

การใช้ประโยชน์โปรดิวเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถ่านไม้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์
ขนาดเล็กสำหรับการสูบน้ำ

Utilization of Producer Gas from Wood Charcoal Gasification in the Small Diesel
Engine for Water Pumping System

กิตติกร สาสุจิตต์* วิโรจน์ เลาลี วีรากร ยศยิ่ง เสริมสุข บัวเจริญ และนิกราน หอมดวง
Kittikorn Sasujit* Wirote Laolee Weerakorn Yodying Sermsuk Buochareon and Nigran Homdoug

สาขาวิชาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-เชียงใหม่ 50290
Energy Conservation Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 089 998 8203 E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Received: 19 June 2021, Revised: 22 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This research will examine the use of producer gas produced by thermochemical conversion of wood charcoal for water pumping with a small diesel engine. The parametric method was used to investigate water pumping rates, specific fuel consumption rates at the head of 1 and 2 m water supply, and a comparative study using diesel fuel and dual fuel. The results indicated that the specific fuel consumption rate was between 0.035 and 0.046 L/min, the water flow rate was 350–395 L/min, the maximum thermal efficiency was 43%, the wood charcoal fuel consumption rate was between 1.60 and 2.80 kg/h, and the maximum displacement fuel rate was 62%. Economic analysis determined that the initial cost of the gasifier system was approximately 25,000 Baht, the profit cost from displacement diesel fuel was approximately 4,260 Baht/year, and the payback period is within 5.87 years. It can, however, shorten the payback period by producing charcoal, using biodiesel oil, and increasing the system's frequency of use.

Keywords: producer gas, gasifier, water pumping, wood charcoal

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปลงสภาพชีวมวลทางเคมีความร้อนเพื่อผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กต้นกำลังเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง โดยศึกษาอัตราการสูบน้ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ระยะส่งน้ำ 1 และ 2 เมตร เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับการใช้เชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส ผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลให้อัตราการสูบน้ำดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมเนื่องจากให้รอบการทำงานเครื่องยนต์สูงกว่า ทั้งนี้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเชื้อเพลิงร่วมมีค่าต่ำกว่าซึ่งจะทำให้เกิดผลประหยัดกว่าการใช้้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.035-0.046 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการสูบน้ำอยู่



เพื่อพลังงานความร้อนชุมชน
(Fuel and Heat for Communities)

ในช่วง 350-395 ลิตรต่ออนาที ประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซีไฟเออร์สูงสุดร้อยละ 43 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านไม้ อยู่ในช่วง 1.60-2.80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 62 จากผลการประเมินเชิง เศรษฐศาสตร์พบว่า มีเงินลงทุนระบบ 25,000 บาท ให้ผลตอบแทนประหยัดน้ำมันดีเซล 4,260 บาทต่อปี โดยจะมี ระยะเวลาคืนทุนภายใน 5.87 ปี อย่างไรก็ตามการผลิตถ่านไม้ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซล และความถี่ของ การใช้งานเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้

คำสำคัญ: โพรติวเซอร์แก๊ส เต่าแก๊สซีไฟเออร์ ระบบสูบน้ำ เชื้อเพลิงชีวมวล

บทนำ

ประเทศไทยถือว่ามีความที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่โดยจะประกอบไปด้วยพื้นที่นา พื้นที่สวนและไร่ มีการส่งออก สินค้าภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชไร่ ได้แก่ ข้าว และพืชสวนไม้ผล เช่น ทูเรียน ผลไม้ตามฤดูกาลต่าง ๆ ซึ่งจาก ข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรประจำปี 2562 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 66,511,000 ไร่ มีผลผลิตข้าว รวม 28,357,000 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 292,729 ล้านบาท [1] ซึ่งในการปลูกพืชจะมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการเพาะปลูกทั้งในส่วนของไถนา และกระบวนการสูบน้ำเข้าแปลงนาข้าวคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานทั้งหมดซึ่งมีค่าประมาณ 2,800-3,000 เมกะจูลต่อไร่ ซึ่งหากประเมินพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยปี 2562 จะมีการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 172,969 ล้านบาทต่อปี โดยประเมินที่ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 30 บาทต่อ ลิตร ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเพาะปลูกได้แก่การสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก ซึ่งพบว่ากรณีการเพาะปลูก ข้าวนาปรังจะมีการสูบน้ำเข้านาจำนวน 5-6 ครั้งต่อฤดูกาล และมีอัตราการใช้น้ำมันถึง 4.76 ลิตรต่อไร่ [2] จะเห็นได้ว่าใน การเพาะปลูกพืชโดยเฉพาะข้าวจะมีการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ที่สูงและค่าใช้จ่ายน้ำมันจะแปรผันโดยตรง กับราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ต้นทุนการเพาะปลูกสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อเกษตรกรโดยตรง ด้วยเหตุนี้แนวทางการพัฒนา เทคโนโลยีเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สูบน้ำในภาคเกษตรกรรม ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งผลทำให้ ต้นทุนทางด้านพลังงานลดลง แนวทางหนึ่งที่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลผ่านกระบวนการ แปลงสภาพชีวมวลด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อผลิตโพรติวเซอร์แก๊สใช้ร่วมกับ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์เกษตรกรรมซึ่งมีอยู่จำนวนมากในประเทศไทย และเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ในภาค เกษตรกรรมก็สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยผลิตเป็นถ่านไม้ หรือใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่ ก็จะช่วยลดต้นทุนด้าน พลังงานการเพาะปลูก จากงานวิจัยที่ผ่านมา ณัฐวุฒิ และคณะ ได้ทำการออกแบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงสำหรับผลิต โพรติวเซอร์แก๊สใช้ในเครื่องยนต์ขนาด 7 แรงม้า พบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 53.3 ที่อัตราการสูบน้ำ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีอัตราการใช้น้ำมันดีเซล 0.127 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้ถ่าน 2.5 กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง [3] ต่อมาได้ทำการทดสอบการเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับท่อสูบน้ำแบบพญานาค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 600 800 1000 1200 1400 และ 1600 รอบต่ออนาที พบว่าอัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้นตาม ความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยอัตราการสูบน้ำสูงสุด 150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการสิ้นเปลืองถ่านไม้ 3.99 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 55 [4] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้โพรติวเซอร์แก๊สมาใช้ร่วมกับ เครื่องยนต์สามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วยังคงให้เครื่องดีเซลที่มีขนาดต้นกำลังสูง และ ระบบผลิตโพรติวเซอร์แก๊สที่ใช้เป็นแบบไหลลง ทำให้มีระบบขนาดใหญ่และการซ่อมบำรุงรักษาระบบต้องใช้ความชำนาญ เข้าใจระบบการทำงานของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งหากพัฒนาระบบให้มีขนาดเล็ก และสามารถซ่อมบำรุงรักษา การ ใช้งานที่ง่ายสะดวก ก็จะตอบสนองต่อความต้องการของชุมชนได้มากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษากการใช้ ประโยชน์โพรติวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังที่ใช้น้ำมันดีเซลขนาดเล็กสำหรับระบบสูบน้ำโดย ระบบแก๊สซีไฟเออร์เป็นแบบชนิดไหลขึ้น โดยทำการศึกษเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องยนต์น้ำมันดีเซลกับการใช้

เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส เพื่อหาอัตราการสูบน้ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ และท้ายที่สุดทำการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของระบบในกรณีใช้ทดแทนการใช้้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

วิธีการวิจัย

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ทดลองได้แก่ถ่านไม้ซึ่งได้จากการผลิตถ่านไม้ด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2-2.5 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 3-3.5 เซนติเมตร ค่าความร้อนเชื้อเพลิง 28 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [5] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ [5]

องค์ประกอบแบบธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			องค์ประกอบแบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ค่าความร้อน (MJ/kg)
คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ความชื้น	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว	เถ้า	
71.50	22.17	3.39	4.95	20.67	72.65	1.73	28.00

การประเมินประสิทธิภาพเตาปฏิกรณ์ผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สคืออัตราส่วนของปริมาณโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้เทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใส่ในเครื่องเตาแก๊สซีไฟเออร์ดังสมการที่ (1) [6-9] โดยที่ $\eta_{gasifier}$ ค่าประสิทธิภาพความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ (ร้อยละ) m_g คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) LHV_f คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (กิโลจูลต่อวินาที) และ m_f คืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อวินาที)

$$\eta_{gasifier} = \left[\frac{CV_g \times m_g}{LHV_f \times m_f} \right] \times 100 \quad (1)$$

นอกจากนั้นแล้วค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สยังสามารถประเมินได้จากค่าความร้อนขององค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส ซึ่งค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่า CO เท่ากับ 13.1 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร H₂ เท่ากับ 13.2 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และ CH₄ เท่ากับ 41.2 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่ CV_g คือค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) H_i คือค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงประกอบไปด้วยแก๊ส CO, H₂, CH₄ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) และ X_i คือสัดส่วนโดยปริมาตรของแก๊สเชื้อเพลิง (ร้อยละโดยปริมาตร) คำนวณได้ตามสมการที่ (2) [6-9]

$$CV_g = \sum(H_i X_i) \quad (2)$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหาได้โดยการตรวจวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์เทียบกับเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ โดยที่ m_f คืออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อวินาที) m คือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม) และ t คือระยะเวลา (วินาที) คำนวณตามสมการที่ (3) และการหาค่าอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลคือความสามารถโปรดิวเซอร์แก๊สในการทดแทนน้ำมันดีเซลในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ DR คืออัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล (ร้อยละ) SFC_{diesel} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลจำเพาะ (ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร) และ SFC_{fuel} คืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส คำนวณได้ตามสมการที่ (4) [8]

$$m_f = \frac{m}{t} \quad (3)$$

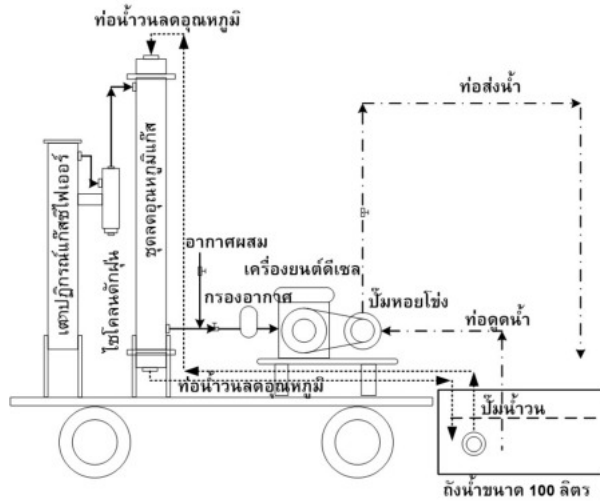
$$DR = \left[\frac{SFC_{diesel} - SFC_{dual}}{SFC_{diesel}} \right] \times 100 \quad (4)$$

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบ

ระบบผลิตโปรตีนเซลล์จากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว มีความยาวของเตาปฏิกรณ์ 1.20 เมตร ชุดไซโคลนดักฝุ่นขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความยาว 40 เซนติเมตร และชุดระบบลดอุณหภูมิโปรตีนเซลล์จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวของท่อ 1.80 เมตร โดยใช้การลดอุณหภูมิแก๊สด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำพร้อมเชื่อมต่อด้วยปั๊มน้ำ โดยระบบผลิตโปรตีนเซลล์จะส่งแก๊สเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ผ่านชุดวาล์วควบคุมปริมาณอากาศกับเชื้อเพลิงและผ่านชุดกรองอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซลขนาดตันกำลัง 7 แรงม้า โดยตันกำลังจะส่งกำลังผ่านสายพานร่อง A จำนวน 2 เส้นเชื่อมต่อพูลย์ของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูดและท่อส่งขนาด 2 นิ้ว ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาอัตราการสูบน้ำที่ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร และ 2 เมตรจากเครื่องสูบน้ำ หากอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ โดยทำการปรับเปลี่ยนรอบการทำงานเครื่องยนต์ 3 ระดับ และทำการวัดรอบเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเครื่อง Fluke 931, USA นอกจากนั้นศึกษาประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซีไฟเออร์ โดยหาค่าความร้อนโปรตีนเซลล์จากการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟีด้วยเครื่อง GC-8A Shimadzu, Japan หาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รวมไปถึงอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งระบบระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรตีนเซลล์แสงได้ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1 ระบบแก๊สซีไฟเออร์สำหรับการสูบน้ำในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 ระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงโปรตีนไฮโดรเจนแก๊สร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านไม้ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้ระบบสูบน้ำแบบใช้น้ำเชื้อเพลิงดีเซล ทำการทดสอบที่เงื่อนไขของการสูบน้ำที่ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร และ 2 เมตรเหนือจากตัวเครื่องสูบน้ำ เพื่อศึกษาผลของอัตราการสูบน้ำ ประสิทธิภาพของเตาแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการทดแทนน้ำเชื้อเพลิงดีเซลของระบบสูบน้ำแบบเชื้อเพลิงร่วม ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการเปลี่ยนรอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่มีต่ออัตราการสูบน้ำ

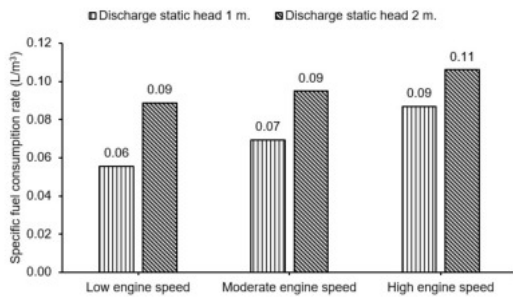
ผลการทดสอบรอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมที่รอบการหมุนของเครื่องยนต์ ทั้งนี้ได้กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ ได้แก่รอบเครื่องยนต์ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ผลการศึกษาพบว่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงเล็กน้อยตามระยะส่งน้ำสูงขึ้น กรณีที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส พบว่ารอบเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นผลจากการปรับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ปรับระบบการจ่ายเชื้อเพลิงดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส แต่อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะส่งผลทำให้รอบการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลของค่าความแตกต่างของค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งผลการทดลองรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทดลองงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบรอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส

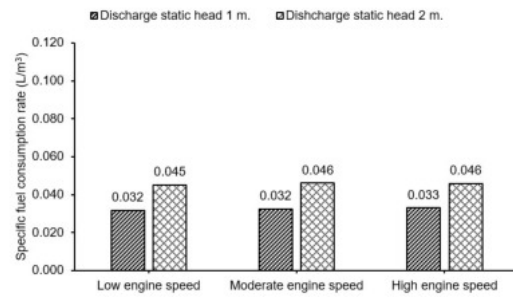
รอบเครื่องยนต์ดีเซล	ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร (รอบต่อนาที)		ระยะส่งน้ำสูง 2 เมตร (รอบต่อนาที)	
	น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส	น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส
รอบเครื่องยนต์ระดับต่ำ	1,339 ± 33.77	1,203 ± 45.73	1,336 ± 35.97	1,296 ± 32.89
รอบเครื่องยนต์ระดับกลาง	1,933 ± 28.08	1,451 ± 51.01	1,568 ± 58.96	1,449 ± 10.55
รอบเครื่องยนต์ระดับสูง	2,643 ± 49.88	1,553 ± 43.77	2,153 ± 48.15	1,570 ± 28.67

ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ผลของการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะส่งน้ำที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับทุกเงื่อนไขของการปรับรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นจากระดับต่ำไประดับสูง ทั้งนี้ระบบสูบน้ำที่มีระยะการส่งน้ำสูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันนั้นปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ก็จะได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระยะส่งน้ำที่ต่ำกว่าทำให้ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรพิวเซอร์แก๊ส เมื่อพิจารณาผลของรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันดังภาพที่ 3 ขณะเดียวกันการใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรพิวเซอร์แก๊สนั้น พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำกว่าทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมโปรพิวเซอร์แก๊สร่วมด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4 สอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐวุฒิ และคณะ (2554) [4] ที่ทำการพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.0024-0.0085 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร



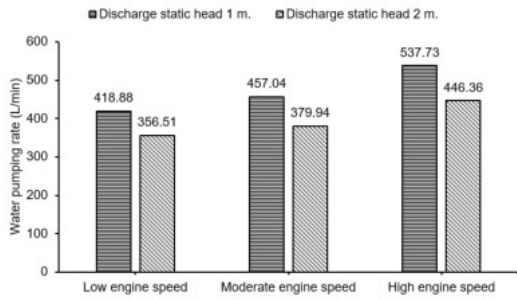
ภาพที่ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ



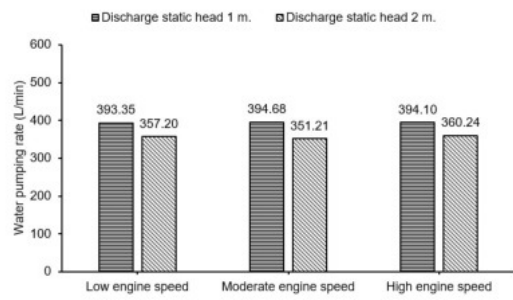
ภาพที่ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาอัตราสูบน้ำโดยใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาอัตราการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซล กับเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส พบว่าที่รอบการทำงานเครื่องยนต์เดียวกันเมื่อมีการส่งน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสูบน้ำลดลง ขณะเดียวกันนั้นเมื่อเพิ่มรอบการหมุนของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสูบน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน กรณีของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรพิวเซอร์แก๊สไม่พบว่าอัตราการสูบน้ำมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงดีเซลให้อัตราการสูบน้ำที่ดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วม ดังแสดงในภาพที่ 5-6



ภาพที่ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรตีนเซอร์แก๊ส



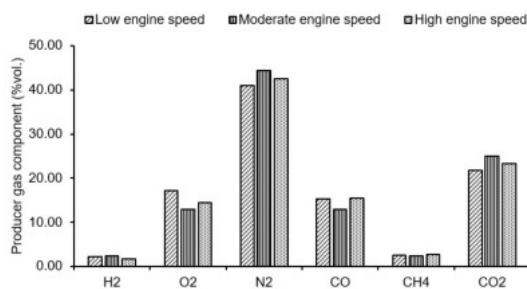
ภาพที่ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรตีนเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาค่าองค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊สและประสิทธิภาพความร้อนระบบแก๊สซิฟิเคชั่น

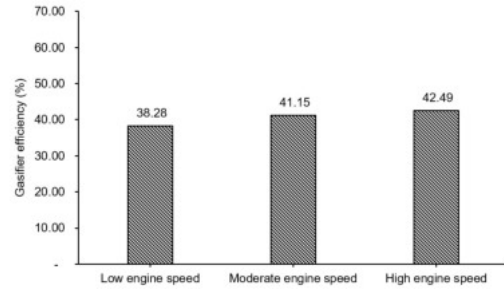
ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นของเชื้อเพลิงถ่านไม้ พบว่ามีองค์ประกอบหลักของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7 เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สแล้วพบว่ามีค่าในช่วง 3.00-3.35 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยทุกเงื่อนไขการทดลองมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านไม้ในช่วง 1.60-2.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตแก๊สโปรตีนเซอร์พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 38-42 ซึ่งต่ำกว่าระบบผลิตแก๊สโปรตีนเซอร์โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากปาล์มน้ำมันที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงร้อยละ 72-76 จากผลการศึกษาวินิจฉัยของ กิตติกร และคณะ (2559) [6] เนื่องจากระบบผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สในงานวิจัยนี้อาศัยการดูดแก๊สด้วยระบบเครื่องยนต์ดีเซล และผ่านชุดทำความสะอาด ทำให้อัตราการไหลโปรตีนเซอร์แก๊สต่ำและไม่ต่อเนื่องซึ่งส่งผลทำให้ค่าความร้อนใช้งานมีค่าต่ำทำให้ประสิทธิภาพระบบมีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 8

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊สจากถ่านไม้

เงื่อนไขการทดลองที่รอบเครื่องยนต์ดีเซล	องค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊ส (ร้อยละโดยปริมาตร)						LHVg (MJ/m ³)
	H ₂	O ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ	2.22	17.12	41.03	15.31	2.55	21.77	3.35
ความเร็วรอบเครื่องยนต์กลาง	2.31	12.93	44.32	12.98	2.41	25.06	3.00
ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง	1.67	14.52	42.50	15.42	2.66	23.23	3.34



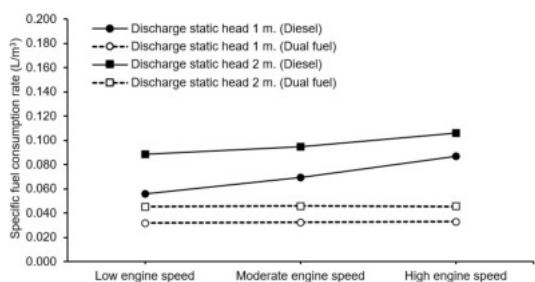
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สจากระบบการแก๊สซิฟิเคชั่นเชื้อเพลิงถ่านไม้



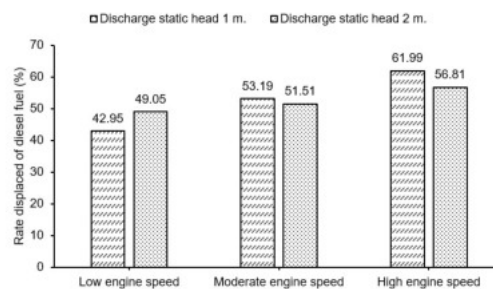
ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชั่นเชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านไม้

ผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรติวเซอร์แก๊ส พบว่าการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจะส่งผลทำให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมในระบบสูบน้ำในงานวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 9 ในส่วนของการใช้ระบบสูบน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรติวเซอร์แก๊สนั้นจะมีอัตราการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ต้นกำลังสูบน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 43-62 สอดคล้องกับการศึกษาของ ญัฐวุฒิ และคณะ (2554) [4] ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของระบบสูบน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเชื้อเพลิงร่วม



ภาพที่ 10 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับระบบสูบน้ำจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรติวเซอร์แก๊ส

การประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมโปรติวเซอร์แก๊ส

การประเมินหาระยะเวลาคืนทุนระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซลโปรติวเซอร์แก๊ส โดยประเมินเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์สูบน้ำ พบว่าระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมจะมีต้นทุนค่าระบบพร้อมเครื่องยนต์สูบน้ำขนาดเล็ก 7 แรงม้า รวมเงินลงทุนระบบ 25,000 บาท ในส่วนต้นทุนแปรผันจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซลราคา 30 บาทต่อลิตร ถ่านไม้ราคา 5 บาทต่อกิโลกรัม การทำงานของระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมคิดที่ 600 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งรวมค่าใช้จ่ายแปรผันรายปี กรณีใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวสำหรับการสูบน้ำเท่ากับ 27,700 บาทต่อปี และกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมประมาณ 23,440 บาทต่อปี โดยระบบจะใช้ผลตอบแทนจากการประหยัดน้ำมันดีเซลลดลง 4,260 บาทต่อปี ซึ่งจะมีระยะเวลาคืนทุนของระบบภายใน 5.87 ปี ดังแสดงผลการประเมินในตารางที่ 4 อย่างไรก็ตามระยะเวลาจะคืนทุนน้อยลงได้ในกรณีที่สามารผลิตถ่านไม้ การใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำมันดีเซล รวมไปถึงการเพิ่มความถี่ของการใช้งานก็จะเป็แนวทางที่จะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น

ตารางที่ 4 การประเมินระยะเวลาคืนทุนระบบกรณิตดแทนการใช้น้ำมันดีเซลเครื่องยนต์สูบน้ำ

รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย	หน่วย
ต้นทุนคงที่ (บาท)		
- เตาแก๊สซีฟิเออร์พร้อมชุดทำความสะอาดเบื้องต้น	20,000	บาท
- เครื่องยนต์สูบน้ำดีเซลขนาดเล็ก	4,950	บาท
รวมต้นทุนคงที่	24,950	บาท
ต้นทุนแปรผัน (บาทต่อปี)		
- ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล (กรณีใช้น้ำมันดีเซล)	25,200	บาทต่อปี
- ค่าดูแลรักษาระบบ 10% ของต้นทุนคงที่	2,500	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายแปรผัน (กรณีใช้น้ำมันดีเซล)	27,700	บาทต่อปี
- ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล และถ่านไม้ (กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม)	20,940	บาทต่อปี
- ค่าดูแลรักษาระบบ 10% ของต้นทุนคงที่	2,500	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายแปรผัน (กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม)	23,440	บาทต่อปี
ผลประโยชน์การลดการใช้้ำมันดีเซล (บาทต่อปี)		
- ผลตอบแทนการลดค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล	4,260	บาท
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)		
- ระยะเวลาคืนทุนของระบบ	5.87	ปี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานวทางการใช้ประโยชน์จากโปรตีนเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากถ่านไม้สำหรับการสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรตีนเซอร์แก๊ส พบว่าระบบสามารถทำงานได้โดยให้อัตราการสิ้นเปลืองชีวมวลสูงสุด 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แก๊สโปรตีนเซอร์มีค่าความร้อนสูงสุด 3.35 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และให้ประสิทธิภาพแก๊สซิฟิเออร์สูงสุดร้อยละ 43 โดยมีอัตราการสูบน้ำสูงสุดประมาณ 295 ลิตรต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุด 0.046 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 62 โดยระบบมีต้นทุนคงที่ 25,000 บาท และผลประโยชน์จากการทดแทนน้ำมันดีเซลคิดเป็นผลตอบแทน 4,260 บาทต่อปี โดยจะมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 5.87 ปี อย่างไรก็ตามหากมีการผลิตถ่านไม้และใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีราคาต่ำรวมไปถึงการเพิ่มความถี่การใช้งานจาก 10 ครั้งต่อเดือนเป็น 20 ครั้งต่อเดือน ซึ่งจะส่งผลลดระยะเวลาคืนทุนเหลือภายใน 1.12 ปี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำแก๊สโปรตีนเซอร์จากการแปลงสภาพชีวมวลมาใช้ในการสูบน้ำเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันดีเซลที่ผันผวน ขณะเดียวกันเป็นการใช้วัสดุชีวมวลที่เหลือใช้ในภาคเกษตรกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2562. หน้าที่ 28-29.
- [2] ณัฐวุฒิ ดุษฎี อภิชัย อธิธรรม ชูรัตน์ ธารารักษ์ และอุเทน กันทา. (2548). การพัฒนาฐานข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตข้าวของประเทศไทย, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [3] ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง กันยาพร ไชยวงศ์ และอภิชาติ สวนคำทอง. (2551). การประเมินสมรรถนะระบบสูบน้ำโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง, ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7, วันที่ 13-14 มีนาคม 2551 โรงแรม ยูเรเชีย เชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ประวิตร ลีเหมือดภักย์ และกิตติกร สาสุจิตต์. (2554). โครงการพัฒนาและออกแบบเทคโนโลยีพลังงานชุมชน ระบบสูบน้ำพลังงานชีวมวล ภายใต้ โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสม. สำนักวิชาการพลังงานภาค 9 จังหวัดพิษณุโลก.
- [5] Bhattacharya S.C., Albina, D.O., and Salam, P.A. (2002). Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves. *Biomass and Bioenergy*. 23, 453-469.
- [6] Sasujit, K., Dussadee, N., Homdoug, N., Ramaraj, R., and Kiatsiriroat, T. (2017). Waste-to-Energy: Producer Gas Production from Fuel Briquette of Energy Crop in Thailand. *International Energy Journal*. 17, 37-46.
- [7] Homdoug, N., Dussadee, N., Sasujit, K., Kiatsiriroat, T., and Tippayawong, N., (2019). Performance investigation of a gasifier and gas engine system operated on municipal solid waste briquettes. *International Journal of Renewable Energy Development*, 8 (2). 179-184.
- [8] Homdoug, N., Sasujit, K., Dussadee, N., and Ramaraj, R., (2020). Experimental investigation of a small agricultural diesel engine performance using community biodiesel from wild trees. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 2(1). 9-16.
- [9] กิตติกร สาสุจิตต์ นิกราน หอมดวง ณัฐวุฒิ ดุษฎี และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2559). การจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากพืชปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซโปรตีนเซอร์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก.