่องผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้เครื่องผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งมีรายละเอียดของโครงสร้างตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างเครื่องผลิตไอน้ำ

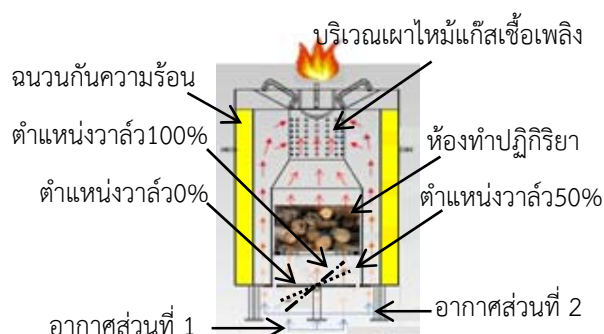
เครื่องผลิตไอน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนกับน้ำในชุดกลุ่มท่อ ดังรูปที่ 6 โดย T1 คือ อุณหภูมิแก๊สร้อนเหนือเตาแก๊สชีวมวล T2 คือ อุณหภูมิทางออกของแก๊สร้อนในกลีบที่ 1 T3 คือ อุณหภูมิทางออกของแก๊สร้อนในกลีบที่ 2 T4 คือ อุณหภูมิทางออกของแก๊สร้อนในกลีบที่ 3 T5 คือ อุณหภูมิไอเสีย T6 คือ อุณหภูมิ น้ำเข้า และ T7 คือ อุณหภูมิ น้ำที่กลายเป็นไอน้ำ นอกจากนี้จุดที่วัดอุณหภูมิไอเสียยังถูกออกแบบสำหรับการวัดก๊าซไอเสียด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซหือ Testo โมเดล 350 XL



รูปที่ 6 ลักษณะการทำงานและการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของเครื่องผลิตไอน้ำ

3.2 เตาแก๊สชีวมวล [3-6]

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาแก๊สชีวมวลคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลด้วยการจำกัดปริมาณอากาศในระหว่างการทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ผลผลิตเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ เตาแก๊สชีวมวลมีลักษณะเป็นเตาผนัง 2 ชั้น คือส่วนของการเผาไหม้และช่องสำหรับให้อากาศร้อนไหลผ่านออกสู่ด้านบนของเตาแก๊สชีวมวลที่ได้จะลอยขึ้นสู่ด้านบนและเกิดการสันดาปด้านบนของเตากับอากาศร้อนที่ซึ่งเป็นอากาศที่ไหลจากด้านล่างของเตาเข้าสู่ช่องอุ่นอากาศโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังเตาชั้นในและไหลออกทางด้านบนของเตาส่งผลทำให้การปลดปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศลดลง ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแสดงการทำงานเตาแก๊สชีวมวล

โดยวาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 0% คือ ตำแหน่งวาล์วที่ป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าห้องทำปฏิกิริยาที่เพียงพอสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพและมีปริมาณพอติดกับการเผาไหม้กับอากาศส่วนที่ 2 ได้ความร้อนจากการเผาไหม้สูงสุด วาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 50% คือ ตำแหน่งวาล์วที่ป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าห้องทำปฏิกิริยาที่ค่อนข้างมากเกินพอสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จึงทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำลง จึงไม่สามารถเผาไหม้กับอากาศส่วนที่ 2 ได้อย่างสมบูรณ์ วาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 100% คือ ตำแหน่งวาล์วที่ป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าห้องทำปฏิกิริยาที่มากเกินไปสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จึงทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำสุดจึงเผาไหม้กับอากาศส่วนที่ 2 ได้ยาก

4. การออกแบบการทดลอง

4.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตไอน้ำ

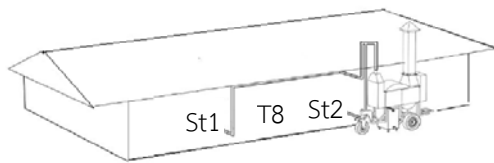
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำด้วยอัตราการผลิตไอน้ำที่แตกต่างกันตามปริมาณความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้ยูคาลิปตัสด้วยเตาแก๊สชีวมวลแบ่งการทดลองเป็น 3 เงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ปรับวาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 0% เงื่อนไขที่ 2 ปรับวาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 50 % และเงื่อนไขที่ 3 ปรับวาล์วป้อนอากาศเข้าเตา 100 % การทดลองทั้ง 3 เงื่อนไขบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแก๊สร้อนเหนือเตา T1 และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สร้อนหลังจากการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านชุดกลุ่มท่อจุดที่ T2 ถึง T4 อุณหภูมิไอเสีย T5 อุณหภูมิน้ำเข้า T6 และอุณหภูมิน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ T7 เพื่อดูเวลาการต้มให้กลายเป็นไอน้ำที่ปริมาณน้ำที่กลายเป็นไอน้ำในเวลาหนึ่งชั่วโมงจากมาตรวัดน้ำที่ต่อเข้ากับจุดน้ำเข้าเครื่องผลิตไอน้ำตามรูปที่ 6 เพื่อดูอัตราการผลิตไอน้ำและบันทึกปริมาณการใช้ไม้ฟืนภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง และมีการตรวจวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้

4.2 การอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง

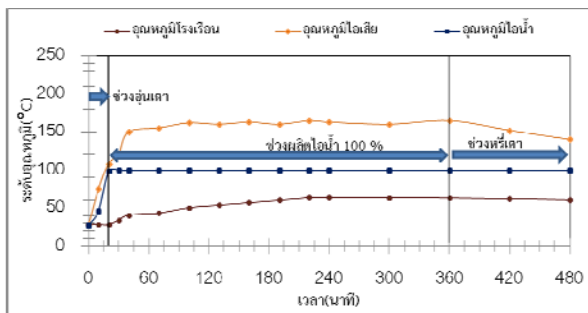
การทดลองอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางขนาด 308 ลูกบาศก์เมตรด้วยเครื่องผลิตไอน้ำโดยใช้ไอน้ำป้อนทั้งหมด 925 ลิตรเต็มเข้าเครื่องตามรูปที่ 6 โดยเติมครั้งแรกจำนวน 350 ลิตรและน้ำป้อนส่วนที่เหลือจะถูกเติมเข้าตามจังหวะการทำงานของลูกลอยหลังจากนั้นทำการจุดเตาแก๊สชีวมวลเพื่อผลิตแก๊สร้อนป้อนให้กับน้ำในชุดกลุ่มท่อภายในเครื่องผลิตไอน้ำทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะ

เป็นไอน้ำไหลออกจากเครื่องผลิตไอน้ำที่จุดไอน้ำออกตามรูปที่ 6 และไอเสียถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไอน้ำไหลไปตามท่อเพื่อจ่ายเข้าโรงเรือนสองจุด (St1, St2) และวัดอุณหภูมิโรงเรือน T8 ตามรูปที่ 8 การอบฆ่าเชื้อภายในโรงเรือนเพาะเห็ดฟางโดยการควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนให้คงที่ 60 °C (T8) เป็นเวลา 5 ชั่วโมงซึ่งการควบคุมอุณหภูมินี้สามารถทำได้โดยการควบคุมปริมาณการป้อนไม้ฟืนให้กับเตาแก๊สชีวมวล



รูปที่ 8 ระบบท่อจ่ายไอน้ำและการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง

การอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางโดยการควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนให้คงที่ 60 °C ในเวลา 5 ชั่วโมงโดยพิจารณาการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงอุ่นเตา 20 นาทีเพื่อต้มน้ำให้ได้อุณหภูมิ 100 °C ช่วงผลิตไอน้ำ 100% 340 นาที และช่วงหรีเตา 120 นาที และปิดเตาดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำสำหรับการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟาง

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องผลิตไอน้ำ

เครื่องผลิตไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้สูงสุดและต่ำสุด 120 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับโดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุดและต่ำสุด 33 และ 29 กิโลกรัม/ชั่วโมงตามลำดับโดยผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำตามสมการที่ (4) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 66%

และ 54% ที่ซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำและช่วงเวลาในการต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำที่แตกต่างกันตามภาระความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องผลิตไอน้ำในแต่ละเงื่อนไขการทดลองตามตารางที่ 1 ปริมาณภาระความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องผลิตไอน้ำในแต่ละเงื่อนไขการเปิดวาล์วป้อนอากาศมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอัตราการผลิตไอน้ำเนื่องจากการเผาไหม้ที่วาล์วป้อนอากาศ 0% สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่มากกว่า 50% และ 100% และแปรผันโดยตรงกับเวลาในการต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำตามรูปที่ 10 ในขณะที่การเผาไหม้ของเตาชีวมวลที่ตำแหน่งวาล์วที่ป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าห้องทำปฏิกิริยา 0% ให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดที่ 800 °C มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดที่ 522 ppm ตามตารางที่ 1 และจากการสังเกตไอเสียพบว่าไม่มีน้ำตาล

$$\eta = \frac{\dot{m}_g (h_2 - h_1)}{\dot{m}_f \text{LHV}} \quad (4)$$

โดยที่

η คือสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำ

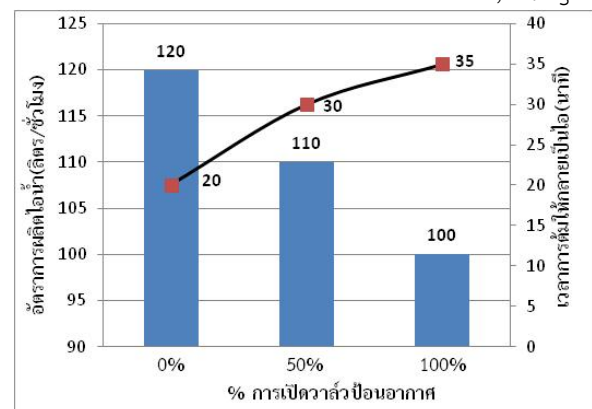
$\dot{m}_g$ คืออัตราการผลิตไอน้ำ, kg/hr

$\dot{m}_f$ คืออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, kg/hr

h_2 คือพลังงานความร้อน(Enthalpy) ไอน้ำ, kJ/kg

h_1 คือพลังงานความร้อน(Enthalpy) น้ำป้อน, kJ/kg

LHV คือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล, kJ/kg

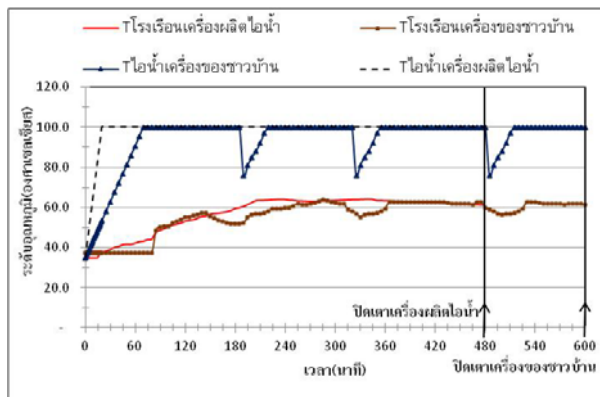


รูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราการผลิตไอน้ำและเวลาการต้มน้ำให้เป็นไอน้ำตามการเปิดวาล์วป้อนอากาศ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงอุณหภูมิแก๊สร้อนและองค์ประกอบไอเสียที่ตำแหน่งวาล์วป้อนอากาศต่าง ๆ

ตำแหน่งวาล์ว	อุณหภูมิแก๊สร้อน (°C)				องค์ประกอบไอเสีย	
	T1	T2	T3	T4	CO (ppm)	% O ₂
0%	800	330	223	166	522	4.80
50%	750	380	235	171	1815	8.70
100%	695	409	270	180	5438	11.20

ในกระบวนการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางเปรียบเทียบระหว่างเครื่องผลิตไอน้ำและเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านตามรูปที่ 11 การต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำความดันต่ำด้วยเครื่องผลิตไอน้ำใช้เวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งเร็วกว่าเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านที่ใช้เวลาประมาณ 60 นาที เนื่องจากเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านมีการสูญเสียความร้อนสูงกว่าเครื่องผลิตไอน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำฉะนั้นการควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนให้คงที่ 60 °C ด้วยเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านสามารถทำได้ช้ากว่าและไม่ต่อเนื่องเนื่องจากต้องมีการเติมน้ำ 200 ลิตรทุก ๆ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำกับเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้าน

5.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและค่าใช้จ่าย

ในกระบวนการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนเพาะเห็ดฟางขนาด 308 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 30 โรงเรือนด้วยเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำใช้เงินลงทุนต่ำกว่าเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้าน (แบบใช้ถังน้ำมันเก่าขนาด 200 ลิตรจำนวนสองใบ) ร้อยละ 80 และสามารถลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อปีได้ร้อยละ 72 นอกจากนี้เครื่องผลิตไอน้ำยังสามารถลดเวลาในการอบฆ่าเชื้อโรงเรือนได้ 2 ชั่วโมงตามรูปที่ 11

รายละเอียดการวิเคราะห์ต้นทุนและค่าใช้จ่าย [7] ของเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านและเครื่องผลิตไอน้ำตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนและค่าใช้จ่ายของเครื่องผลิตไอน้ำ

รายการ	เครื่องผลิตไอน้ำชาวบ้าน		เครื่องผลิตไอน้ำ	
จำนวนโรงเรือน	1	30	1	30
เงินลงทุน				
จำนวนเครื่องผลิตไอน้ำ (ชุด)	1	30	1	1
เครื่องผลิตไอน้ำ (บาท)	6,000	180,000	60,000	72,000*
อายุการใช้งาน (ปี)	2	2	10	10
พัดลมหยอโซ่ง 370 W (บาท)	2,300	69,000	-	-
อายุการใช้งาน (ปี)	10	10	-	-
ปั้มน้ำ Mitsubishi 150 W (บาท)	4,800	144,000	4,800	4,800
อายุการใช้งาน (ปี)	10	10	10	10
รวมเงินลงทุน (บาท)	13,100	393,000	64,800	76,800
ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	3,710	111,300	6,480	7,680
ค่าใช้จ่าย				
-เชื้อเพลิง(กิงไม้ยูคาแห้ง)				
ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อปี	120	3,600	96	2,880
ปริมาณเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ปี)	7,200	216,000	2,880	86,400
ค่าเชื้อเพลิง (บาท/ปี)	7,200	216,000	2,880	86,400
-พัดลมหยอโซ่ง 370 W				
ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อปี	120	3,600	-	-
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/ปี)	480	14,400	-	-
-ปั้มน้ำ Mitsubishi 150 W				
ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยต่อปี	5	230	5	158
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/ปี)	21	922	21	634
รวมค่าใช้จ่ายรายปี	7,701	231,322	2,901	87,034
ค่าใช้จ่ายรวมบวกค่าเสื่อมเฉลี่ยต่อปีต่อโรงเรือน	11,411	11,421	9,381	3,157
ค่าใช้จ่ายรวมลดลงเมื่อเทียบกับเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้าน(%)	-	-	18	72

หมายเหตุ * ราคาเครื่องผลิตไอน้ำแบบเคลื่อนที่แพงกว่าแบบอยู่กับที่ 12,000 บาท

6. สรุป

เครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำถูกออกแบบและสร้างโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับน้ำภายในชุดกลุ่มท่อโดยสามารถใช้ร่วมกับเตาแก๊สชีวมวล ซึ่งสามารถเร่งหรือได้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตความร้อนด้วยเตาแก๊สชีวมวลคือกิงไม้ยูคาลิสต์ที่มีค่าความร้อน 15.83 เมกะจูล/กิโลกรัม เครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสามารถผลิตไอน้ำได้สูงสุดและต่ำสุด 120 และ 100 ลิตร/ชั่วโมง

ตามลำดับโดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุดและต่ำสุด 33 และ 29 กิโลกรัม/ชั่วโมงตามลำดับฉะนั้นสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำพบว่ามีความคุ้มค่าอยู่ในช่วง 66% และ 54% ตามลำดับซึ่งสมรรถนะสูงสุดมีค่าสูงกว่าเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านและใกล้เคียงกับเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน ซึ่งในการรอบค่าเชื้อเพลิงเฉพาะที่เผาไหม้ขนาด 308 ลูกบาศก์เมตรพบว่าใช้เวลาในการรอบค่าเชื้อเพลิง 8 ชั่วโมงโดยสามชั่วโมงแรกอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นจาก 28°C เป็น 60°C และเวลาที่เหลือเป็นการป้อนไอน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ให้คงที่ที่ 60°C การรอบค่าเชื้อเพลิงด้วยเครื่องผลิตไอน้ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 60% เมื่อเทียบกับเครื่องผลิตไอน้ำของชาวบ้านส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อไม้ฟืนได้ 60% โดยค่าใช้จ่ายลดลงจาก 600 เหลือประมาณ 240 บาท ขณะเดียวกันสามารถประหยัดเวลาในการรอบค่าเชื้อเพลิงได้ 2 ชั่วโมง การปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมพบว่าปริมาณ CO ลดลงจาก 9,630 ppm เหลือ 522 ppm และไอเสียมีสีน้ำตาลในขณะที่ไอเสียจากเตาเดิมมีสีดำ จากผลการวิจัยในครั้งนี้เมื่อกลุ่มเกษตรกรเพาะเลี้ยงเห็ดฟางนำเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำไปใช้รอบค่าเชื้อเพลิงเฉพาะที่เผาไหม้สามารถช่วยแก้ไขปัญหาทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สุขอนามัยและสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดีสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำให้สูงขึ้นนั้นสามารถนำการศึกษาการจำลองการไหลวนของอากาศร้อนภายในเครื่องผลิตไอน้ำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณได้เช่นกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปีงบประมาณ 2557 สัญญาวิจัยเลขที่ 354/2557 ศูนย์บริการวิชาการชุมชน (โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากชีวมวลสู่ชุมชน) และสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรวรรณ หาญวัฒนกุล. (2553). มลพิษทางอากาศที่เกิดจากควันยางรถยนต์. *บทความวิทยุกระจายเสียงรายการสาระยามบ่าย ครั้งที่ 33* กระจายเสียงจากสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย ประจำเดือน ตุลาคม. 1-4.
- [2] พรประสิทธิ์ คงบุญ จิระศักดิ์ เพียรเจริญและสุเทพขุกลิน. (2554). “การพัฒนาเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน”. *วิศวกรรมสาร มช.* 38 (2): 111-116.
- [3] สมมาสแก้วล้วน ดำรง ศักดิ์จันทสิทธิ์, สุรัชย์ จันทสิทธิ์ และเวทิน ปิยรัตน์. (2558). “การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20kW”. *วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 8(1): 24-33.
- [4] Incropera, Frank, P. and David, P.D. 1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, New York, 419-461.
- [5] Zukauskas, A., 1972. “Heat transfer from Tubes in Cross Flow.” in J.P. Hartnett and T.F. Irvine, Jr., Eds., *Advances in Heat Transfer*. Vol. 8, Academic Press, New York.
- [6] โครงการการสร้างเครื่องต้นแบบเตาชีวมวลสำหรับผลิตความร้อน ธันวาคม 2554 ถึง พฤษภาคม 2555 ศูนย์บริการวิชาการแก่ชุมชนมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
- [7] Donald G. Newnan, Ted G. Eschenbach and Jerome P. Lavelle 2004. “Engineering Economic Analysis”. Oxford University Press, New York.