



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RMUTL Engineering Journal

RMUTL Eng. J.

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1

มกราคม - มิถุนายน 2560

ISSN 2465-4248



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา RMUTL Engineering Journal

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.นำยุทธ	สงค์ธนาพิทักษ์
Professor Kiyoshi	Yoshikawa
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนิท	พิพิธสมบัติ
ดร.ภาสวรรณ	วัชรดำรงศักดิ์
ดร.กิจจา	ไชยทนต์
ดร.กัญญณัช	ศิริธัญญา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชนิตา	โชติเสถียรกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถาวร	ผื่นชมภู
ดร.ยรรยง	เฉลิมแสน
นายภคพงศ์	เพชรบุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ	โสทธิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร	มูลปา
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล	โอฬารไพโรจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	ยืนยงกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมโภชน์	กุลศิริศรีตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นทีชัย	ผัสดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรีดิเรก	มณีวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	สิทธิเจริญ
นายสาคร	ปันตา
นายศรัทธ	อุปคำ
ดร. บุปผเวช	พันธุ์ศรี

กองบรรณาธิการ

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สัณณ	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ดนัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเอเซีย
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ	รุจจินากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Associate Professor Mark	Adom-Asamoah	Kwame Nkrumah University of Science & Technology
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสันย์	วรรณจรรย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต	สิริสิงห์	มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์	โสภาจารย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กานต์	เกิดขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย	เปรมฤดีปรีชาชาญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	เปรมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์	แก้วดาทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ	บุตรดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์	เจริญสุวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ	รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประชา	เย็นยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์	อินผาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กลิ่นประทุม	ปัญญาปิง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิรินทร์	สิทธิเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นเรศ	อินตะวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิวัตร	มูลปา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษดา	ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย	กาฬสินธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภกิต	แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร. ฟองจันทร์	จิราสิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.ภาคภูมิ	จารุภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร. บุปผเวช	พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.ภาณุ	อุทัยศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ดร.กุลทรัพย์	ผ่องศรีสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นายณัฐชาสิทธิ์	ชูเกียรติชกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวปริศนา	กุลนลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Mr. Russell James Pierce		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Miss Kalil Zender		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ฝ่ายประสานงานและเผยแพร่

นางสาวจิราภรณ์	กันทะใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวอุไรวรรณ	สายะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวจุฑาทิพย์	สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นางสาวพิชญา	ศรีพรหมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

จดหมายจากบรรณาธิการ

ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผมรู้สึกดีใจและภูมิใจเป็นอย่างยิ่งที่ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา หรือ RMUTL ENGINEERING JOURNAL (RMUTL.Eng.J) ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน พ.ศ.2560 นี้ได้ถูกเผยแพร่ออกสู่ประชาคมวิจัยของประเทศไทยโดยที่วารสารวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ยังคงรักษาแนวคิดของการสร้างพื้นที่เพื่อการแบ่งปันองค์ความรู้ในศาสตร์ด้านวิศวกรรมต่างๆ ให้กับผู้ที่มีความสนใจด้วยดีเสมอ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ ได้นำเสนอบทความที่น่าสนใจ จำนวน 7 บทความ โดยมีรายละเอียดที่ครอบคลุมหัวข้องานวิจัยดังนี้คือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาพลังงานทดแทน โดยรายละเอียดเริ่มต้นที่บทความปริทัศน์ จำนวน 2 บทความ คือ การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม และการพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ ในส่วนของบทความวิจัยประกอบด้วย 5 บทความ ซึ่งได้กล่าวถึง การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพและเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง อิทธิพลของความดันและอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดเย็นน้ำมันงา การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ชุดส่งกำลังงานสองขด การผลิตและประเมินศักยภาพของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง และบทความวิจัยเรื่องสุดท้ายของฉบับนี้ได้กล่าวถึง การออกแบบและสร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ถูกนำเสนอในวารสารฉบับนี้

ในนามของกองบรรณาธิการและคณะทำงานที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 นี้ ผมขอขอบคุณนักวิจัยที่ได้ให้ความกรุณาในการเขียนบทความต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้และขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินบทความผู้ทรงเกียรติที่ได้ให้คำแนะนำพร้อมกับให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้บทความต้นฉบับมีความสมบูรณ์พร้อมกับทำให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL.Eng.J) นี้จะได้สร้างคุณประโยชน์ต่อวงการวิชาการและประเทศชาติต่อไปทั้งในปัจจุบันและอนาคต



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน)

บรรณาธิการ



สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2560

บทความปริทัศน์

การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม กานต์ วิรุณพันธ์ ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และภาคภูมิ ใจชมพู	1
--	---

การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ ปดินทร์ ใจจันทร์ เอกพันธ์ จำปา เฟลีน จันทรสุยะ และจิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร	16
---	----

บทความวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ประเทือง ผืนแก้ว คณิน พงศ์พุดิ บติศร พึ่งสุข และพุดิพงศ์ ณ ลำปาง	25
--	----

อิทธิพลของความดันและอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดเย็นน้ำมันงา ชนพล เจริญศรี นพพล อมรพิศาล นฤดล อนุชิต และปฐมศก วิไลพล	33
--	----

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงานสองขด เอกชัย ชัยดี ภาณุพงศ์ โวหาร และวัฒน์ แก้วถึง	37
--	----

การผลิตและการประเมินศักยภาพของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง รัศมี ลิทธิชนัน แก้ว พิระพงษ์ ยืนยงชัยวัฒน์ วรานนท์ อินดิษฐ์ธรรม และรวิภา ยงประยูร	46
--	----

การออกแบบและสร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ประเทือง ผืนแก้ว ไตรภพ เปนุจา สุทธิชัย สันติชัยชาญ และสุรสิทธิ์ ทองแดงท่วง	55
---	----

การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม

Production of Compressed Charcoal Fuel from the Waste Materials Collected after Processing Khao-Larm

กานต์ วิรุณพันธ์* ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และ ภาคภูมิ ใจชมพู

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

Kant Wirunphan* Thanarak Saiplean and Pakpoom Jaichompoo

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

41/1 Paholayothin Road, Maingam, Muang District, Tak Province 63000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kant_wirunphan@hotmail.co.th เบอร์โทรศัพท์ 089-666-0301

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม ในการดำเนินงานวิจัยจะนำเศษวัสดุประกอบไปด้วยกะลามะพร้าวและไม้ไผ่มาเผาเป็นถ่านและผ่านการบดให้ได้เป็นผงถ่าน จากนั้นนำมาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและใช้แป้งมัน 0.5 กิโลกรัมผสมน้ำ 3 ลิตร เป็นตัวประสาน การดำเนินงานวิจัยจะกำหนดส่วนผสมออกเป็น 11 สูตร นำผงถ่านที่ผ่านการผสมมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องแบบเกลียวอัดผ่านแม่พิมพ์รูปทรงห้าเหลี่ยม นำแท่งถ่านไปอบลดความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) จากนั้นนำไปทดลองหาประสิทธิภาพทางความร้อนโดยการทดลองหาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าพลังงานความร้อน การรับแรงกดอัดและปริมาณการสิ้นเปลืองในการต้มน้ำ 3 ลิตร ให้เดือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับผลจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลามคือสูตรที่ 3 โดยมีส่วนผสมของผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม โดยมีค่าความชื้นที่ 6.07 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเถ้าที่ 10.42 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานความร้อนที่ 5,748.83 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถรับแรงกดอัดที่ 892.530 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้มน้ำเดือดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นปริมาณ 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสำคัญของงานวิจัยนี้คือการลดของเสียในการผลิตข้าวหลาม ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือสามารถนำเศษของเสียที่เหลือใช้ในการผลิตข้าวหลามกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานทดแทน

คำสำคัญ เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง ตัวประสาน กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ ค่าพลังงานความร้อน

Abstract

This research involves the production of compressed charcoal from the waste materials gathered in Khao-Larm processing. The implemented waste materials, including coconut shell and bamboo, were carbonized and ground before being mixed to the appropriate ratio. In the mixing process, the charcoal powder was combined with 0.5 kilograms of flour and 3 liters of water as a binder in order to produce compressed charcoal fuel. In this experiment there were 11 different formulas of the mixture to be tested. Each mixture was molded and formed into a hexagonal shape by a screw compress machine, and then dehumidified by 8% following the Community Product Standard (TCPS. 238/2547). The thermal efficiency of the compressed charcoal fuel was examined in order to identify the moisture content, thermal energy, compressive stress and fuel consumption quantity by boiling 3 liters of water at 80 degrees Celsius. The result found that the most appropriate ratio was on formula 3, (8.55 kilograms of coconut shell and 0.95 kilograms of bamboo powder). Formula 3 showed the highest efficiency amongst the 10 formulas, with a moisture content of 6.07 percent, an ash content of 10.42 percent, 5748.83 kilocalories per kilogram of thermal energy, 892.530 newton per square millimeters of compressive stress, and 1.917 kilogram per hours of fuel consumption. The key implications of this research are focused on the waste reduction from Khao-Larm processing and the benefits of recycling the bamboo waste into fuel and renewable energy.

Keywords: compressed charcoal fuel, binder, coconut shell, bamboo, thermal energy efficiency.

1. บทนำ

จากการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ชุมชนบ้านโป่งแค ตำบลวังประจวบ อำเภอเมือง จังหวัดตาก พบว่ามีชาวบ้านกลุ่มหนึ่งซึ่งทำการประกอบอาชีพเผาข้าวหลามขายเป็นงานประจำ โดยกลุ่มผู้ประกอบการจะทำการเผาข้าวหลามในทุกๆวัน และจะมีปริมาณการเผาข้าวหลามเป็นจำนวนมากในช่วงฤดูหนาว เทศกาลเข้าพรรษาและเทศกาลปีใหม่ ในการเผาข้าวหลามนั้นจะใช้วัสดุที่สำคัญหลาย ๆ อย่างได้แก่ ข้าวเหนียว มะพร้าว ไม้ไผ่และถ่านไม้เบญจพรรณสำหรับเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในการเผาข้าวหลาม จากการผลิตจะมีเศษวัสดุเหลือใช้หลังจากการเผาข้าวหลามเช่น กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ ทางกลุ่มผู้ประกอบการจะทำการรวบรวมเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านั้นกองรวมไว้แล้วทำการเผาทำลายทิ้งในที่แจ้งดังรูปที่ 1 ซึ่งจากการจัดเก็บเศษวัสดุและการเผาทำลายทำให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ เช่นกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์มีพิษ การเผาทำลายทำให้เกิดควันเขม่าฝุ่นละออง ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกาย เป็นการทำลายชั้นบรรยากาศและเป็นการทำลายทัศนียภาพอีกด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวหลาม

จากปัญหาดังต้นคณะผู้ดำเนินงานวิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญ ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้เหล่านั้นและผลกระทบจากปัญหาต่างๆ จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำเศษวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เป็นประโยชน์แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยการนำกะลามะพร้าว ไม้ไผ่มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากถ่านไม้เบญจพรรณอีกทางเลือกหนึ่งต่อไปในอนาคต จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า [1] เกศกนก จันทรมาศ จากมหาวิทยาลัยมหาสารคามทำการศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบหาค่าความร้อนจากถ่านชีวภาพโดยศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อนำมาทำถ่านชีวภาพโดยใช้มูลสัตว์เป็นตัวประสานในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองประกอบด้วยชุดการทดลองดังนี้

มะพร้าวในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 ชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 และนำวัสดุทั้งสามชนิดมาผสมกันแล้วนำมาอัดเป็นแท่งวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ตามลำดับ อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยมากที่สุดคือชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังและอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลัง การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเมื่อพิจารณาผลการทดลองจากค่าความร้อนการต้มน้ำปริมาณวันและลักษณะของถ่านพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต คือ อัตราส่วน 2:1:1 ทั้งชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังและชานอ้อยผสมกะลามะพร้าว [2] วิไลพร ลักษณะวิภาดิษฐ์, กาญจนา สิริกุลรัตน์ และณัฐธัญญา บุญถึง จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบลช้างเค็ก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ โดยการทนทานแรงกดอัด(compressive strength) ของถ่านอัดแท่ง การทดสอบทำได้โดยนำตัวอย่างถ่านอัดแท่งไปวางในเครื่องทดสอบแรงกดอัดที่ผลิตขึ้นแล้วนำมวลมาเป็นแรงกดอัดโดยเพิ่มแรงกดอัดขึ้นเรื่อย ๆ ที่ใช้ในการกดอัด คือ 5, 10, 50, 100, 500 กรัมตามลำดับ ทำการกดเพื่อหาค่าการทนแรงกดอัดของถ่านอัดแท่งนั้นสังเกตผลจนกระทั่งถ่านแตกหรือหักโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ ความเครียดและความแข็ง [3] กิตติพงษ์ ลาอุณ

สมโภชน์ สุดาจันทร์ และชัยยันต์ จันทรศิริ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัดถ่านอัดแท่ง โดยความสามารถในการทำงานพบว่าอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านจากกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ความเร็วรอบเกลียวอัด 145 รอบต่อนาที มีค่าความสามารถในการทำงานสูงสุดเฉลี่ย 131.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากความหนาแน่นรวมเริ่มต้นของผงถ่านแต่ละชนิดมีค่าต่างกัน โดยผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าผงถ่านไม้รวมและผงถ่านเห้งมันสำปะหลัง โดยความเร็วเกลียวอัดเพิ่มขึ้นจาก 115-145 รอบต่อนาที ทำให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนผสม มีค่าความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน พลังจำเพาะที่ใช้พบว่าเมื่อความเร็วเกลียวอัดเพิ่มขึ้นจาก 115-145 รอบต่อนาที ทำให้พลังงานจำเพาะที่ใช้ลดลงในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเกลียวอัดเพิ่มจาก 115-145 รอบต่อนาที ค่าความ

หนาแน่นลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและในทิศทางเดียวกันทุกสัดส่วน โดยอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ที่ความเร็วเกลียวอัดคือ 115 รอบต่อนาทีและยังมีค่าความหนาแน่นมากที่สุดมีค่าเป็น 698.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าความสูงกว่าที่สัดส่วนอื่น ๆ สาเหตุเนื่องจากผงถ่านกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นมากกว่าผงถ่านชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งพบว่าเมื่อความเร็วเกลียวอัดเพิ่มจาก 115-145 รอบต่อนาที ความแข็งแรงลดลงอย่างเป็นสัดส่วนและในทิศทางเดียวกันทุกสัดส่วนผสมผงถ่าน โดยอัตราส่วนผสมผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว (0.50:0.50) ที่ความเร็วเกลียวอัด 115 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดมีค่า 0.235 เมกะปาสกาลและค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งพบว่าความเร็วเกลียวอัดไม่มีผลทำให้ค่าความร้อนแตกต่างกันทางสถิติ แต่อัตราส่วนผสมที่ผสมผงถ่านกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความร้อนของผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนสูงโดยที่อัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมกับผงถ่านกะลามะพร้าว (0.50:0.50) มีค่าความร้อนมากที่สุดคือ 5,527.3 แคลอรีต่อกรัมรองลงมาเป็นอัตราส่วนผสมของผงถ่านไม้รวมและผงของถ่านกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 75 เปอร์เซ็นต์:25 เปอร์เซ็นต์มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,240.8 แคลอรีต่อกรัมและผงถ่านเห้งจันสำปะหลังกับกะลามะพร้าวอัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์:50 เปอร์เซ็นต์มีค่าความร้อน คือ 5,041.22 แคลอรีต่อกรัมซึ่งได้ตามมาตรฐานของถ่านอัดแท่ง การทดสอบค่าความร้อนโดยทำการทดสอบความร้อนด้วยการต้มน้ำพบว่าประสิทธิภาพในการใช้งานจริงอยู่ที่ 27.79-29.56 เปอร์เซ็นต์ [4] อุทกฤษฎ์ โชติศรี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีถ่านอัดแท่ง ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งผงถ่าน 10 กิโลกรัม แป้งมัน 0.5 กิโลกรัม น้ำ 3 ลิตร (ปริมาณน้ำสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุ) จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การนำดินเหนียวที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 มาผสมแทนแป้งมัน ไม่มีผลต่อคุณภาพแท่งถ่านมากนัก ซึ่งถือว่าการลดต้นทุนการผลิตลงได้มากและอัตราส่วนที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผงถ่าน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 พลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ [5]

2.1.1 พลังงานสวะหรือพลังงานชีวะเป็นพลังงานหมุนเวียนที่เป็นสัดส่วนมากขึ้นเรื่อยๆ ในการใช้พลังงาน

ควรจะเป็นไม้พื้นและถ่านจึงควรจะเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่มาจากมูลสัตว์พลังงานที่ได้จากชีวมวลซึ่งได้จากเศษซากพืชต้นไม้ พืชไร่ต่าง ๆ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง แกลบ วัชพืช เช่น หญ้าไมยราบ ผักตบชวา รวมทั้งเศษขยะ โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวลนี้จะเป็นแหล่งพลังงานที่ควรจะให้ควมสนใจและพัฒนาอย่างจริงจังเนื่องจากเรามีทรัพยากรที่เหลือจากการประกอบอาชีพเผาข้าวหลามตามรูปที่ 2 ที่จะนำมาเป็นพลังงานได้อีกมากมายเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานชีวมวลนี้ง่ายราคาไม่แพง ซึ่งประชาชนทุกคนสามารถผลิตและทำขึ้นได้ด้วยตัวเองตัวอย่างวัตถุดิบที่มีการพัฒนาขึ้นมาและมีการนำไปใช้กันบ้างแล้วก็คือ การทำแท่งเชื้อเพลิงจากเศษสวะ เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา เศษหญ้าไมยราบ แกลบ เป็นต้น แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากเศษพืชเหล่านี้เทียมกันสามารถนำไปใช้หุงต้มทำอาหารในครัวเรือนรวมไปถึงนำไปใช้ในร้านอาหารหรืออุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ ได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เศษวัสดุที่เหลือใช้จากการเผาข้าวหลามสำหรับผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

2.1.2 ถ่านไม้หรือเศษไม้ถ่านบริสุทธิ์ เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียม ไฮโดรไนต์ ซิลิคอนคาร์ไบด์หรือถ่านกัมมันต์เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย เช่น ใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้าและมีความแข็งแรงขึ้น เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง(แบบการอัดเปียก) เป็นการอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหรือสกรูซึ่งจะสามารถทำได้ทั้งกับวัสดุสดและแห้ง (แต่ถ้าวัสดุมีความชื้นปานกลางจะอัดได้สะดวก

และรวดเร็ว) และสามารถทำได้กับวัสดุชนิดต่าง ๆ อย่างกว้างขวางแต่ในโรงงานนี้จะทดลองใช้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย สะดวก เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ดังนั้นโรงงานนี้จึงเป็นเทคโนโลยีการอัดแท่งแบบง่าย ๆ สะดวกและไม่สร้างความยุ่งยากซับซ้อนให้กับชาวบ้านในท้องถิ่นซึ่งเป็นความสมดุลและน่าฟังที่เหมาะสมสำหรับชาวบ้านที่จะผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้ในการหุงต้มตลอดจนใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในครัวเรือนและรวมถึงในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก การอัดแท่งเชื้อเพลิงในลักษณะนี้ได้ถือกำเนิดมาจากการอัดแท่งถ่านเขียว (green charcoal) ของประเทศฟินแลนด์เมื่อ พ.ศ. 2523 ซึ่งค้นพบโดยมร.กอนซาโลคาแทน (Gonzalo O.Catan) และคณะโดยการนำเศษใบไม้ใบหญ้าไปหมักให้เน่าเปื่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดแล้วจึงอัดโดยใช้ตัวเชื่อมประสานจากภายนอกช่วย

2.2 เครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

2.2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบเกลียวอัด ทำการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยการบรรจุเศษวัสดุเหลือใช้ที่ต้องการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ในถัง (hopper) ที่มีทางออกไปสู่กระบอกอัด (extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีเกลียวสกรูอัดชนิดเกลียวตัวหนอนซึ่งหมุนด้วยความเร็วประมาณ 270 รอบต่อนาที การขับเคลื่อนสกรูใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที ทดรอบด้วยสายพานมู่เล่และสามารถทำการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งได้ไม่ต่ำกว่า 25 เมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3

2.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นมีตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของแท่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ได้แตกต่างกันคือ (1)ความชื้น ถ้าหากผงถ่านมีความชื้นมากเกินไปไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้แท่งเชื้อเพลิงถ่านระเบิดและแตกร่วน แต่ถ้าหากว่าความชื้นน้อยเกินไปทำให้ผงถ่านเกาะกันเป็นแท่งได้ยากผิวของแท่งมีรอยแตกร้าว (2)อุณหภูมิ ถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้ผิวหน้าของแท่งไหม้ถ่านเกรียมการเกาะตัวกันไม่เป็นเนื้อแน่นดีเท่าที่ควรและถ้าหากว่าใช้อุณหภูมิต่ำความแข็งของแท่งถ่านที่ได้ก็จะต่ำด้วยเช่นกันที่สำคัญต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และการใช้เชื้อถ่านวนพันรอบเครื่องทำความร้อนจะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศได้ (3)ความดัน ความดันในกระบอกอัดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเกลียวอัดความสูงของเกลียวความเร็วของสกรูตลอดจนระยะห่างระหว่างผนังกระบอกอัดกับสกรูเมื่อผงถ่านหมุนดันให้ติดกับกระบอกอัดซึ่งรับความร้อนมาจากเครื่องทำความร้อนจะ

ทำให้เกิดการเกาะตัวกันและแรงเสียดทานระหว่างกระบอกอัดกับการเคลื่อนตัวของแท่งถ่าน ทำให้การอัดตัวแน่นยิ่งขึ้น (4)การใช้และบำรุงรักษาเครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ได้กล่าวมาแล้ว เครื่องอัดชนิดนี้ทำงานด้วยการอัด (pressure) หรือแรงดันจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรงม้า ที่ไปหมุนสกรูหรือเกลียว ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องที่ผลิตจากสแตนเลสแทนเหล็กทำให้มีความทนทานต่อการสึกกร่อนเพื่อขับวัสดุให้อัดแน่นเป็นแท่งโดยรีดออกมาจากกระบอกรีด (throat-ทำจากสแตนเลส)

2.2.3 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง [6] การอัดแท่งเชื้อเพลิงนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบเช่น การอัดเป็นเม็ด การอัดเป็นแท่งเล็ก การอัดเป็นลูกบาศก์ การอัดเป็นแท่งพิน ในอุตสาหกรรมนิยมใช้การอัดเกลียวหรืออัดสกรู (screw) การอัดแท่งด้วยเกลียวหรือสกรู (screw) สามารถอัดได้ 2 แบบคือ (1) การอัดแท่ง คือวัสดุก่อนอัดจะต้องได้รับการบดละเอียดสม่ำเสมอในการบดกรณีที่เครื่องอัดมีแรงอัดสูงมากก็อาจไม่จำเป็นต้องบดก่อนเพราะเครื่องอัดจะทำหน้าที่บดและอัดในตัว ความชื้นของวัสดุที่บดแล้วก่อนทำการอัดควรมีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์หากสูงกว่าหรือต่ำกว่าเกณฑ์อาจอัดไม่ได้ผลโดยใช้แรงอัดสูงตั้งแต่ 0.100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การบดอัดของวัสดุที่เกิดจากแรงขัดสีของวัสดุกับเกลียวโดยที่กระบอกเกลียวจะมีการถูกทำให้เรียบตามความเหมาะสมและจะต้องมีร่องหรือสันเพื่อป้องกันการหมุนของวัสดุไปตามเกลียวที่หมุน ส่วนใหญ่การอัดต้องใช้ความร้อนจากภายนอกช่วยเพื่อให้

ลักษณะของผนังเซลล์ละลายใช้เป็นตัวเชื่อมประสานชิ้นส่วนของวัสดุให้ถูกอัดเป็นแท่ง ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากแรงขัดสีระหว่างชิ้นส่วนของวัสดุสกรูและกระบอกเกลียวไม่เพียงพอที่จะทำให้ลักษณะที่อัดตัวดังนั้นความร้อนที่ใช้เพื่อให้ลักษณะที่อัดตัวประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส แท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะเป็นแท่งพินบางที่เรียกว่า พินเทียม (extruded log) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มิลลิเมตร ความหนาแน่นประมาณ 100-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกอัดให้เป็นเนื้อเดียวกันทำให้มีลักษณะหนักแน่นและแข็งในบางกรณีอาจจะจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ตัวเชื่อมประสาน (binding materials) จากภายนอกช่วยโดยส่วนใหญ่จะใช้กากหรือแป้งเปียก แท่งเชื้อเพลิงนั้นจุดติดไฟยากกว่าพินและมีควันมากจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการใช้ในครัวเรือนแต่เหมาะสมในงานอุตสาหกรรม (2)การอัดเปียก คือความชื้นก่อนอัดขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุโดยทั่วไปจะมี

ความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ จะอัดได้ดีที่สุดแต่หากต่ำกว่านี้อาจจะอัดไม่ได้หรืออัดได้ไม่ดีเท่าที่ควรแต่สำหรับการลดความชื้นไปจนถึง 50 เปอร์เซ็นต์สำหรับวัสดุบางชนิดก็ยังอัดได้อยู่ การอัดเปียกใช้แรงอัดต่ำกว่าการอัดแบบอัดแห้งอย่างมาก การอัดอาศัยแรงและความเหนียวของวัสดุจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีการให้ความร้อนหรือระบายความร้อน วัสดุก่อนอัดจำเป็นต้องสับหรือบดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แต่ไม่ใช่ละเอียด เมื่อผ่านการอัดเป็นแท่งแล้วแท่งเชื้อเพลิงจะต้องนำไปตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้ แท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นระหว่าง 600-800 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื้อของแท่งเชื้อเพลิงจะถูกอัดเป็นเส้น ๆ หรือขึ้นการรวมตัวไม่แน่นหรือหลวมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างการอัดแห้ง บางกรณีอาจใช้ตัวประสาน (binding materials) จากภายนอกช่วย การอัดทำได้ง่ายกว่า ประหยัด กว่าและทำได้เกือบทุกอย่างกว้างขวางกว่าการอัดแห้งแบบใช้ความร้อน

2.3 ตัวประสานที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตัวประสาน คือ สารที่ผสมลงไปในวัตถุดิบเพื่อทำให้วัตถุดิบนั้นเกาะติดกันได้ดียิ่งขึ้นในการพิจารณาที่จะทำการอัดแท่งโดยใช้ตัวประสานนั้นจะต้องคำนึงถึง (1)ราคาต้องไม่แพงมากนัก (2) ต้องใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดแต่ยังคงให้แท่งเชื้อเพลิงมีคุณภาพดี (3)จะต้องทนน้ำ (4)จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงและสามารถจะปกคลุมพื้นที่ของวัตถุดิบที่บดได้ทั่วถึงเพื่อให้การยึดเหนี่ยวเป็นไปได้อย่างดี



รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งแบบเกลียวอัด

2.4 การใช้ประโยชน์จากผลผลิตเชื้อเพลิงถ่าน

2.4.1 การใช้ประโยชน์จากผลผลิตถ่านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าที่เข้าใจกันเพียงแต่นำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนเท่านั้น ในประเทศจีน เกาหลี และญี่ปุ่น ซึ่งมีเทคโนโลยีการผลิตถ่านอย่างล้ำหน้าจะสามารถผลิตถ่านขาว (white charcoal) เพื่อใช้ถ่านขาวในเชิงเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะ เช่น ใช้ถ่านขาวใส่ลงในกาน้ำร้อนเพื่อทำน้ำแร่เพราะถ่านชนิดนี้จะละลายแร่ธาตุ

ต่าง ๆ ออกมาเพิ่มคุณภาพและรสชาติของน้ำร้อนใช้ชงกาแฟหรือจะใช้ผสมเหล้าวิสกี้ก็จะได้รสชาติที่นุ่มละมุนนี้เป็นตัวอย่างการใช้ถ่านแบบพิเศษในต่างประเทศ ในบ้านเราผลผลิตถ่านส่วนใหญ่จะเป็นถ่านดำที่ผลิตภายใต้อุณหภูมิต่ำซึ่งไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงปิ้งย่างอาหาร แต่ถ่านดำได้เปรียบกว่าถ่านบริสุทธิ์ตรงที่ผลิตได้จำนวนมากซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่ไม่เป็นการประกอบอาหารโดยตรง เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิง ถ่านหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมักจะมีค่ามลพิษที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ดีถ่านดำที่ผลิตด้วยอุณหภูมิสูงที่เราเรียกว่า ถ่านบริสุทธิ์ นั้นหากมีปริมาณผลผลิตที่มากพอและคงที่ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายทั้งในครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมได้ตามรายงานของชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานไม้คือ (1)การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียมไซยาไนด์ ซิลิคอนคาร์ไบด์หรือถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูง ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลายอาทิใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้ซีเมนต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวเร็วและมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น

2.4.2 การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน คุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่านเป็นที่รู้จักกันดีแล้ว แต่ในต่างประเทศอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับจากถ่านเพื่อใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนได้รับความนิยมมาก คนญี่ปุ่นเป็นตัวอย่างของผู้ที่มองเห็นคุณสมบัติของถ่านอย่างชัดเจนการใช้ถ่านเพื่อทำหน้ากากกลั่นในห้องปรับอากาศมีประสิทธิภาพที่ดีมากในห้องแอร์ที่ทำงานหรือในรถโดยเฉพาะที่มีผู้สูบบุหรี่หรืออาจจะมีการจุดธูปเทียนบูชาพระและจุดเทียนที่หน้าพระพุทธรูปหรืออาจจะมีการจุดธูปเทียนบูชาพระพุทธรูปและจุดเทียนที่หน้าพระพุทธรูปเป็นประโยชน์ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่าง ๆ เอาไว้ช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้อย่างดีหรือจะใช้ถ่านเพื่อการบำบัดน้ำ

2.4.3 การใช้ประโยชน์ในการเกษตร ในภาคการผลิตเชิงเกษตรการนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์นับว่ามีคุณค่าที่น่าสนใจไม่น้อยเนื่องจากว่าถ่านมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีราคาแพงได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพไม่แพ้กันทีเดียว ใช้เป็นสารปรับปรุงดินถ่านไม้จะมีพูนพูนมากมายเพื่อใส่ถ่านลงในดินจะช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุยอุ้มน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้ราก

พืชขยายตัวอย่างรวดเร็วช่วยลดการใช้ปุ๋ย เพราะสมบัติต่าง ๆ ของจุลธาตุที่มีอยู่หลายชนิดในแท่งถ่านจะเป็นประโยชน์ให้แก่พืชที่ปลูกถ่านไม้ที่นำมาปรับปรุงดินควรเป็นเศษถ่าน ขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยอาจจะเป็นถ่านแกลบหรือ ถ่านขานอ้อยแต่ควรระวังเชื้อราซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างสูงเพราะพืช ก็ไม่ชอบดินที่มีค่าเป็นด่างสูงควรรักษาค่าเป็นกรด-ด่างของ ดินไว้ที่ PH 6.0-6.8 ช่วยรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้น ผักและ ผลไม้จะมีกลิ่นหอมสดชื่น (ethylene) เพื่อให้ทำให้ ตัวเองสุกเราสามารถรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้นโดยใส่ผง ถ่านลงในกล่องบรรจุเพื่อดูดซับก๊าซดังกล่าวไว้ไม่ให้ออก ฤทธิ์ผักผลไม้จะยังคงสดอยู่ได้ยาวนานถึง 17 วันโดยไม่ เสียหายหรือสุกงอม ปัจจุบันได้มีการนำผง ถ่านกัมมันต์ผสม ลงในกระดาดที่ใช้ทำกล่องบรรจุผลผลิตถ่านแกลบใช้ ทดแทนแกลบรองพื้นคอกสัตว์ซึ่งราคาสูงและหายากต่าง ๆ กันเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนและก๊าซต่าง ๆ อันเป็นสาเหตุ หนึ่งของอาการเครียดในสัตว์ส่งผลให้สุขภาพและผลผลิต จากปศุสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น ใช้ผสมอาหารสัตว์นำผงถ่าน ผสมในอาหารสัตว์อัตราส่วนเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ถ่านจะช่วย ดูดซับก๊าซในกระเพาะและลำไส้ช่วยลดอาการท้องอืด เนื่องจากปริมาณน้ำในอาหารสูงเกินไปโดยไม่เป็นอันตรายต่อ สัตว์ ปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำนำถ่านไม้ใส่กระสอบ (ใน ปริมาณที่สอดคล้องกับปริมาณแหล่งน้ำ) ไว้ที่ก้นบ่อและ จัดให้มีการไหลเวียนน้ำบริเวณกระสอบถ่านน้ำเศษ อินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ใน รูปพรุนของถ่านช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำในบ่อ เลี้ยงปลาหรือกุ้งได้เช่นกันจากแหล่งเดียวกัน

ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ประโยชน์จากถ่านไม้อย่าง กว้างขวางเป็นลำเป็นสันจนถือว่าถ่านเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ ดีเยี่ยมมีปริมาณการใช้ในภาคเกษตรไม่น้อยกว่าปีละ 50,000 ตัน

2.5 หลักการตรวจสอบเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Auto Bomb Calorimeter และตัวอย่างการวิเคราะห์
การทดสอบค่าความร้อนค่าคงตัวของสารละลายของ วัสดุ (1) การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะบรรจุให้ ตรวจสอบและพิจารณาความสมบูรณ์ของภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุต้องสะอาดแห้งและป้องกันเสียหายที่เกิด ขึ้นกับถ่านได้และภาชนะบรรจุหรือ

ฉลากอย่างน้อยต้องมีเลขอักษรหรือเครื่องหมายแจ้ง รายละเอียดเช่น ชื่อเรียก ผลิตภัณฑ์น้ำหนักสุทธิ เดือนที่ ทำ ข้อเสนอแนะในการใช้และการบำรุงรักษา (2) การ ทดสอบการใช้งาน ให้ทดสอบโดยการจัดตัวอย่างถ่านอัด แท่งแล้วตรวจพินิจ (3) การทดสอบความชื้นค่า ความชื้น ของถ่านวิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 โดยให้ความร้อน

กับถ่าน 1 กรัมที่อุณหภูมิ 103-110 องศาเซลเซียสและ คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป คำนวณว่าสำคัญ มากโดยเฉพาะในด้านการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพ ของถ่านที่แห้งดังนั้นจึงต้องจำเป็นใช้ค่าความชื้นนี้ไป คำนวณกับค่าอื่น ๆ ของถ่านให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง (4) การทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณถ่าน ถ่าน ตาม ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่าง 1 กรัม ที่ อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสและคำนวณหาร้อยละของ น้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่ (5) การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ให้ใช้ เครื่องชั่งที่เหมาะสมจากข้อมูลเชิงลึกที่ได้ติดตามกันมาทำ ให้เราได้เห็นถึงประโยชน์อันมากมายของถ่านไม้ที่เคยดู เหมือนจะมีค่าแค่เพียงเป็นฟืนหุงข้าวของคนโบราณ แต่ หากเรารู้จักการนำมาใช้อย่างสร้างสรรค์และเข้าใจถึง คุณประโยชน์ของถ่านไม้ที่ได้จากไม้พืชมีย่อมมากมายใน ประเทศไทยก็จะเป็นประโยชน์ต่อระบบการผลิตในหลาย แขนง ดังตารางที่ 1

2.6. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ ใน การ เตรียมวัตถุดิบ สามารถดำเนินการตามขั้นตอนคือ (1) นำ เศษกะลามะพร้าวและไม้ไผ่แล้วนำมาทำการเผาให้เป็น ถ่านดังรูปที่ 5 (2) นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านไม้ไผ่มาตี ย่อยด้วยเครื่องมือให้มีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะสามารถนำไปอัด เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งได้ (3) ใช้ตะแกรงร่อนคัดแยกขนาด ผงถ่านเมื่อทำการตีถ่านเสร็จให้นำถ่านที่ผ่านการตีไปร่อน ในตะแกรง (4) นำผงถ่านที่ผ่านการร่อนคัดแยกจาก ตะแกรงไปชั่งน้ำหนักตามที่กำหนดทั้ง 11 สูตร (5) ผสม ผงถ่านกะลามะพร้าว ผงถ่านไม้ไผ่กับตัวประสานแต่ละ สูตรที่ได้กำหนดทั้ง 11 สูตร เพื่อทำการคลุกเคล้าส่วนผสม วัตถุดิบให้เข้ากันดังรูปที่ 4 (6) นำผงถ่านที่ผ่านการผสม และคลุกเคล้ากันแล้วไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว อัดผ่านแม่พิมพ์รูปทรงหน้าตัดห้าเหลี่ยม ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าของสารระเหย ถ่านคองตัว ปริมาณเถ้า กำมะถัน พลังงานความร้อน

ตัวอย่าง	สารระเหย (เปอร์เซ็นต์)	ถ่านคองตัว (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	กำมะถัน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานความร้อน (แคลอรี/กรัม)
ซีเลื่อย	71.30	27.20	1.50	-	4,990
ซีกบ	72.40	25.10	2.50	-	4,990
กากอ้อย	73.90	17.60	8.50	-	4,440
ชานอ้อย	71.80	23.40	4.80	-	4,510
แกลบ	62.70	17.40	20.00	-	3,860
ฟางข้าว	74.40	18.90	7.30	-	4,300
ต้นมันสำปะหลัง	76.20	19.10	4.70	1.30	4,300
ซังข้าวโพด	76.10	21.80	2.10	-	4,540
กะลามะพร้าว	73.70	25.59	0.70	0.03	4,830
เส้นใยปาล์ม	71.50	23.10	5.40	-	4,820
ถ่านหิน	42.80	49.50	7.70	1.73	5,860
ถ่านโค้ก	1.20	90.60	8.20	0.48	7,150
ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.10	-	4,560
ไมยราบยักษ์	71.20	25.10	3.70	-	4,460
น้ำมันเตา*	-	-	-	2.43	10,450
ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.40	-	7,650

หมายเหตุ : คือพลังงานความร้อนที่สูงสุด



(ก) ถ่านกะลามะพร้าว



(ข) ถ่านไม้ไผ่

รูปที่ 4 ลักษณะถ่านกะลามะพร้าวและถ่านไม้ไผ่



รูปที่ 5 การผสมผงถ่านกับตัวประสาน



รูปที่ 6 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

2.6.2 เงื่อนไขการทดลอง

1) ผสมอัตราส่วนผสมกับตัวประสาน คือ แป้งมันและน้ำที่อัตราส่วน 9.5:0.5:3 (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)

2) น้ำหนักของน้ำที่ใช้เป็นเพียงตัวผสมระหว่างผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่กับแป้งมันเข้าด้วยกันเท่านั้น (ปริมาณน้ำสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบที่เตรียมไว้) โดยไม่รวมน้ำหนักของน้ำในการคำนวณลดค่าความชื้น

3) ทำการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 (ตัวอย่างสูตรที่ 3) จากการคำนวณอัตราส่วน 100 เปอร์เซ็นต์โดยการแบ่งสัดส่วนทั้งสองให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ผงถ่านกะลามะพร้าว 90 เปอร์เซ็นต์

$$\frac{9.5 \times 90}{100} = 8.55 \text{ กิโลกรัม}$$

ผงถ่านไม้ไผ่ 10 เปอร์เซ็นต์

$$\frac{9.5 \times 10}{100} = 0.95 \text{ กิโลกรัม}$$

4) ตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งโดยการสังเกตลักษณะที่ได้ตรงตามที่ต้องการหรือไม่

5) เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งทั้งหมดคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งทั้งหมดมาลดความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามมาตรฐาน มพข.238/2547 [8]

7) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ มาทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพด้วยเครื่อง oxygen bomb calorimeter ซึ่งจะบอกค่าพลังงานความร้อน และปริมาณเถ้า

8) เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อให้ทราบว่อัตราส่วนผสมใดเหมาะสมที่สุด

2.6.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพและคุณภาพของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

1) การทดสอบหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อตรวจวัดค่าพลังงานความร้อนในเชื้อเพลิงของถ่านแต่ละสูตรโดยวิธีการต้มน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยการทำให้ในบริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเท และในขนาดที่ต้มน้ำควรปิดฝาหม้อให้สนิทเพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลองสามารถทำได้ โดย (1) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านการลดความชื้นไม่

เกิน 8 เปอร์เซ็นต์มาซึ่งให้ได้ 1 กิโลกรัมดังรูปที่ 7 (2) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ซึ่งแล้วไปก่อไฟเพื่อทำการต้มน้ำ โดยใช้น้ำปริมาณ 1.5 ลิตร (3) ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นตั้งหม้อต้มน้ำจนกระทั่งน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป (4) นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิและทำการหยุดเวลา (5) นำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการต้มน้ำเดือดมาทำการชั่ง เพื่อหาปริมาณคงเหลือหลังการต้มน้ำและทำการบันทึกผลการทดลอง

2) การทดสอบหาค่าปริมาณเถ้า ดังรูปที่ 8 โดยการนำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งไปทำการจุดไฟโดยใช้เตาแก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน ทำการเผาเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเป็นเวลา 3 นาที ที่ความร้อนเท่ากันและปล่อยให้ไหม้ให้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเผาไหม้จนเหลือแต่เถ้าถ่าน ทำการจับเวลาและบันทึกผลการทดลอง

3) การทดสอบหาค่าความแข็งดังรูปที่ 9 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกด (ยี่ห้อ HOUNSFIELD) เมื่อทำการอัดแท่งวัตถุดิบเสร็จเรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกดเพื่อตรวจวัดค่าความแข็งในเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกผล

4) การทดสอบหาค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่อง oxygen bomb calorimeter ดังรูปที่ 10



รูปที่ 7 การลดความชื้นแก่เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 8 การทดสอบหาค่าปริมาณเถ้า



รูปที่ 9 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกด (ยี่ห้อ HOUNSFIELD)



รูปที่ 10 ชุดเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter

ตารางที่ 2 สูตรในการหาอัตราส่วนผสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิง

สูตรที่	ส่วนผสมของวัตถุดิบ(กิโลกรัม)	
	ถ่านกะลามะพร้าว	ถ่านไม้ไผ่
1	9.50	-
2	-	9.50
3	8.55	0.95
4	7.60	1.90
5	6.65	2.85
6	5.70	3.80
7	4.75	4.75
8	3.80	5.70
9	2.85	6.65
10	1.90	7.60
11	0.95	8.55

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ตารางแสดงผลการวิจัย

ตารางที่ 3 ผลการวิจัยการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		จำนวนวัน	ค่าความชื้น(เปอร์เซ็นต์)					
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่		ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 4	ครั้ง 5	ค่าเฉลี่ย
9.50	0.00	1	16.67	16.25	17.64	18.57	17.33	17.29
		2	13.33	13.43	14.28	14.03	12.90	13.59
		3	7.69	5.17	6.66	8.16	7.40	6.42
		4	5.00	4.54	5.35	5.55	6.38	5.36
0.00	9.5	1	15.00	13.75	14.12	12.75	13.25	13.77
		2	13.23	10.14	10.95	10.81	11.43	11.31
		3	6.78	8.06	7.69	7.57	9.68	7.95
		4	3.63	3.51	3.33	4.92	3.57	3.79



ตารางที่ 3 ผลการวิจัยการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ (ต่อ)

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		จำนวนวัน	ค่าความชื้น(เปอร์เซ็นต์)					
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่		ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 4	ครั้ง 5	ค่าเฉลี่ย
8.55	0.95	1	15.44	15.29	15.71	16.47	16.66	15.91
		2	11.84	11.11	11.86	11.26	12.80	11.77
		3	8.95	7.81	9.61	7.93	9.17	8.69
		4	4.91	5.08	6.38	6.89	7.07	6.07
7.60	1.90	1	14.67	15.49	14.86	15.71	16.00	15.35
		2	12.50	13.33	12.69	13.56	14.87	13.39
		3	10.71	11.54	10.91	11.76	12.65	11.51
		4	4.00	6.52	6.12	4.76	4.57	5.19
6.65	2.85	1	16.47	16.25	17.33	15.55	17.14	16.55
		2	12.67	13.43	12.90	14.47	13.79	13.45
		3	9.67	10.34	7.40	8.46	7.90	8.75
		4	7.14	8.65	6.50	7.56	6.51	7.27
5.70	3.80	1	14.44	13.97	14.58	13.68	14.55	14.24
		2	12.99	11.25	12.19	10.97	12.14	11.91
		3	7.46	9.86	8.33	8.22	7.23	8.22
		4	3.23	4.69	4.55	4.47	3.01	3.99
4.75	4.75	1	14.98	15.01	14.51	14.84	15.18	14.89
		2	11.21	12.72	11.92	11.57	12.58	12.00
		3	8.95	9.58	8.77	9.02	8.61	8.99
		4	4.71	5.86	4.23	4.59	5.11	4.90
3.80	5.70	1	13.75	14.92	13.98	14.54	14.67	14.37
		2	10.14	12.97	11.57	11.30	12.22	11.64
		3	8.06	8.96	9.06	9.41	9.17	8.93
		4	3.51	5.01	4.92	5.05	4.83	4.66
2.85	6.65	1	17.09	16.29	17.53	16.00	17.61	16.90
		2	15.98	13.36	15.07	13.42	14.28	14.42
		3	8.15	11.03	10.71	9.54	8.53	9.59
		4	6.23	6.51	5.86	5.37	5.97	5.99
1.90	7.60	1	14.12	15.32	14.63	15.11	14.48	14.73
		2	12.33	13.15	11.29	12.75	11.51	12.21
		3	9.38	10.98	9.78	11.35	9.16	10.13
		4	3.45	4.74	5.09	4.82	5.20	4.66
0.95	8.55	1	15.72	16.37	16.87	16.90	15.66	16.30
		2	13.20	12.99	12.72	12.43	12.80	12.83
		3	9.96	10.21	10.56	10.77	10.28	10.36
		4	4.55	5.34	5.24	5.48	4.91	5.10

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนผสม (กิโลกรัม)		มวลที่เหลือ (กิโลกรัม)	สิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (กิโลกรัม)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัด แท่งเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
ผงถ่าน กะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่				
9.50	0.00	0.677	0.323	00:11:09	1.745
0.00	9.50	0.623	0.377	00:14:00	1.618
8.55	0.95	0.697	0.303	00:09:45	1.917
7.60	1.90	0.647	0.353	00:08:67	2.434
6.65	2.85	0.670	0.330	00:06:10	3.235
5.70	3.80	0.677	0.323	00:07:25	2.669
4.75	4.75	0.680	0.320	00:08:26	2.318
3.80	5.70	0.687	0.318	00:07:16	2.672
2.85	6.65	0.680	0.320	00:09:47	2.025
1.90	7.60	0.633	0.367	00:06:36	3.462
0.95	8.55	0.617	0.383	00:07:63	3.015

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการหาปริมาณเถ้า

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ปริมาณเถ้า(เปอร์เซ็นต์)
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่	
9.50	0.00	9.75
0.00	9.50	13.92
8.55	0.95	10.42
7.60	1.90	10.64
6.65	2.85	10.95
5.70	3.80	11.24
4.75	4.75	11.85
3.80	5.70	12.37
2.85	6.65	12.95
1.90	7.60	13.42
0.95	8.55	13.87

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อน

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ค่าพลังงานความร้อน(แคลอรีต่อกรัม)
ผงถ่านกะลามะพร้าว	ผงถ่านไม้ไผ่	
9.50	0.00	6,388.05
0.00	9.50	6,041.00
8.55	0.95	5,748.83
7.60	1.90	5,699.97
6.65	2.85	5,624.34
5.70	3.80	5,813.98
4.75	4.75	5,677.81
3.80	5.70	5,630.47
2.85	6.65	5,576.46
1.90	7.60	5,446.69
0.95	8.55	5,363.08

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547)

อัตราส่วนผสม(กิโลกรัม)		ค่าต่าง ๆ จากผลการทดลอง					
ผงถ่าน กะลามะพร้าว	ผงถ่าน ไม้ไผ่	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานความร้อน (แคลอรี/กรัม)	การรับแรงกด (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร)
9.50	0.00	5.36	1.745	9.75	6,388.05	1,427.333	696.39
0.00	9.50	3.79	1.618	13.92	6,041.00	541.430	794.28
8.55	0.95	6.07	1.917	10.42	5,748.83	892.530	737.14
7.60	1.90	5.19	2.434	10.64	5,699.97	969.460	639.25
6.65	2.85	7.27	3.235	10.95	5,624.34	310.430	754.28
5.70	3.80	3.99	2.669	11.24	5,813.98	288.760	888.57
4.75	4.75	4.90	2.318	11.85	5,677.81	385.730	894.28
3.80	5.70	4.66	2.672	12.37	5,630.47	71.130	817.14
2.85	6.65	5.99	2.025	12.95	5,576.46	385.560	751.43
1.90	7.60	4.66	3.462	13.42	5,446.69	188.560	854.28
0.95	8.55	5.10	3.015	13.87	5,363.08	601.400	753.54
ถ่านไม้เบญจพรรณ (นิภาพรรณ นัน-ตา วงศ์:2553)		3.692	2.25	3.86	6,748.97	-	-
มาตรฐานถ่าน-อัดแท่ง (มผช.238/2547)		ไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์	-	-	ไม่น้อย กว่า 5,000	-	-

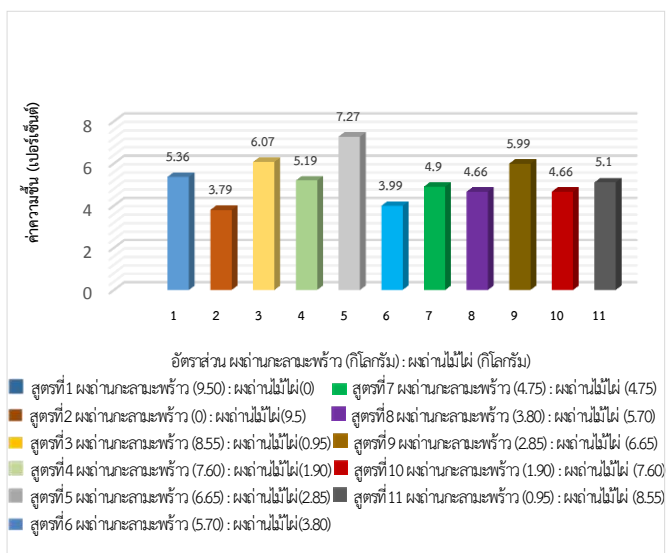
3.2 ผลการวิจัย

3.2.1 ผลการลดค่าความชื้น

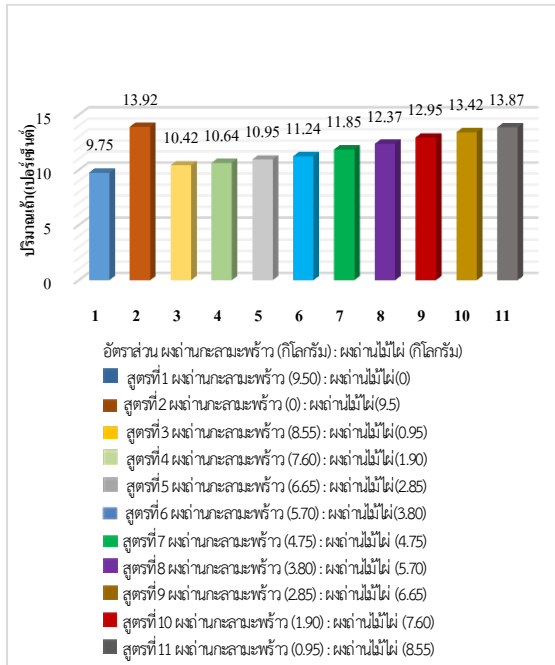
ผลการลดค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งค่าความชื้นเริ่มต้น 100 เปอร์เซ็นต์บันทึกผลการทดลองหลังการอบทุก 24 ชั่วโมง โดยการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสระยะเวลา 4 วัน ดังรูปที่ 11

3.2.2 ผลการทดลองหาค่าอัตราการสิ้นเปลือง

ผลการทดลองหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งมวลที่ใช้ในการทดลอง 1 กิโลกรัมโดยการต้มน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 12



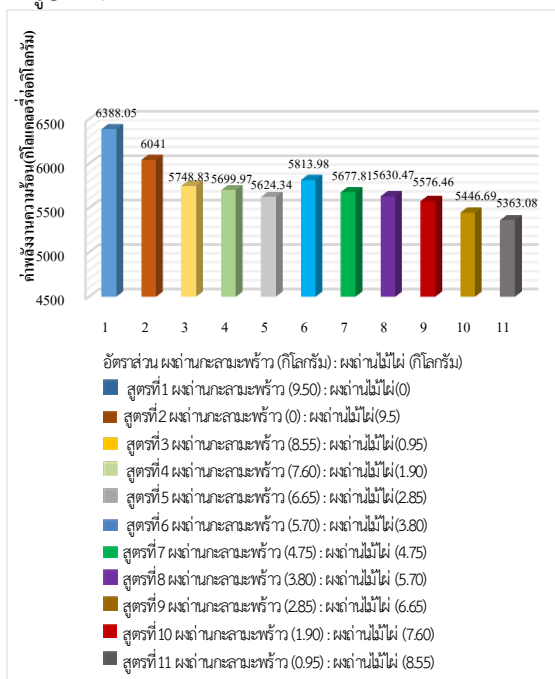
รูปที่ 11 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 12 อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

3.2.3 จากผลการทดลองหาปริมาณเชื้อ

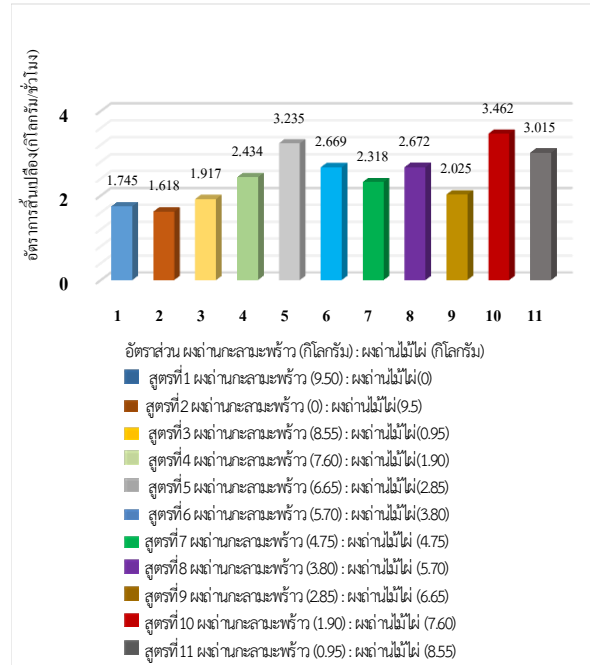
การทดลองหาปริมาณเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง
ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

3.2.4 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อน

จากผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อนของ
เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง
ด้วยเครื่อง Oxygen Bomb Calorimeter

3.3. อภิปรายผลการวิจัย

3.3.1 จากตารางที่ 3 และรูปที่ 11 ผลการทดลองการลด
ค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง
จากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่โดยการอบที่
อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 วัน ตาม
มาตรฐาน ASTM D 3173 จากนั้นทำการเปรียบเทียบ
ตามคุณลักษณะที่ต้องการของ มผช.238/2547 พบว่า
เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่าน
ไม้ไผ่ในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความชื้นเฉลี่ยไม่เกิน 8
เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นในส่วนผสมของเชื้อเพลิง
ถ่านอัดแท่งสามารถระเหยออกสู่บรรยากาศจากการได้รับความ
ร้อนในการอบและได้ค่าตรงตามคุณลักษณะที่
ต้องการของ มผช.238/2547 กำหนดไว้

3.3.2 จากตารางที่ 4 และรูปที่ 12 ผลการทดลองการหา
ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่าน
กะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่จะแสดงถึงประสิทธิภาพใน
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่เผาไหม้ได้ดีติดไฟ
ได้ยากแต่เมื่อติดอยู่ได้นานจนกลายเป็นถ่านใช้ระยะเวลา
ในการเผาไหม้นาน และการเผาไหม้ได้ไม่ดีหรือเผาไหม้ไม่
หมดจะติดไฟง่ายแต่ดับไวใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้น้อย
ตาม จะว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเฉลี่ย
มากที่สุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 10 ผงถ่าน
กะลามะพร้าว 1.90 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 7.60
กิโลกรัม มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 3.462

กิโลกรัมต่อชั่วโมงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากผงถ่านจากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงและทนทานต่อการใช้งานที่ดีกว่า

3.3.3 จากตารางที่ 5 และรูปที่ 13 ผลการทดลองหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ ซึ่งปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เมื่อมีปริมาณเถ้ามากค่าพลังงานความร้อนก็ลดลงแต่ถ้ามีปริมาณเถ้าน้อยค่าพลังงานความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นและเป็นภาระในการจัดจะพบว่าปริมาณเถ้าสูงสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 11 ผงถ่านกะลามะพร้าว 0.95 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 8.55 กิโลกรัม มีปริมาณเถ้า 13.87 เปอร์เซ็นต์และปริมาณต่ำสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์

3.3.4 จากตารางที่ 6 และรูปที่ 14 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากผงถ่านกะลามะพร้าวและผงถ่านไม้ไผ่ ซึ่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ได้ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสม่ำเสมอและทนทานใช้งานได้ในแต่ละสูตรมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้แตกต่างกัน จะพบว่าค่าพลังงานความร้อนสูงสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 6 ผงถ่านกะลามะพร้าว 5.70 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 3.80 กิโลกรัม มีค่าพลังงานความร้อน 5,813.98 แคลอรีต่อกรัมและค่าพลังงานต่ำสุด คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 11 ผงถ่านกะลามะพร้าว 0.95 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 8.55 กิโลกรัม มีค่าพลังงานความร้อน 5,363.08 แคลอรีต่อกรัม

3.3.5 จากผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและไม้ไผ่กับมาตรฐานถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) จากตารางที่ 7 พบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการเผาข้าวหลามที่ค่าต่างๆ ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) คือ อัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีค่าความชื้น 6.07 เปอร์เซ็นต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมงปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อน 5,748.83 แคลอรีต่อกรัม ค่าความแข็ง 892.530 นิวตัน และ 737.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4. บทสรุป

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการเผาข้าวหลาม คือ สูตรที่ 3 ผงถ่านกะลามะพร้าว 8.55 กิโลกรัมต่อผงถ่านไม้ไผ่ 0.95 กิโลกรัม มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 1.917 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้ 00:09:45 ชั่วโมง การลดความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 6.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามค่าความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ปริมาณเถ้า 10.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อน 5,748.83 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามค่าพลังงานความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ค่าความหนาแน่น 737.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความแข็ง คือ 892.530 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าผงถ่านกะลามะพร้าวมากกว่าผงถ่านไม้ไผ่ เมื่อติดไฟแล้วจะดับได้ยากจะเผาไหม้จนกว่าจะกลายเป็นขี้เถ้าทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งน้อยสุดใช้งานได้นานและประหยัด เนื่องจากเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งมีความแข็งแรงมากจึงทำให้ไม่เปราะและไม่แตกหักได้ง่าย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้การดำเนินงานวิจัยขอขอบคุณคุณคุณธีรพัฒน์ อำพาต คุณบุษยมาศ นันใจยะ คุณชินานาง ชื่นหมี่ และคุณภัทรา จันทรกระจำง สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ช่วยสืบค้นและจัดหาข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เกศกนก จันทรมาศ. (2546). การศึกษาเรื่องการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและไม้ไผ่. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [2] วิไลพร ลักษมีวานิชย์, กาญจนา สิริกุลรัตน์และณัฐธินญา บุญถึง. (2554). พฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบลช้างเคือง อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ โดย การทนทานแรงกดอัด (Compressive Strength) ของถ่านอัดแท่ง.สาขาวิชาฟิสิกส์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- [3] กิตติพงษ์ ลาลูน, สมโภชน์ สุตาจันทร์และชัยยันต์ จันทรศิริ.(2555) การผลิตถ่านอัดแท่งจากผงถ่านวัสดุชีวมวล 3 ชนิดด้วยชุดเกลียวอัดถ่านอัดแท่ง. ภาควิชา

- วิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] อุกฤษฏ์ โชติศรี. (2554). เทคโนโลยีถ่านอัดแท่ง.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต
สกลนคร.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,
กระทรวงพลังงาน (2552). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:
http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=130%3A2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68&lang=th,
- [6] กระทรวงพลังงาน (2555). แผนพัฒนาพลังงาน
ทดแทนและพลังงานทางเลือก. [ระบบออนไลน์],
แหล่งที่มา:<http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- [7] ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงาน ฝ่ายวิจัยพลังงาน
และสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. การวิเคราะห์ค่าความร้อน ค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:<http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/hot.php>.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.) เลขที่ 238/2547.
(2547). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา:http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps238_47.pdf

การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ

Developing an Herbal Essential Oil Distiller Using Solar Cells and Automatic Electric Control

บดินทร์ ใจจันทร์¹ เอกพันธ์ จำปา¹ เฟลีน จันทรสุยะ^{1*} และจิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

²สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Bodin Jaijhan¹, Eakapan Jumpa¹, Phlearn Jansuya^{1*} and Jirapatpong Senabut²

¹Electrical Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

²Chemistry Faculty of Science and Agricultural Technology Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

99 M 10 Sai khao Sub-district Phan district Chiangrai 57120

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Jansuya@rmutl.ac.th , Jansuya@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-4176-8811

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยใช้หลักการกลั่นด้วยไอน้ำ เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่พัฒนาขึ้นทำมาจากวัสดุสแตนเลสเบอร์ 316 หนา 2 มิลลิเมตร มีส่วนประกอบ คือ หม้อกลั่น หม้อควบแน่น โดยระบบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิในตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 70 ลิตร แล้วส่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ไปยังหม้อกลั่นเพื่อส่งให้ฮีตเตอร์ทำงานจนน้ำอุณหภูมิถึง 70-93 องศาเซลเซียส แล้วนำไอน้ำที่ได้ไปควบแน่นในหม้อควบแน่นที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้ปริมาณสมุนไพรจำนวน 5 กิโลกรัม ใช้พลเป็นสมุนไพรในการสกัด โดยใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 2510 วัตต์ และระยะเวลาในการกลั่น 6 ชั่วโมง ได้น้ำมันหอมระเหยจำนวน 8 มิลลิลิตร

คำสำคัญ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ระบบไฟฟ้าควบคุมแบบอัตโนมัติ การสกัดน้ำมันหอมระเหย

Abstract

This research was focused on the development of essential oils using steam distillation. The essential oil distiller was made of stainless steel number 316, with a thickness of 2 millimeters. The components of the distiller included a refining pot and a condensing boiler with an electrical temperature control in the solar collector with a 70 liter container. Sixty to eighty degree Celsius water was transferred to the boiler, which warmed the heater to 70-93 degrees Celsius. The steam was condensed at a temperature of 20-25 degrees Celsius. Five kilograms of the herb, zingiber montanum, were used for an extraction. The total amount of power consumption was 2510 Watts. The distillation process took 6 hours to produce 5 milliliters of essential oil.

Keyword: solar collector, automatic electric control, essential oil distillation.

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาทางมลพิษที่เกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ทำให้มนุษย์เกิดการเจ็บป่วยและเกิดโรคที่บั่นทอนสุขภาพอนามัย เป็นต้นว่า การเกิดโรคปอดเมื่อยหรือเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากได้รับฝุ่นละอองหรือสารพิษในอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเกิดโรคเครียดจากเครื่องจักรในแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงการได้รับ

อันตรายจากสารพิษของขยะมูลฝอยและสภาพแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ทั้งทางด้านสังคมและทางด้านปัญหาเศรษฐกิจต่างๆ ที่ทำให้เกิดความเครียดอันมากมายตามมา จึงทำให้มนุษย์หันมาสนใจในการรักษาสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการรักษาทางธรรมชาติ จึงเป็นอีกหนทางเลือกที่นิยมกันมากใน และเป็นทางเลือกใหม่ในวงการทางการแพทย์

ในปัจจุบัน สุนทรบำบัด (aromatherapy) [1] เป็นการบำบัดด้วยอากาศรวมไปถึงการรักษาด้วยกลิ่นหอม ซึ่งที่

สำคัญทำให้เกิดความสมดุล ซึ่งกลิ่นหอมนั้นจะมีบทบาทสำคัญในการยกระดับสภาพอารมณ์ ช่วยกระตุ้นระบบประสาทสัมผัสให้รับรู้ถึงความละเอียดละไม ของความรื่นรมย์ในชีวิต อีกทั้งยังช่วยผ่อนคลายสภาพจิตใจ ให้รู้สึกเบาใจ และรู้สึกปล่อยวางได้ด้วย รวมถึงฟื้นฟูทั้งสภาพร่างกาย ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอสมุนไพรที่มีชื่อว่าโพลมาใช้ในการทดลอง ทั้งนี้สรรพคุณของโพล ได้แก่ บรรเทาอาการปวดเมื่อยปวดข้อ ขับลมในท้อง บรรเทาอาการอักเสบ แก่ปวดบวม ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อรา ทำให้ผ่อนคลาย เป็นต้น ในขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่อยู่ธรรมชาติซึ่งไม่เสียค่าใช้จ่ายและมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง [2] โดยเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่จะใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้มหรือใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขจัดความร้อนอย่างใดอย่างหนึ่ง [3 – 6] ในการต้มน้ำเพื่อใช้อุ่นน้ำในการสกัดน้ำมันหอมระเหย ซึ่งประเทศไทยนั้นมีพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้ขจัดความร้อนเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายให้ถูกลงโดยมีระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ แนวคิดนี้จึงอาจเป็นการส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันหอมระเหยขึ้นในชุมชนเหมาะกับการใช้งานในลักษณะของอุตสาหกรรมในครัวเรือน ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตลง และสามารถเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การกลั่นด้วยน้ำ (Water Distillation)

การกลั่นด้วยน้ำนั้นเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นด้วยน้ำนิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อน ซึ่งพืชบางชนิดเบาอาจจะลอย แล้วแต่ความถ่วงจำเพาะของพืชนั้น โดยการนำพืชที่ต้องการกลั่นมาใส่ในหม้อกลั่น แล้วเติมน้ำจนท่วมพืช ต้มจนน้ำเดือด เมื่อน้ำเดือดระเหยเป็นไอ ไอนี้จะช่วยพาน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชออกมา เมื่อผ่านเครื่องควบแน่นไอของน้ำมันหอมระเหยจะควบแน่นเป็นของเหลวได้เป็นน้ำและน้ำมันหอมระเหยแยกออกจากกัน

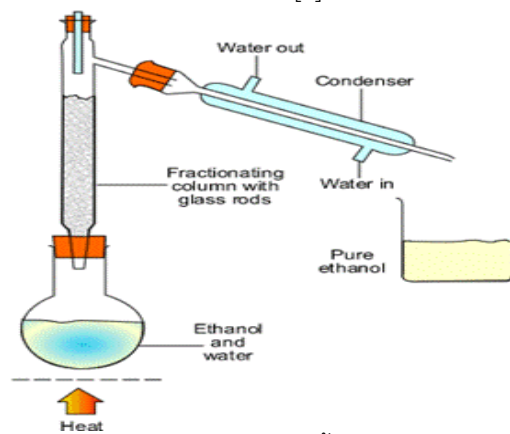
2.2 การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation)

การกลั่นด้วยไอน้ำนิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีสลายตัวเมื่อถูกความร้อนโดยตรง ทำโดยนำพืชที่ต้องการกลั่นมาวางบนตะแกรงที่อยู่เหนือหม้อต้มน้ำให้ความร้อนจนน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำไอน้ำจะช่วยพาน้ำมันหอมระเหยแล้วควบแน่นกลับมาเป็นน้ำกับน้ำมันหอมระเหย

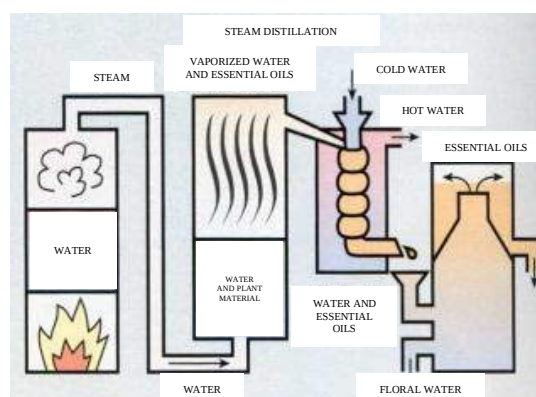
ดังรูปที่ 1 การกลั่นโดยวิธีนี้เรียกว่า Wet Steam พืชที่ใช้กลั่นโดยวิธีนี้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีการกลั่นด้วยน้ำ

2.3 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector)

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติ ที่มีความสะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีปริมาณมากมายมหาศาลอยู่ทั่วทุกหนแห่งของโลก สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างไม่หมดสิ้น สำหรับการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีที่นำมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่รับรังสีแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งโดยมีลักษณะเป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศภายในเคลือบสารดูดกลืนรังสี ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำร้อนในอุณหภูมิที่สูงและสามารถทำน้ำร้อนได้ถึง 60 – 100 องศาเซลเซียส โดยมีถังพักน้ำถึง 70 ลิตร [9]



รูปที่ 1 แสดงการกลั่นด้วยน้ำร้อน [7]



รูปที่ 2 แสดงการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ [8]



ก. ด้านหน้า



ข. ด้านข้าง

รูปที่ 3 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ

2.4 ขดลวดทำความร้อน

ขดลวดทำความร้อนหรือฮีตเตอร์ (heater) ที่ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวขนาด 6000 W เช่น ต้มน้ำ หรือ อุ่นน้ำมันของเหลวต่างๆ ได้เกือบทุกประเภทที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสแตนเลสซึ่งเหมาะสมทุกงานอุตสาหกรรมที่มีการอุ่น หรือ ต้มของเหลวหลายชนิด และยังอุ่นหรือต้มของเหลวที่เหนียวข้น เช่น อุ่นกาวยางมะตอย การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวในติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไป โดยตัวฮีตเตอร์ขนานกับพื้นผิวถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์ โผล่พ้นระดับของเหลวเนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไปเพราะไม่ได้รับบายความร้อนให้กับของเหลวจึงทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง



ก. รูปร่างลักษณะ



ข. ตำแหน่งติดตั้ง

รูปที่ 4 ขดลวดฮีตเตอร์แบบจุ่ม

2.5 การควบคุมการทำงานของระบบโดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ Input / Output ต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Input / Output ต่างๆ ได้มากมายทั้งแบบ Digital และ แบบ Analog เช่น การรับค่าจากสวิตช์

หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) แบบต่างๆ รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์ Output ต่างๆ เช่น LED, มอเตอร์, รีเลย์ ซึ่งบทบาทการทำงานในบทความนี้กล่าวคือ การรับค่าจากไอซี DS18D20 Digital Thermometer ที่อยู่ภายในภายในตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ หม้อกลั่นและหม้อควบคุมเพื่อนำไปสั่งงานในส่วนของการควบคุมโซลินอยด์ วาล์ว ฮีตเตอร์และคอมเพรสเซอร์ รวมไปถึงการแสดงค่าต่างๆ ที่กำหนดผ่านหน้าจอ LCD



ก. หน้าจอLCD



ข. ตำแหน่งติดตั้ง

รูปที่ 5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

2.6 ตัววัดอุณหภูมิ

ในปัจจุบันมีไอซีสำหรับวัดอุณหภูมิ [9] ให้เลือกใช้ อยู่หลายแบบโดยแบ่งตามรูปแบบเอาต์พุตได้เป็นสองประเภทคือ ไอซีที่ให้เอาต์พุตแบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล โดยทั่วไปแล้วไอซีแบบดิจิทัล จะมีวงจรประเภท ADC (analog to digital) รวมอยู่ภายใน บางตระกูลหรือบางรุ่นสามารถโปรแกรมหรืออ่านค่ารีจิสเตอร์ภายในได้ ในบทความนี้กล่าวถึง การใช้งานไอซี DS18D20 Digital Thermometer จุดเด่นของไอซีในตระกูลนี้คือ การสื่อสารด้วยสัญญาณเพียงเส้นเดียว นำอุปกรณ์หรือไอซีมาต่อกันหลายตัวเป็นบัส (Bus) ได้โดยใช้โปรโตคอลสื่อสารที่เรียกว่า oneWire ซึ่งมีหน้าที่ตรวจเช็คอุณหภูมิในแต่ละส่วนแล้วบันทึกค่าที่ได้ส่งไปยังบอร์ด Arduino Mega 2560



ก. รูปร่างลักษณะ



ข. ตำแหน่งติดตั้ง

รูปที่ 6 ตัววัดอุณหภูมิ

2.7 โซลินอยด์ วาล์ว

โซลินอยด์ วาล์ว (solenoid valve) [10] เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับรีเลย์ (relay) ภายในโครงสร้างของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กภายในประกอบด้วยแม่เหล็กชุด

บนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงดูดแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน เมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้าทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็กสปริงก็จะดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งปกติ จากหลักการดังกล่าวของโซลินอยด์ วาล์ว ก็จะนำมาใช้ในการเคลื่อนลิ้นวาล์วของระบบนิวแมติกส์ การปิด-เปิด การจ่ายน้ำหรือของเหลวอื่นๆ โครงสร้างของโซลินอยด์ วาล์ว โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (single solenoid valve) และเคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์ วาล์ว กลับด้วยโซลินอยด์วาล์ว (double solenoid valve) บทความนี้จะกล่าวถึงแบบเคลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (single solenoid valve)



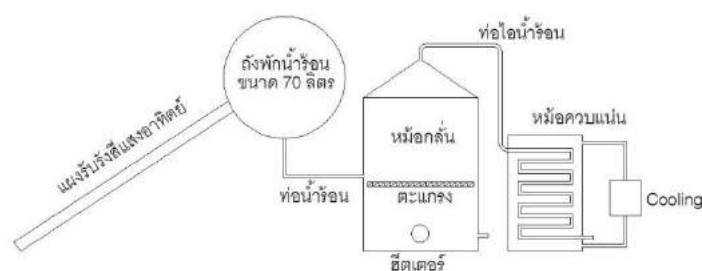
รูปที่ 7 โซลินอยด์ วาล์ว

โซลิตสเตต รีเลย์ (solid-state relay) [11] เป็นรีเลย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับงานที่ต้องการความรวดเร็วในการเปิด-ปิด (switching) และไม่มีการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสเพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งถ้าหากใช้รีเลย์ชนิดที่เป็นแบบหน้าสัมผัส (contact) อาจทำให้เกิดการ Spark ของกระแสไฟฟ้าที่หน้าสัมผัส ทำให้อายุการใช้งานของรีเลย์สั้นลง โดยบทความนี้จะกล่าวถึง Solid-State Relay Constant Current ซึ่งโหลดฮีตเตอร์จะไม่มี Inrush Current ถ้าใช้ Solid-State Relay ที่มี Zero Cross Function จะลดปัญหาของ noise ได้ แต่โหลดชนิดนี้อาจเป็นฮีตเตอร์ที่ทำจากโลหะหรือเซรามิคซึ่งมีความต้านทานต่ำเมื่ออุณหภูมิต่ำ เป็นเหตุให้เกิดกระแสเกินพิกัดได้ส่งผลให้ Solid-State Relay เสียหายได้ การทำงานของโซลิตสเตต รีเลย์ ในบทความนี้ จะนำมาใช้เป็นตัวกลางในการควบคุมโซลินอยด์ วาล์ว ฮีตเตอร์และคอมเพรสเซอร์ซึ่งรับค่าสัญญาณ Digital จากบอร์ด Arduino Mega 2560



รูปที่ 8 โซลิตสเตต รีเลย์

2.8 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย



รูปที่ 9 ส่วนประกอบของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

โดยข้อมูลอุปกรณ์ของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยประกอบด้วย

- หลอดแก้วสุญญากาศ	1.90	เมตร
- ความกว้างของหลอดแก้วสุญญากาศ	1.50	เมตร
- ความหนาหลอดแก้วสุญญากาศ	0.058	เมตร
- พื้นที่รับความร้อนทั้งหมด	2.85	เมตร
- ถังพักน้ำร้อนขนาด	70.00	ลิตร
- ท่อน้ำดีถักสแตนเลสขนาด	0.50	นิ้ว
- หม้อกลั่น	110.00	ลิตร
- หม้อควบแน่น	43.00	ลิตร

2.9 การคำนวณหาขนาดของหม้อกลั่นและฝาหม้อ

ความหนาของหม้อกลั่น
แรงเค้นตามแนวยาวเมื่อภาชนะคงที่
หาได้จากสมการดังนี้

$$\sigma_H = \frac{Pr}{2t} \quad (1)$$

$$t = \frac{Pr}{2\sigma_H} \quad (2)$$

ความหนาของฝาหม้อ

แรงเค้นตามแนวเส้นรอบวงเมื่อภาชนะคงที่
หาได้จากสมการดังนี้

$$\sigma_H = \frac{Pr}{t} \quad (3)$$

$$t = \frac{Pr}{\sigma_H} \quad (4)$$

โดยที่

t = ความหนาของวัสดุ (m)

P = ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน (MPa)

r = รัศมีของหม้อหม้อกลั่น (m)

σ_H = ความดันภายในถังที่ออกแบบ (MPa)

การคำนวณหาความหนาของผนังหม้อต้มหม้อ
ควบแน่นและฝาหม้อต้มโดยวัสดุที่ใช้เป็นสแตนเลส มาตรฐาน
AISI เบอร์ 316 ค่าความดัน 1,000 เมกะปาสคาลที่อุณหภูมิ
180 องศาเซลเซียส ความดัน 10.021 บาร์ เส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สมการที่ใช้ในการออกแบบคือ 2
และ 4 ตามลำดับ

$$t = \frac{Pr}{2\sigma_H}$$

$$= \frac{1.0(\text{MPa}) \times 0.25\text{m}}{2 \times 1,000(\text{MPa})}$$

$$t = 0.125 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t = \frac{Pr}{\sigma_H}$$

$$= \frac{1.0(\text{MPa}) \times 0.25\text{m}}{1,000(\text{MPa})}$$

$$t = 0.25 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจะได้ความหนาของผนังหม้อกลั่นเท่ากับ 0.125
มิลลิเมตรและความหนาของฝาหม้อกลั่นเท่ากับ 0.25
มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้ความหนาของผนังที่ 2 มิลลิเมตร
เนื่องจากในการขึ้นรูปที่มีการเชื่อมประกอบและความแข็งแรง
เพิ่มขึ้น

การคำนวณปริมาตรของหม้อกลั่น โดยจากสูตร

$$V = \frac{\pi r^2 h}{4} \quad (5)$$

$$V = \frac{3.14 \times (0.50\text{m})^2 \times 0.60\text{m}}{4}$$

$$V = 0.117750 \text{ m}^3$$

หรือเท่ากับ

$$= 118 \text{ ลิตร}$$

แต่ส่วนที่เก็บน้ำสำหรับต้มเพียง 1 ใน 4 ส่วนของถังกลั่น

ดังนั้นปริมาตรของน้ำที่จะใช้ = 118/4

$$= 29.5 \text{ หรือประมาณ } 30 \text{ ลิตร}$$

โดยที่ V = ปริมาตรทรงกระบอก (m^3)

h = ความสูงของทรงกระบอก (m)

r = เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก (m)



รูปที่ 10 การออกแบบหม้อกลั่นและฝา

2.10 ระบบควบแน่น

ระบบควบแน่นเป็นระบบถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ให้อ
ร้อนจากสารซึ่งไหลไปตามผนังท่อของเครื่องควบแน่นและจะ
ถ่ายเทความร้อนให้กับตัวกลางหล่อ จะทำให้ไอร้อนสารนั้น
กลั่นตัวเป็นของเหลว ตัวกลางหล่อเย็นที่นิยมใช้กันได้แก่
อากาศ น้ำและทั้งน้ำและอากาศ ตัวเครื่องควบแน่นทุกตัว
มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นขึ้นอยู่กับ
วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องควบแน่น จำนวนพื้นที่ผิวที่จะถ่ายเท
ความร้อน กำลังของลมที่จะผ่าน อุณหภูมิของไหลที่ควบแน่น
ในเครื่องควบแน่นนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวกลาง
หล่อเย็น ที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่น ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิ
เฉลี่ยของเครื่องควบแน่นและยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ
ที่เข้ามาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเครื่องควบแน่น
ส่วนอัตราการไหลของตัวกลางหล่อเย็นหากลดต่ำลง
การไหลของตัวกลางหล่อเย็นจะเป็นแบบ สตรีมไลน์
(steam line) มากกว่าแบบทิวบูลเลนซ์ (turbulen) และ
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะต่ำ ในทางกลับกัน หาก
อัตราการไหลมากเกินไปความดันในเครื่องแน่นจะลดลงมาก
เป็นผลให้ต้องใช้พลังงานในการหมุนเวียนตัวกลางหล่อเย็น
มากขึ้น โดยการออกแบบชุดความดันจะมีลักษณะ
ทรงกระบอกแนวตั้ง ภายในบรรจุท่อไอน้ำขดเป็นวงกลม
หลายๆท่อ เพื่อให้ไอน้ำอยู่ในตัวควบแน่นได้มากขึ้น
ชุดควบแน่นที่ด้านซ้ายมีท่อไอน้ำไหลเข้าและมีท่อสำหรับ
น้ำเย็นไหลออก ส่วนที่ด้านขวามีท่อน้ำมันหอมระเหย
ที่ปนกับไอน้ำไหลออกมาแล้วนำไปแยกน้ำมันหอมระเหย
แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การออกแบบหม้อควบแน่น

การคำนวณหาปริมาตรของหม้อควบแน่น จากสมการ

$$V = \frac{\pi r^2 h}{4}$$

$$V = \frac{3.14 \times (0.33m)^2 \times 0.50m}{4}$$

$$V = 0.042743 \text{ m}^3$$

หรือเท่ากับ

$$= 43 \text{ ลิตร}$$

การคำนวณหาปริมาตรของท่อน้ำ จากสมการ

$$V = \frac{\pi r^2 h}{4}$$

$$V = \frac{3.14 \times (0.0176m)^2 \times 9.6m}{4}$$

$$V = 2.33 \text{ m}^3$$

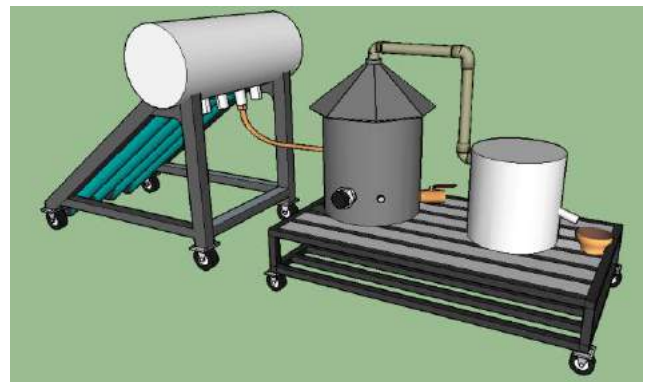
หรือเท่ากับ

$$= 2.33 \text{ ลิตร}$$

2.10 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองนั้นการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไพล โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ ด้วยวิธีการดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการใส่สมุนไพรหรือวัตถุดิบที่เตรียมไว้โดยหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จำนวน 5 กิโลกรัม ลงในหม้อกลั่นแล้วทำการเปิดการทำงานของตู้ควบคุม จากนั้นกระบวนการการทำงานเริ่มแรกจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (solar collector) ให้ความร้อนกับน้ำปริมาณ 30 ลิตร เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ถึง 70 องศาเซลเซียส ที่มีการวัดจากเซนเซอร์อุณหภูมิหรือไอซี DS18D20 Digital Thermometer โปรแกรมการทำงานจากบอร์ด Aduino mega 2560 จะสั่งงานให้อุปกรณ์ควบคุมทำงาน คือ โซลินอยด์ วาล์ว ทำการปล่อยน้ำปริมาณ 30 ลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากถังพักน้ำร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ไป

ยังหม้อกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ที่ 10 นาที เพื่อทำการถ่ายเทของน้ำจากถังพักน้ำร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ จากนั้นโปรแกรมการทำงานจะสั่งให้ฮีตเตอร์ทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในหม้อกลั่นน้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ 97 องศาเซลเซียส โปรแกรมจะสั่งตัดการทำงานของฮีตเตอร์เมื่อน้ำถึงจุดเดือดจะทำให้เกิดการระเหยเป็นไอน้ำไปแทรกซึมตัววัตถุดิบ จากนั้นไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะรวมตัวกันแล้วถูกส่งไปยังกระบวนการควบแน่นเพื่อให้ได้น้ำรวมกับน้ำมันหอมระเหยออกมา โดยโปรแกรมจะสั่งให้กระบวนการควบแน่นด้วยคอมเพรสเซอร์ทำงานควบคุมอุณหภูมิในหม้อควบแน่นตั้งแต่ 20–25 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้อุณหภูมิภายในหม้อควบแน่นเกิน 25 องศาเซลเซียส และจะตัดการทำงานของฮีตเตอร์ในหม้อควบแน่นเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส โดยวัดจากเซนเซอร์อุณหภูมิหรือไอซี DS18D20 Digital Thermometer โดยระบบการทำงานเป็นแบบระบบควบคุมปิด ซึ่งระบบควบคุมที่มีการทำงานของระบบขึ้นอยู่กับสถานะทางเอาท์พุต



รูปที่ 12 การออกแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพร ร่วมกับตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 13 การสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยสมุนไพร ร่วมกับตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

หลังจากกระบวนการกลั่นเสร็จสมบูรณ์ได้ทำการแยกน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นออกจากน้ำโดยใช้กรวยกรอง จะสังเกตได้ว่าน้ำมันจะลอยขึ้นเหนือน้ำเพราะน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงทำให้น้ำมันเบากว่าน้ำ และได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยจำนวน 8 มิลลิลิตร



ก) การแยกน้ำมันหอมระเหย ข) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

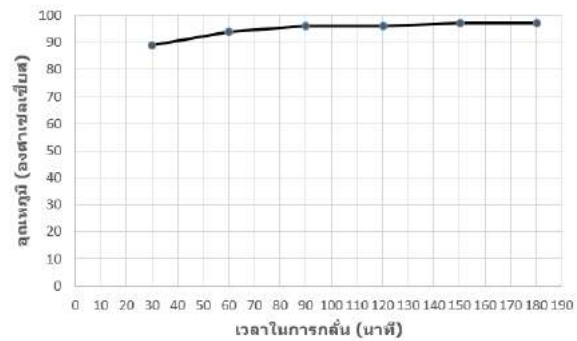
รูปที่ 14 การแยกน้ำมันหอมระเหย

จากรูปที่ 14 เมื่อทำการแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำโดยใช้กรวยกรอง และนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้มาใส่ในภาชนะเพื่อทำการวัดปริมาณของน้ำมันหอมระเหย จะเห็นได้ว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่น 6 ชั่วโมง จะได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 8 มิลลิลิตร ต่อสมุนไพรมะนาว 5 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 ผลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไพล

เวลาในการกลั่น (นาท)	อุณหภูมิในการกลั่น (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (มิลลิลิตร)
30	89	1.6
60	94	2.8
90	96	3.6
120	96	4.0
150	97	4.7
180	97	8.0

จากตารางที่ 1 แสดงผลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไพลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่มีการควบคุมอุณหภูมิการกลั่น ตั้งแต่ 89-97 องศาเซลเซียส และได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 8 มิลลิลิตร โดยมีการควบคุมอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 อุณหภูมิการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไพลใน 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานก๊าซหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในการกลั่น 6 ชั่วโมง

พลังงาน	จำนวนที่ใช้	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
น้ำประปา	2.0 หน่วย	5.0	10
ก๊าซหุงต้ม	3.7 กิโลกรัม	24	90
รวม			100

จากตารางที่ 2 แสดงการใช้ปริมาณพลังงานก๊าซหุงต้มที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยมีค่าใช้จ่าย 100 บาทต่อครั้ง โดยราคาก๊าซหุงต้ม

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในการสกัด 6 ชั่วโมง

พลังงาน	จำนวนที่ใช้	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
น้ำประปา	2 หน่วย	5.00	10.00
ไฟฟ้า	21 หน่วย	3.96	83.16
รวม			93.16

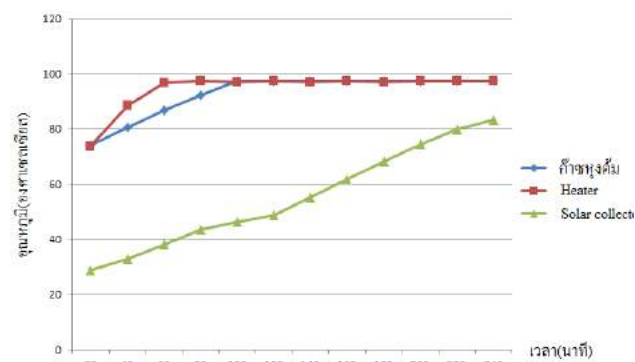
จากตารางที่ 3 แสดงการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานทั้งหมดเท่ากับ 93.16 บาท ในการกลั่นต่อครั้ง เมื่อเรานำพลังงานความร้อนจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 74.94 บาท ซึ่งลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานก๊าซหุงต้มและพลังงานไฟฟ้าถึง 20-25 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบและเปรียบเทียบอุณหภูมิในการต้มน้ำปริมาณ 12 ลิตรของพลังงานแต่ละรูปแบบ พบว่าการต้มน้ำโดยใช้พลังงานก๊าซหุงต้มและการใช้พลังงานจากขดลวดทำความร้อนหรือฮีตเตอร์ (heater) มีอุณหภูมิสูงสุดที่เท่ากัน ส่วนการต้มน้ำด้วยตัวเก็บรังสี

แสงอาทิตย์สามารถต้มน้ำได้ถึง 83.4 องศาเซลเซียส โดยใช้ เวลาในการต้ม 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่างๆ ในการต้มน้ำ ปริมาณ 12 ลิตร

เวลา (นาท)	อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)		
	ก๊าซหุงต้ม	Heater	Solar Collector
20	74.2	73.8	28.9
40	80.6	88.4	32.8
60	86.7	96.8	38.2
80	92.3	97.4	43.6
100	97.5	97.2	46.4
120	97.4	97.3	48.7
140	97.5	97.2	55.1
160	97.5	97.4	61.7
180	97.4	97.2	68.2
200	97.3	97.3	74.6
220	97.4	97.4	79.8
240	97.5	97.3	83.4



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่างๆ ในการต้มน้ำ

จากรูปที่ 16 เป็นการแสดงกราฟการเปรียบเทียบ สำหรับการให้พลังงานในการต้มน้ำ ในแต่ละชนิดโดยจะมีการ ให้พลังงานความร้อนจากการใช้ก๊าซหุงต้ม ฮีตเตอร์และตัว เก็บรังสีแสงอาทิตย์ จะสังเกตได้ว่าการใช้พลังงานจากก๊าซหุง ต้มและฮีตเตอร์จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็น พลังงานที่สิ้นเปลือง แต่ให้ประสิทธิภาพได้มากกว่าตัวเก็บรังสี แสงอาทิตย์ ส่วนการใช้ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์จะให้ความร้อน เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ เวลาในการทำความร้อน 4 ชั่วโมง

4. บทสรุป

จากการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไพล ด้วยไอน้ำของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ตัวรับรังสีความ

ร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อน (Heater) ใช้ ปริมาณสมุนไพร 5 กิโลกรัม ใช้ไพลเป็นสมุนไพรในการสกัด และใช้น้ำในการต้ม 30 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิในส่วนของหม้อ กลั่นตั้งแต่ 70 - 97 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 6 ชั่วโมง ได้ ปริมาณน้ำมันหอมระเหยจำนวน 8 มิลลิลิตร สามารถลด ค่าใช้จ่ายลงได้ 20 - 25 เปอร์เซ็นต์จากการใช้พลังงานจาก ก๊าซหุงต้มและฮีตเตอร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิจัยนี้เป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Prats. SM, and Jimenez, A. (2003). Essential oil: analysis by Gc. Edited by Cazes, J.InEncyclopedia of chromatography. 2nd ed., CRC Press.
- [2] McGuinness, H. (2003). Aromatherapy therapy basic. 2nd ed., Hodder & Stoughton, London
- [3] กนกวรรณ ปรีชารัตน์, เกตุดี ใจปัญญา, การสกัดน้ำมัน หอมระเหยจากต้นตะไคร้หอม, ปริญญาโทครุศาสตร์ บัณฑิต สาขาวิชาเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราช- ภัฏนครศรีธรรมราช, 2547.
- [4] อธิษฐ์ วัฒนแก้ว, การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วย วิธีการต้มกลั่นและกลั่นด้วยไอน้ำ, ปริญญาวิทยาศาสตร- มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- [5] วนาภรณ์ มารมย์, วรทิพย์ แผ่นทอง, การสกัดน้ำมัน หอมระเหยจากข้าว, ปริญญาโทวิทยาศาสตร- บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต, 2553.
- [6] สราวุธ สมนาม, เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยต้นแบบ ประยุกต์จากเครื่องกลั่นสุราที่บ้าน, ปริญญาวิทยา- ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2555.
- [7] ASHRAE STANDARD 93-77, Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, 1981
- [8] Ranjitha. J, and Vijiyalakshmi. S.(2014). Facile methods For the exetration of essential oil for the plant species, VIT University in India
- [9] Xiong, F.(2015). Wireless temperature sensor network based on DS18B20, CC2420, MCU AT89S52, Dept. of Inf. Eng,



Sichuan Tianyi University, Chengdu,
China

- [10] Song, X.L. (2009). Solenoid Valve Switching Characteristic Test System Design, Coll. of Electr. Eng. & Inf. Sci., Hebei Univ. of Sci. & Technol., Shijiazhuang, China
- [11] Verma, N. (2015). Implementation of Solid State Relays for Power System Protection, *International Journal of scientific and technology*, vol.4.

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual Biogas and Pure Biogas Fuel

ประเทือง ฝั้นแก้ว* คณิน พงศ์พุฒิ บดีศร พึ่งสุข และพุฒิพงศ์ ณ ลำปาง

สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

200 หมู่ที่ 17 ถนนพหลโยธิน ต.พิชัย อ. เมือง จ. ลำปาง 52000

Pratuang Funkeaw* Kaninb Pongput, Bodeesorn Puengsuk, and Puttipong Na Lampang

Department of Mechanical Technology, Faculty of Engineering, University Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

200 moo 17, Phahonyothin Road, Mueang District, Lampang, Thailand 52000.

*ผู้รับผิดชอบบทความ: K_Pratuang@yahoo.com เบอร์โทรศัพท์ 054-342547-8 โทรสาร 054-342549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ และดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพอย่างเดียว เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องยนต์ดีเซลเล็กยี่ห้อ มิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP ห้องเผาไหม้เป็นแบบเผาไหม้ตรง ขับเบนเนอเรเตอร์ขนาด 3 HP ให้ภาระงานโดยใช้หลอดไฟฟ้า ก่อนการดัดแปลงเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัด 18:1 ผลการทดสอบที่อัตราส่วนของน้ำมันดีเซลต่อก๊าซชีวภาพที่ 30:70 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเครื่องยนต์ไม่มีอาการน็อคเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 18.49% โหลดทางไฟฟ้า 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min เมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัดลดลงเหลือ 10:1 ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบ ได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 6.95% โหลดทางไฟฟ้า 500 Watt มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 17 liter/min เมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณต้นทุนต่อการให้กำลังพบว่า เครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวภาพ ได้ที่ 4.02 บาท/kW.hr ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพอย่างเดียว ได้ที่ 3.44 บาท/kW.hr

คำสำคัญ การดัดแปลง ก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์

Abstract

This paper presents a comparative study of engine performance on a modified engine to use Biogas dual fuel. The engine used in this study was a small 353 cc, 7 HP Mitsubishi diesel, model DI-700. This engine powered a 3KW generator which illuminated an electric light bulb. Before adapting the engine to use Biogas Dual fuel, the compression ratio was 18:1. The experiment indicated that the most efficient ratio of diesel fuel to Biogas is 30:70. At this ratio there is no sign of engine failure at peak engine load. The highest electrical load achieved was 3000 Watts. The ratio of Biogas consumption was 24 liter/min and the ratio of diesel consumption was 10cc/min. After modifying the Diesel engine to be a gasoline engine, the engine power was decreased to 9.88:1 while using only Biogas. According to the results of using only Biogas, it appears the highest efficiency of the engine is 6.95% with the highest electrical load of 500 Watts, biogas consumption was 1.7 liter/min. When the results are calculated the unit cost of using the diesel engine with Biogas is 4.02 baht per kilowatt-hour. For the modified diesel engine using only Biogas the unit cost is 3.44 baht per kilowatt-hour.

Keyword: modified, biogas, engine.



1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของมูลสัตว์ รวมไปถึงผลผลิตที่เหลือทิ้งทางการเกษตรอีกด้วย ในปัจจุบันฟาร์มปศุสัตว์ได้นำเอาก๊าซชีวภาพนี้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในฟาร์ม และส่วนใหญ่จะนำมาใช้เครื่องยนต์เล็กดีเซล เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งระบบการหมุนเวียนอากาศภายในฟาร์ม ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ และเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ว่าเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดชนิดไหนที่ได้สมรรถนะการทำงานและความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพและเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงและประเมินผลการทดสอบ เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ก๊าซชีวภาพ (biogas, digester gas)

ก๊าซชีวภาพหรือ ไบโอแก๊ส คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซ มีเทน ที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของ สารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือเมื่อไรก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็อาจเกิดก๊าซชีวภาพ แต่เป็นเพียงแค่หลักการทางทฤษฎีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ [1]

2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (biogas engine)

การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงมีอยู่ 3 แบบ [2]

2.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล (gas diesel engine) คือนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่คือน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพโดยให้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าไปยังก๊าซชีวภาพกับอากาศที่อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ต้องการน้ำมันดีเซลเพื่อไปจุดระเบิดประมาณ 10-20 % ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปกติ ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันประมาณ 80-90 %

2.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (modification of a diesel engine into a gas otto engine) โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ซึ่งในการดัดแปลงเครื่องยนต์จะต้องกระทำดังนี้

1) เปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (compression ratio) ของเครื่องยนต์ให้ได้ประมาณ 10 - 12

2) เปลี่ยนการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียน

3) เพิ่มอุปกรณ์ venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.2.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (gas otto engine) โดยการนำเครื่องยนต์แก๊สโซลีนทั่วไปที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงมาเป็นก๊าซชีวภาพแทนโดยเปลี่ยนจากคาร์บูเรเตอร์ที่มีหน้าที่ผสมน้ำมันกับอากาศเป็นไอดีมาเป็น venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศแทน เมื่อดัดแปลงแล้วมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 20 %

ตารางที่ 1 Features of Biogas Engines

Design data	Gas diesel	Gas Otto
Compression ratio (ϵ)	15....18	10....12
Excess air ratio (λ)	1.3....40	0.9....1.3
Specific fuel consumption	0.55....0.75 $\text{m}^3/\text{kW.h}$ (+pilot fuel)	0.65....1.0 $\text{m}^3/\text{kW.h}$
Exhaust gas temperature	500....700 $^{\circ}\text{C}$	500....900 $^{\circ}\text{C}$
Ignition type	Self-ignition of pilot injected into a hot compressed mixture of and gas which is ignited by the pilot fuel subsequently	As in other Otto engines

ที่มา: Mitzlaff (1988)

2.3 การคำนวณหาความร้อนของก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อน (H_v) ซึ่งจะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวมและอุณหภูมิในถังหมัก [2] สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

$$\% \text{CH}_4 = 100\% - \% \text{CO}_2 \quad (1)$$

ความดันของก๊าซชีวภาพ (P_{act})

$$P_{act} = P_a + P_d - P' \quad (2)$$

โดย p_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar

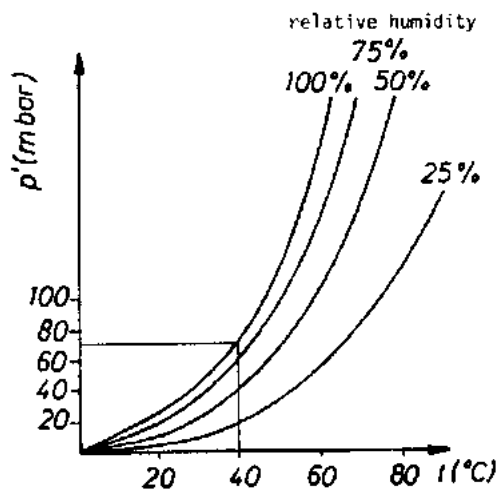
P_a คือ ความดันบรรยากาศ, mbar

P_d คือ ความดันในบ่อหมัก, mbar

P' คือ ค่าความดันของไอน้ำหาได้จากรูปที่ 1

ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ($\rho_{CH_4,act}$) ในก๊าซชีวภาพ

$$\rho_{CH_4,act} = \frac{\rho_{CH_4,std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \quad (3)$$



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความดันของไอน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในก๊าซชีวภาพ [2]

$\rho_{CH_4,act}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน, kg/m^3

$\rho_{CH_4,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่สภาวะ

มาตรฐาน = $0.72 kg/m^3$

P_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar

T_{std} คือ อุณหภูมิของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน (273 K)

P_{std} คือ ความดันของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน = 1013 mbar

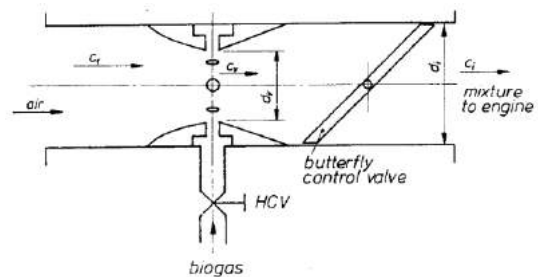
T_{act} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ, K

โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้งาน ($H_{u,act}$) จะสัมพันธ์กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (V_{CH_4}/V_{total}) ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ใช้งาน ($\rho_{CH_4,act}$) และค่าความร้อนต่ำของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน ($H_{u,act} = 50,000 kJ/kg$)

$$H_{u,act} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times \rho_{CH_4,act} \times H_{u,std} \quad (4)$$

3.4 การหาขนาดของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

คาร์บูเรเตอร์ทั่วไป มีหน้าที่จ่ายส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศให้เครื่องยนต์ คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ ดังรูปที่ 2 มีหน้าที่เช่นเดียวกันกับคาร์บูเรเตอร์ทั่วไป เพียงแต่เปลี่ยนจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซชีวภาพแทน การหาขนาดของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ คำนวณได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 2 คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ [2]

2.4.1 ปริมาณของอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์

$$\dot{V}_i = \frac{V_s \times N}{2000 \times 60} \cdot \eta_v \quad (5)$$

โดย $\dot{V}_i$ คือ ปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์, m^3/s

V_s คือ ปริมาตรกระบอกสูบเครื่องยนต์, liter

N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, rpm

η_v คือ ประสิทธิภาพเชิงดูดของเครื่องยนต์สันดาปภายในมีค่าอยู่ระหว่าง 80-90%

2.4.2 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด

$$\dot{V}_i = A_v \times C_v \quad (6)$$

โดย d_v คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด

C_v คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านคอคอด ควรมีค่าระหว่าง 100-150 m/s

A_v คือ พื้นที่หน้าตัดของคอคอด, m^2

$$d_v = \sqrt{\frac{A_v \times 4}{\pi}} \times 1000, mm \quad (7)$$

2.4.3 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ (d_i) กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอด (d_v) ควรมีค่าประมาณ 1.5-1.7

$$d_i = 1.6d_v, mm \quad (8)$$

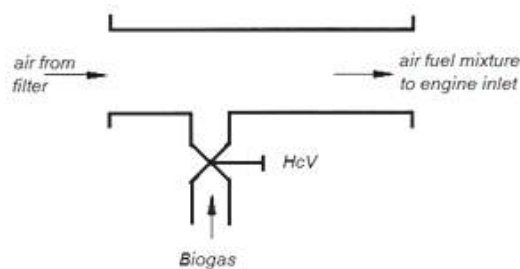
2.4.4 การหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของท่อเชื้อเพลิง

$$\frac{A}{F} = \frac{A_v C_{d,a} \sqrt{(2g)(\rho_a)(\Delta P_a)}}{A_f C_{d,f} \sqrt{(2g)(\rho_f)(\Delta P_f)}} \quad (9)$$

โดย A_v คือ พื้นที่หน้าตัดคอขวด, m^2
 A_f คือ พื้นที่หน้าตัดท่อเชื้อเพลิง, m^2
 $C_{d,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศผ่านคอขวด
 อัตราไหลความเร็วสูง = 0.99
 $C_{d,f}$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลของเชื้อเพลิง = 0.75
 สำหรับคาร์บูเรเตอร์ทั่วไป
 ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
 ρ_f คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง, kg/m^3
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก = $9.81 m/s^2$
 ΔP_a คือ ความแตกต่างของความดันของอากาศที่
 บรรายากาศกับคอขวด, mbar
 ΔP_f คือ ความแตกต่างของความดันของก๊าซชีวภาพที่
 บ่อหมักกับคอขวด, mbar
 A/F คือ อัตราส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

2.5 การหาขนาดท่อก๊าซแบบ T-Type

โดยเครื่องยนต์ดีเซลเปลี่ยนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคือน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องมีการดัดแปลงท่อร่วมไอดีให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมได้ โดยต่อท่อก๊าซเข้ากับท่อร่วมไอดีเป็นลักษณะคล้ายรูปตัว T เรียกว่าแบบ T-Type โดยมีวิธีการออกแบบในการหาขนาดของท่อก๊าซดังนี้



รูปที่ 3 ท่อก๊าซแบบ T-Type [2]

การหาปริมาณของอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์
 คำนวณเช่นเดียวสมการ(5)

2.5.1 ความเร็วของอากาศในท่อไอดี

$$v_i = \frac{\dot{V}_{air}}{A_i} \quad (10)$$

เมื่อ v_i คือ ความเร็วของอากาศในท่อไอดี, m/s

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดท่อไอดี, m^2

2.5.2 ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง

$$fc = sfc \times power \quad (11)$$

เมื่อ fc คือ ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง, m^3/s

Sfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ,
 $m^3/s.kW$

Power คือ กำลังงานของเครื่องยนต์, kW

2.5.3 ความต้องการก๊าซชีวภาพ

$$fc_{bio} = \%bio \times fc \quad (12)$$

เมื่อ $\%bio$ คือ เปอร์เซ็นต์ของก๊าซชีวภาพโดยปริมาตรที่
 เครื่องยนต์ต้องการ

fc_{bio} คือ ความต้องการก๊าซชีวภาพ, m^3/s

2.5.4 ขนาดพื้นที่ของท่อก๊าซชีวภาพ

$$A_{bio} = \frac{fc_{bio}}{v_{bio}} \quad (13)$$

เมื่อ A_{bio} คือ ขนาดพื้นที่ของท่อก๊าซชีวภาพ, m^2

v_{bio} คือ ความเร็วก๊าซชีวภาพ, m/s

2.5.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพ

$$d_{bio} = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_{bio}} \quad (14)$$

2.6 ประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th})

$$\eta_{th} = \frac{power}{m_f H_{u,diesel} + m_b H_{u,bio}} \quad (15)$$

เมื่อ $Power = IV$

m_f คือ ความสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล, kg/s

m_b คือ ความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ, kg/s

$H_{u,diesel}$ คือ ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล, kJ/kg

$H_{u,bio}$ คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ, kJ/kg

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้, Amp

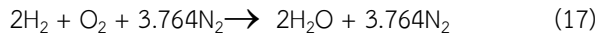
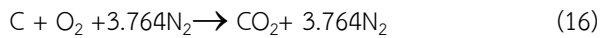
V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้, $Volt$

2.7 การเผาไหม้ (Combustion)

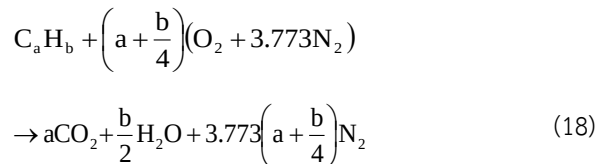
การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับ
 อากาศ และได้ความร้อนออกมา โดยทั่วไป เชื้อเพลิง

ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน (HC) ธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับออกซิเจนแล้วได้น้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) [3]

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงส่วนมากเอาออกซิเจนจากอากาศ



การเผาไหม้ที่พอดีๆ คือมีอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงที่ถูกต้องเรียกว่า Stoichiometric chemically correct หาได้จากสมการ 18



a = จำนวนโมลของ Carbon ในเชื้อเพลิง

b = จำนวนโมลของ Hydrogen ในเชื้อเพลิง

อัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักหาได้สมการ 19

$$\frac{A}{F} = \frac{34.56(4+y)}{12.011+1.008y} \quad (19)$$

อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี เทียบกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงในการเผาไหม้จริง เรียกว่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ϕ) โดยหาได้จากสมการ 20

$$\phi = \frac{A/F, \text{stoich}}{A/F, \text{actual}} \quad (20)$$

$\phi = 1$ stoichiometric air/fuel ratio

$\phi > 1$ air excess (mixture lean)

$\phi < 1$ air shortage (mixture rich)

2.8 เครื่องมือและอุปกรณ์ในวิจัย

1) เครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP ดัดแปลงสามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ และดัดแปลงสามารถใช้เฉพาะเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ [4]

2) เยนเนอเรเตอร์ ขนาด 3 kW ทำงาน 1500 rpm

3) Gas Meter ยี่ห้อ AMPY Email Metering รุ่น HP 750

4) มานอมิเตอร์วัดแรงดัน

5) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 78

6) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ EMS รุ่น 5002

2.9 วิธีการวิจัย

2.9.1 ข้อมูลก๊าซชีวภาพ

เก็บข้อมูลก๊าซชีวภาพก่อนการออกแบบท่อไอเสียแบบ T-Type โดยค่าต่างๆของก๊าซชีวภาพได้ค่าเฉลี่ยดังนี้ ก๊าซชีวภาพมี $CH_4=67\%$ โดยปริมาตรความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 2 mH₂O หรือ 967.613 mbar ความชื้นสัมพัทธ์ 84% และอุณหภูมิ 31.6°C ตามลำดับ คำนวณได้ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพมี (H_u) 33,500 kJ/kg

2.9.2 การดัดแปลงท่อไอเสีย

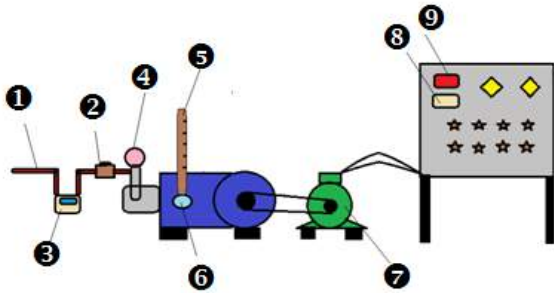
นำเครื่องยนต์มาดัดแปลงท่อไอเสียให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบ T-Type โดยได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพประมาณ 10 mm. ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดตั้งท่อไอเสียแบบ T-Type

2.9.3 ทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ

ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องที่ดัดแปลงให้สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมได้ เครื่องยนต์ที่นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิตซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP โดยดัดแปลงท่อไอเสียให้เป็นแบบ T-Type เพื่อทำหน้าที่ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศก่อนไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบที่ความเร็วรอบ 500, 1 rpm 3 kW ทดสอบที่กัลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt โดยปรับให้ใช้ก๊าซชีวภาพมากที่สุดที่เครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อก[5] วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล และก๊าซชีวภาพ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและปริมาณก๊าซไอเสีย ทดสอบดังรูปที่ 5



- 1.ทางเดินก๊าซ 2.อุปกรณ์ปรับก๊าซ 3.gas meter
4.ท่อไอดี 5.วาล์ว 6.เครื่องยนต์
7.เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 8.โวลต์มิเตอร์ 9.แอมป์มิเตอร์
รูปที่ 5 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับ
ก๊าซชีวภาพ

2.9.4 การออกแบบคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

ข้อมูลก๊าซชีวภาพที่ได้ก๊าซชีวภาพมี $CH_4=67\%$ โดยปริมาตร ความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 2.18 mH₂O หรือ 1191.7mbar คำนวณหา A/F= 5.43 โดยน้ำหนัก ได้ขนาดคาร์บูเรเตอร์ก๊าซตามแบบดังรูปที่ 6 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของคอคอด (d_c) 10 mm, เส้นผ่าศูนย์กลางของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ (d_r) 17 mm เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อก๊าซชีวภาพ (d_f) 2 mm จำนวน 4 รู รอบคอคอด ตั้งองศาจุดระเบิดที่ 35 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm.



รูป 6 แสดงชิ้นส่วนต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ

2.9.5 การดัดแปลงเครื่องยนต์โดยดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

ซึ่งมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังนี้

- 1) เปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ของเครื่องยนต์ โดยการเพิ่มประเก็นฝาสูบอีก 1 แผ่น มีความหนา 4 mm ทำให้อัตราส่วนการอัดลดเหลือเป็น 9.88: 1



รูปที่ 7 เพิ่มประเก็นฝาสูบอีก 1 แผ่น หนา 4 mm

- 2) เปลี่ยนการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียนถอดอุปกรณ์ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงออก และติดตั้งอุปกรณ์ระบบจุดระเบิดแบบ DC CDI มีหัวเทียนเป็นอุปกรณ์จุดระเบิดเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ



รูปที่ 8 ฝาสูบที่ทำการใส่หัวเทียนเรียบร้อยแล้ว

- 3) เพิ่มอุปกรณ์ Venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ หรือคาร์บูเรเตอร์ก๊าซ ดังรูปที่ 6

2.9.6 ทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

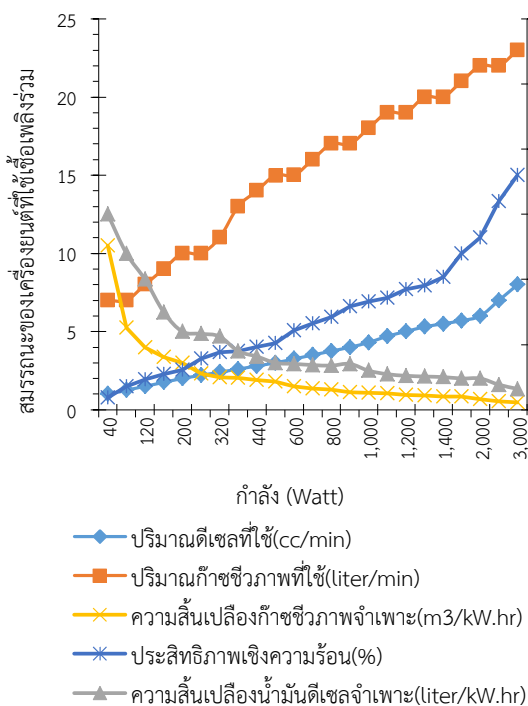
ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิทซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ สามารถใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพได้ ทำการทดสอบสมรรถนะเช่นเดียวกับ แบบใช้เชื้อเพลิงร่วม ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1,500 rpm 3 kW ทดสอบที่กัลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt โดยปรับอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพตั้งองศาการจุดระเบิด ให้เครื่องยนต์ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด วัดอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและปริมาณก๊าซไอเสีย แต่ไม่มีการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1500 rpm เท่ากับความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่อัตราทดของพลูเลย์ 1:1

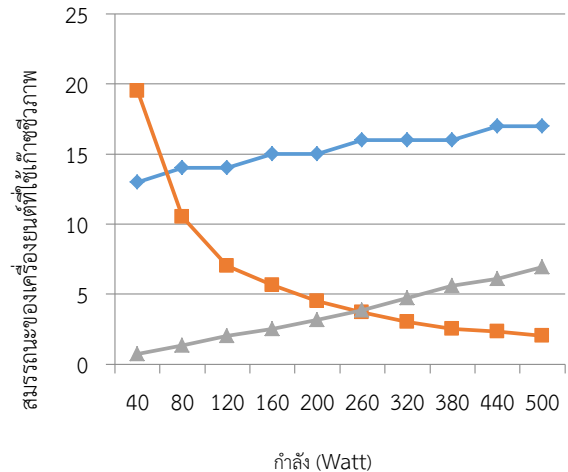
3.1 ผลการวิจัย

1) ผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเล็กใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพใช้เครื่องยนต์เล็กดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบ ยี่ห้อมิซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP โดยดัดแปลงท่อไอเสียให้เป็นแบบ T-Type ให้ภาระโดยใช้หลอดไฟฟ้า เพิ่มที่ละ 40 Watt ปรับให้ใช้ก๊าซชีวภาพมากที่สุดที่ เครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อก ได้ผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 9



รูปที่ 9 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงรวม อัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวภาพที่ปรับให้มากที่สุดเครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อกที่ 30:70 และได้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 18.49% ที่กำลังเครื่องยนต์ 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจำเพาะ 0.20 liter/kW.hr และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจำเพาะต่ำสุด 0.48 m³/kW.hr

2) ผลการทดสอบเครื่องยนต์เล็กดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กดีเซลเครื่องเดิมยี่ห้อมิซูบิชิ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc. 7 HP เป็นเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ได้ผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงสุด 6.95% ที่กำลัง 500 Watt อัตราความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพเชื้อเพลิง 17 liter/min และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 2.04 m³/kW.hr น้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงรวม

3) เมื่อนำผลการทดสอบเครื่องยนต์ทั้งสองแบบนำมา เปรียบเทียบดังกราฟรูปที่ 11 เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับ เครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันที่ภาระงานเท่ากัน โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพสูงเพียงเล็กน้อย แต่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถทำงานที่ภาระงานมากกว่า ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพทำงานที่ภาระงานได้สูงสุดไม่เกิน 500 Watt

4) การคำนวณหาต้นทุนต่อการใช้พลังงานโดยกำหนด เงื่อนไขดังนี้

ก) ก๊าซชีวภาพที่ได้มีอยู่แล้วไม่คิดราคาต้นทุน

ข) เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ มี การทำงาน 1 ปี โดยทำงาน 12 ชั่วโมงต่อ 1 วัน คิดเป็น 4,380 ชั่วโมงต่อปี

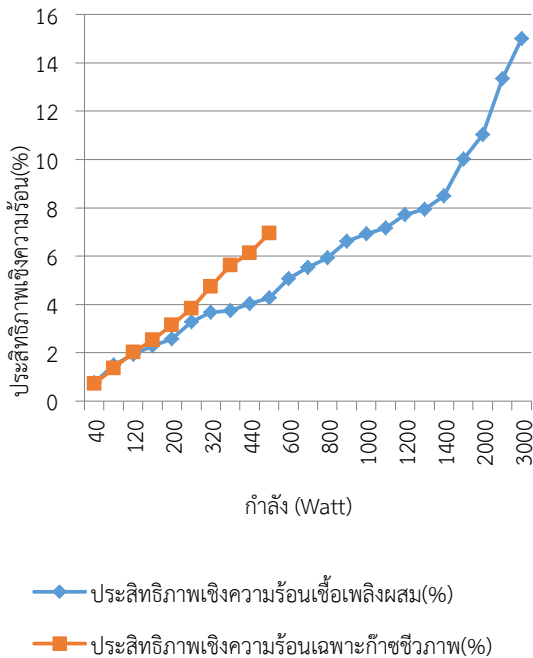
ค) ราคาน้ำมันดีเซลลิตรละ 25.14 บาท ณ วันที่ 31 พฤษภาคม 2559

ง) การบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องยนต์ ของ เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม กับเครื่องยนต์ที่ใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ ถ่ายน้ำมันเครื่องทุก 1 เดือน หรือ 240 ชั่วโมงทำงาน ตรวจเช็คหัวฉีดเชื้อเพลิงและเปลี่ยนหัวเทียน ทุก 1,000 ชั่วโมงทำงาน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากัน

จ) ราคาตัดแปลง เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพ 7,550 บาท

เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพมีต้นทุนต่อการให้กำลัง 4.02 บาท/kW.hr

เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพตัดแปลง ต้นทุนต่อการให้กำลัง 3.44 บาท/kW.hr



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ

3.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนแปรผันตามปริมาณก๊าซมีเทนและอุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ แต่จะผกผันกับปริมาณไอน้ำที่ปนอยู่กับก๊าซชีวภาพ

2) เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลตัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพเนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันมากกว่าก๊าซชีวภาพ

3) เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมสตาร์ทติดง่ายกว่าเครื่องยนต์ดีเซลตัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ และมีปัญหาการใช้งานน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลตัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีระบบการจ่ายเชื้อเพลิงที่ไม่ยุ่งยาก และหากก๊าซชีวภาพหมดยังสามารถใช้เฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงได้

4. สรุปผลการวิจัย

1) อัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวภาพที่ปรับให้มากที่สุดเครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อกที่ 30:70 และได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 18.49% ที่กำลังเครื่องยนต์ 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเฉพาะ 0.20

liter/kW.hr และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเฉพาะต่ำสุด 0.48 m³/kW.hr

2) เครื่องยนต์ดีเซลตัดแปลงใช้เฉพาะก๊าซชีวภาพทดสอบได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 6.95% ที่กำลัง 500 Watt อัตราความสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพเชื้อเพลิง 17 liter/min และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะ 2.04 m³/kW.hr

3) ต้นทุนต่อการให้กำลังของเครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ 4.02 บาท/kW.hr มากกว่าเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพตัดแปลงที่มีต้นทุนต่อการให้กำลัง 3.44 บาท/kW.hr

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลตัดแปลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ และเฉพาะก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเป็นโครงการที่ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประเภททุน HRM: Hands-on Researcher (Medium) 30,000 บาท/ทุน งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia. *Biogas*: Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Biogas>[Accessed 10th April 2016].Thai.
- [2] Mitzlaf, KV. (1988). *Engine for Biogas*. Federal Republic of Germany:Lengericher Handelsdruckerei
- [3] Pirunkaset, M. (2001). *Internal Combustion Engines*. SE-Educatio, Bangkok
- [4] Suetrong, A. (2011). *Auto Data 2. 3thed*: Peang22-jatujuk, Bangkok.
- [5] Funkeaw, P. (2011). Testing Performance of Small Diesel Engine by Using Dual Fuel with Biogas. *The 4th National Conference on Technical Education. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand*, pp. 156-161.

อิทธิพลของความดันและอุณหภูมิต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการสกัดเย็นน้ำมันงา

The Effects of Pressure and Temperature on Cold-Pressed Sesame-Oil Recovery Yield

ธนพล เจริญศรี นพพล อมรพิศาล นฤตล อนุชิต และปฐมศก วิลไลพล *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Thanaphon Charoensri, Noppon Amonpisan, Narurdon Anuchit and Patomsok Wilaipon *

Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Naresuan University

Tapoh Sub district, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

* ผู้รับผิดชอบบทความ: patomsok@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5596-4230

บทคัดย่อ

น้ำมันงาสกัดเย็นเป็นการแปรรูปงาโดยคงคุณค่าต่างๆ ไม่ให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากความร้อนระหว่างกระบวนการผลิต งานวิจัยหลายชิ้นได้ใช้เครื่องสกัดน้ำมันชนิดเกลียวอัด ตลอดจนมีการศึกษาการอัดเพื่อสกัดน้ำมันด้วยความดันต่ำกว่า 20 MPa ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความดัน (20-60 MPa) และอุณหภูมิ (40-60 °C) ในกระบวนการผลิตต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลด้วยกระบอกอัด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ดงา โดยใช้ระยะเวลาในการกดอัดเท่ากับ 10 นาทีต่อตัวอย่าง พบว่ามีค่าสูงสุด สำหรับการกดอัดที่ความดัน 60 MPa และอุณหภูมิ 40 °C จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์พหุคูณเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพบว่าความดัน อุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างสองตัวแปร มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การสกัดน้ำมันงาอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ งาดำ น้ำมันงา สกัดเย็น

Abstract

The cold pressed sesame-oil process is able to preserve all the valuable vitamins and nutrients available in sesame seeds. Several studies have been carried out with a screw press under 20-MPa of pressure and its effects on oil extraction have been researched. The aim of this research was to investigate the effects of the various pressures (ranging from 20-60 MPa) and temperatures (ranging from 40-60 °C) on sesame oil yield recovery by using this mechanical pressing process. The pressing time was set at 10 minutes for all experimental conditions. It was found that the highest value of oil yield recovery was at the 60 MPa and 40 °C. When the multiple regression analysis was carried out, the results showed that the pressure, temperature and interaction between these two factors had significant effects on sesame oil recovery yield.

Keywords: sesame, sesame oil, cold pressed.

1. บทนำ

งาเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความสำคัญมากขึ้นทุกปี เนื่องจากงาเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตและการตลาดสูง เป็นพืชไร่ชนิดพืชน้ำมันที่สามารถปลูกเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชหลัก เนื่องจากลงทุนต่ำใช้เวลาปลูกสั้น และทนแล้งได้ดีมีตลาดกว้างขวางราคางาดำต่ำสุด และสูงสุดในช่วงหลายปีที่ผ่านมาพบว่ามีการค้าอยู่ระหว่าง 90-100 บาทต่อกิโลกรัม งามถูกใช้

เป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากเมล็ดงาดำมีประโยชน์ และมีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูงอย่างมาก เมล็ดงามีน้ำมันที่เรียกว่าน้ำมันงา ซึ่งมีประมาณ 40 – 55% เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายของคนเรามาก คือ มีกรดไขมันโอเมก้า 6 และโอเมก้า 3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้ ต้องรับประทานเข้าไป วิตามินอี ตลอดจนมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูงไม่มีกลิ่นหืนง่ายสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นอาหารอาหารเสริม และเครื่องสำอาง

การสกัดน้ำมันพืชสามารถทำได้หลายวิธี ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อผลิตน้ำมันพืช สำหรับใช้เป็นส่วนประกอบอาหารบริโภค

อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตดังกล่าวจะมีขั้นตอนที่ใช้ อุณหภูมิสูงระหว่างการผลิตทำให้สารอาหารโดยเฉพาะ วิตามินอีถูกทำลายไป การสกัดเย็นด้วยวิธีเชิงกลเป็นวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชได้โดยวิธีเชิงกล และ ควบคุมอุณหภูมิทุกขั้นตอนระหว่างกระบวนการให้มีอุณหภูมิ ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถรักษาคุณภาพ สารอาหาร และวิตามินในน้ำมันที่สกัดได้ สามารถเพิ่มมูลค่า ของวัตถุดิบได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดด้วยตัวทำ ละลาย ตัวอย่างของพืชน้ำมันที่นำมาสกัดเย็นได้แก่ รำข้าว [1], เมล็ดฟักทอง [2], เมล็ดคองุ่น [3], และน้ำมันงา [4-6] อย่างไรก็ตามการสกัดด้วยวิธีเชิงกลดังกล่าวมีประสิทธิภาพใน การสกัดน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย ส่งผลให้มีปริมาณ น้ำมันหลงเหลือในกากเมล็ดพืชหลังจากกระบวนการสกัดเย็น การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและ ความดันในกระบวนการสกัดเย็นน้ำมันงา ที่ส่งผลต่ออัตรา ผลผลิตน้ำมันดังกล่าว

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

การบีบอัดเพื่อสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืช มีการใช้งาน มาเป็นระยะเวลานานแล้ว ทั้งการใช้เกลียวอัดและระบบ ไฮดรอลิกในการสกัดน้ำมัน ส่วนการสกัดน้ำมันพืชในระดับ อุตสาหกรรมนิยมใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการให้ตัว ทำละลายซึมผ่านเมล็ดพืชที่ผ่านการลดขนาดแล้ว จากนั้น นำไปแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกลั่นแยก หรือการระเหยที่ความดันต่ำ เมื่อพิจารณาจาก ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการผลิต ในขณะการสกัดด้วยวิธี เชิงกลสามารถแบ่งออกได้เป็น การสกัดร้อน และการสกัดเย็น โดยพิจารณาจากอุณหภูมิในการผลิตที่สูงและต่ำกว่า 60 °C การบีบอัดทั้งสองวิธีเป็นการเพิ่มแรงกดที่กระทำต่อเมล็ดพืช ทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดแตกออกเพื่อสกัดแยกน้ำมันออกจาก กากส่วนที่เหลือโดยไม่ใช้สารเคมีหรือตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้ จากการบีบอัดน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำหรือการสกัดเย็น พบว่ามี คุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับน้ำมันในเมล็ดพืชทั้งด้าน รสสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ

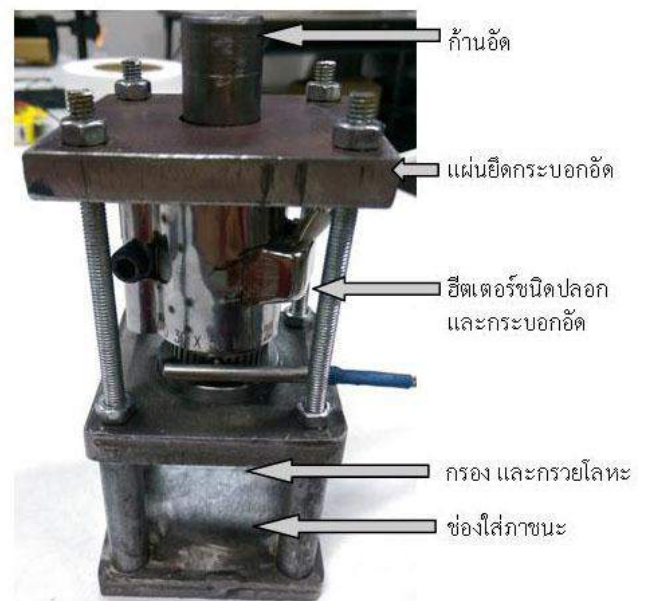
2.1 อุปกรณ์และวัตถุดิบ

งาดำที่ใช้ในการทดลองเป็นงาดำดิบ ซึ่งไม่ผ่านการคั่ว จากจังหวัดพิษณุโลก เก็บไว้ในถุงพลาสติกซิลงจนกระทั่งนำมา ทดสอบ โดยจัดเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิระหว่าง 23-30 °C ทำการ จัดสร้างชุดอุปกรณ์อัดพร้อมกรองโดยประกอบด้วยกระบอก อัดทำจากเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 mm เส้นผ่าน ศูนย์กลางภายนอก 30mm สูง 70 mm รูระบายน้ำมัน ด้านล่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm จำนวน 13 รูฐาน ตั้งและแผ่นล้อยอดกระบอกหนา 10 mm ขาดัง 4 ดัน แต่ละดัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ชิ้นล้อยอดอุปกรณ์ด้วยโบลท์ และนัทขนาด M6 ลูกสูบทำจากเหล็กมีขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 20 mm และบาร์รองสำหรับใส่ยางโอริง 2 ร่อง โดยใช้โอริงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 19 mm หนา 2.5 mm มีขดลวดความร้อนชนิดรีดท่อนขนาด 220V 150W มีลักษณะ เป็นวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm สูง 50 mm เพื่อให้ความร้อนแก่กระบอกอัด ดังรูปที่ 1 ใช้เทอร์โมคัปเบิล ชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิ และควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ โดยใช้โซลิดสเตตรีเลย์ร่วมกับกล่องควบคุมอุณหภูมิ (PID Temperature Controller; MaxWell, MTB series) ใช้ตุ้ มร้อน Memmert: Model 600 สำหรับการอบแห้งเพื่อหา ค่าความชื้น และเครื่อง universal testing machine (Housfield: H50KS) เพื่อเป็นต้นกำลังในการอัดสกัดน้ำมัน

2.2 การวิเคราะห์ความชื้นและน้ำมันในเมล็ดงา

การวิเคราะห์หาความชื้นเริ่มต้นในเมล็ดงา อ้างอิงจาก กระบวนการใน ASAE 352.1 จากนั้นทำการวิเคราะห์หา ปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาดำโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วย วิธีอื่นๆ โดยใช้เทคนิคการสกัดแบบชอกท์เลท และใช้เฮกเซน (C_6H_{14}) เป็นตัวทำละลาย ใช้อุณหภูมิ 70 °C หล่อเย็นด้วยน้ำ ่ออุณหภูมิ 25 °C โดยการทดลองแต่ละครั้งใช้เจงาดำบดจำนวน 30 กรัม เฮกเซน 350 มิลลิลิตร ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และใช้ เวลาในการสกัดครั้งละ 5 ชั่วโมง นำน้ำมันที่ได้ไปคั่งร้อยละ ของน้ำมันที่สกัดได้ (oil yield) ซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักของ น้ำมันงาที่สกัดได้ด้วยวิธีเชิงกลหารด้วยน้ำหนักของเมล็ดงาดำ ที่ใช้ และแปลงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 1 ชุดสกัดน้ำมันงาด้วยวิธีเชิงกลพร้อมควบคุมอุณหภูมิ

2.3 การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ชุดกระบอกอัด

การทดลองจะใช้เครื่อง UTM เพื่อเป็นต้นกำลังสำหรับ ชุดกระบอกอัดเพื่อการสกัดเย็น โดยในการสกัดเย็นน้ำมันงา

ค่า จะใช้เมล็ดงาคั่วครั้งละ 10 กรัมบรรจุลงในกระบอกอัด ทำการประกอบเครื่องในลอน ลูกสูบอัด ขดลวดความร้อนชนิดรีดท่อ เทอร์โมคัปเปิล ทำการตั้งค่าความเร็วในการอัดของเครื่อง UTM เป็นสองระดับความเร็ว โดยเริ่มต้นที่ 1 mm/min จนความดันมีค่าประมาณ 90% ของความดันที่ตั้งไว้แล้วลดความเร็วในการอัดเป็น 0.2 mm/min จนถึงค่าความดันที่กำหนด โดยหยุดค้างการเคลื่อนที่ของลูกสูบ UTM เป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดปริมาณน้ำมันงาสกัดเย็นที่ได้จากกระบวนการ ซึ่งแต่ละสภาวะการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยกำหนดค่าความดันในการอัด 3 ระดับ ได้แก่ 20 40 และ 60 MPa และควบคุมอุณหภูมิระหว่างกระบวนการ 3 ระดับ ได้แก่ 40 50 และ 60°C โดยร้อยละของน้ำมันที่ได้จากการสกัด คำนวณเช่นเดียวกับการหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดงา ในขณะที่ประสิทธิภาพของการสกัดเป็นการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดโดยใช้ชุดกระบอกอัด-ลูกสูบ เทียบกับร้อยละของน้ำมันที่มีในเมล็ดงาคั่วซึ่งใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย

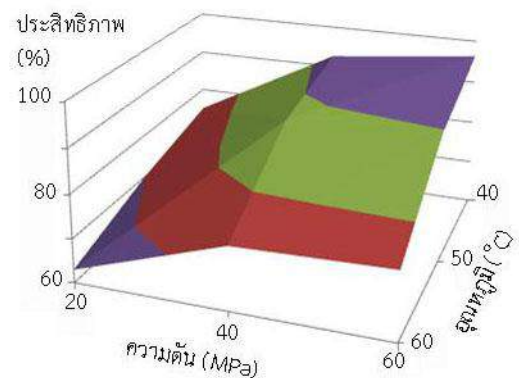
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 อิทธิพลของความดันและอุณหภูมิ

งาคั่วที่ใช้ในการทดลองมีค่าความชื้นเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ เท่ากับ 6.10% และพบว่าผลการศึกษาการสกัดน้ำมันงาคั่วด้วยการกดอัดเชิงกล โดยใช้ความดันในช่วง 20-60 MPa โดยเพิ่มค่าครั้งละ 20 MPa และใช้อุณหภูมิขณะทำการกดอัดที่ 40-60°C ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันเปรียบเทียบับปริมาณน้ำมันที่มีในเมล็ดงาคั่วที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 97.04% ณ สภาวะความดัน 60 MPa และอุณหภูมิ 40°C ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 60.40% ณ สภาวะความดัน 20 MPa และอุณหภูมิ 60°C

เพื่อเป็นการตรวจสอบให้ชัดเจนว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมัน เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันที่มีในเมล็ดงาคั่ว สำหรับกระบวนการสกัดด้วยการกดอัดเชิงกล จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA พบว่าตัวแปรความดัน อุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างสองตัวแปรมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันเปรียบเทียบับปริมาณน้ำมันในเมล็ด ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของความดัน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกดอัดเพื่อสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกล ต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [7-8] ซึ่งระบุว่าอัตราการสกัดได้น้ำมันมีค่าสูงเมื่อความดันกดอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่แนวโน้มของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการ

สกัดน้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาคั่วพบว่าประสิทธิภาพการบีบอัดน้ำมันมีค่าสูงกว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำ และเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแนวโน้มดังกล่าวมีความแตกต่างจากผลการวิจัยในอดีต [7] ซึ่งระบุว่าอุณหภูมิในช่วง 60-80°C ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่บีบอัดได้ โดยอาจมีสาเหตุจากช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีค่าแตกต่างกันและวัตถุดิบที่ใช้เป็นคนละชนิดกัน ดังนั้นจากผลการทดลองในช่วงความดันและอุณหภูมิที่ทำการศึกษพบว่าความดันเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันงาอย่างมีนัยสำคัญที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลจากอุณหภูมิในกระบวนการอัด เนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาเป็นช่วงแคบเพราะข้อจำกัดเกี่ยวกับอุณหภูมิของการสกัดเย็นเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำมันงา จึงส่งผลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของความดันในกระบวนการ



รูปที่ 2 อิทธิพลของความดัน และอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันงา

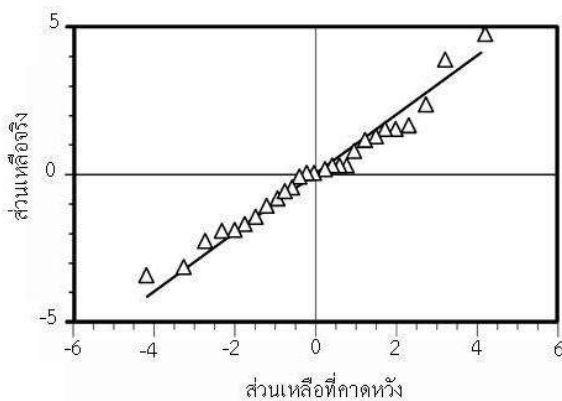
3.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุเชิงซ้อน

สมการความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการสกัดเย็นน้ำมันจากงาคั่วเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบ (YE: %) กับอุณหภูมิ (T: °C) และความดันในการอัด (P: MPa) ในช่วงอุณหภูมิและความดันที่ทำการศึกษา ถูกสร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุเชิงซ้อน โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลอง พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการด้านล่าง

$$YE = 2.144T + 2.279P - 0.01TP - 0.016P^2 - 0.026T^2 \quad (1)$$

จากการวิเคราะห์รูปแบบสมการความสัมพันธ์ทั้งรูปแบบสมการเส้นตรง สมการพหุนามกำลังสอง ตลอดจนสมการพหุนามกำลังสาม พบว่าสมการพหุนามกำลังสองมีความเหมาะสมในการสร้างความสมการความสัมพันธ์ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลของคณะนักวิจัยจากประเทศเนเธอร์แลนด์และอินโดนีเซีย [9] สมการความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการสกัดเย็นน้ำมันจากงาคั่วในการศึกษาครั้งนี้ ทดสอบนัยสำคัญของค่าคงที่ใน

สมการพบว่ามีความน่าจะเป็นที่จะตัดพารามิเตอร์ในสมการน้อยกว่า 0.0001 ยกเว้นพารามิเตอร์ของอิทธิพลร่วมอุณหภูมิและความดันซึ่งมีความน่าจะเป็น 0.001 และพบว่าสมการที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (R_a^2) มีค่าเท่ากับ 0.9703 และ 0.9649 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของแบบจำลอง และจากแผนภาพการกระจายตัวปกติระหว่างส่วนเหลือจริงและค่าที่ควรจะเป็นหากมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 3 พบว่ามีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.983 ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวปกติ



รูปที่ 3 แผนภาพการกระจายตัวปกติระหว่างส่วนเหลือจริงและค่าที่คาดหวังของสมการความสัมพันธ์

4. บทสรุป

การสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดเย็นแบบเชิงกล พบว่าความดัน อุณหภูมิ ตลอดจนอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัย มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันเทียบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ดงา และมีค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดในการศึกษานี้ เกินกว่า 97% สำหรับความดันและอุณหภูมิเท่ากับ 60 MPa และ 40°C ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์พหุคูณระหว่างตัวแปรทั้งหมดที่ศึกษา พบว่าสมการที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ เท่ากับ 0.9703 และ 0.9649 ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Nandi, I. and Ghosh, M. (2015). Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed. *Bioact Carbohydr Dietary Fibre*, vol.5, pp. 129-136.

- [2] Rabrenovic, BB., Dimic, EB., Novakovic, MM., Tesevic, VV., and Basic, ZN. (2014). The most important bioactive components of cold pressed oil from different pumpkin (*Cucurbitapeop L*) seed. *LWT Food Sci Technol*, vol.55, pp. 521-527.
- [3] Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Castello, J., Hecke, EV., and Lanoiselle, JL. (2015). Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. *Ind Crops Prod*, Vol.63, pp. 26-33.
- [4] Chotivisarut, N., Kumwan, R., and Geesai, S. (2006). *Sesame oil cold extraction machine*. Rajamangala Univ Tech Lanna. Research Report, Thailand
- [5] Techarungpaisan, P. and Pongrat, A. (2006). Sesame oil separator. *KKU Eng J*, vol.33(5), pp. 565-576. Thai.
- [6] Ajibola, O., Owolafe, K., Fasinaand, O., and Adeeko, A. (1992). Expression of oil from sesame seeds. *Can Agr Eng*, vol. 35(1), pp. 83-88.
- [7] Santoso, H. and Iryanto, M. (2014). Effects of temperature, pressure, preheating time and pressing time on rubber seed oil extraction using hydraulic press. *Procedia Chem*, vol.9, pp.248-256.
- [8] Willems, P., Kuipers, NJM. and Haan, AB. (2008) Hydraulic pressing of oilseeds: experiment determination and modeling of yield and pressing rates. *J Food Eng*, vol.89, pp. 8-16.
- [9] Subroto, E., Manurung, R., Heeres, J., and Broekhuis, A. (2015). Optimization of mechanical oil extraction from *Jatropha curcas* L kernel using response surface method. *Ind Crops Prod*, vol.63, pp.294-302.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงานสองขด

Study of Factors Affecting Wireless Power Transmission Using a Double-Transmitter-Coil

เอกชัย ชัยดี* ภาณุพงศ์ โวหาร และวัตรมล แก้วถึง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Ekkachai Chaidee* Phanuphong Wohan and Watthamon Kaeothueng

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

99 Moo 10, Saikhao, Phan, Chiangrai, Thailand, 57120

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Ekkachai.ch799@gmail.com, Ekkachai@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5372-3979

บทคัดย่อ

การเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงานหลายขดจำเป็นต้องเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังงาน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด จากผลการวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผล คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า ความต้านทานของโหลด ความเหนี่ยวนำร่วม และความถี่เรโซแนนซ์ ได้ออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด ใช้วงจรขับเป็นอินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น ออกแบบการทดลองโดยให้ความสำคัญที่ความเหนี่ยวนำร่วม และความถี่เรโซแนนซ์ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าพารามิเตอร์อื่น และทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย จากผลการศึกษาพบว่า 1) จำนวนขด ทิศทางการไหลของกระแส และตำแหน่งการจัดวางขดส่งกำลังงาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วม 2) การเพิ่มขดส่งกำลังงาน 2 ขด ที่ระยะห่าง และตำแหน่งการจัดวางที่เหมาะสม สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายได้ 3) การปรับค่าความถี่เรโซแนนซ์ตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่าง ตำแหน่งการจัดวางตัวนำ ทำให้กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาใช้เป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายต่อไป

คำสำคัญ การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย กำลังไฟฟ้าขาออก ขดส่งกำลังงานหลายขด ความเหนี่ยวนำร่วม ความถี่เรโซแนนซ์

Abstract

To increase the power output of multiple wireless power transmission and thus investigate factors affecting the wireless power transmission. The objective of this study was to study and analyze factors affecting wireless power transmission using a double-transmitter-coil. Analyzing an equivalent circuit showed that the affecting parameters are input voltage, load resistance, mutual inductance and resonance frequency. A wireless power transmission circuit driven by a full bridge inverter was designed. The designed experiment was focused on mutual inductance and resonance frequency which were more potentially changeable than other parameters. The results from this study showed that 1) The number of transmitter-coils, the directions of electric current and a proper position of transmitter-coil affected mutual inductance 2) A double-transmitter-coil at an optimal distance position increased the power output and the efficiency of wireless power transmission 3) Adjusting of frequency resonance following the change of distance, position of transmitters increased the power output and the efficiency of wireless power transmission. The findings of this study could be utilized as a guideline for further study and development relating to wireless power transmission.

Keywords: wireless power transmission, power output, double-transmitter coil, mutual inductance, resonance frequency.



1. บทนำ

การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้สนามแม่เหล็กความถี่สูงในสถานะรีโซแนนซ์คลื่นระหว่างขดตัวนำด้านส่งและด้านรับ รู้จักครั้งแรกจากการทดลองของนิโคลาร์ เทสลา [1] นิโคลาร์ เทสลา ใช้ขดตัวนำพันบนแกนอากาศต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ทำหน้าที่เป็นขดส่งและรับกำลังงานส่งกำลังงานผ่านตัวกลางอากาศ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่น การประจุแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก รถยนต์ไฟฟ้า งานทางการแพทย์ เป็นต้น

งานวิจัยเกี่ยวกับการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายที่ผ่านมามีหลายลักษณะ เช่น การหาเทคนิคเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพ [2] การขยายระยะทางการส่งกำลังงาน [3] เป็นต้น ในปัจจุบันมีแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีอีกด้านหนึ่ง คือ การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้ขดส่งกำลังงานหลายขดเพื่อเพิ่มฟลักซ์แม่เหล็กด้านส่งกำลังงาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า [4] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่ง 2 ขด ขดละ 2 ขด ตัวนำ อธิบายการเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนซ์เมื่อมีโลหะแทรกระหว่างด้านส่งและรับกำลังงาน [5] ได้วิเคราะห์ผลของปรากฏการณ์ diversity โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์แบบ Coupled mode theory และการวิเคราะห์วงจรทางไฟฟ้า ซึ่งได้ผลตรงกัน [6] พัฒนาเคเบิลส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายใช้ขดส่งกำลังงาน 7 ขดวางในแนวนอน ซึ่งไม่คำนึงถึงตำแหน่งการจัดวางตัวนำด้านส่งแต่อย่างใด งานวิจัยที่กล่าวมามีจุดเด่น แนวทางการศึกษาต่างกันอย่าง

การออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงานหลายขดจำเป็นต้องเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังงาน ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด สำหรับเป็นแนวทางในการเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าขาออก เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายพิกัดสูงนั้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องรับภาระทำให้มีโอกาสเสียหายได้และประกอบกับการออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายพิกัดกำลังสูง ขดตัวนำต้องมีความเหนี่ยวนำสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ขนาดขดตัวนำไม่เหมาะสมแก่การประยุกต์ใช้งานบางอย่าง หรือการเพิ่มความเหนี่ยวนำโดยใช้วัสดุ เช่น แกนเฟอร์ไรต์ ที่มีขายตามท้องตลาด พบว่ามีผลตอบสนองทางความถี่ในย่านที่สูงซึ่งอาจไม่ตรงกับย่านความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนขดส่งกำลังงานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างระบบส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่ง 2 ขด

เพื่อศึกษาผลของความเหนี่ยวนำร่วม และความถี่ที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงานไฟฟ้า 2 ขด

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ

หม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) จึงสามารถส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านอากาศจากตัวนำหนึ่งไปยังอีกตัวนำหนึ่ง

3.2 วงจรไฟฟ้าในสถานะรีโซแนนซ์

รูปแบบพื้นฐานของวงจรรีโซแนนซ์ คือ แบบอนุกรมและแบบขนาน ภายในวงจรประกอบไปด้วย ความเหนี่ยวนำ (L) ตัวเก็บประจุ (C) ความต้านทาน (R) วงจรไฟฟ้าจะอยู่ในสถานะรีโซแนนซ์ก็ต่อเมื่อมีความถี่ที่เหมาะสม สามารถทำให้ XL และ XC มีค่าเท่ากัน ซึ่งความถี่นั้นเรียกว่า ความถี่รีโซแนนซ์ สามารถหาได้ตามสมการ ดังนี้

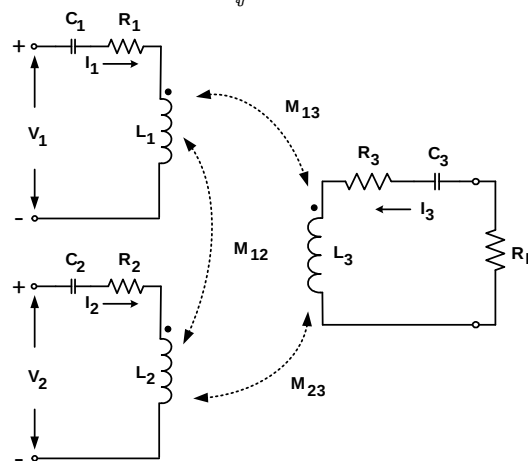
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

3.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถใช้ในระดับความถี่ที่มีค่าสูงได้

4. วิธีการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์วงจรสมมูลทางไฟฟ้า



รูปที่ 1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ส่งกำลังงาน 2 ขด

ใช้สมการแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) หาสมการแรงดันในแต่ละลูปของวงจรในรูปที่ 1 จากนั้นจึงจัดสมการความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน อิมพีแดนซ์ และกระแสในแต่ละวงจร ได้ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & j\omega M_{12} & j\omega M_{13} \\ j\omega M_{12} & Z_2 & j\omega M_{23} \\ j\omega M_{13} & j\omega M_{23} & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ $Z_1 = \left(R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 \right)$, $Z_2 = \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_2 \right)$, $Z_3 = \left(R_3 + R_L + \frac{1}{j\omega C_3} + j\omega L_3 \right)$ และ M_{12}, M_{13}, M_{23} คือ ความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดตัวนำ V_1, V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าขดส่งกำลังงานขดที่ 1 และ 2

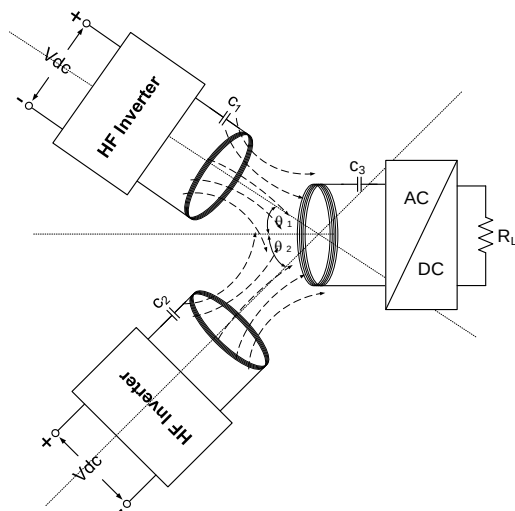
สมการที่ (2) ใช้หากระแสในแต่ละวงจร สำหรับนำไปหาลำดับไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ ได้ดังสมการที่ (3) สอดคล้องกับเอกสารอ้างอิง [1],[3]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in1} + P_{in2}} = \frac{I_3^2 R_L}{V_1 I_1 + V_2 I_2} \quad (3)$$

กรณีใช้จำนวนขดส่งกำลังงาน n ขดสามารถวิเคราะห์หาสมการประสิทธิภาพ และกำลังไฟฟ้าขาออกได้ในลักษณะเดียวกัน

4.2 ออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

องค์ประกอบของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด แสดงดังรูปที่ 2

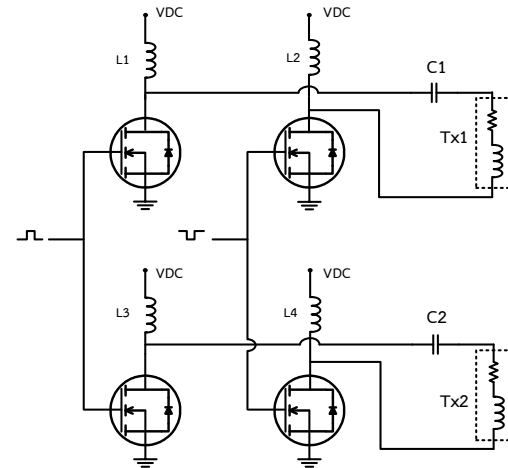


รูปที่ 2 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบ ใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด และขดรับกำลังงาน 1 ขด

ส่วนประกอบหลักประกอบไปด้วย อินเวอร์เตอร์ ขดตัวนำด้านส่ง และด้านรับกำลังงาน ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์เพื่อทำให้เกิดสภาวะรีโซแนนซ์

4.2.1 อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

ใช้สำหรับจ่ายกำลังงานให้กับขดส่งกำลังงาน ทำงานย่านความถี่ระดับกิโลเฮิร์ต พัฒนามาจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุช-พูล แสดงดังรูปที่ 3



ก) ไดอะแกรมวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง



ข) วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงรูปที่ 3 ไดอะแกรมและวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

4.2.2 พารามิเตอร์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

ขดตัวนำด้านส่ง และด้านรับกำลังงาน ทำมาจากตัวนำทองแดงเบอร์ 18 AWG พันบนแกนอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลาง 26 cm จำนวน 200 รอบ วัดค่าพารามิเตอร์โดยใช้เครื่องมือวัด R-L-C ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ค่าความเหนี่ยวนำ 0.038 H และค่าความต้านทาน 4.75 Ω ใช้ค่าคาปาซิเตอร์ 4.7 nF ใช้ความถี่รีโซแนนซ์ 19.7 kHz ลักษณะขดตัวนำแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะขดตัวนำด้านส่งและรับกำลังงาน

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเหนี่ยวนำ คาปาซิแตนซ์ และความถี่เรโซแนนซ์ แสดงดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$C = \frac{1}{(4\pi^2 \times f_r \times L)} \quad (4)$$

4.3 ออกแบบการทดลอง

พิจารณาผลการวิเคราะห์วงจรสมมูลทางไฟฟ้า พบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_1) ความต้านทานของโหลด (R_L) ความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) และความเหนี่ยวนำรวม (M)

โดยที่ความเหนี่ยวนำรวมและความถี่เรโซแนนซ์ เป็นพารามิเตอร์ที่มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าพารามิเตอร์ตัวอื่น จึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อสังเกตผลของพารามิเตอร์ดังกล่าว ตามสมมุติฐานดังนี้

4.3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเหนี่ยวนำรวม

จากสมการพื้นฐานของความเหนี่ยวนำรวมระหว่างตัวนำ 2 ขด แสดงในสมการที่ (5)

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (5)$$

เมื่อ L_1, L_2 คือ ความเหนี่ยวนำของขดตัวนำแต่ละขด

k คือ Coefficient of Coupling เป็นอัตราส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านตัวนำที่ส่งมาจากด้านขดส่งกำลังงาน [7]

พิจารณาสมการที่ (5) ประกอบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้ความเหนี่ยวนำรวม เปลี่ยนแปลงคือ

1) ระยะห่างระหว่างตัวนำ งานวิจัย [1] ได้แสดงสมการ

k ในฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างตัวนำ

เมื่อ r_1, r_2 คือ รัศมีของขดตัวนำแต่ละขด

d คือ ระยะห่างระหว่างขดตัวนำ

$$k = \frac{1}{\left[1 + 2^{2/3} \left(d / \sqrt{r_1 r_2}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (6)$$

จากสมการ (5) และ (6) จึงกล่าวได้ว่าระยะห่างของขดตัวนำมีผลต่อความเหนี่ยวนำรวม

2) การจัดวางตัวนำในแนวเอียงด้านข้าง (Lateral misalignment) งานวิจัย[8] ได้อธิบายผลของความเหนี่ยวนำรวมเมื่อตัวนำวางเอียงกันทางด้านข้าง

3) การจัดวางตัวนำในแนวเอียงเชิงมุม (Angular misalignment) งานวิจัย [9] ได้อธิบายผลของความเหนี่ยวนำรวมเมื่อจัดวางตัวนำในแนวเอียงเชิงมุม

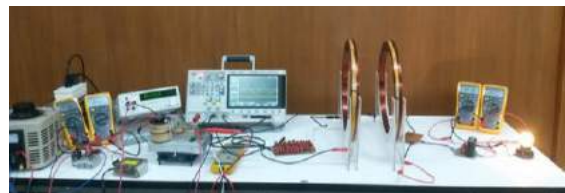
เมื่อพิจารณาการจัดวางตัวนำในกรณีที่ 2) และ 3) ประกอบกับนิยามของ (k) (Coefficient of coupling)

พบว่า การจัดวางตัวนำมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำรวม อย่างไรก็ตามปัจจัยทั้ง 3 ข้อ ที่กล่าวมา ใช้กับรูปแบบการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย 2 ขดคือ ขดส่งและรับกำลังงาน อย่างละ 1 ขด ตามรูปแบบของ นิโคลาร์ เทสเลอร์

ดังนั้นเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยทั้ง 3 ข้อ มีผลกับกรณีใช้ขดส่งกำลังงานมากกว่า 1 ขด หรือไม่ จึงได้ออกแบบการทดลองอ้างอิงตามสมมุติฐานดังกล่าว

4.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความถี่เรโซแนนซ์

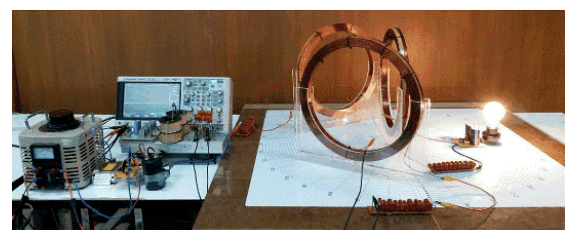
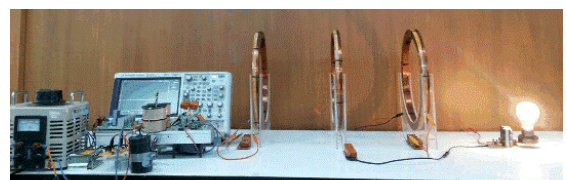
เมื่อความเหนี่ยวนำรวมเปลี่ยนแปลงทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลงตาม ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายจึงเปลี่ยนไปด้วย หรืออาจมองได้ว่าจำเป็นต้องปรับค่าความถี่เพื่อชดเชยผลของการเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำรวมดังกล่าว [10] การทดลองนี้จึงมีลักษณะติดตามความถี่ของวงจรเมื่อระยะห่าง การจัดวาง และมุมของตัวนำเปลี่ยนแปลงไป



ก) ขดส่งกำลังงาน 1 ขด จัดวางในแนวตรง



ข) ขดส่งกำลังกำลังงาน 2 ขด จัดวางในแนวตรง



ค) ขดส่งกำลังงาน 2 ขด จัดวางในแนวเชิงมุมรูปที่ 5 ลักษณะการทดลองและพิภพการจัดวางตัวนำ

5. ผลการวิจัย

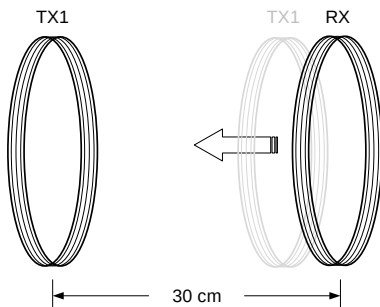
การทดลองทั้งหมดใช้แรงดันกระแสตรงขาเข้า 40 V คงที่ตลอดการทดลอง ใช้ความถี่รีโซแนนซ์ 11.9 kHz จ่ายกำลังงานให้กับโหลดตลอดได้ขนาด 60 W ใช้ขดรับกำลังงาน 1 ขด ลักษณะการทดลองและการจัดวางตัวนำแสดงดังรูปที่ 5 ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพการส่งกำลังงาน คำนวณจากสัญญาณแรงดัน และกระแส ที่วัดได้ในวงจร

5.1 การทดลองที่ 1 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบวางตำแหน่งขดตัวนำในแนวตรง

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

5.1.1 การทดลองที่ 1.1 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้ขดส่งกำลังงาน 1 ขด

ผลการทดลองใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการทดลองกรณีใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด ในการทดลองใช้ขดส่ง และรับกำลังงาน อย่างละ 1 ขด จัดวางตัวนำในแนวตรง เลื่อนขดส่งกำลังงานออกจากขดรับตั้งแต่ 0 – 30 cm แสดงดังรูปที่ 6 ดังนี้

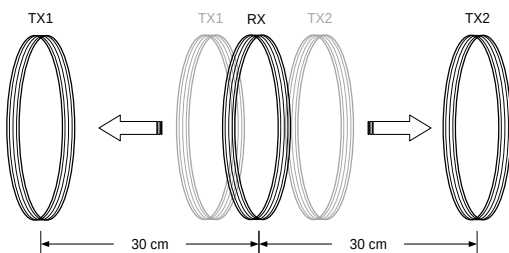


รูปที่ 6 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 1 ขด วางในแนวตรง

5.1.2 การทดลองที่ 1.2 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพกรณีใช้ขดส่งกำลังไฟฟ้า 2 ขด ลักษณะการทดลองและการจัดวางตัวนำแสดงดังรูปที่ 7 ทำการทดลองใน 2 กรณี คือ

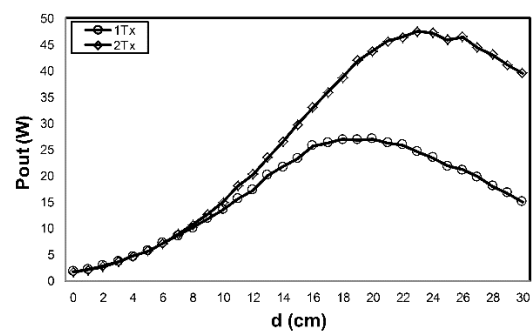
กรณีที่ 1 เลื่อนขดส่งกำลังงานออกจากขดรับกำลังงาน เท่าๆ กันครั้งละ 1 cm ระยะ 0 – 30 cm ได้ลักษณะกราฟกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับกรณีใช้ขดส่งกำลังงาน 1 ขด แสดงดังรูปที่ 8 และ 9 ดังนี้



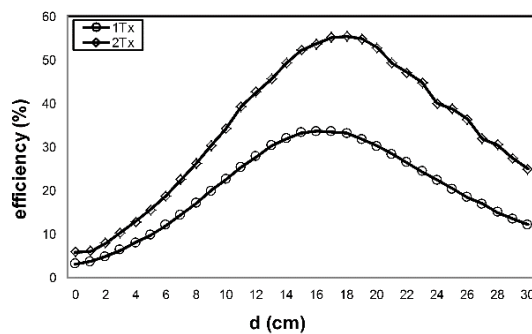
รูปที่ 7 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด วางในแนวตรง

จากรูปที่ 8 และ 9 พบว่า การใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด ทำให้ค่ากำลังงานไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น 62% ที่ระยะ 20 cm ในขณะที่ประสิทธิภาพเพิ่ม 59% ที่ระยะ 16 cm ซึ่งพิจารณาจากจุดที่ดีที่สุดจากการใช้ขดส่ง 1 ขด

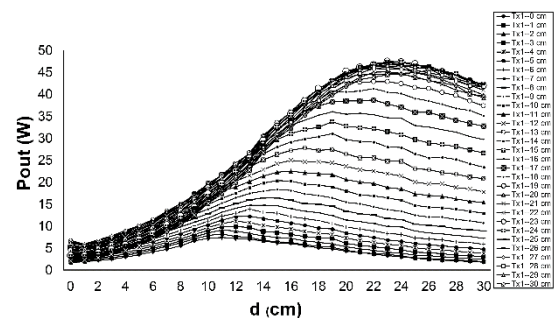
กรณีที่ 2 กำหนดให้ขดส่งกำลังงาน Tx1 คงที่ จากนั้นทำการเลื่อนขดส่งกำลังงาน Tx2 ออกจากขดรับกำลังงาน Rx ครั้งละ 1 cm ตั้งแต่ 0 – 30 cm จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยเลื่อนขดส่งกำลังงาน Tx1 ออกจากขดรับกำลังงาน Rx ครั้งละ 1 cm ได้ลักษณะกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพรูปที่ 10 และ 11



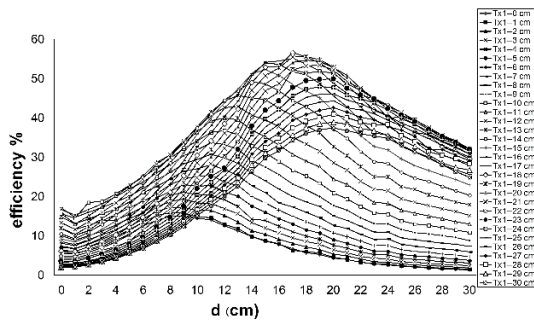
รูปที่ 8 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อใช้ขดส่งกำลังงาน 1 ขด และ 2 ขด



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพ เมื่อใช้ขดส่งกำลังงาน 1 และ 2 ขด

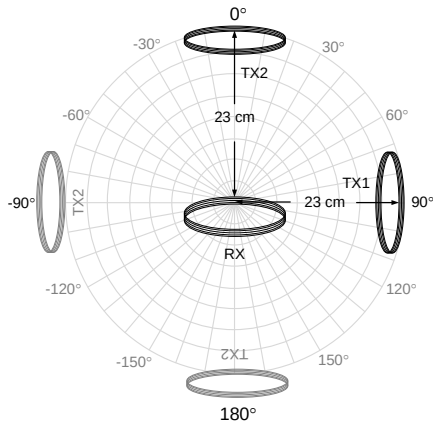


รูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อใช้ขดส่ง 2 ขด



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพเมื่อใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด

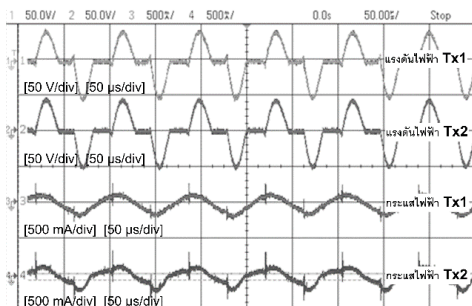
จากรูปที่ 10 และ 11 พบว่ากำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 47.47 W เมื่อขด Tx1 และ Tx2 ห่างจากขด Rx ด้านละ 23 cm ในขณะที่ประสิทธิภาพมีค่าสูงสุด 56.68% เมื่อขด Tx1 ห่างจากขด Rx 18 cm และ Tx2 ห่างจากขด Rx 17 cm ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองกรณีนี้ที่ 1



รูปที่ 12 ไดอะแกรมการทดลองกรณีใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด วางในแนวเชิงมุม

5.2 การทดลองที่ 2 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด วางในแนวเชิงมุม

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเหนี่ยวนำร่วม (M_{12}, M_{13}, M_{23}) ตำแหน่งพิกัดการจัดวางตัวนำแสดงดังรูปที่ 12 ตำแหน่งขดส่ง Tx1 คงที่ตำแหน่ง 90° เลื่อนตำแหน่งขด Tx2 ครั้งละ 10° ทดลองซ้ำโดยปรับขดส่ง Tx1 ครั้งละ 10° แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองดังนี้

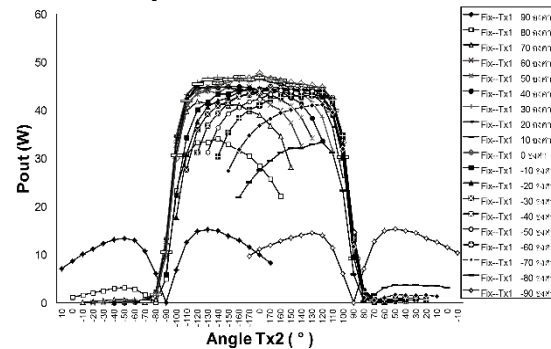


รูปที่ 13 รูปคลื่นกระแสและแรงดันด้านขาเข้าขดส่งกำลังงาน Tx1 และ Tx2 การทดลองที่ 2.1

รูปที่ 13 ได้จากการทดสอบที่ระยะห่าง 22 cm เนื่องจากเป็นระยะที่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกสูงที่สุด

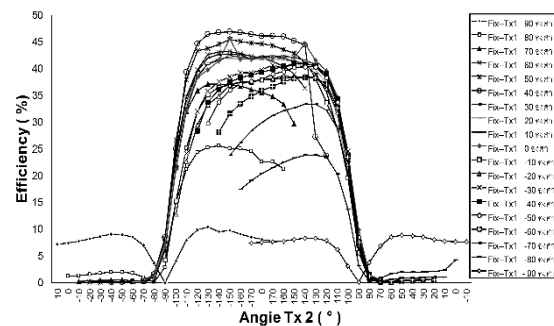
5.2.1 การทดลองที่ 2.1 กำหนดให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขดส่งกำลังงาน Tx1 และ Tx2 ไปในทิศทางเดียวกัน

ทิศทางการไหลของกระแสผ่านขด Tx1 และ Tx2 มีเฟสตรงกันแสดงดังรูปที่ 13 มีลักษณะกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพเทียบกับมุมของ Tx2 ที่ตำแหน่ง Tx1 ต่างกันแสดงดังรูปที่ 14 และ 15 ดังนี้



รูปที่ 14 กำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อทิศทางการไหลของกระแสผ่านขด Tx1 และ Tx2 มีทิศทางเดียวกัน

จากรูปที่ 14 พบว่ากำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 47.59 W ที่ตำแหน่งของ Tx1 ที่มุม 0° และ Tx2 ที่มุม 180°

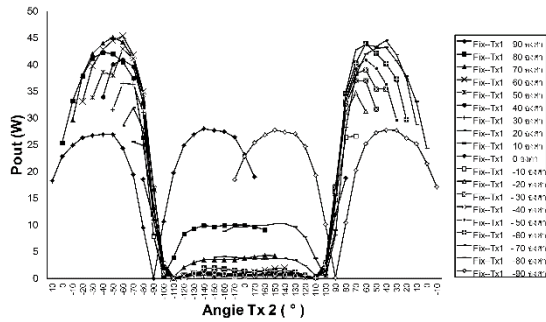


รูปที่ 15 ประสิทธิภาพเมื่อทิศทางการไหลของกระแสผ่านขด Tx1 และ Tx2 มีทิศทางเดียวกัน

พิจารณารูปที่ 15 พบว่าประสิทธิภาพสูงสุด 46.82% เมื่อ Tx1 วางในตำแหน่งมุม 40° และ Tx2 ที่มุม -150°

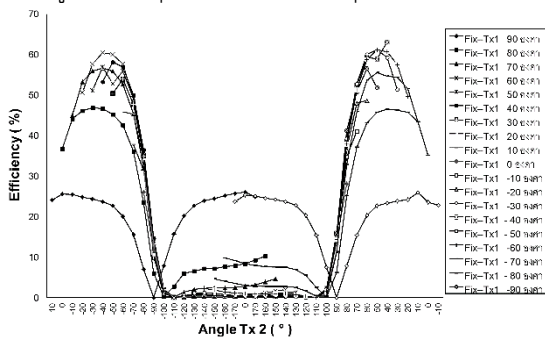
5.2.2 การทดลองที่ 2.2 กำหนดให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขดส่ง กำลังงาน Tx1 และ Tx2 สวนทางเดียวกัน

สลับขั้วของแหล่งจ่ายกระแสตรงที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ที่ขดส่ง Tx1 ทำให้มุมเฟสของกระแสไหลผ่านขดส่งทั้ง 2 ต่างเฟสกัน 180° กำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพดังรูปที่ 16 และ 17

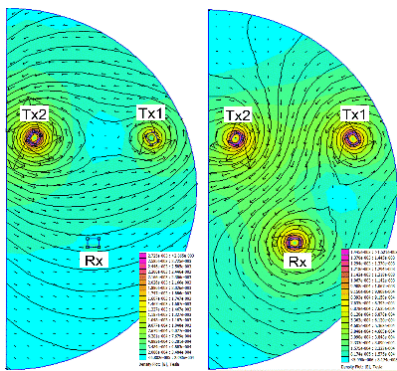


รูปที่ 16 กำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อทิศทางการไหลของกระแสผ่านขด Tx1 และ Tx2 มีทิศทางสวนกัน

จากรูปที่ 16 พบว่ากำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 45.34 W เมื่อ Tx1 อยู่ตำแหน่งมุม 60° และ Tx2 ที่มุม -60°



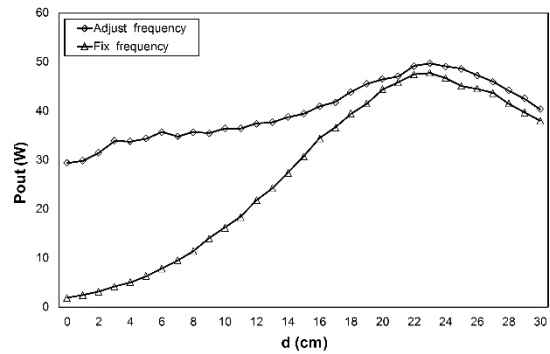
รูปที่ 17 ประสิทธิภาพเมื่อทิศทางการไหลของกระแสผ่านขด Tx1 และ Tx2 มีทิศทางสวนกัน



รูปที่ 18 สนามแม่เหล็ก เมื่อ Tx1 ที่มุม 60° และ Tx2 ที่มุม -60° การทดลองที่ 2.1 (ซ้าย) และ 2.2 (ขวา)

ในขณะที่ประสิทธิภาพในรูปที่ 17 มีค่าสูงสุด 63.08% ที่ตำแหน่งขด Tx1 มุม -40° และ Tx2 ที่มุม 40° ทำการจำลองลักษณะสนามแม่เหล็กกรณีขด Tx1 อยู่ตำแหน่งมุม 60° และ Tx2 ที่มุม -60° เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ (FEM) จากผลการจำลองในรูปที่ 18 สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 แสดงถึงทิศทางการไหลของกระแส และตำแหน่งการจัดวางตัวนำมีผลต่อการหักล้างหรือเสริมของสนามแม่เหล็ก

5.3 การทดลองที่ 3 การทดลองปรับค่าความถี่โซแนนซ์ เพื่อศึกษาผลกระทบทางความถี่ จึงได้ทำการทดลองปรับค่าความถี่ตามระยะห่าง และตำแหน่งการจัดวางตัวนำตามการทดลองที่ 1 และ 2



รูปที่ 19 กำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อปรับค่าความถี่โซแนนซ์กรณีใช้ขดส่ง 1 ขดวางในแนวตรงกับขดรับ

พบว่ากรณีใช้ขดส่งกำลังงาน 1 ขด ตามการทดลองที่ 1 ให้กำลังงานไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น 5 % ที่ระยะ 23 cm แสดงดังรูปที่ 19 ในขณะที่ประสิทธิภาพเพิ่ม 11% ที่ระยะ 18 Cm โดยพิจารณาจากจุดที่ดีที่สุด

จากการทดลองที่ 2 ให้กำลังงานไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น 4 % ที่มุม Tx1 เท่ากับ 60° และมุม Tx2 เท่ากับ -60° ในขณะที่ประสิทธิภาพเพิ่ม 16% ที่มุม Tx1 เท่ากับ -70° และมุม Tx2 เท่ากับ 40° โดยพิจารณาจากจุดที่ดีที่สุด

6. อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายแบบวางตำแหน่งขดตัวนำในแนวตรง การใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด ทำให้กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการคล้องสนามแม่เหล็กด้านขดรับกำลังงานเพิ่มขึ้น ตำแหน่งที่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด เมื่อขด Tx1 และ Tx2 ห่างจากขดรับกำลังงาน Rx ด้านละ 23 cm ตำแหน่งนี้คือพิกัดของระบบและแหล่งจ่ายมีความสอดคล้องกัน เนื่องจากความเหนี่ยวนำร่วมมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของระบบโดยตรง ในขณะที่ประสิทธิภาพมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง Tx1 ห่างจากขด Rx 18 cm และ Tx2 ห่างจากขด Rx 17 cm

การทดลองที่ 2 การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยใช้ขดส่งกำลังงาน 2 ขด วางในแนวเชิงมุม กรณีให้กระแสไหลผ่านขดส่งกำลังงานมีทิศทางเดียวกัน กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าสูงสุด เมื่อขด Tx1 อยู่ตำแหน่ง 0° และ Tx2 อยู่ตำแหน่ง 180° ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กเสริมกันมากที่สุด



สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ในขณะที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ตำแหน่งขด Tx1 อยู่ที่มุม 40° และ Tx2 อยู่ที่มุม -150°

กรณีให้กระแสไหลผ่านขดส่งกำลังงาน ส่วนทางกันกำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าสูงสุด เมื่อตำแหน่งขด Tx1 อยู่ที่มุม 60° และขด Tx2 อยู่ที่มุม -60° ที่ตำแหน่งนี้สนามแม่เหล็กระหว่างขดส่งกำลังงานมีทิศทางเสริมกัน และสามารถคล้องผ่านขดรับกำลังงานได้ดีที่สุด หรืออาจพิจารณาได้ว่าอิมพีแดนซ์ของระบบกับแหล่งจ่ายมีความสมดุลกัน ในขณะที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ตำแหน่งขด Tx1 อยู่ที่มุม -40° และ Tx2 อยู่ที่มุม 40°

การทดลองที่ 3 การทดลองปรับค่าความถี่โซแนนซ์ความเหนี่ยวนำร่วมเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างและตำแหน่งการจัดวางตัวนำ ผลทำให้ความถี่โซแนนซ์เปลี่ยนแปลงตาม ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างตัวนำ หรือตำแหน่งการจัดวางเปลี่ยนแปลงไปการปรับค่าความถี่โซแนนซ์ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นได้

ถึงแม้ว่ากำลังไฟฟ้าขาออกสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าให้สูงขึ้น อีกด้านหนึ่งทำให้ความเสียหายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ง่ายเช่นกัน การเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าขาออกโดยการเพิ่มจำนวนขดส่งกำลังงานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จำนวนขด ทิศทางการไหลของกระแส และตำแหน่งการจัดวางขดส่งกำลังงาน รวมถึงการเลื่อนระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับกำลังงาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วมดังกล่าวทำให้กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเปลี่ยนแปลงตามโดยพิจารณาได้จากกราฟผลการทดลอง

การเพิ่มขดส่งกำลังงาน 2 ขด ที่ระยะห่าง และตำแหน่งการจัดวางที่เหมาะสม สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายได้

การปรับค่าความถี่โซแนนซ์ตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่าง ตำแหน่งการจัดวางตัวนำ ทำให้กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น

ปริมาณสนามแม่เหล็กจากการทดลองควรพิจารณาประกอบกับค่ามาตรฐานตาม IEE Std.C96.1-2005 และ ICNIRP [3] ซึ่งได้แสดงค่าจำกัดระหว่างปริมาณสนามแม่เหล็กและความถี่ใช้งาน พิจารณาจากค่าที่ได้จากการจำลองแล้วพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานตามมาตรฐานดังกล่าว

การวัดค่าแรงดันและกระแสภายในวงจรจำเป็นต้องตรวจสอบคุณสมบัติเครื่องวัดเพื่อแน่ใจได้ว่าสามารถวัดค่าในย่านความถี่ใช้งานได้ อย่างไรก็ตามควรระวังเรื่องการต่อมัลติมิเตอร์เข้าไปในวงจรเนื่องจากทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของผลการทดสอบ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอุดหนุนการวิจัย งบประมาณประจำปี 2558 และโครงการยกระดับปริญญานิพนธ์เป็นงานตีพิมพ์งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่สังคม (HRS) ปี 2558 จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hui, S.Y.R., Zhong, W., and Lee, C.K. (2014). A critical review of recent progress in mid-range wireless power transfer. *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 29(9), pp. 4500-4511.
- [2] Beh, T.C., Imura, T., Kato M., and Y. Hori. (2010). *Basic Study of Improving Efficiency of Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling Based on Impedance Matching. Industrial Electronics (ISIE), IEEE International Symposium*, 2011-2016.
- [3] Zhong, W., Lee C.K., and Hui, S.Y.R.(2013). *General Analysis on the Use of Tesla's Resonators in Domino Forms for Wireless Power Transfer. IEEE Trans. Ind. Electron*, vol.60(1).
- [4] Yoon, J.I. and Ling, H.(2011). *Investigation of near-field wireless power transfer under multiple transmitters. IEEE Antennas Wireless Propagation Lett*, pp. 662-665.
- [5] Lee, K. and Cho, D.(2013). *Diversity analysis of multiple transmitters in wireless power transfer system. IEEE Trans. Magn*, vol. 49(6), pp. 2946-2952.
- [6] Hatanaka, K., Sato, F., Matsuki, H., Kikuchi, S., Murakami, J., Kawase, M. and Satoh, T.(2002). *Power transmission of a desk with a cord-free power supply. IEEE Trans. Magn*, vol. 38(5), pp.3329-331.
- [7] Robert L. Boy lestad. (2003). *Introductory circuit analysis 10th ed*. New Jersey, USA: Peason Education, Inc., ch.21, pp.935-968.
- [8] Joy, R., Dalal, A., and Kumar, P.(2014). *Accurate Computation of Mutual Inductance of Two Air*



Core Squar Coils with Lateral and Angular Misalignments in a Flat Planar Surface. IEEE Trans. Magn, vol. 50(1).

- [9] Raju, S., Wu, R., Chan, M., and Yue, C.P. (2014) *Modeling of mutual coupling between planar inductors in wireless power applications. IEEE Trans. Power Electron*, vol. 29(1), pp. 481–490.
- [10] Zhang, Y., Zhao, Z., and Chen, K. (2014). *Frequency-Splitting Analysis of Four-Coil Resonant Wireless Power Transfer. IEEE Trans. Ind. Appl*, vol. 50(4), pp. 2436-2445.

การผลิตและการประเมินศักยภาพของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

Production and Potential Evaluation of Napier Grass Pellets Using Bio-fermented Solution as a Binder for Utilizing Biomass Fuel in a Downdraft Gasifier

รัศมี สิทธิขันแก้ว^{1*} พิระพงษ์ ยืนยงชัยวัฒน์² วรานนท์ อินตะธรรม³ และรวีภา ยงประยัวร์⁴

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

³ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานสู่ชุมชน, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

Russamee Sitthikhankaew^{1*} Peerapong Yuenyongchaiwat² Waranon Intathum³ and Rawipha Yongprayun⁴

¹ School of Renewable Energy Technology, Naresuan University

99 M.9 Thapo, Muang Phitsanulok, Phitsanulok, Thailand, 65000

² Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat

University, 1061 Isaraphab 15, Isaraphab Rd., Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600

³ Research and Development Centre of Energy for Community, Energy Technology Program, Faculty of

Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

119 Lampang-Mae Ta Rd., Chompoo, Muang, Lampang, Thailand, 52100

⁴ Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

119 Lampang-Mae Ta Rd., Chompoo, Muang, Lampang, Thailand, 52100

*ผู้รับผิดชอบบทความ: russamees@nu.ac.th, russamee5@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-86658-5283

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอกระบวนการผลิตหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน(อัตราส่วนหญ้าเนเปียร์ต่อน้ำหมักชีวภาพ เท่ากับ 10: 4 โดยน้ำหนัก) โดยใช้เครื่องอัดเม็ดแบบ flat die ซึ่งจะทำให้ได้หญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่มีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 657 kg/m³ และมีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 18.10 MJ/kg นอกจากนั้นหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ผลิตได้น้ำหนัก 12 kg จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง ซึ่งจะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของก๊าซ H₂ 10.96 % v/v ก๊าซ CH₄ 10.74 % v/v และก๊าซ CO 3.64 % v/v ซึ่งจะมีการทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สหุงต้มเพื่อผลิตพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ (10,699 kJ) สามารถต้มน้ำที่มีน้ำหนัก 30.0 kg ให้เดือดและกลายเป็นไอน้ำ นอกจากนี้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถที่จะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ เป็นระยะเวลา 22 นาที โดยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและสามารถดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 100 – 1100 W ได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 45.94 kW·h

คำสำคัญ การอัดเม็ด ชีวมวล น้ำหมักชีวภาพ หญ้าเนเปียร์ เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

Abstract

This paper presents the production process of Napier grass pellets using a flat die pelletizer and bio-fermented solution as a binder, using a 10 to 4 ratio of Napier grass and bio-fermented solution. The average

bulk density and average heating value of the Napier grass pellets is 657 kg/m^3 and 18.10 MJ/kg , respectively. In addition, 12 kg of the Napier grass pellets were utilized as biomass fuel in the downdraft model “Extreme Power” gasifier. The fuel gases which were produced from the gasification of the Napier grass pellets contained 10.96% v/v of H_2 , 10.74% v/v of CH_4 , and 3.64% v/v of CO. Potential evaluation of the fuel gases that were utilized as fuel in a cooking stove for thermal energy production was tested. The thermal energy produced was 10,699 kJ. The heat produced was transferred from the air above the cooking stove to 30 kg of water continuously, thus 30 kg of water was boiled and was changed from liquid to gas. Furthermore, the fuel gases were utilized as fuel in the generator to produce electricity. The generator continuously produced electricity which had the potential of 220 volts for 2 minutes. The electricity produced was utilized by various electrical appliances which consume energy in the range of 100 – 1100 watts. The produced electrical energy was 45.94 KW/hour.

Keywords: bio-fermented solution, biomass, downdraft gasifier, Napier grass, pelletizing.

1. บทนำ

หญ้าเนเปียร์เป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายกับอ้อย ลำต้นใหญ่ โตเร็ว ดอกไม่ติดเมล็ด จึงไม่มีปัญหาการเป็นวัชพืช เดิมกรมปศุสัตว์ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกไว้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น ช้าง โคเนื้อ โคนม ต่อมาพัฒนาจนได้สายพันธุ์ที่ดี คือพันธุ์ปากช่อง 1 ที่เป็นการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์จากประเทศออสเตรเลียและเนเธอร์แลนด์ กับหญ้าไข่มุกของไทย มีทรงตั้งตรงคล้ายอ้อยและมีลักษณะเป็นกอแตกกอดี มีระบบรากแข็งแรง ทนแล้ง ไม่มีโรคและแมลงรบกวน อีกทั้งยังเจริญเติบโตเร็ว มีอายุหลายปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ปีละ 5-6 ครั้ง [1] เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าชนิดอื่นจะพบว่าหญ้าเนเปียร์ให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าชนิดอื่นเกือบ 7 เท่า อีกทั้งหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 ให้ค่าความร้อน (heating value) เท่ากับ 17.79 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ซึ่งให้ค่าความร้อนสูงกว่าไม้กระถินยักษ์ (15.91 MJ/kg) เจ้ามันสำปะหลัง (14.59 MJ/kg) และกลบ (12.39 MJ/kg) จึงทำให้หญ้าเนเปียร์ได้รับความสนใจและส่งเสริมจากกระทรวงพลังงานให้เป็นพืชพลังงาน โดยสามารถนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตพลังงานได้ 2 รูปแบบคือ การเผาโดยตรง หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น หรือนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ [1-3]

ชุมชนวัดเขาน้อย ตำบลดงประคำ อำเภอรพทรพราชมงคล จังหวัดพิษณุโลก เป็นพื้นที่แห้งแล้ง ทางไกลแหล่งน้ำ ส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว เดิมทีพื้นที่แห่งนี้ได้มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากแต่ประสบปัญหาโรคผลผลิตที่ตกต่ำ อีกทั้งต้นทุนในการปลูกมันสำปะหลังมีค่าสูง จึงทำให้ชาวบ้านมีรายได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นเกษตรกรในชุมชนเขาน้อยจึงหันมาปลูกหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลสำรวจของเบญจมาภรณ์ ฤณอมปิ่น และได้รายงานไว้ในวิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต เมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 พบว่าปริมาณผลผลิตหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เฉลี่ยเท่ากับ 26.68 ตัน/ไร่/ปี (ทำการ

เก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ที่อายุ 4 เดือน) [2] นอกจากนี้วิสาหกิจชุมชนเขาน้อยได้วางแผนที่จะใช้หญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชนขนาด 1 MW (จะใช้เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง (downdraft gasifier)) ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อที่จะสร้างแหล่งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากพืชพลังงานในชุมชน

เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลแบบไหลลง มีหลักการทำงานโดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อน (thermochemical conversion) ในการสลายโมเลกุลของเชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่ในรูปของของแข็งซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน ในสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณของออกซิเจนให้อยู่ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าจุดที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (stoichiometric fuel air ratio) เปลี่ยนรูปแบบของเชื้อเพลิงชีวมวลให้อยู่ในรูปแบบของก๊าซที่เผาไหม้ได้หรือเรียกว่า ก๊าซสังเคราะห์ (synthesis gas) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนในการหุงต้มอาหาร หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง เป็นต้น [4-5]

เนื่องจากเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงนั้นต้องการชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ มีความหนาแน่นสูงและมีขนาดที่เหมาะสมที่จะทำให้อากาศสามารถแทรกเข้าไประหว่างชีวมวลได้ดี ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีความร้อน (thermo-chemical reaction) ภายในเตาเผา [4] ดังนั้นกระบวนการอัดเม็ดชีวมวลถือเป็นกระบวนการที่จำเป็นและสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง

ในอดีตวิสาหกิจชุมชนเขาน้อยยังคงขาดการศึกษาทางด้านการแปรรูปหญ้าเนเปียร์สดไปเป็นหญ้าเนเปียร์แห้งอัดเม็ดสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล และการทดสอบศักยภาพการนำหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ไปใช้กับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้เล็งเห็นการทำงานวิจัยเพื่อที่จะช่วยสร้างองค์ความรู้ให้เกิดขึ้นกับประชาชนในพื้นที่ชุมชนวัดเขาน้อย โดยเน้นไปที่กระบวนการผลิตหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง โดยในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นจะเลือกใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานหญ้าเนเปียร์แห้งที่บดละเอียดเพื่อให้สามารถทำการอัดเม็ดในสถานะที่ไม่มีการให้ความร้อนจากแหล่งภายนอกเข้าไปที่เครื่องอัดเม็ด ซึ่งเราจะเรียกการอัดเม็ดลักษณะนี้ว่าการอัดเย็นโดยใช้ตัวประสาน ซึ่งการใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานสำหรับการผลิตหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดยังไม่มีการทำวิจัยและมีการรายงานผล จะมีก็เพียงแต่การใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง [6]

นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางความร้อนของหญ้าเนเปียร์สด หญ้าเนเปียร์แห้งและหญ้าเนเปียร์อัดเม็ด รวมถึงการประเมินศักยภาพของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง และการทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สสูงต้มเพื่อผลิตพลังงานความร้อน และนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้พลังงานในระดับครัวเรือน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะประกอบด้วยการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์ การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางความร้อนของหญ้าเนเปียร์สด หญ้าเนเปียร์แห้งและหญ้าเนเปียร์อัดเม็ด รวมถึงการประเมินศักยภาพของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน เมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง

2.1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์สดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง 1 ที่ปลูกในพื้นที่ชุมชนวัดเขาน้อย ตำบลงประคำ อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก และจะต้องเป็นหญ้าเนเปียร์ที่โตเต็มที่ อายุการปลูกประมาณ 4 เดือนหรือมากกว่า 4 เดือนซึ่งเป็นหญ้าเนเปียร์ที่แก่และมีปริมาณเส้นใยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่สูง [1-2] ซึ่งจะเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมแก่การนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการเผาไหม้ในเตาเผา

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากหญ้าเนเปียร์จะเริ่มต้นจากการตัดต้นหญ้าเนเปียร์สดทั้งลำต้นและใบด้วยมีด (ดังรูปที่ 1) จากนั้นทำการลำเลียงต้นหญ้าเนเปียร์มาตากแดดที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก โดยจะทำการตากแดดทั้งใบและลำต้นเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อลดความชื้นของพืช จากนั้นจึงนำต้นหญ้าเนเปียร์ไปทำการตัดบดแบบหยาบด้วยเครื่องตัดบดกิ่งไม้ (ดังรูปที่ 2) จากนั้นนำหญ้าเนเปียร์ที่ถูกตัดบดแบบหยาบมาตากแห้งในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นระยะเวลา 2 วัน (ดังรูปที่ 3) ซึ่งอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันจะประมาณ 90 องศาเซลเซียส (°C) การตากหญ้าเนเปียร์ที่ถูกตัดบดหยาบไว้ในตู้อบดังกล่าวจะทำให้ความชื้นของหญ้าเนเปียร์ลดลง รวมทั้งความร้อนจะทำให้เส้นใยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในพืชถูกทำให้มีขนาดสั้นลง ซึ่งจะส่งผลต่อการนำหญ้าเนเปียร์แห้งไปทำการตัดบดละเอียดด้วยเครื่องตัดบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ (ดังรูปที่ 4) สำหรับการตัดบดหญ้าเนเปียร์แห้งด้วยเครื่องตัดบดวัตถุดิบอาหารสัตว์จะทำให้หญ้าเนเปียร์แห้งที่ถูกตัดบดมีขนาด 2-20 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 5 (ก)) และสามารถที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการอัดเม็ดได้



รูปที่ 1 หญ้าเนเปียร์สด



รูปที่ 2 เครื่องตัดบดหยาบ



รูปที่ 3 การตากหญ้าเนเปียร์ที่ตัดบดหยาบในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 เครื่องตัดบดละเอียด

จากนั้นจะทำการอัดเม็ดหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ แบบ flat die ที่มีขนาดของรูแม่พิมพ์เท่ากับ 6 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 6) โดยก่อนที่จะทำการอัดเม็ดหญ้าเนเปียร์จะทำการผสมคลุกเคล้าหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียดด้วยน้ำหมักชีวภาพเห็ดจาก (ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของหญ้าเนเปียร์บดละเอียดต่อน้ำหมักชีวภาพ เท่ากับ 10 ต่อ 4) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำหมักชีวภาพเห็ดจากที่สำนักงานพัฒนาที่ดิน เขต 8 กรมพัฒนาที่ดิน อำเภอมะนัง จังหวัดยะลา จัดทำแจกประชาชน เมื่อทำการอัดเม็ดหญ้าเนเปียร์เสร็จสิ้นแล้ว จะต้องนำหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดไปตากแห้งในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน เพื่อลดความชื้นของเม็ดอัด จึงจะได้หญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ย่อในบทความนี้คือ NPG-FS (ดังรูปที่ 5 (ข))



(ก)

(ข)

รูปที่ 5 (ก) หญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียด

(ข) หญ้าเนเปียร์อัดเม็ดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน



รูปที่ 6 เครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ แบบ flat die

2.2 การวัดค่าความชื้น (moisture content) ในชีวมวล

การวัดค่าความชื้นของหญ้าเนเปียร์สด แห้ง และอัดเม็ด จะใช้วิธีการวัดอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุของอเมริกันสมาคม ASTM D-871-82 โดยจะทำการอบชีวมวล น้ำหนัก 1 กรัม ภายในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการชั่งน้ำหนักชีวมวลภายหลังการอบ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ (%) ความชื้นในชีวมวลตามมาตรฐานเปียกดังสมการ (1) ในการวัดค่าความชื้นของชีวมวลจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

$$M_{wet} = ((W_a - W_b) / W_a) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_{wet} คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นในชีวมวลตามมาตรฐานเปียก

W_a คือ น้ำหนักชีวมวลก่อนอบ

W_b คือ น้ำหนักชีวมวลหลังอบ

2.3 การวัดปริมาณเถ้า (ash content) ในชีวมวล

การวัดปริมาณเถ้าในหญ้าเนเปียร์แห้งและอัดเม็ดจะใช้วิธีการวัดอ้างอิงตาม ASTM E-1755-01 โดยจะนำชีวมวลตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัม ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น นำมาเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีอากาศเพียงพอที่อุณหภูมิ 250 °C นาน 30 นาที จากนั้นจึงทำการเผาต่อที่อุณหภูมิ 575 °C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยให้สารตัวอย่างที่อยู่ในเตาเผาลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องและทำการชั่งน้ำหนักชีวมวลที่หลงเหลือภายหลังการเผาไหม้ คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าในชีวมวล ดังสมการ (2) ในการวัดปริมาณเถ้าในชีวมวลจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

$$P_{ash} = (W_{remaining} / W_{biomass}) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ P_{ash} คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในชีวมวล

$W_{remaining}$ คือ น้ำหนักชีวมวลที่หลงเหลือภายหลังการเผาไหม้

$W_{biomass}$ คือ น้ำหนักชีวมวล

2.4 การวัดค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของชีวมวล

ความหนาแน่นรวม คือ ความหนาแน่นที่คิดจากมวลของชีวมวลต่อปริมาตรของภาชนะที่บรรจุชีวมวลนั้น ดังแสดง

ในสมการ (3) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการบรรจุหุ้เนเปียร์แห้งที่บดละเอียด หรือหุ้เนเปียร์อัดเม็ดลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วทำการชั่งน้ำหนักของหุ้เนเปียร์ จากนั้นทำการคำนวณหาความหนาแน่นรวมดังสมการ (3)

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวลของหุ้เนเปียร์}}{\text{ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุหุ้เนเปียร์}} \quad (3)$$

2.5 ค่าความร้อนสูงของหุ้เนเปียร์ (higher heating value; HHV)

ค่าความร้อนสูงของหุ้เนเปียร์สามารถหาได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่าบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการส่งหุ้เนเปียร์ตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

2.6 องค์ประกอบของเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากหุ้เนเปียร์แบบไหลลงรุ่นสุดท้าย

สำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ จะใช้เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากหุ้เนเปียร์แบบไหลลงรุ่นสุดท้าย ซึ่งเป็นเครื่องของสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 5 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ ตัวเตาผลิตก๊าซหุ้เนเปียร์แบบไหลลง, ไซโคลนแยกฝุ่นออกจากก๊าซ, อุปกรณ์ล้างทำความสะอาดก๊าซ, พัดลมดูด-จ่ายก๊าซเชื้อเพลิง และระบบนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์ (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 7 เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากหุ้เนเปียร์แบบไหลลงรุ่นสุดท้าย

2.7 การผลิตและทดสอบก๊าซเชื้อเพลิงจากหุ้เนเปียร์อัดเม็ดในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดท้าย

1.บรรจุเชื้อเพลิงหุ้เนเปียร์อัดเม็ดจำนวน 12 กิโลกรัม ผ่านช่องป้อนเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนของเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

2.จุดไฟผ่านทางช่องจุดไฟ และสังเกตควันที่ออกจากท่อระบายควัน แล้วเปิดอากาศเข้าเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้

สมบูรณ์ในโซนเผาไหม้ (combustion zone) ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา reduction (reduction zone) รวมถึงการวัดอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดท้าย โดยจะทำการวัดอุณหภูมิทุก ๆ 10 วินาที และทำการเก็บข้อมูลบันทึกเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

3. เมื่อเวลาของการทดลองผ่านไปประมาณ 13 นาที เปิดวาล์วจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงเข้าเตาแก๊สทั้งหมด 2 เตา และจุดไฟที่หัวเตาแก๊สและให้ความร้อนแก่น้ำที่บรรจุในหม้อที่วางบนหัวเตาแก๊ส น้ำหนักของน้ำในแต่ละหม้อประมาณ 15 กิโลกรัม ทำการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟ และน้ำในหม้อที่เปลี่ยนแปลงไป ทุก ๆ 1 นาที และบันทึกน้ำหนักของน้ำทั้งก่อนและหลังต้ม (ดังรูปที่ 8)

4. ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิงลงในถุงเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซชนิดต่างๆ ที่มีในก๊าซเชื้อเพลิงตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

5. เมื่อเวลาของการทดลองผ่านไปประมาณ 16 นาที ทำการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้น้ำมันเบนซิน 91 เป็นเชื้อเพลิง (ดังรูปที่ 9)



รูปที่ 8 การทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สชุดต้ม เพื่อผลิตพลังงานความร้อน



รูปที่ 9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการดัดแปลงให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้ทั้งน้ำมันเบนซิน 91 และก๊าซเชื้อเพลิง

ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยน้ำมันเบนซินเป็นระยะเวลาประมาณ 7 นาที พร้อมกับทำการดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า จากนั้นจะเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการหมุนปรับวาล์วจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับการเดินเครื่องยนต์ และทำการดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น หลอดไฟขนาด 200 และ 100 วัตต์ (W) สปอร์ตไลท์ขนาด 500 และ 1000 W (ดังรูปที่ 10) ในขณะที่มีการไหลกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น จะทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่มีการจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที จนกระทั่งไม่สามารถที่จะไหลกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามายังอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ จึงจะสิ้นสุดการทดลอง

6. เมื่อปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ก็ จะทำการทำการหยุดการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปิดหัวเตา แก๊ส ปิดวาล์วท่อก๊าซเชื้อเพลิงที่เชื่อมต่อกับระบบนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์ และเปิดวาล์วท่อก๊าซที่จะทำการปล่อยก๊าซที่เหลือเพียงเล็กน้อยทิ้งสู่บรรยากาศภายนอกอาคาร



รูปที่ 10 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเป็นแหล่งเชื้อเพลิง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

หญ้าเนเปียร์สดที่ถูกตัดแบบหยาบ (ทั้งใบและลำต้น) มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 83.5 % (ดังตารางที่ 1) เมื่อเทียบกับหญ้าเนเปียร์ที่ผ่านกระบวนการตากแห้งและการตัดบดจนละเอียดเรียบร้อยแล้วจะมีความชื้นลดลงอย่างมาก

และจะมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 % ซึ่งถือว่ามีความชื้นไม่สูง และจะไม่ทำให้เกิดเชื้อราบนพืชเมื่อเราจัดเก็บพืชไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อรอการนำไปอัดเม็ดชีวมวล ในงานวิจัยนี้จะทำการแปรรูปต้นหญ้าเนเปียร์สดให้กลายเป็นหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียดในปริมาณมาก (การแปรรูปแต่ละครั้งจะใช้หญ้าเนเปียร์สดน้ำหนักประมาณ 200 กิโลกรัม) ดังนั้นการตากหญ้าเนเปียร์ที่บดละเอียดให้มีปริมาณความชื้นต่ำจึงเป็นสิ่งที่คำนึงถึงในการจัดเก็บชีวมวล และการตากแห้งหญ้าเนเปียร์ที่ถูกตัดบดในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่าภายนอกถึงสามเท่า จะช่วยลดเวลาในการลดความชื้นในพืช และช่วยให้การตัดบดหญ้าเนเปียร์ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยที่มีความเหนียว ทำได้ง่ายขึ้น

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางความร้อนของหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียด และหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดซึ่งใช้น้ำหมักเป็นเป็นตัวประสานในระหว่างกระบวนการอัดเม็ด แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจะพบว่า การอัดเม็ดหญ้าเนเปียร์จะทำให้ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ด (657 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) มีค่าสูงกว่าหญ้าเนเปียร์บดละเอียด (196 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งส่งผลต่อการจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บน้อยลงเมื่อเทียบกับชีวมวลที่มีน้ำหนักเท่ากัน นอกจากนี้การอัดเม็ดหญ้าเนเปียร์จะทำให้ชีวมวลมีขนาดและลักษณะที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกระบวนการ gasification ของหญ้าเนเปียร์ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่าความดันลด (pressure drop) ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และมีผลต่อกำลังของพัดลมที่ใช้งานในการจ่ายอากาศ และความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่านชั้นของชีวมวล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์ที่บดละเอียดซึ่งมีขนาดเล็กมากๆ จะทำให้อากาศแทรกเข้าไปในระหว่างชีวมวลได้น้อย ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีความร้อนเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ [4]

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหญ้าเนเปียร์สด แห้ง และอัดเม็ด (NPG-FS)

ชีวมวลตัวอย่าง	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
หญ้าเนเปียร์สด	83.5	0.1
หญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียด	7.5	0.2
หญ้าเนเปียร์อัดเม็ด (NPG-FS)	4.7	0.1



ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย ปริมาณความชื้นเฉลี่ย ปริมาณเถ้าเฉลี่ย และค่าความร้อนสูงเฉลี่ยของหญ้าเนเปียร์แห้ง และอัดเม็ด (NPG-FS)

ชีวมวล ตัวอย่าง	ค่าความ หนาแน่น รวมเฉลี่ย (kg/m ³)	ปริมาณ ความชื้น เฉลี่ย (%)	ปริมาณ เถ้าเฉลี่ย (%)	ค่าความ ร้อนสูง เฉลี่ย (MJ/kg)
หญ้าเนเปียร์ แห้งบดละเอียด	196 ± 1	7.5 ± 0.2	8.1 ± 0.17	16.98 ± 0.09
หญ้าเนเปียร์ อัดเม็ด	657 ± 3	4.7 ± 0.1	8.4 ± 0.6	18.10 ± 0.04

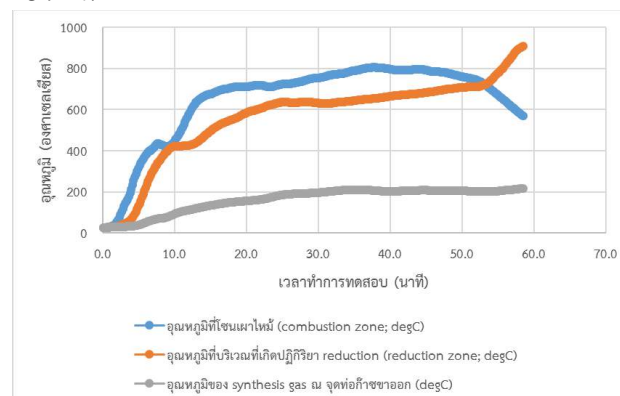
(NPG-FS)

นอกจากนี้ หญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานมีขนาดความยาวเฉลี่ย 18.31 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.34 มิลลิเมตร ปริมาณความชื้นเฉลี่ย 4.7% ปริมาณเถ้าเฉลี่ย 8.1% และมีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 18.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียด (16.98 MJ/kg) และมีค่าความร้อนสูงกว่าไม้กระถินยักษ์ (15.91 MJ/kg) เจ้ามันสำปะหลัง (14.59 MJ/kg) และแกลบ (12.39 MJ/kg) [2]

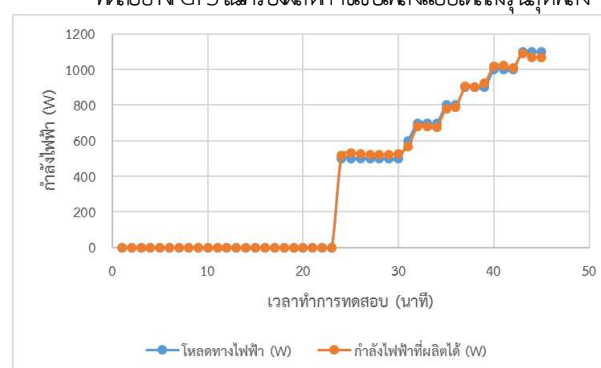
สำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลังดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.7 นั้น จะพบว่าก๊าซที่ผลิตได้จะประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจน 10.96 % v/v ก๊าซมีเทน 10.74 % v/v และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 3.64 % v/v ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 5.94 % v/v และก๊าซออกซิเจน (O₂) 4.49 % v/v ซึ่งก๊าซ CH₄ ก๊าซ H₂ และก๊าซ CO จะเป็นก๊าซที่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซ O₂ ได้ และจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สหุงต้มเพื่อผลิตพลังงานความร้อน โดยทำการเริ่มต้นจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงเข้าเตาแก๊สทั้งหมด 2 เต้าเมื่อเวลาของการทดลองผ่านไป 13.2 นาที (นับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจุดเตา gasifier) ซึ่งอุณหภูมิที่โซนเผาไหม้ อุณหภูมิที่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยา reduction ของ downdraft gasifier และอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 600 °C, 428 °C และ 115 °C ตามลำดับ (ดังรูปที่ 11) จากนั้นจึงทำการจุดไฟที่หัวเตาแก๊สทั้ง 2 เต้า เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงและปลดปล่อยความร้อนออกมา ซึ่งความร้อนที่ผลิตได้จะถูกส่งผ่านความร้อนไปยังหม้อทั้ง 2 ใบ และส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำ (น้ำหนักประมาณ 15 kg) ในแต่ละหม้อ (ดังรูปที่ 8) โดยเมื่อทำการจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงเข้าเตาแก๊สอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 45.3 นาที ผลปรากฏว่าอุณหภูมิของเปลวไฟที่หัวเตาแก๊สจะมีค่าอยู่ในช่วง 400 – 650 °C และพลังงานความร้อนที่ผลิตได้จะถูกส่งผ่านความร้อนไปยังหม้อและน้ำจนทำ

ให้น้ำเดือดและกลายเป็นไอล่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจากการทดสอบมาคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ (น้ำ 30.00 kg) จากอุณหภูมิ 28 °C ไปที่อุณหภูมิ 100 °C และพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอ จะมีค่าเท่ากับ 9028.8 kJ และ 1,670.2 kJ ตามลำดับ ค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 10,699 kJ

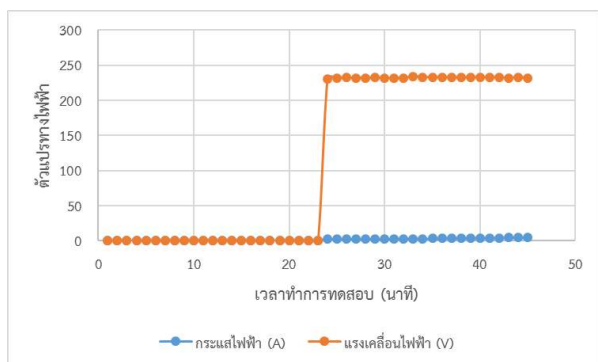
ผลการทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นพบว่า ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถที่จะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ เป็นระยะเวลานาน 22 นาที โดยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น หลอดไฟฟ้าขนาด 200 และ 100 W สปอร์ตไลท์ขนาด 500 หรือ 1000 W ได้ (ดังรูปที่ 10 และ 12 – 13) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 45.94 kW·h



รูปที่ 11 อุณหภูมิที่โซนเผาไหม้ อุณหภูมิที่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยา reduction และอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการทดสอบ NPGFS ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง



รูปที่ 12 โหลดทางไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เมื่อเทียบกับเวลา ที่ทำการทดสอบศักยภาพของ NPG-FS ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง



รูปที่ 13 กระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากกระบวนการ gasification ของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ด เมื่อเทียบกับเวลาทำการทดสอบ

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากกระบวนการ gasification ของหญ้าเนเปียร์อัดเม็ด ในเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง คือ การติดตั้งถังบรรจุก๊าซ (gas storage tank) เพื่อใช้เป็นแหล่งกักเก็บก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ก่อนที่จะนำไปใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้มีปริมาณก๊าซเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าสูงเกิน 1100 วัตต์ต่อ 1 นาที และอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงมีอัตราที่สม่ำเสมอและเพียงพอต่อปริมาณการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อีกทั้งจะทำให้มีก๊าซเพียงพอที่จะนำไปใช้กับเตาแก๊สได้มากกว่า 2 เตา ซึ่งจะช่วยให้เกิดการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

การผลิตหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดจะทำการตัดหญ้าเนเปียร์ให้มีขนาด 2-20 มิลลิเมตร และทำการตากหญ้าเนเปียร์จนกระทั่งคงเหลือความชื้นเท่ากับ 7.5 % จากนั้นจึงทำการผสมคลุกเคล้าหญ้าเนเปียร์แห้งบดละเอียดด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง (ในอัตราโดยน้ำหนักของส่วนหญ้าเนเปียร์บดละเอียดต่อน้ำหมักชีวภาพเท่ากับ 10 ต่อ 4) จากนั้นทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ flat die ซึ่งจะให้ได้หญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่มีขนาดความยาวเฉลี่ย 18.31 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.34 mm ปริมาณความชื้นเฉลี่ย 4.7% ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 657 kg/m³ และค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 18.10 MJ/kg

นอกจากนั้นหญ้าเนเปียร์อัดเม็ดที่ใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน น้ำหนัก 12 kg จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง ซึ่งจะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของก๊าซ H₂ 10.96 % ก๊าซ CH₄ 10.74 % และก๊าซ CO 3.64 % ซึ่งจะมีการทดสอบศักยภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สชุดต้มเพื่อผลิตพลังงานความร้อน

พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ (10,699 kJ) สามารถต้มน้ำที่มีน้ำหนัก 30.0 kg ให้เดือดและกลายเป็นไอน้ำ นอกจากนี้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถที่จะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ เป็นระยะเวลานาน 22 นาที โดยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและสามารถดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 100-1100 W ได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 45.94 kW-h

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 (รหัสโครงการวิจัย R2558C164)

ขอขอบคุณหน่วยงานกองอาคารสถานที่ สถานีวิจัยและฝึกอบรมบึงราชนก และภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องตัดกิ่งไม้ เครื่องตัดบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ และเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ไกรลาศ เขียวทอง. คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1. Available from: http://extension.dld.go.th/th1/images/stories/cattle_buff_bord/napiagrass.pdf [Accessed 4th February 2017].
- [2] เบญจมาภรณ์ ถนอมปิ่น. การประเมินวัฏจักรชีวิตของหญ้าเนเปียร์สำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2557.
- [3] ชนาภา วรรณศรี. การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชันของไม้ไผ่เร็ว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2551.
- [4] วรณัฐ แฉ่งสว่าง. เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แดเน็กซ์ อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น; 2556.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล. Available from: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=774&filename=index/ [Accessed 4th February 2017].
- [6] วิไลพร ลักษมีวานิชย์, กาญจนา สิริกุลรัตน์ และณัฐธัญญา บุญถึง. พฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของชุมชนตำบลช้างเคือง



อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. รายงานวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่; 2554.

การออกแบบและสร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน The Design and Construction of a Biogas Pressure Regulator for an Internal Combustion Engine

ประเทือง ฝั้นแก้ว* ไตรภพ เปณุจา สุทธิชัย สันติชัยชาญ และสุรสิทธิ์ ทองแดงห่วย
สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ที่ 17 ถนนพหลโยธิน ต.พิชัย อ. เมือง จ. ลำปาง 52000

Pratuang Funkeaw* Taripob Panuja, Sutichai Santichaichan, and Surasit Tongdanghung
Department of Mechanical Technology, Faculty of Engineering, University Rajamangala University of
Technology Lanna Lampang

200 moo 17, Phahonyothin Road, Mueang District, Lampang, Thailand 52000.

*ผู้รับผิดชอบบทความ: K_Pratuang@yahoo.com เบอร์โทรศัพท์ 054-342547-8 โทรสาร 054-342549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ปรับแรงดันก๊าซชีวภาพ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพให้มีความดันก๊าซคงที่ ทำให้ส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงคงที่ด้วย โดยอุปกรณ์ปรับแรงดันก๊าซชีวภาพดัดแปลงใช้ไดอะแฟรม ของหม้อต้มก๊าซแอลพีจี ยี่ห้อ LO GAS รุ่น SUPER ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร ปรับความดันก๊าซจากบ่อก๊าซชีวภาพเป็นแบบโดมคงที่ที่มีความดัน 2.18 ถึง 0.5 เมตรน้ำ ปรับให้เหลือความดัน 0.25 เมตรน้ำ เครื่องยนต์ที่ใช้ทำการทดสอบคือ เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน ยี่ห้อฮอนด้า รุ่น GX120 T1 ขนาด 200 ซีซี. 3.4 แรงม้า ขับเจนเนอเรเตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ ให้ภาระงานโดยใช้หลอดไฟฟ้า ผลการทดสอบได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 12.27 เปอร์เซ็นต์ โหลดทางไฟฟ้า 400 วัตต์ มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 7.7 ลิตรต่อนาที เครื่องปรับแรงดันก๊าซชีวภาพสามารถรักษาความดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ได้ในช่วง 0.22 ถึง 0.25 เมตรน้ำ ความดันแตกต่าง 0.03 เมตรน้ำ คิดเป็นคลาดเคลื่อน 12 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ ก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์ ปรับแรงดัน

Abstract

This research project was performed to design and construct a regulator pressure valve for biogas supplied to a biogas engine to keep the gas pressure constant. It kept the mixture of air and fuel constant. The regulator pressure valve for biogas modification used the diaphragm of a boiler LPG brand LO GAS, SUPER model. The diameter of the diaphragm was 125 mm. It adjusted pressure gas from the biogas is fixed dome digester. Pressure biogas at 2.18 to 0.5 mH₂O reduced at 0.25 mH₂O. The engine used for this test was a small gasoline engine, Honda model GX120 T1 with a displacement volume of 200 cm³ and a maximum power of 3.4 hp. It was used to drive a 1 kW generator workload while illuminating a light bulb. The results of testing were the performance of engine maximum power at 12.27% and electrical load 400 Watt. The rate of biogas fuel consumption was 7.7 liter/min. The biogas pressure valve regulator was able to maintain the biogas pressure before entering to the engine of 0.22 to 0.25 mH₂O; differential pressure 0.03 mH₂O. The margin of error was 12%.

Keywords: biogas, engine, regulator.

1. บทนำ

การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สันดาปภายในมีอยู่ 3 แบบ คือ เครื่องยนต์ก๊าซดีเซล (the gas diesel engine) เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (modification of a diesel

engine as a gas engine) และเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (the gas engine) ในฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็กจะมีบ่อก๊าซชีวภาพเป็นแบบโดมคงที่ขนาดของบ่อตั้งแต่ 50- 100 m³ นำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลให้แก่เครื่องยนต์ดีเซลเล็กเป็นต้นกำลังให้แก่พัดลม

ระบายความร้อนกับเครื่องปรับอากาศแบบ evaporative cooling system ในฟาร์มสุกรระบบปิด ซึ่งสมรรถนะเครื่องยนต์ดังกล่าวมีค่อนข้างต่ำและเกิดก๊าซไอเสียปริมาณมาก เนื่องจากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพกับอากาศไม่คงที่ เมื่อเริ่มสตาร์ทติดเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพในช่วงแรก ต้องปรับส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพได้พอดี แต่เมื่อความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพและเมื่อความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักลดลงทำให้ส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวภาพบางลง[1]

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อให้ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ในอัตราส่วนพอดีและคงที่ตลอด ต้องรักษาระดับความดันของก๊าซชีวภาพที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์คงที่เสมอ จึงต้องมีเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพจากบ่อก๊าซก่อนจ่ายให้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ก๊าซชีวภาพ (biogas, digester gas)

ก๊าซชีวภาพ (biogas, digester gas) หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทน ที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของสารอินทรีย์ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ [2]

2.2 เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (biogas engine)

การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงมีอยู่ 3 แบบ [3]

2.2.1 เครื่องยนต์ก๊าซดีเซล (gas diesel engine) คือนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคู่คือน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพโดยให้ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ส่วนการจุดระเบิดยังใช้น้ำมันดีเซลฉีดเข้าไปยังก๊าซชีวภาพกับอากาศที่อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ต้องการน้ำมันดีเซลเพื่อไปจุดระเบิดประมาณ 10-20 % ของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลปกติ ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันประมาณ 80-90 %

2.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (modification of a diesel engine into a gas otto engine) โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

ดีเซลที่อัดอากาศให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ซึ่งในการดัดแปลงเครื่องยนต์จะต้องกระทำดังนี้

1) เปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (compression ratio) ของเครื่องยนต์ให้ได้ประมาณ 10 - 12

2) เปลี่ยนการจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียน

3) เพิ่มอุปกรณ์ venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.2.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ (gas otto engine) โดยการนำเครื่องยนต์แก๊สโซลีนทั่วไปที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงมาเป็นก๊าซชีวภาพแทนโดยเปลี่ยนจากคาร์บูเรเตอร์ที่มีหน้าที่ผสมน้ำมันกับอากาศเป็นไอติมาเป็น venturi mixer gas ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศแทน เมื่อดัดแปลงแล้วมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 20 %

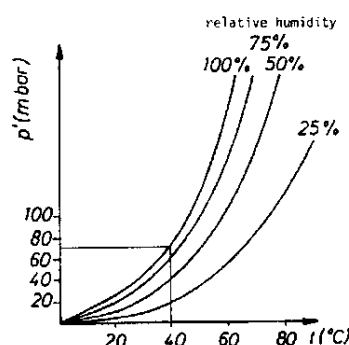
ตารางที่ 1 Features of Biogas Engines

Design data	Gas diesel	Gas Otto
Compression ratio (ϵ)	15....18	10....12
Excess air ratio (λ)	1.3....40	0.9....1.3
Specific fuel consumption	0.55....0.75 $\text{m}^3/\text{kW.h}$ (+pilot fuel)	0.65....1.0 $\text{m}^3/\text{kW.h}$
Exhaust gas temperature	500....700 $^{\circ}\text{C}$	500....900 $^{\circ}\text{C}$
Ignition type	Self-ignition of pilot injected into a hot compressed mixture of and gas which is ignited by the pilot fuel subsequently	As in other Otto engines

ที่มา: Mitzlaff (1988)

2.3 การคำนวณหาความร้อนของก๊าซชีวภาพ

การนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อน (H_u) ซึ่งจะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวมและอุณหภูมิในถังหมัก [2]



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความดันของไอน้ำกับความชื้น

สัมพัทธ์และอุณหภูมิในก๊าซชีวภาพ [3]

สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

$$\%CH_4 = 100\% - \%CO_2 \quad (1)$$

ความดันของก๊าซชีวภาพ (P_{act})

$$P_{act} = P_a + P_d - P' \quad (2)$$

โดย p_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar

P_a คือ ความดันบรรยากาศ, mbar

P_d คือ ความดันในบ่อหมัก, mbar

P' คือ ค่าความดันของไอน้ำหาได้จากรูปที่ 1

ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ($\rho_{CH_4,act}$) ในก๊าซชีวภาพ

$$\rho_{CH_4,act} = \frac{\rho_{CH_4,std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \quad (3)$$

$\rho_{CH_4,act}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน, kg/m^3

$\rho_{CH_4,std}$ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่สภาวะ

มาตรฐาน = $0.72 kg/m^3$

P_{act} คือ ความดันของก๊าซชีวภาพ, mbar

T_{std} คือ อุณหภูมิของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน (273 K)

P_{std} คือ ความดันของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน
= 1013 mbar

T_{act} คือ อุณหภูมิของก๊าซชีวภาพ, K

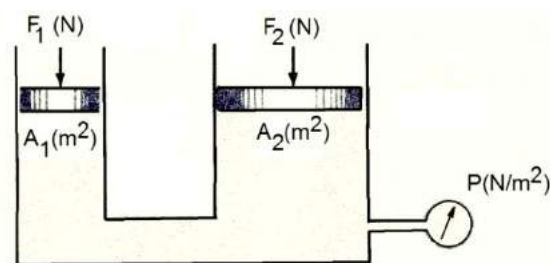
โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ใช้งาน ($H_{u,act}$) จะสัมพันธ์กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (V_{CH_4}/V_{total}) ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนที่ใช้งาน ($\rho_{CH_4,act}$) และค่าความร้อนต่ำของก๊าซมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน ($H_{u,act} = 50,000 kJ/kg$)

$$H_{u,act} = \frac{V_{CH_4}}{V_{total}} \times \rho_{CH_4,act} \times H_{u,std} \quad (4)$$

2.4 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

2.4.1 แรงสถิตของของไหล

ทฤษฎีของปาสคาล ได้กล่าวถึงการถ่ายทอดความดันแบบไม่เคลื่อนที่ ซึ่งปาสคาลได้ทดลองพิสูจน์ให้เห็นจริง และสรุปเป็นทฤษฎีว่า “เมื่อทำให้เกิดความดันต่อของไหลที่อยู่ในภาชนะปิดจะเกิดแรงกระทำต่อทุกๆ ส่วนของผิวภาชนะในแนวตั้งฉาก” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [4]



รูปที่ 2 ทฤษฎีของปาสคาล [4]

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

โดย P คือ ความดัน, N/m^2

F คือ แรงที่กระทำ, N

A คือ พื้นที่ถูกกระทำ, m^2

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (6)$$

เครื่องวัดความดันนั้นโดยปกติแล้วจะแสดงผลออกมาเป็นความดันที่มากกว่าหรือน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ความดันที่แตกต่างจากบรรยากาศนี้เรียกว่า “ความดันเกจ (Gauge Pressure)”

2.4.2 ความดันกับระดับความลึกของของไหล

ค่าความดันในของไหล (ของเหลว) จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดหรือความใหญ่ของภาชนะที่บรรจุโดยค่าความแตกต่างกันของความดันของจุด 2 จุดที่มีความลึกที่แตกต่างกันในของไหลสามารถหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$P_2 - P_1 = \rho g(h_2 - h_1) = \gamma(h_2 - h_1) \quad (7)$$

โดยในสมการนี้

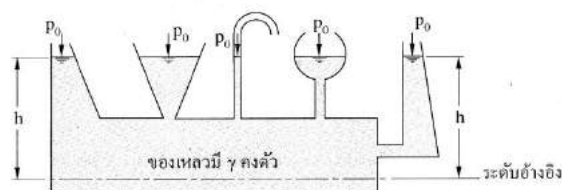
$P_2 - P_1$ คือ ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

G คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

$(h_2 - h_1)$ คือ ค่าความแตกต่างกันของความลึกในของเหลว, m

จากรูปที่ 3 ความดันของจุดทุกจุดบนเส้นระดับอ้างอิงซึ่งมีความลึกเท่ากัน คือ h จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งค่าที่ได้มีได้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของภาชนะ



รูปที่ 3 ของเหลวที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่มีรูปทรงแตกต่างกัน [5]

2.4.3 เครื่องมือวัดความดันแบบหลอดแก้วรูปตัวยู (U tube manometer)

เครื่องมือวัดความดันแบบหลอดแก้วรูปตัวยู (U tube manometer) เกจวัดความดันแบบนี้อาศัยการทำงานโดยเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube) ที่บรรจุด้วยของเหลวซึ่งอาจจะเป็นปรอทหรือน้ำ ปลายข้างหนึ่งของหลอดเปิดสู่ความดันบรรยากาศ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งต่อเข้ากับความดันของระบบที่ต้องการวัดความดัน ดังรูปที่ 4 และหาความดันได้จากสมการ

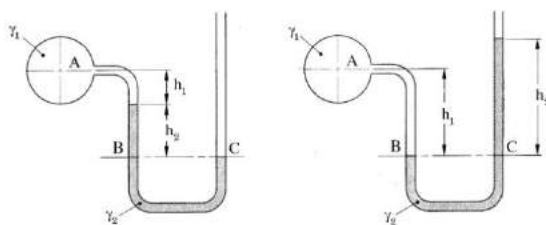
$$P = \rho gh \quad (8)$$

กำหนดให้ P คือ ความดันเกจ, N/m^2

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

G คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

H คือ ความสูงของของไหล, m



(ก) ความดันต่ำกว่า P_o (ข) ความดันสูงกว่า P_o
รูปที่ 4 มานอมิเตอร์แบบหลอดแก้วตัวยู[5]

2.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพความร้อน (thermal efficiency) ประสิทธิภาพทางความร้อนเครื่องยนต์ คือ ความสามารถของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นพลังงานกลที่ส่งต่อไปใช้งาน ส่วนมากในเครื่องยนต์นิยมบอกเป็นประสิทธิภาพทางความร้อนเบรกหรือบนฐานเบรก (brake thermal efficiency; η_{bt}) [6]

$$\eta_{bt} = \frac{P_b}{m_f \times HHV} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ P_b คือ กำลังม้าเบรก, kW

m_f คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, kg/s

HHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, kJ/kg

2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ในวิจัย

1) เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน ยี่ห้อ ฮอนด้า รุ่น GX 120 T1 ขนาด 200 CC. 4 จังหวะ 3.4 HP อัตราส่วนการอัด

8.5:1 [7] เปลี่ยนคาร์บูเรเตอร์เดิมเป็นคาร์บูเรเตอร์ก๊าซชีวภาพสามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้

2) เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 1 kW ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm

3) เครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพสร้างขึ้น

4) Gas Meter ยี่ห้อ AMPY Email Metering รุ่น HP 750

5) มานอมิเตอร์วัดแรงดัน

6) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 78

7) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ Emissions Systems, INC (EMS). รุ่น 5002

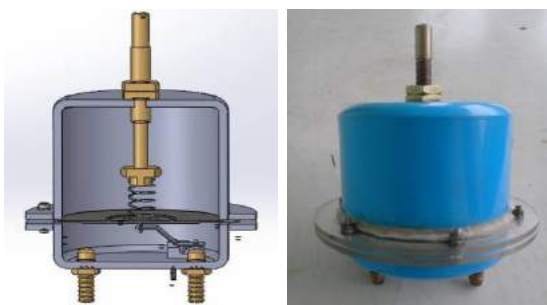
2.7 วิธีการวิจัย

2.7.1 ข้อมูลก๊าซชีวภาพ

เก็บข้อมูลก๊าซชีวภาพ ก่อนการสร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีบ่อหมักแบบโดมคงที่ ที่ฟาร์มชมรมนี้แก้ว 415/11 ตำบลศาลา อำเภอกะเคา จังหวัดลำปาง 52130 โดยค่าต่างๆ ของก๊าซชีวภาพได้ค่าเฉลี่ยดังนี้ ก๊าซชีวภาพมี CH_4 67 %โดยปริมาตร ความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 1191.9 mbar ความชื้นสัมพัทธ์ 84 % และอุณหภูมิ $32^\circ C$ ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน (H_u) 25,402.15 kJ/m^3

2.7.2 สร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ

การวิจัยมีจุดประสงค์ต้องการรักษาความดันของก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์สันดาปภายในให้คงที่ โดยใช้หลักการของเครื่องปรับความดันทั่วไป ที่ใช้ความดันต่ำมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ ขณะที่ความดันสูงมีพื้นที่หน้าตัดน้อย และกลไกการควบคุมช่วย ดังรูปที่ 3 ประยุกต์ใช้แผ่นไดอะแฟรมของหม้อต้มก๊าซ LPG ยี่ห้อ LO GAS รุ่น SUPER มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 mm มาเป็นพื้นที่หน้าตัดความดันต่ำ กลไกคานงัดอัตราส่วน 2.267:1 คำนวณได้พื้นที่หน้าตัดด้านความดันสูง 38 mm วัสดุใช้สร้างเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพทำจาก สแตนเลส, ทองเหลือง, ยาง และพลาสติก ที่ทนต่อการกัดกร่อนจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3 เครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้น

2.7.3 ทดสอบการทำงานของเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ

ทดสอบการทำงานของเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ ทำการทดสอบเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพขั้นต้นก่อนว่า เครื่องดังกล่าวสามารถทำงานได้จริง โดยใช้ความดันอากาศจากเครื่องอัดอากาศมาควบคุมความดันเท่าความดันของบ่อก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ที่ 1 mH₂O ผ่านเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ ปรับแรงดันอากาศด้านออกจากเครื่องให้ได้ประมาณ 0.25 mH₂O เพิ่มแรงดันอากาศที่เข้าเครื่องทีละ 0.25 mH₂O จนถึง 2 mH₂O บันทึกผลความดันอากาศด้านออกจากเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 4

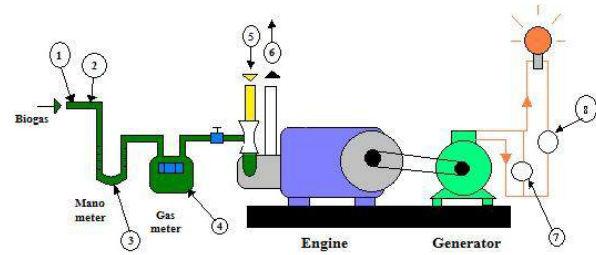


รูปที่ 4 การทดสอบเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ

2.7.4 ทดสอบเครื่องยนต์เมื่อมีเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ

2.7.4.1 ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่มีเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ

โดยติดตั้งเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพปรับความดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน ยี่ห้อฮอนด้า รุ่น GX 120 T1 ขนาด 200 CC. 4 จังหวะ 3.4 HP อัตราส่วนการอัด 8.5:1 ดัดแปลงคาร์บูเรเตอร์สามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้โดยตรงกับ เจน-เนอเรเตอร์ ขนาด 1 kW ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ทดสอบที่กัลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt โดยปรับอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ ตั้งองศาการจุดระเบิด ให้เครื่องยนต์ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด วัดอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและปริมาณก๊าซไอเสีย ทดสอบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

2.7.4.2 ทดสอบการทำงานและเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์

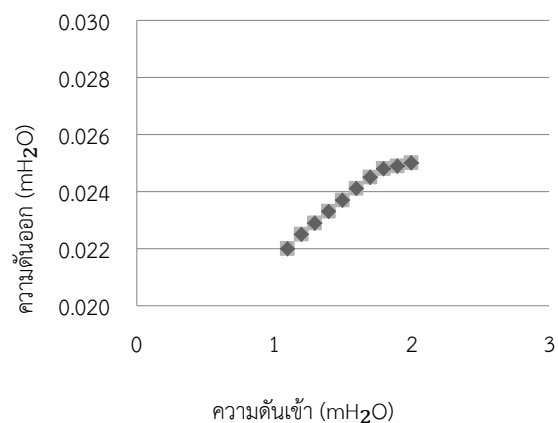
เมื่อมีเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพช่วยปรับความดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ จดบันทึกผลการเริ่มสตาร์ทเครื่องทุกเช้า และเมื่อความดันก๊าซชีวภาพจากบ่อก๊าซแบบโดมคงที่เปลี่ยนไป จาก 1 mH₂O เพิ่มทีละ 0.25 mH₂O จนถึง 2 mH₂O ผลที่ได้เครื่องยนต์ยังสตาร์ทติดง่ายและทำงานได้เป็นปกติหรือไม่

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

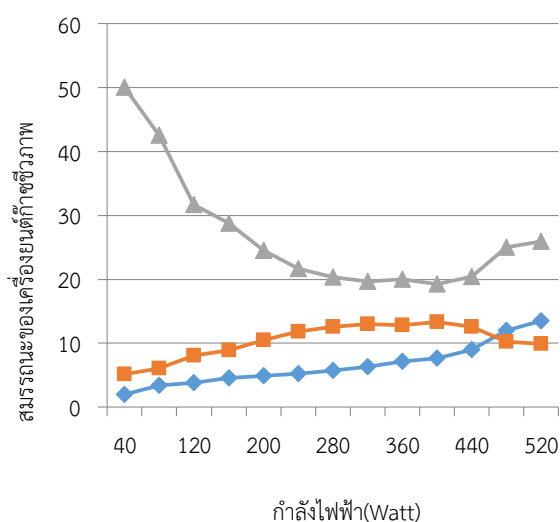
ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เท่ากับความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์ต่อตรงกับเจนเนอเรเตอร์

3.1 ผลการวิจัย

1) ผลทดสอบการทำงานของเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ ทดสอบขั้นต้น โดยใช้ความดันอากาศจากเครื่องอัดอากาศมาควบคุมความดัน ได้ผลการทดสอบคือ เครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมความดันอากาศที่เข้าเครื่องในช่วง 1.75-2 mH₂O ความดันด้านออกค่อนข้างคงที่ที่ 0.25 mH₂O เมื่อความดันด้านเข้าต่ำกว่า 1.75 mH₂O ถึง 1 mH₂O ความดันด้านออกเริ่มมีความชัน โดยอยู่ในช่วง 0.22-0.25 mH₂O ความดันด้านออกมีความแตกต่างกัน 0.03 mH₂O คิดเป็น คลาดเคลื่อน 12% ของ 0.25 mH₂O



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ความดันเข้าออกเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ



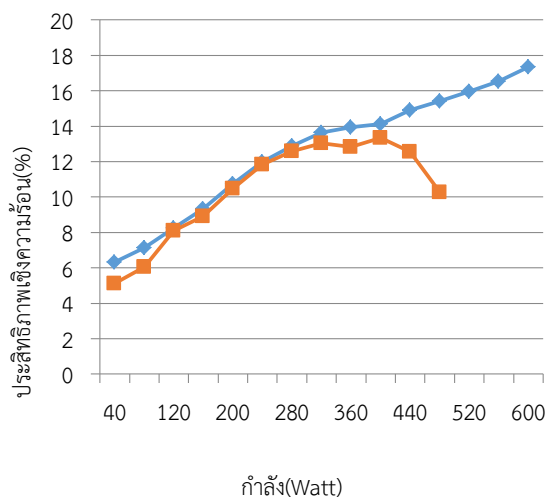
- ◆ อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ(liter/min)
- ประสิทธิภาพทางความร้อน(%)
- ▲ ปริมาณสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ,sfc(liter/kW.min)

รูปที่ 7 การทดสอบเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

2) ผลการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อมีเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน ยี่ห้อฮอนด้า รุ่น GX 120 T1 เปลี่ยนคาร์บูเรเตอร์เดิมเป็นคาร์บูเรเตอร์ก๊าซชีวภาพ สามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้ ต่อตรงกับเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 1 kW ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ทดสอบที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ กันเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40 Watt ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 7 เครื่องยนต์ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 12.27% ที่กำลัง 400 Watt อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 7.7 liter/min และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 19.25 liter/kW.min

3) ผลการทดสอบการทำงานและเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ ทำการทดสอบ 10 วันทำการ ตอนเช้าของทุกวันเครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย โดยไม่ต้องปรับสกรูปรับอัตราส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวภาพ และเครื่องยนต์ยังทำงานได้ดีเมื่อความดันของบ่อก๊าซชีวภาพ ในช่วง 2.1-1.55 mH₂O และความดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์อยู่ในช่วง 0.25-0.23 mH₂O

4) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 95 เป็นเชื้อเพลิง กับก๊าซชีวภาพ ดังกราฟรูปที่ 8 โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดใกล้เคียงกันที่ภาระงานเท่ากัน แต่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 95 เป็นเชื้อเพลิง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเล็กน้อย และยังสามารเพิ่มภาระงานได้อีก แต่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเพิ่มภาระงานได้สูงสุดเพียง 520 Watt เท่านั้น



- ◆ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)แก๊สโซลีน 95
- ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)ก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันแก๊สโซลีน 95 กับก๊าซชีวภาพ

3.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) เครื่องปรับแรงดันก๊าซชีวภาพสามารถปรับแรงดันก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเครื่องยนต์ได้ โดยอาศัยหลักแรงดันต่ำมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ ขณะที่ความดันสูงมีพื้นที่หน้าตัดน้อย ตามหลักการทฤษฎีของปาสคาล

2) เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังงานที่ได้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพต่ำกว่าน้ำมัน

3) เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงไม่สตาร์ทติด เช่นเดียวกับการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยช่วงสตาร์ทต้องจ่ายก๊าซชีวภาพพร้อมกับขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ หากจ่ายก๊าซชีวภาพก่อนสตาร์ทเครื่องยนต์ ทำให้ส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงหนาเกินไป เครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด

4. สรุปผลการวิจัย

1) เครื่องปรับแรงดันก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมความดันก๊าซชีวภาพได้ โดยรักษาระดับความดันด้านออก 0.22-0.25 mH₂O ที่ความดันด้านเข้าในช่วง 1-2 mH₂O ได้ค่าความแตกต่างความดันด้านออก 0.03 mH₂O คิดเป็นคลาดเคลื่อน 12%

2) ผลการทดสอบเครื่องยนต์ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 12.27% ที่กำลัง 400 Watt ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3000 rpm อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซ



ชีวภาพ 7.7 liter/min และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
19.25 liter/kW.min

3) เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อโดม
คงที่ เมื่อติดตั้งเครื่องปรับความดันก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์
สตาร์ทติดง่าย และทำงานเป็นปกติแม้ความดันจากบ่อก๊าซ
ชีวภาพจะเปลี่ยนไป

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการการออกแบบและสร้างเครื่องปรับแรงดันก๊าซ
ชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นโครงการที่ได้รับ
ทุนอุดหนุนวิจัย โครงการยกระดับปริญญานิพนธ์เป็นงานวิจัย
ตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน
ประเภททุน HRM: Hands-on Researcher (Medium)
30,000 บาท/ทุน งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558 จาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จึงขอขอบพระคุณ
มา ณ ที่นี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Funkeaw P.(2005) *Optimal Operating Conditions of a Vapor-Compression Air-Conditioning System Driven by a Biogas-Fueled Internal Combustion Engine*. M thesis. Chiang Mai University, Thailand
- [2] Wikipedia. *Biogas*: Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Biogas>[Accessed 10th April 2016]. Thai.
- [3] Mitzlaf KV.(1988). *Engine for Biogas*. Federal Republic of Germany, Lengericher Handelsdruckerei
- [4] Chinintron P and Sintipsomboon, K. (2001) *Pneumatics industry*. Bangkok: SE-Education, Thailand.
- [5] Pirunkaset M. (2011). *Fluid mechanics*. Withayapat, Bangkok, Thailand.
- [6] Pirunkaset M.(2001). *Internal Combustion Engines*. SE-Education, Bangkok, Thailand.
- [7] Suetrong A. (2001). *Auto Data 2. 3th ed*, Peang22-jatujak, Bangkok, Thailand.

คำแนะนำในการเขียนบทความ

วัตถุประสงค์ของวารสาร

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ.2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่น่าสนใจด้าน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของบทความ

บทความวิจัย (research articles) เป็นรายการวิจัย หรือ รายงานทางวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งสร้างความก้าวหน้าวิชาการ โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสือ

บทความปริทัศน์ (review articles) เป็นบทความที่รวบรวมความรู้เชิงวิชาการเรื่องใดเรื่องหนึ่งจากวารสารหรือหนังสือ โดยมีการวิเคราะห์และวิจารณ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกอย่างแท้จริง

การส่งบทความ

นักวิจัยและผู้สนใจที่สนใจตีพิมพ์บทความในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สามารถจัดส่งบทความโดยมีรายการดังต่อไปนี้ คือ (1) ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด (2) จดหมายนำส่งที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Adobe Acrobat จำนวน 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้งทางอีเมล EngineeringJournal@rmutl.ac.th และทางไปรษณีย์

ที่อยู่และสถานที่จัดส่งจดหมาย

“กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา”

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัด
เชียงใหม่ เบอร์โทรศัพท์ 053921444 ต่อ1236

กำหนดการตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (รายหกเดือน)

กรณีที่บทความได้รับการตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะแจ้งรายละเอียดที่ต้องแก้ไขครั้งสุดท้ายให้ผู้เขียนบทความทราบ หลังจากที่ได้พัฒนาบทความฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนบทความจะต้องส่งเอกสารดังนี้ คือ 1) ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้งทางอีเมล และทางไปรษณีย์ตามที่อยู่ที่กล่าวไว้ในข้างต้น

โครงสร้างของบทความ

1. บทนำ
2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

การเตรียมบทความ

1. การพิมพ์บทความใช้แบบอักษร TH SarabunPSK ขนาดตัวอักษรเท่ากับ 14 ใช้กระดาษขนาด A4 ซึ่งมีความกว้าง x ยาว เท่ากับ 21.2x29.7 ซม. พิมพ์ด้านเดียว โดยระยะห่างระหว่างบรรทัดเท่ากับหนึ่งช่อง และพิมพ์ห่างระยะห่างจากขอบกระดาษเท่ากับ 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านบน 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านล่าง 2.0 ซม. ริมขอบกระดาษด้านซ้าย 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านขวา 2.0 ซม.

2. ทุกด้านข้างของกระดาษ ส่วนตัวเลขหน้ากำหนดให้อยู่ด้านล่างขวา จำนวนหน้าของบทความทั้งหมดไม่ควรเกิน 8 หน้ากระดาษขนาด A4

3. ภาพประกอบทุกภาพและตารางควรมีการอ้างอิงในบทความ รูปภาพที่เป็นดิจิทัลควรเลือกใช้รูปแบบ eps tiff หรือ jpg และมีความละเอียดของภาพไม่น้อยกว่า 300 dpi

4. ตัวเลขที่ใช้เป็นเลขอารบิกเท่านั้น

5. ตารางที่ใช้ต้องมีหัวข้อและเชิงอรรถเพื่อบรรยายคำย่อ สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายที่ใช้

6. หน่วยที่ใช้ควรใช้ระบบหน่วย International System Units หรือ SI โดยในบทความต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ

7. คำภาษาไทยให้ใช้ตัวสะกดตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน

8. ศัพท์ภาษาอังกฤษให้แปลเป็นภาษาไทย ให้ใช้คำที่ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติได้กำหนดไว้ให้ ในกรณีที่ไม่มียังไม่ถูกกำหนด ให้เขียนภาษาอังกฤษในวงเล็บด้านหลังเฉพาะครั้งแรกเท่านั้น

9. การย่อคำและการกำหนดสัญลักษณ์ให้ใช้เฉพาะคำย่อมาตรฐานโดยควรกำหนดคำเต็มก่อนครั้งแรกและอ้างอิงคำย่อไว้ท้าย

ส่วนประกอบของบทความ

1. ชื่อเรื่องที่ใช้ควรกระชับและชัดเจนแต่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด และไม่ควรใช้ตัวอักษรย่อ

2. บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องแสดงรายละเอียดและระบุ ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการวิจัย ผลการวิจัย สรุปผล โดยความยาวของบทความไม่ควรเกิน 250 คำ และมีคำสำคัญประมาณ 3-5 คำ ส่วนการค้นในบทความภาษาไทย ให้ใช้ เว้นวรรค และเรียงตามตัวอักษร ส่วนการค้นคำสำคัญให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คำสำคัญภาษาอังกฤษต้องให้ความหมายเหมือนคำสำคัญภาษาไทย และมีจำนวนเท่ากับคำสำคัญภาษาไทย

3. เนื้อเรื่องของบทความจะประกอบไปด้วย บทนำ ทฤษฎี และวิธีการวิจัย ผลการวิจัยและอภิปราย บทสรุป กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง

3.1 บทนำ จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย สมมติฐาน ซึ่งเชื่อมโยงกับผลการวิจัย

3.2 ทฤษฎีและวิธีการวิจัย จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดของวัสดุและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา โดยรายละเอียดที่แสดง สามารถนำไปทดลองหาซ้ำได้

3.3 ผลการศึกษาจะต้องแสดงเป็นหมวดหมู่และสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของบทความซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงในรูปแบบตารางและรูปภาพได้ แต่ต้องไม่ซ้ำกับเนื้อหาที่เขียนในส่วนนี้ ส่วนตำแหน่งการวางรูปภาพจะต้องอยู่หลังจากคำแนะนำหรือบรรยายบทความ ผู้เขียนอาจวางรูปใกล้กับรูปอื่นโดยจัดให้อยู่บริเวณด้านบนสุดหรือล่างสุดของบทความ โดยในแต่ละช่วงของผลการวิจัย ผู้เขียนสามารถเขียนบทวิจารณ์ และวิจารณ์ได้ทุกส่วนประกอบของบทความและผลของการวิจารณ์จะต้องแสดงองค์ความรู้ใหม่ที่ได้รับผลประโยชน์ที่ได้รับ รวมทั้งรายละเอียดของปัญหาและอุปสรรคต่างๆ

3.5 สรุป เป็นการกล่าวถึงผลโดยย่อและข้อสรุปจากบทวิจารณ์

3.6 กิตติกรรมประกาศ เป็นส่วนที่กล่าวขอบคุณถึงองค์กร หรือบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนต่อผู้เขียน

3.7 เอกสารอ้างอิง ซึ่งการเขียนเอกสารอ้างอิงสามารถแสดงในลำดับถัดไป โดยใช้รูปแบบการอ้างอิงแบบ

การพิจารณาถ้อยแถลง

บทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับการถ้อยแถลงจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน โดยใช้เวลา

ประมาณ 4-8 สัปดาห์ ในกรณีที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้แก้ไข ผู้เขียนต้องพิจารณาแก้ไขหรือชี้แจงเพิ่มเติมให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนมีความเห็นตรงกัน และบทความได้แก้ไขเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถดำเนินการขั้นตอนการตีพิมพ์บทความในวารสารได้

สำเนาพิมพ์

ผู้เขียนบทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับวารสาร 1 ฉบับ และสำเนาพิมพ์ (Reprint) เรื่องละ 5 ชุด โดยหากผู้เขียนต้องการจำนวนมากกว่านี้จะต้องแจ้งให้ทราบเมื่อส่งบทความฉบับแก้ไขครั้งสุดท้ายและต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมตามอัตราที่กำหนดโดยสำนักพิมพ์

ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากวารสาร

- [1] Pennington, D.S., Nash, D.F.T., and Ling, M.L. (1997). Horizontally mounted bender element for measuring anisotropic shear moduli in triaxial clay specimens, *Geotechnical Testing Journal*, vol. 24(2), pp. 133 – 144.
- [2] ภราดร กาญจนสุธรรม นิพนธ์ ตั้งธรรม และ เรืองโร โตกฤษณะ (2557). การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) : กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(1), หน้า 55 –66.

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] Schofield, A.N. and Wroth, C.P. (1968). *Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, London
- [2] Cook, R. D., Malkus, D. S. and Plesha, M. E. (2001). *Concept and Applications of Finite Element Analysis*, 3rd edition, John Wiley, New York.
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2547). *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากเอกสารประกอบการประชุม

- [1] Armstrong, D. B., Fogarty, G. J., & Dingsdag, D. (2007) Scales measuring characteristics of small business information systems. In W-G. Tan (Ed.), *Proceedings of Research, Relevance and Rigour: Coming of age: 18th Australasian Conference on Information Systems*, Toowoomba, Australia, pp 163 – 171.

ตัวอย่างการอ้างอิงบทความจากเอกสารประกอบการประชุมฉบับอิเล็กทรอนิกส์

- [1] Fan, W., Gordon, M.D. and Pathak, R. (2000). Personalization of search engine services for

effective retrieval and knowledge management, *Proceedings of the twenty-first international conference on information systems*, pp. 20 – 34. Available from: ACM Portal: ACM Digital Library. [24 /6/2004].

ตัวอย่างการอ้างอิงวิทยานิพนธ์จากฐานข้อมูล

- [1] Ignatov, I. (2013). *Eastward voyages and the late medieval European worldview* (Master dissertation), University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, URL: <http://hdl.handle.net/10092/9187>

ตัวอย่างการอ้างอิงวิทยานิพนธ์ที่จัดพิมพ์

- [1] Considine, M. (1986). *Australian insurance politics in the 1970s: Two case studies* (Doctoral dissertation), University of Melbourne, Melbourne, Australia.

ตัวอย่างการอ้างอิงรายงานและมาตรฐาน

- [1] American Concrete Institute (2001). *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing* (ACI T1.1-01)
- [2] จุฬารพร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธุนิตย์ และ ปันทดา เพ็ชรสิงห์ (2529). รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคาม่วง, โครงการวิจัยระบบการทาฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 54 – 57.
- [3] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2554). มาตรฐานประกอบกรอกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1301-54)

ตัวอย่างการอ้างอิงเว็บไซต์

- [1] U.S. Geological Survey (2012). *National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation)*, URL: <http://waterdata.usgs.gov/nwis>, access on 11/06/2012.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2004). *Statistic Data*, URL: <http://www.dede.go.th>, access on 24/04/2010.
- [3] สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2550). *ชื่อธาตุ* [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.royin.go.th> , สืบค้นวันที่ 24/04/2010.ข



จดหมายนำส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เรียน หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ข้าพเจ้ามีความประสงค์ขอเสนอบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอรับรองว่าบทความนี้เป็นบทความต้นฉบับ ไม่มีส่วนลอกเลียนผลงานของผู้ใดและผลงานนี้ไม่ได้ส่งตีพิมพ์ผลงานในวารสารฉบับอื่นแล้วแต่ได้รับการปฏิเสธมาก่อน ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้าพเจ้ามีส่วนร่วมในการศึกษาและได้รู้เห็นข้อมูลทั้งหมดในบทความอย่างครบถ้วนรวมทั้งได้ตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของเนื้อหาเป็นอย่างดีแล้ว

ประเภทบทความ ○ บทความวิจัย ○ บทความปริทัศน์

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ชื่อผู้เขียนที่ติดต่อเกี่ยวกับบทความ.....

สถานที่ติดต่อ

.....

โทรศัพท์E-Mail.....

