

การศึกษาสมบัติและส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวจากไม้ไผ่

The Study of Property and Ingredients of Wood Pellet from Bamboo

วัชรกร ชัยวัฒนพิพัฒน์¹, จักรกฤษ มะโนนัย¹, พงศ์สิทธิ์ เฟื่องอยู่¹ และ ชาลิณี ฟีพัฒน์พิภพ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัทยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: rug_chalineee@hotmail.com*

Watcharakorn Chaiwattanapipat¹, Jakkit Manonai¹, Pongsit Feungoui¹ and

Chalineee Phiphattanaphiphop²*

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Chiang Mai

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

E-mail: rug_chalineee@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวประสบปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแท่งเชื้อเพลิง ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำไม้ไผ่ซึ่งเป็นพืชที่เติบโตได้ง่ายมาทดแทนวัสดุที่ขาดแคลนอีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุ โดยนำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางในการศึกษาหาค่าพลังงานที่ดีที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลการทดลองนี้ คือ 1. สัดส่วนผสมของเปลือกถั่วเหลืองที่ 50% 2. แรงอัด 84 kg/cm² และ 3. ความชื้น 8% ทำให้ได้ค่าพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 4,736 แคลอรีต่อกรัม โดยทั้ง 3 ปัจจัยนี้มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และได้ค่าสมการทำนายผลการทดลองนี้คือ ค่าพลังงาน = 5,737 + 5.61 (ส่วนผสม) - 4.1 (แรงอัด) - 117 (ความชื้น) เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าไรสุทธิต่อกรัมที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ 1,650 บาทต่อตัน แต่ราคารับซื้อจะคิดที่เกณฑ์ของพลังงานที่ 4,500 แคลอรีต่อกรัมขึ้นไปและไม่ได้ปรับราคาตามค่าพลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ได้กำไรที่มากขึ้นจึงได้ปรับพารามิเตอร์จากสมการคำนวณผลโดยกำหนดให้สัดส่วนผสมอยู่ที่ 10% แรงอัดที่ 84 kg/cm² และความชื้น 8% จะได้ค่าพลังงานที่ 4,513 แคลอรีต่อกรัมทำให้ได้กำไรสุทธิที่ 2,571 บาทต่อตัน

คำหลัก: แท่งเชื้อเพลิงชีว, การออกแบบการทดลอง, การออกแบบส่วนประสมกลาง

Abstract

Currently, wood pellet is experiencing a shortage of materials to be used to make wood pellet. The research groups have the idea of bringing bamboo, which is a plant that can grow easily to make a wood pellet which to replace the scarce material and add value to the material. The Design of experiments, DOE was used in this study by this data were analyzed by the surface response method with the design of the central composite design, CCD for the energy to optimal solution. The results showed that: The First, The proportion of soybean husk at 50%. Second, Strength of Compression at 84 kg/cm² and the last, Moisture content of 8 % with gave the optimal solution of energy 4,736 Cal/g. All three factors have a P-value of less than 0.05, which concludes

that the three factors have the significance. The equation for predicting is $\text{Energy} = 5,737 + 5.61 * (\text{mixture}) - 4.1 * (\text{compression}) - 117 * (\text{moisture})$. Analyzing the net profit, it will be 1650 baht/ton. And the purchase price of standard in the energy of over 4,500 Cal/g and not adjusted for the price of more energy. Therefore, in order to obtain more profit, the parameters were adjusted from the predicting equation. The mix ratio was 10%. The compression ratio of 84 kg/cm² and the moisture content of 8% had an energy value of 4,513 Cal/g. Wood pellet gets a net profit of 2,570 Baht/ton.

Keywords: Wood pellet, Design of experimental-DOE, Central composite design-CCD

1. บทนำ

แท่งเชื้อเพลิงเขี้ยว คือ แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดวัสดุชีวมวลที่เป็นพืชต่าง ๆ หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ผักตบชวา ฟางข้าว เป็นต้น โดยสามารถแยกการอัดขึ้นรูปได้ 2 แบบคือการขึ้นรูปโดยใช้ความร้อน และการขึ้นรูปโดยไม่ใช้ความร้อน ขึ้นอยู่กับลักษณะของชีวมวล เมื่อนำมาอัดเป็นแท่งแล้วก็จะได้เชื้อเพลิงเขี้ยว โดยนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานในแง่ของพลังงานความร้อน ทั้งในด้านการให้ความอบอุ่น ใช้ในการหุงต้มอาหาร และในระดับอุตสาหกรรมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานในด้านต่าง ๆ เพื่อเดินเครื่องจักร หรือผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ซึ่งเชื้อเพลิงเขี้ยวจากวัสดุเหลือใช้มักจะนำมาใช้ในครัวเรือนที่มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานไม่สูงมากทั้งยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับความต้องการในการใช้งาน ปัจจุบันการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเขี้ยวมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการหากจะนำไปผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวล เนื่องจากปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่จะนำทำการผลิตมีไม่เพียงพอ ซึ่งค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขี้ยวที่ต้องการใช้งานอยู่ที่ 4000-4500 แคลอรีต่อกรัม จากปัญหานี้ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำไม้ไผ่ที่เป็นพืชมีการเจริญเติบโตเร็วและพบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ไม้ไผ่สามารถเจริญเติบโตได้เร็วและมีลักษณะที่เป็นกอจึงทำให้ได้ปริมาณไม้ไผ่มาก และไม้ไผ่ยังมีแนวโน้มว่าสามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงเขี้ยวให้ได้ค่าพลังงานตามที่กำหนดได้

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำไม้ไผ่มาใช้ในการทำเชื้อเพลิงเขี้ยวเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเขี้ยวที่มีค่าพลังงานความร้อนสูง เพื่อให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อนำมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

2. วิธีดำเนินงานวิจัยและการทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของไม้ไผ่เพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเขี้ยวให้ได้ตามมาตรฐานของกระทรวงพลังงานและอัตราส่วนผสมที่ทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับขั้นตอน และวิธีผลิตแท่งเชื้อเพลิงเขี้ยวเพื่อให้ไม้ไผ่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเขี้ยวที่มีคุณภาพ และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ดังนี้

2.1 การคัดเลือกไม้ไผ่

ไม้ไผ่ที่สำคัญของไทย ปัจจุบันเท่าที่มีการสำรวจชนิดของไม้ไผ่ในประเทศไทย พบว่ามีไม้ไผ่อยู่ประมาณ 12 สกุลซึ่งแยกออกเป็น 44 ชนิด แต่ที่พบเห็นมากที่สุดมีประมาณ 10 ชนิดส่วนที่เหลือจะให้เห็นในบางพื้นที่เท่านั้นเอง จึงได้คัดเลือกพันธุ์ไม้ที่มีความเหมาะสมกับการทำเชื้อเพลิงเขี้ยวจากขนาด การเจริญเติบโต และค่าพลังงาน โดยไม้ไผ่แต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 4000 แคลอรีต่อกรัม.เท่ากันทุกชนิด จึงเลือกไม้ที่มีขนาดใหญ่ เจริญเติบโตเร็ว และพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย คือ ไม้ไผ่ขาง เพื่อให้ง่ายแก่การหาวัตถุดิบ

2.2 การคัดเลือกส่วนผสม

โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงเขี้ยวสามารถผสมชีวมวลอื่น ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติอื่น เช่น ลดความหนาแน่นหรือเพิ่มค่าพลังงาน โดยมีตัวอย่างของชีวมวลอื่น ๆ ที่มักใช้เป็นส่วนผสม ดังตารางที่ 1 โดยได้ทำการเลือกวัสดุผสม คือ ถั่วเหลือง เนื่องจากให้ค่าพลังงานที่มาก อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่าย และใช้ทุกส่วนของต้นถั่วเหลือง

ตารางที่ 1 ชนิดและค่าพลังงานของวัสดุชีวมวล

ชนิดของวัสดุชีวมวล	ค่าพลังงาน (แคลอรีต่อกรัม)
ชานอ้อย	3441
ใบอ้อย	4163
แกลบ	3410
ฟางข้าว	2447
ต้น, เปลือก, ใบ, กิ่งเหือง	4646
ซังข้าวโพด	4311
ต้นข้าวโพด	4311
ทลายปาล์มน้ำมัน	4268
ใบปาล์มน้ำมัน	4211
กะลาปาล์มน้ำมัน	4412
ก้านปาล์มน้ำมัน	2349
ลำต้นปาล์มน้ำมัน	4402
เหง้ำมันสำปะหลัง	4402
ก้านมันสำปะหลัง	3680
กามมะพร้าว	3879
กะลามะพร้าว	4285
กิ่ง, ก้าน, ต้นยางพารา	3580

2.3 การออกแบบการทดลอง

การขึ้นรูปแบบเย็นสามารถขึ้นรูปได้ที่มีความชื้นประมาณ 15 - 18 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาพบว่าค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าพลังงานลดลงจึงกำหนดความชื้นเป็น 15 ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ และการขึ้นรูปแบบเย็นเป็นการขึ้นรูปแห้งเชื้อเพลิงเขียวที่ง่ายที่สุดสามารถออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการศึกษารูปแบบการขึ้นแบบแห้งเชื้อเพลิงเขียวแล้วทางคณะผู้วิจัยได้ใช้เทคนิค DOE ในการออกแบบและเก็บผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ช่วยในการออกแบบเพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานความร้อนและความหนาแน่นของแห้งเชื้อเพลิงเขียวโดยตรง และทำการออกแบบกระบอกอัดแห้งเชื้อเพลิงเขียวซึ่งประกอบด้วยกระบอกอัดและแกนอัดกระบอกอัดแห้งเชื้อเพลิงเขียวทำจากเหล็ก st.47 ซึ่งขนาดของกระบอกอัดนั้นมีความสัมพันธ์กับการรับแรงในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงเขียวโดยที่เชื้อเพลิงเขียวจะต้องมีความหนาแน่นระหว่าง 0.280 - 0.800 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะหาค่าใกล้เคียงกับ

ความหนาแน่นสูงสุดเนื่องด้วยการทดลองหาส่วนผสมจะเป็นการลดค่าความหนาแน่นเพราะส่วนผสมที่ได้คัดเลือกมามีคุณสมบัติลดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเขียวค่าการรับแรงของกระบอกอัดและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเขียวสามารถดูได้จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแรงอัดที่สามารถอัดเป็นแห้งเชื้อเพลิงได้อยู่ในช่วง 84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเป็นต้นไป และกระบอกอัดที่สามารถรับแรงอัดได้ คือ กระบอกอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จะสามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ที่ประมาณ 105 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3

2.4 ศึกษาปัจจัยเพื่อใช้ในการออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานความร้อนของแห้งเชื้อเพลิงเขียว ได้อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาปรับปรุงใช้ร่วมกับงานวิจัยนี้โดยปัจจัยที่มีผลกับค่าพลังงานความร้อนคือ ส่วนผสมแรงอัด และความชื้น จากการดำเนินการเพื่อศึกษาและเตรียมชิ้นงานทดสอบ ทำให้ได้ปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อให้ได้ค่าพลังงานสูงสุดของเชื้อเพลิงเขียวจากไม้ไผ่อยู่ 3 ปัจจัย คือความชื้น แรงอัด และส่วนผสม โดยประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงเขียววัดจากค่าพลังงานความร้อน และเปอร์เซ็นต์ซีเถ้า ตามที่กระทรวงพลังงานกำหนด คือเชื้อเพลิงเขียวต้องมีค่าพลังมากกว่า 3,000 แคลอรีต่อกรัม ความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ และซีเถ้าไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ทางผู้จัดทำต้องการค่าพลังงานของงานวิจัยนี้มากกว่าจากชิ้นงานต้นแบบคือมากกว่า 4,300 แคลอรีต่อกรัม จึงได้ออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการ DOE ทำให้ได้ช่วงของการทดลองที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4



รูปที่ 1 แสดงกระบอกอัดขนาดความโต 20 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 การทดลองหาค่าความหนาแน่น

แรงอัด (กิโลกรัมต่อ ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความหนาแน่น เชื้อเพลิงเขียว(กรัม ต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ลักษณะ เชื้อเพลิง
49	0.317	แตกร่วน
56	0.406	แตกร่วน
63	0.513	แตกร่วน
70	0.609	แตกร่วน
77	0.695	แตกร่วน
84	0.794	เป็นแท่ง
91	0.924	เป็นแท่ง

ตารางที่ 3 การทดลองการรับแรงของกระบอกอัด

ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของแท่ง เชื้อเพลิงเขียว (มิลลิเมตร)	ความสามารถรับแรง ของกระบอกอัด (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร)
10	35
15	70
20	105

ตารางที่ 4 ช่วงของการทดลองที่เหมาะสมเพื่อใช้ออกแบบ
ตารางบันทึกผลการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ	
	ต่ำ	สูง
A; ส่วนผสมจากเปลือกถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)	10	50
B; แรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	84	105
C; ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	8	10

3. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพลังงานสูงสุดของเชื้อเพลิงเขียวจากไม้ไผ่ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางในการศึกษาหาค่าพลังงานที่ดีที่สุด พบว่าปัจจัยที่ส่งผลมีทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ ความชื้น แรงอัด และส่วนผสม นำมาทำการออกแบบแบบเชิงแฟกทอเรีย เพิ่มรูปแบบ 2 ระดับ คือ 2^3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทดลองแบบประสมกลางทั้งหมด 3 ครั้ง รวมเป็นการทดลอง 27 ครั้ง และได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 5

การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบเชิงแฟกทอเรีย บ [7] สัดส่วนของความแปรปรวน (F Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูลซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดลอง

N o.	ค่าระดับปัจจัย			ผลตอบ		
	A	B	C	ค่าพลังงาน (แคลอรี ต่อกรัม)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	10	84	8	4512	4515	4511
2	10	84	10	4282	4271	4278
3	10	105	8	4422	4425	4418
4	10	105	10	4192	4190	4195
5	30	95	9	4464	4469	4461

จากข้อมูลในตารางที่ 6 จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลในแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จะมีข้อมูลที่ได้คือ S มีค่าเท่ากับ 3.48542 ซึ่งจะสามารถบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลชุดนั้น ๆ R-Sq มีค่าเท่ากับ 99.97 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถบอกได้ว่าข้อมูลที่ได้มานี้มีความเชื่อมั่นถึง 99.97 เปอร์เซ็นต์ในส่วนของค่า P หรือ P-Value มี = 0.00 จะเห็นได้ว่าถ้าค่า P-Value มีค่านัยสำคัญต่ำกว่าที่กำหนด (0.05) แสดงว่าปฏิเสธ

สมมติฐาน H_0 นั่นคือ ส่วนผสม แรงอัด และความชื้น แต่ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีอิทธิพล ร่วมกัน และทำการปรับค่าออกแบบการทดลองแบบประสมกลางเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุด นำไปสู่การได้ผลตอบที่ดีที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2 อีกทั้งผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ พร้อมทั้งแสดงค่าการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลที่มีผลตอบคือค่าพลังงาน ดังแสดงในแสดงรูปที่ 3

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Estimated Effects and Coefficients for ส่วนผสม แรงอัด ความชื้น

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	676326	676326	225442	18557.74	0.000
ส่วนผสม	1	302626	302626	302626	24911.29	0.000
แรงอัด	1	44462	44462	44462	3659.99	0.000
ความชื้น	1	329238	329238	329238	27101.94	0.000
2-Way Interactions	3	50	50	17	1.37	0.285
ส่วนผสม*แรงอัด	1	22	22	22	1.81	0.195
ส่วนผสม*ความชื้น	1	9	9	9	0.77	0.391
แรงอัด*ความชื้น	1	18	18	18	1.51	0.235
3-Way Interactions	1	22	22	22	1.81	0.195
ส่วนผสม*แรงอัด*ความชื้น	1	22	22	22	1.81	0.195
Curvature	1	8	8	8	0.64	0.434
Residual Error	18	219	219	12		
Pure Error	18	219	219	12		
Total	26	676625				
S = 3.48542 PRESS = 492						
R-Sq = 99.97 เปอร์เซ็นต์ R-Sq(pred) = 99.93 เปอร์เซ็นต์ R-Sq(adj) = 99.95 เปอร์เซ็นต์						

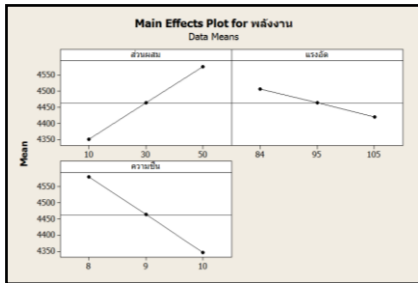
3.1 การวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าผลตอบที่ดีที่สุด

ในโปรแกรม Minitab 16 ฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัย ที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษา โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (Desirability Function) เพื่อหาค่าความเหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด ค่าเป้าหมาย และค่าในระดับสูงสุด รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบและความสำคัญของผล

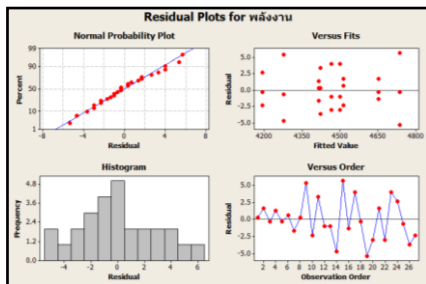
ตอบ เพื่อต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด และผลตอบที่ได้จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Optimizer จะได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด จากรูปที่ 4 จะพบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในชุดการทดลองหาอัตราส่วนผสมในการทำเชื้อเพลิงชีวภาพในครั้งนี้ จะต้องใช้ส่วนผสม 50 เปอร์เซ็นต์ แรงอัด 84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้ค่าผลตอบของเชื้อเพลิงชีวภาพสูงสุดจากการทดลองนี้ซึ่งมีค่าพลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 4,736 แคลอรีต่อกรัม โดยทั้ง 3

ปัจจัยนี้มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลกระทบกับค่าพลังงานที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และได้ค่าสมการทำนายผลสำหรับการทดลองดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{ค่าพลังงาน} = 5737 + 5.61 * (\text{ส่วนผสม}) - 4.1 * (\text{แรงอัด}) - 117 * (\text{ความชื้น}) \quad (1)$$



รูปที่ 2 ผลกระทบของปัจจัยหลักหลังปรับปรุงระดับปัจจัย



รูปที่ 3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าพลังงาน

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
พลังงาน	Maximum	4300	4800	4800	1	1
Global Solution						
ส่วนผสม	= 50					
แรงอัด	= 84					
ความชื้น	= 8					
Predicted Responses						
พลังงาน	= 4735.73 , desirability = 0.871462					
Composite Desirability = 0.871462						

รูปที่ 4 ค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการทำเชื้อเพลิงชีว

3.2 ผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน

จากการทดลองทำให้ได้เชื้อเพลิงชีวที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่จำเป็นเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้เชื้อเพลิงชีวจากไม้ไผ่ได้คุณสมบัติตามมาตรฐานดังตารางที่ 7 จะเห็นว่าแท่งเชื้อเพลิงชีวที่ได้จากการออกแบบการทดลองอยู่ในช่วงมาตรฐานของกระทรวงพลังงาน

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานกระทรวงพลังงาน

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่ได้จากชิ้นงาน
ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	มากกว่า 3000	4736
ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	น้อยกว่า 10	8
ซีเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	น้อยกว่า 20	4.23

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์การทดลองพบว่า แบบการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือ 99.96 เปอร์เซ็นต์และในการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบการทดลองนี้มีการกระจายตัวแบบปกติ และจากสมการทำนายผลการทดลองสามารถทำนายผลที่อยู่ในช่วงของการทดลองได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง แต่ไม่สามารถทำนายผลนอกเหนือจากช่วงที่ได้ทำการทดลองได้เนื่องจาก การวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้เห็นว่าปัจจัยส่วนผสม แรงอัด และความชื้น แต่ละปัจจัยเหล่านี้ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน เมื่อนำค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดจากโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับผลการยืนยันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวจากไม้ไผ่ โดยการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบ 3 ปัจจัยคือส่วนผสม ความหนาแน่น และความชื้น พบว่าที่ส่วนผสม 50 เปอร์เซ็นต์ แรงอัด 84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานความร้อน 4736 แคลอรีต่อกรัม มีค่าพลังงานความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงชีวต้นแบบ คือ 4,300 แคลอรีต่อกรัมนอกจากนี้แท่งเชื้อเพลิงชีวยังอยู่ในช่วงมาตรฐาน

ตามมาตรฐานของกระทรวงพลังงานอีกด้วย

จากการวิเคราะห์ต้นทุนจะพบว่าหากนำค่าพลังงานที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์จะทำให้ได้กำไรสุทธิที่ 1,650 บาทต่อตัน เนื่องจากราคารับซื้อแท่งเชื้อเพลิงเขียวในปัจจุบันรับซื้ออยู่ที่ 4,000 – 4,500 บาทต่อตัน ซึ่งราคารับซื้อไม่ได้ปรับตามค่าพลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ได้กำไรที่มากขึ้นจึงได้ปรับพารามิเตอร์ได้ว่าควรใช้ส่วนผสมที่ 10 เปอร์เซนต์ แรงอัดที่ 84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และความชื้น 8 เปอร์เซนต์ จะได้ค่าพลังงานที่ 4,513 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งทำให้ได้กำไรสุทธิที่ 2,570 บาทต่อตัน และหากนำไม้ไผ่มาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงเขียวโดยไม่ใส่ส่วนผสมโดยใช้แรงที่ 84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความชื้นที่ 8 เปอร์เซนต์ จะได้ค่าพลังงานที่ 4,457 แคลอรีต่อกรัม จะมีกำไรสุทธิที่ 2,757 บาทต่อตัน จะเห็นได้ว่ากำไรจะขึ้นอยู่กับการใช้ส่วนผสมของถั่วเหลือง ยิ่งใส่มากกำไรก็จะยิ่งน้อยลงแต่ก็ทำให้ค่าพลังงานมีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้นำไปใช้ หากคิดในแง่ของกำไรควรใช้ไม้ไผ่ล้วน แต่หากต้องการให้ได้พลังงานสูงๆควรใช้ส่วนผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่ 50%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานสำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,สืบค้นจาก: <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/knownow/knownow4.htm>, (วันที่สืบค้น: 30 มิถุนายน 2551).
- [2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูป เป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน, 2555
- [3] พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

จากทางมะพร้าว, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3 กรกฎาคม – กันยายน, 2558

- [4] การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และครัวเรือน, วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 6, ฉบับที่ 11 มกราคม – มิถุนายน, 2557
- [5] การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสับปะรด, วิศวกรรมสาร มช., ปีที่ 38, ฉบับที่ 1 (65-72) มกราคม-มีนาคม, 2554
- [6] การนำเปลือกทุเรียน และ เปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ปริญญาโท) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554
- [7] Montgomery D.C., "The Hierarchy Principle in Designed Industrial Experiments". John Wiley & Sons, 2005