การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม

STUDY OF FUEL OIL PRODUCTION PROCESS FROM PLASTIC WASTE WITH REACTOR CERAMIC FIBER INSULATED AND NON-INSULATED

สุพัตรา บุตรเสรีชัย[1] และ วรเชษฐ์ แสงสีดา[2]
[1,2]อาจารย์, โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000,
[1]pla.supattra.cpru@gmail.com, [2]w.sangsida@hotmail.com

Supattra Budsaereechai[1] and Worachate Sangsida[2]
[1,2]Lecturer, Establishment Project of The Faculty of Engineering, Chaiyaphum Rajabhat University, 167 Nafai Subdistrict, Mueang District, Chaiyaphum, 36000, Thailand,
[1]pla.supattra.cpru@gmail.com, [2]w.sangsida@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเขียนแบบ ปรับปรุง และสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติก เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก และไม่มีฉนวนหุ้ม โดยใช้ระบบการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG ซึ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ 2) ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ปริมาณ ความหนาแน่น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก พร้อมกับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ซึ่งพบว่า สีของน้ำมันจากพลาสติกชนิด PP, LDPE และHDPE มีสีเหลือง สำหรับสีของน้ำมันจาก PS มีสีส้ม โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงจาก PS, PP, LDPE และ HDPE คือ 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า น้ำมันดีเซล ไม่สามารถจุดติดไฟได้ และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.698–0.811 g/cm^3 และสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียง แต่ปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวน

ด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว นั้น มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่สูญเสียไปในการให้ความร้อนของเตาน้อยสุดเพียง 0.75 kg เท่านั้น โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 ml หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก เนื่องจากประหยัดพลังงานมากกว่า และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงเหลว, เครื่องปฏิกรณ์, ขยะพลาสติก, ไพโรไลซีส, เตาเผาขยะพลาสติก

ABSTRACT

The purpose of this research is to draw up a design, improve and construct a plastic waste incinerator. To produce fuel with a ceramic insulated reactor and not insulated the research results were divided into 2 parts: 1) physical properties of the product, 2) the effect of ceramic fiber insulated and non-insulated reactors. To analyze the effect of temperature, quantity, density, heat generated in the production process of fuel from plastic waste. along with studying the optimum conditions in the production process of fuel from plastic waste. It was found that the color of oil from PP, LDPE and HDPE was yellow, and the color of PS oil was orange. The fuel from PS, PP, LDPE and HDPE were 2.14, 2.19, 2.20 and 2.21, with the temperature between the formation of the flame is 390.3, 385.6, 431.7 and 422.9 degrees Celsius respectively, when compared to general market fuel. Diesel was found to be incapable of igniting and Gasohol 91 had the shortest flame duration. The pyrolysis temperature at the optimum average heating rate was between 2.75–6 °C/min, which resulted in complete degradation of the plastic structure. The product is most liquid fuel. The density of the fuel was in the range of 0.698–0.811 g/cm^3 and the color of the obtained oil was similar, But the amount of oil and the calorific value of fuel from a furnace insulated with 1inch thick ceramic fiber was only slightly higher than that of a non-insulated furnace where LPG wasted in heating the furnace 0.75 kg by the volume of oil obtained and heat value Of PS plastic waste, the highest was 895 or the percentage of yield was 89.5% and 43.67 MJ/kg, respectively. It was found that these approximate components were in the same range as the relevant research. Therefore, the production process of fuel from plastic waste

with ceramic fiber insulated reactor. It is suitable as a tool to produce fuel from plastic waste, because it saves more energy and obtain more fuel products, to be an alternative fuel or to replace the fuel sold in the general market.

KEYWORDS: liquid fuels, reactors, plastic waste, pyrolysis, plastic waste incinerators

1. บทนำ

พลาสติกเป็นสิ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน รวมทั้งผู้ประกอบการนิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าต่างๆ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติและรูปทรงที่เอื้อประโยชน์ในการใช้งานได้ตามต้องการ รวมทั้งมีราคาถูกและน้ำหนักเบา ทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน แต่ขยะพลาสติกใช้เวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติจึงก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้พลาสติกเมื่อเกิดการชำรุดแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้วัตถุดิบ การรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่มีประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามการนำขยะพลาสติกมารีไซเคิล เพื่อนำมาแปรรูปเป็นเม็ดพลาสติก ซึ่งในกระบวนการเตรียมพลาสติกเพื่อรีไซเคิลต้องผ่านกระบวนการคัดเลือก แยก ตัด บดย่อย ล้าง และการผึ่งแห้ง ซึ่งมีของเสียจากกระบวนการที่เป็นตะกอนพลาสติก ซึ่งไม่สามารถนำกลับไปใช้ได้อีกจำนวนมาก เป็นสาเหตุนำไปสู่การเกิดมลพิษของขยะจำพวกไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร และไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตรวมถึงสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตใต้น้ำกินไมโครพลาสติกเข้าไปจะทำให้เกิดการสะสมสารเคมีในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นอาหารมนุษย์ ส่งผลต่อการสะสมของสารเคมีในร่างกายมนุษย์เช่นกันเมื่อบริโภคสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น หรือวิธีการจัดการโดยการเผารวมกับขยะชุมชน ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ฝุ่นผง และโลหะหนักต่างๆ โดยเฉพาะถ้าตะกอนพลาสติกเหล่านั้นมีการปนเปื้อน ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ การกำจัดขยะพลาสติกด้วยวิธีการฝังกลบหรือการนำไปเผาทำลายล้วนแล้วจะส่งผลกระทบทางด้านลบต่อสภาพแวดล้อมได้โดยตรงต่อระบบนิเวศโดยทั่วไป ดังนั้น การค้นหาวิธีการที่สามารถจัดการกับขยะพลาสติกโดยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จะเป็นแนวทางของการแก้ปัญหาขยะพลาสติกในปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งการจัดการกับขยะพลาสติกด้วยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในการแปรรูปขยะพลาสติกให้กลายเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการพีจีแอล (PGL Process) โดยย่อมาจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process) และกระบวนการลิควิแฟกชัน (Liquefaction Process) โดยทั้ง

3 กระบวนการมีรูปแบบของหลักการที่คล้ายคลึงกันก็คือ เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่พลาสติก เพื่อเป็นการย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกนั้นให้มีขนาดเล็กลง โดยปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตนั้นจะมีรายละเอียดของกระบวนการที่มีสภาวะต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการไพโรไลซิสจะให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะให้ก๊าซสังเคราะห์และกระบวนการทำลิควิแฟรกชันนั้นอาจจะมีการเติมตัวทำละลายเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ด้วย เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ดังนั้นเป็นแนวทางในการกำจัดขยะพลาสติก และเกิดประโยชน์จากการกำจัดขยะพลาสติกจึงได้เลือกกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ มาใช้ในกระบวนการกำจัดขยะพลาสติก และผลจากกระบวนการดังกล่าวจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดปริมาณขยะพลาสติกลง รวมทั้งลดควายุ่งยากในการหาหลุมทิ้งขยะแหล่งใหม่ โดยทำการสร้างเครื่องผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษา เขียนแบบ และสร้างเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก พร้อมกับเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิคและไม่มีฉนวนหุ้ม เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาด เดิมทีมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่หลากหลาย [1–5] แต่ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่พัฒนาให้เกิดความคุ้มค่า ลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายให้ได้มากที่สุด มีการปรับปรุงพัฒนาเครื่อง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมากยิ่งขึ้น ใช้งานได้อย่างสะดวกสบาย ลดต้นทุนการผลิตซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าพลังงานโดยใช้วัสดุที่นำมาเป็นฉนวนหุ้มกันความร้อนทำให้ประหยัดพลังงาน เนื่องจาก เตาเผาปฏิกรณ์ที่หุ้มด้วยฉนวนเซรามิคไฟเบอร์มีคุณสมบัติที่ดี คือ เส้นใยมีความยืดหยุ่นดี น้ำหนักเบา สามารถต้านทานความร้อนได้ดีและมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ แต่ไม่สามารถถูกเปลวไฟได้จึงมีการนำแผ่นสังกะสีมาหุ้มเพื่อไม่ให้ถูกเปลวไฟโดยตรง [6] รวมทั้งให้ความร้อนที่สม่ำเสมอทั่วทุกจุดในเตาปฏิกรณ์มีการกระจายของอุณหภูมิ ภายในเตาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มีความแตกต่างกันไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าอิฐทนไฟและเตาแบบไม่ใช้ฉนวนหุ้ม [7] ส่งผลให้ลดเวลาในกระบวนการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งวัตถุดิบหรือขยะพลาสติกที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ เศษขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ชนิด PP, PS, LDPE และ HDPE ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลหรือขยะพลาสติกทั่วไป เพื่อเป็นการส่งเสริมรายได้ให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ตอบสนองนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

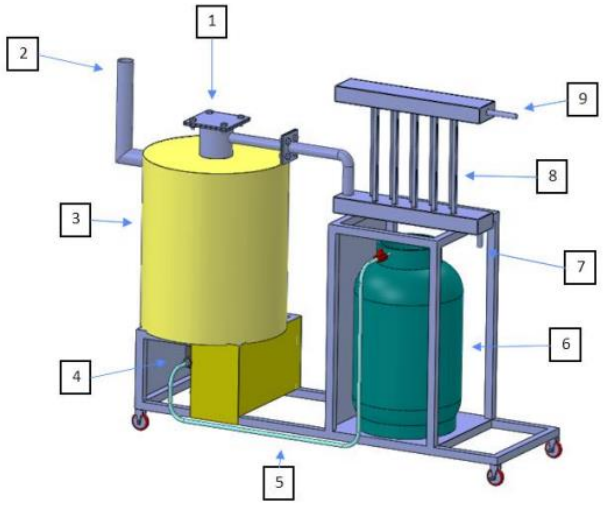
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา เขียนแบบ สร้าง และเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีรายละเอียดของการเขียนแบบเครื่อง การเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

2.1 การเขียนแบบเครื่อง

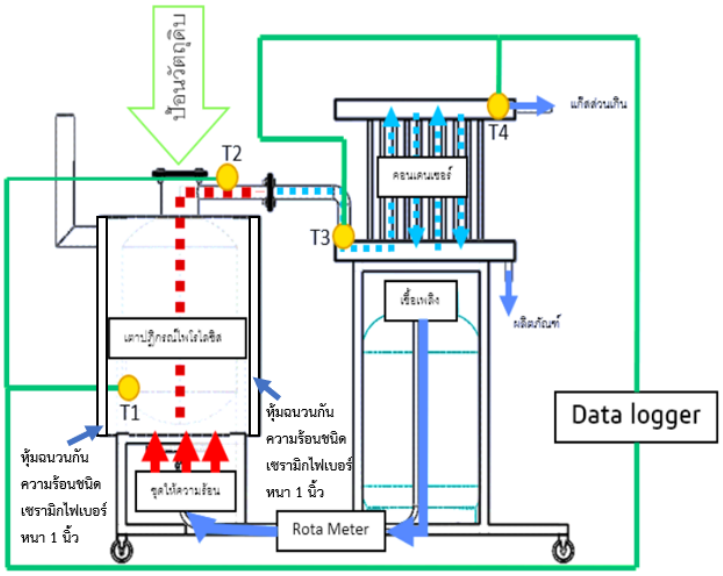
คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบและสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่ง ในการเขียนแบบและสร้างนั้นทางผู้จัดทำเน้นในส่วนของความปลอดภัยมาเป็นอันดับแรก ความแข็งแรงโครงสร้าง ทนทาน ใช้งานได้ง่าย และทำการเขียนแบบให้เหมาะสมกับชุมชน เพื่อให้ชุมชน หรือผู้ที่สนใจเข้าใจวิธีการสร้างเครื่องและหลักการของระบบได้ง่าย ดังรูปที่ 1 เมื่อหมายเลข 1 คือ ทางป้อนวัตถุดิบ หมายเลข 2 คือ ท่อระบายความร้อน หมายเลข 3 คือ เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสทำจากถังเหล็กหนาและหุ้มด้วยถังเหล็กหนาอีกชั้น โดยชั้นกลางหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ หมายเลข 4 คือ ชุดให้ความร้อน หมายเลข 5 คือ โครงสร้าง หมายเลข 6 คือ ถังเชื้อเพลิงโดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ หมายเลข 7 คือ จุดรับผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นเป็นของเหลว หมายเลข 8 คือ การหล่อเย็น และ หมายเลข 9 คือ ช่องระบายแก๊สที่ไม่สามารถความแน่นได้

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2 คือ กระบวนการในการไพโรไลซีสด้วยเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เครื่องต้นแบบเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงแบบประหยัดพพลังงาน โดยเตาชั้นกลางถูกหุ้มด้วยฉนวนเซรามิคไฟเบอร์เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ซึ่งเริ่มต้นจากนำไมโครขยะพลาสติก ขยะพลาสติกที่ผ่านการสับ หรือตัดละเอียดแล้ว บรรจุลงในถังชั้นในที่เป็นถังเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสโดยวัตถุดิบมีปริมาณ 1 กิโลกรัม หลังจากนั้นปิดฝาเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสขันน็อตให้สนิทตรวจสอบความเรียบร้อย แล้วจุดแก๊ส LPG ให้ความร้อน เพื่อให้เกิดกระบวนการไพโรไลซิสด้วยอุณหภูมิสูง ที่อัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3–6 °C/min ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายและแตกตัวของพอลิเมอร์ที่เหมาะสม [5] โดยไอร้อนจากเตาปฏิกรณ์ระเหยขึ้นมาถูกควบแน่นในส่วนคอนเดนเซอร์ ซึ่งกระบวนการหล่อเย็นนั้นจะใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง และใช้ปั๊มน้ำในการไหลเวียนของน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดการควบแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการจัดการแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ ได้นั้นทำการปล่อยผ่านช่องระบายแก๊สตามหมายเลข 9 โดยต่อท่อเหล็กขึ้นไปในแนวตั้งที่มีความสูง 3 เมตร เพื่อปล่อยแก๊สออกสู่บรรยากาศ ด้วยความปลอดภัย

โดยมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติของอากาศที่อุณหภูมิห้อง ทำการบันทึกอุณหภูมิการไพโรไลซิสภายใน ถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (T_1-T_4) อุณหภูมิการไพโรไลซิสเฉลี่ย 400–500 °C ด้วย Data logger ตามที่ระบุไว้ดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของเหลวที่ควบแน่นได้นำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 1 แบบเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน



รูปที่ 2 กระบวนการในการไพโรไลซีสด้วยเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ทำความสะอาดขยะพลาสติก และชั่งน้ำหนักพลาสติกชนิดที่จะนำมาทดลอง ในที่นี้จะทดลองด้วยน้ำหนักขยะพลาสติก 1 กิโลกรัม โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นต้องทำการตัดหรือเข้าเครื่องสับพลาสติกให้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 x 5 cm ขยะพลาสติกที่ผ่านการย่อยและเป็นพลาสติก ดังรูปที่ 3 ตัวอย่างขยะพลาสติก ได้แก่ (ก) พลาสติกชนิด HDPE เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น ถุงดำ ถุงหูหิ้ว ขวดต่างๆที่มีลักษณะเป็นสีขุ่น เช่น ขวดแชมพู ขวดนม ขวดน้ำกรด เป็นต้น ร่วมไปถึง ฝาขวดน้ำดื่ม (ข) พลาสติกชนิด LDPE เป็นพลาสติกที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันเช่น ขวด บีบ ฟิล์มหด หรือจะเป็นถุง เป็นต้น (ค) พลาสติกชนิด PP เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้วพลาสติกชนิด PP ถุงร้อนขนาดต่างๆ กล่องข้าวอุ่นร้อน ช้อนซ่อมพลาสติก หลอด เป็นต้น (ง) พลาสติกชนิด PS เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้วพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้ง จานหรือถาดพลาสติกใส่อาหาร เป็นต้น

(ก) พลาสติกชนิด HDPE

(ข) พลาสติกชนิด LDPE

(ค) พลาสติกชนิด PP

(ง) พลาสติกชนิด PS

รูปที่ 3 ตัวอย่างขยะพลาสติก

2.3 วิธีการศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม

2.3.1 ทำการบรรจุขยะพลาสติกชนิด HDPE ที่เตรียมไว้ตามรูปที่ 3(ก) จำนวน 1 กิโลกรัม ลงไปในเตาปฏิกรณ์ไพโรลิสแบบไม่หุ้มฉนวนกันความร้อน ที่ช่องป้อนวัตถุดิบหมายเลข 1 ดังรูปที่ 1 แล้ว ปิดฝาให้สนิท

2.3.2 ทำการชั่งปริมาณแก๊ส LPG ก่อนการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้ไปทั้งหมด โดยให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG เป็นเวลา 240 นาที

2.3.3 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางกายภาพและเคมี วิเคราะห์ค่าความร้อน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนโดยเครื่อง BOMB CALORIMETER (GALLENKAMP Auto bomb) และจุดวาบไฟ ด้วยเครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟ Pensky-Martens Flash Point Tester

2.3.4 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–3 โดยเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นชนิด LDPE PP และPS ตามลำดับ

2.3.5 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–4 โดยเพิ่มการหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ ความหนา 1 นิ้ว ดังรูปที่ 2 คลุมพื้นผิวภายนอกถังเตาปฏิกรณ์ไพโรลิส เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้เตาปฏิกรณ์ไพโรลิสแบบไม่หุ้มฉนวนกันความร้อน

2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซีส

2.4.1 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของแข็ง และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซีสมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (Yield) โดยสำหรับผลิตภัณฑ์ก๊าซหาได้จากสมการที่ (1) คือ [8, 9]

$$\%\text{ผลิตภัณฑ์ก๊าซ} = 100 - \%\text{ผลิตภัณฑ์ของแข็ง} - \%\text{ผลิตภัณฑ์ของเหลว} \quad (1)$$

2.4.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก (Density) ทำได้โดยการนำไปชั่งน้ำหนักเป็นกรัมต่อหน่วยปริมาตรมิลลิลิตร โดยการเติมผลิตภัณฑ์ลงในขวดวัดความหนาแน่นขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส [10]

2.4.3 ค่าความร้อน (Heating value) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 51900 โดยใช้เครื่อง Art.2060/2070 Bomb calorimeter (GALLENKAMP Auto bomb) เริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 1 กรัมต่อการทดลอง ซึ่งการทดลองแสดงผลออกมาเป็นหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม

3. ผลการศึกษา

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ 2) ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ปริมาณ ความหนาแน่น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำมันที่ได้จาก PP, LDPE และ HDPE ที่มีสีเหลือง และน้ำมันที่ได้จาก PS มีสีส้ม นั้นมีเวลาที่เกิดเปลวไฟที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดวาบไฟมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะสีที่แตกต่างกันนั้นเนื่องมาจาก องค์ประกอบของน้ำมันจาก PP, LDPE และ HDPE มีหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Budsaereechai et al [1] การจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้อง โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 1 มิลลิลิตร พบว่า น้ำมันดีเซลไม่สามารถติดไฟได้ และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด ตามด้วย PS, PP, LDPE และ HDPE คือ 0.44, 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 242, 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิที่จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่า ความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการเกิดควันน้ำมันนั้น พบว่า พลาสติกชนิด PS และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91จะเกิดควันมากกว่า PP, HDPE, LDPE และจุดวาบไฟ (Flash Point) ของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 40–54 องศาเซลเซียส โดยจุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุด ที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นไอระเหยออกมา พร้อมที่จะเริ่มต้นลุกไหม้ขึ้นเมื่อไอระเหยนี้ผสมกับอากาศในสัดส่วนที่พอดี และมีแหล่งกำเนิดไฟจะสามารถลุกติดไฟได้ นั้น ซึ่งจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 น้ำมันจากพลาสติก PS, PP, LDPE, และ HDPE คือ 54, 40, 47, 48, 48 และ 48 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันดีเซลมีค่าสูงที่สุดคือ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องที่จะทำให้ติดไฟได้ โดยอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองการจุดติดไฟอยู่ในช่วง 38-40 องศาเซลเซียส จึงทำให้น้ำมันดีเซลดังกล่าวไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับ ประกาศกรมธุรกิจ เรื่องการกำหนดลักษณะคุณภาพของน้ำมันดีเซล [11] ซึ่งมีค่าความร้อนเทียบเท่าน้ำมันเชื้อเพลิงและในเบื้องต้นกากไขพลาสติกที่ได้มีความปลอดภัย โดยเมื่อตั้งทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ไม่สามารถติดไฟได้เอง ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Budsaereechai et al [1]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาตรที่นำมาทดสอบคือ 1 มิลลิลิตร

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ลักษณะสีของน้ำมันที่ได้	เวลาที่เกิดเปลวไฟ (วินาที)	อุณหภูมิระหว่างเกิดเปลวไฟ (°C)	ลักษณะของเปลวไฟ	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันจากพลาสติก HDPE	เหลือง	2.21	422.9	เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจากพลาสติก LDPE	เหลือง	2.20	431.7	เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจากพลาสติก PP	เหลือง	2.19	385.6	เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจากพลาสติก PS	ส้ม	2.14	390.3	เกิดควันมากกว่า PP HDPE LDPE แต่ติดไฟได้ดีมาก เปลวไฟมีสีส้ม	47

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาตรที่นำมาทดสอบคือ 1 มิลลิลิตร (ต่อ)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ลักษณะสีของน้ำมันที่ได้	เวลาที่เกิดเปลวไฟ (วินาที)	อุณหภูมิระหว่างเกิดเปลวไฟ (°C)	ลักษณะของเปลวไฟ	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91		0.44	242	มีควันมากกว่า PP HDPE LDPE แต่น้อยกว่า PS ติดไฟดีมาก เปลวไฟมีสีส้ม	40
น้ำมันดีเซล	ไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้				54

3.2 ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

จากตารางที่ 2 ผลของการหุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์หนา 1 นิ้ว ในเตาปฏิกรณ์ โดยใช้ขยะพลาสติกเริ่มต้น 1 กิโลกรัมต่อรอบ ทดลองที่เวลา 240 นาที พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสเกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ [5] มีปริมาณ ความหนาแน่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิล มีสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว เนื่องจากฉนวนกันความร้อน สามารถกักเก็บความร้อน ลดการสูญเสียความร้อน [12] ส่งผลให้ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการให้ความร้อนของเตาน้อยที่สุดเพียง 0.75 kg โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัย [1–5]

ตารางที่ 2 **ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก เมื่อน้ำหนักพลาสติก 1 กิโลกรัมต่อรอบ ที่เวลา 240 นาที**

รายการทดสอบ	เตาหุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์หนา 1 นิ้ว							
	☒ ไม่ใช้	☑ ใช้	☒ ไม่ใช้	☑ ใช้	☒ ไม่ใช้	☑ ใช้	☒ ไม่ใช้	☑ ใช้
	น้ำมัน จากHDPE		น้ำมัน จาก LDPE		น้ำมัน จาก PP		น้ำมัน จาก PS	
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดน้ำมัน (°C)	475	400	440	343	438	347	445	344
heating rate (°C /min)	2.75	3.75	4.35	4.45	3.6	4.2	5.3	5.9
ปริมาตรน้ำมันที่ได้ (ml)	700	850	750	830	785	885	775	895
ร้อยละน้ำมันที่ได้โดยปริมาตร	70.0	85.0	75.0	83.0	78.5	88.5	77.5	89.5
ผลิตภัณฑ์ที่เหลือโดยประมาณ (g)	195	145	164	115	0	0	80	50
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.695	0.689	0.685	0.673	0.725	0.698	0.830	0.811
ค่าความร้อน (MJ/kg)	38.15	39.45	41.26	42.46	41.52	42.28	42.75	43.63
เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ใช้ (kg)	1.25	0.85	1.15	0.80	0.95	0.8	0.95	0.75

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาของงานวิจัยนี้ได้เขียนแบบ และสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติก เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก และไม่มีฉนวนหุ้ม โดยใช้ระบบการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG พร้อมกับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ซึ่งพบว่า สีของน้ำมันจากพลาสติกชนิด PP, LDPE และ HDPE มีสีเหลือง สำหรับสีของน้ำมันจาก PS มีสีส้ม โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงจาก PS, PP, LDPE และHDPE คือ 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า น้ำมันดีเซลไม่สามารถจุดติดไฟได้ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.698–0.811 g/cm^3 และสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่สูญเสียไปในการให้ความร้อนของเตาน้อยสุดเพียง 0.75 kg โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91น้ำมันจากพลาสติก PS PP LDPE และ HDPE คือ 54, 40, 47, 48, 48, และ 48 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันดีเซลมีค่าสูงที่สุดคือ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องที่จะทำให้ติดไฟได้ โดยอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองการจุดติดไฟอยู่ในช่วง 38-40 องศาเซลเซียส จึงทำให้น้ำมันดีเซลดังกล่าวไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้ โดยองค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1–5] ดังนั้น กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมันเชื่อเพลิงจากขยะพลาสติก ประหยัดพลังงาน และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2565 และ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ

References

[1] Budsaereechai S, Hunt AJ, Ngernyen Y. Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. RSC Advances 2019;9:5844-57.

[2] Budsaereechai S, Lanugphairojana A, Ngernyen Y. Oil productions from catalytic and non-catalytic pyrolysis of plastic packaging wastes. The 6th International Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Science Conference; 2016 Oct 26-28; Thailand Science Park Conventional Center, Bangkok, Thailand. (In Thai)

[3] Kumar S, Prakash R, Murugan S, Singh RK. Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. Energy Conversion and Management 2013;74:323-31.

[4] Kalargaris L, Tian G, Gu S. The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine. Energy 2017;131:179-85.

[5] Mueanmas C, Nikhom R. Liquid fuel production from polyethylene plastic waste by pyrolysis process. Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal 2022;14(2):405-17.

[6] Charoensuk N, Sripha Y. An investigation on the effect of heat transfer in waste vegetable oil burner [Internet]. Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi; 2013 [cited 2023 Oct 4]. Available from: https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2556/2556239509841.pdf. (In Thai)

[7] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Improving the efficiency of ceramic kilns by using insulation [Internet]. Pathum Thani, Thailand: Department of Alternative Energy Development and Efficiency; 2004 [cited 2023 Oct 4]. Available from: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/CaseStudy/Case%20Study%20022.pdf. (In Thai)

[8] Budsaereechai S, Chanwiang W, Klongvaja T. Study and modification of the solid fuel of char pellets from cow manure. Kasem Budit Engineering Journal 2018;8(1):135-47. (In Thai)

[9] Lhapoon C, Srisakultew P. Solid fuel of biomass and char pellets from pig and chicken manure [Bachelor of Chemical Engineering)]. KhonKaen: KhonKaen University; 2016. (In Thai)

[10] Oasmaa A, Peacoke C. Properties and Fuel Use of Biomass Derived Fast Pyrolysis Liquids. Espoo, Finland: VTT Publication; 2010.

[11] Thailand's regulation high speed diesel 2013 [Internet]. 2013 [cited 2023 Oct 4]. Available from: https://www.doeb.go.th/dtanotice/cancle- diesel 25-01-56.pdf (In Thai)

[12] Jongmee T. Reuse of disposed natural fibers as heat insulator [Master's degree of Textile Engineering]. Bangkok: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2010. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ

สุพัตรา บุตรเสรีชัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 08-0929-5499 E-Mail: pla.supattra.cpru@gmail.com

วรเชษฐ์ แสงสีดา ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 06-2905-4555 E-Mail: w.sangsida@hotmail.com

Article History:

Received: July 3, 2023

Revised: December 7, 2023

Accepted: December 9, 2023