การปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์[1], และ ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 0-2218-6828, โทรสาร: 0-2251-3969, Email: Napassavong.O@Chula.ac.th
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์: 0-2697-6714, โทรสาร: 0-2275-4892, Email: chana_yia@utcc.ac.th

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด, การทดลองแบบแฟคทอเรียล

บทคัดย่อ

ถ่านที่ทำจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือถ่านอัดแท่งเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีและยังเป็นสินค้าส่งออกอีกประเภทหนึ่ง โดยตลาดต่างประเทศที่สำคัญคือ ญี่ปุ่นและเกาหลี ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมให้ได้เพื่อการส่งออกและการใช้งานทั่วไปของถ่านอัดแท่งคือในเรื่องของคุณสมบัติ ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณกำมะถัน และค่าความหนาแน่น ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM หากถ่านที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงก็จะได้เปรียบในการแข่งขัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาส่วนผสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดที่ให้ค่าความร้อนสูงและมีคุณสมบัติอื่นที่ได้ตามมาตรฐาน โดยพิจารณาสัดส่วนของซังข้าวโพด กะลามะพร้าว และแป้ง ที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด โดยใช้หลักการของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณแป้งและปริมาณกะลามะพร้าว จากการวิเคราะห์พบว่าระดับของปัจจัยที่ให้คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งตามที่ต้องการคือ ที่ปริมาณน้ำหนักของซังข้าวโพด ปริมาณแป้งและปริมาณกะลามะพร้าว เป็น 7:1:2 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนสูง และคุณสมบัติอื่นยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ส่งผลให้สินค้ามีระดับคุณภาพที่สามารถแข่งขันได้

1. บทนำ

ปัจจุบันแผนการพัฒนาประเทศมีทิศทางการส่งเสริมและสนับสนุนการลงทุนในเขตภูมิภาค โดยรัฐบาลได้กำหนดนโยบายในการผลิตสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (โอทอป) เพื่อเพิ่มอาชีพและรายได้ให้กับชุมชนในระดับรากหญ้า การเลือกผลิตสินค้าประจำท้องถิ่น จำเป็นจะต้องพิจารณาวัตถุดิบภายในพื้นที่ ความถนัดของชาวบ้านในท้องถิ่นนั้น ความต้องการผลิตภัณฑ์นั้นๆ ฯลฯ จากกรณีศึกษาปัญหาตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดน่าน ประชากรโดยส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกร โดยผลผลิตส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดสำหรับอาหารสัตว์ หลังจากฤดูเก็บเกี่ยว จะเหลือซังข้าวโพดทิ้งเป็นจำนวนมาก ซังข้าวโพดเหล่านี้จะถูกเผาทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากเกษตรกรต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกต่อไป การนำซังข้าวโพดเหลือทิ้งไปใช้ในการทำถ่านอัดแท่งเป็นการสร้างงาน สร้างมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและท้องถิ่นอีกทางหนึ่ง เนื้อหาในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง ปริมาณวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิต มาตรฐานการวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง การศึกษาหาอัตราส่วนผสม

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ และ ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. "การปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด" [ออนไลน์] [อ้างถึงวันที่ 11 กันยายน 2560] เข้าถึงจาก http://eprints.utcc.ac.th/1801/3/1801summary.pdf

ของน้ำหนัก ซังข้าวโพด:แป้ง:กะลามะพร้าว เพื่อให้ถ่านที่ได้มีความร้อนสูง การศึกษาข้อมูลเทคนิคต่างๆเพื่อให้สามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วการทำถ่านอัดแท่งทำได้สองวิธีการคือ การทำถ่านแบบอัดร้อนกับการทำถ่านแบบอัดเย็น การทำถ่านแบบอัดร้อนจะเหมาะกับเศษเหลือใช้ที่มีแป้งเป็นส่วนผสม เช่น แกลบ โดยให้ความร้อนที่กระบอกอัดในระหว่างการอัด ทำให้แป้งที่ผสมอยู่ในแกลบยึดเกาะตัวกัน ส่วนการทำถ่านแบบอัดเย็น จะนำเอาถ่านที่ได้จากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ มาบดเป็นผง แล้วนำมาผสมกับแป้ง แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดถ่านให้มีรูปร่างลักษณะตามที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการอัดเย็น เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าและถ่านที่ได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับถ่านอัดร้อน

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา นารา [1] ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ โดยมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาตั้งแต่การออกแบบและการจัดสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตต่างๆรวมทั้งศึกษาถึงกระบวนการอัดแท่งและคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ชนิดต่างๆ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว และผักตบชวาเป็นต้น ที่เหมาะสมการอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง สมคิดและคณะ [2] ได้ทำการวิจัยเพื่อหาความเหมาะสมของแท่งเชื้อเพลิงขี้เลื่อยที่ได้หลังการเพาะเห็ดทั้งในเชิงพลังงานและเชิงเศรษฐกิจ รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง สำนักวิชาการป่าไม้ [3] ได้นำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตร มาใช้ประโยชน์ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยยังได้จัดทำเครื่องอัดแบบเชื้อเพลิงแท่งแบบสกรูและตลอดทั้งได้ส่งเสริมและเผยแพร่การใช้เชื้อเพลิงเขียว หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง ชานอ้อย ขี้วัว แกลบ ผักตบชวา ขุยมะพร้าว วินัย และ ประลอง [4] ได้นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อยเปื่อย วัชพืช หรือ ใบไม้มาอัดเป็นแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7 ซม. โดยกระบวนการอัดเย็นจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบสกรูที่ทำจากสแตนเลสขับด้วยมอเตอร์ แล้วนำไปตากแห้ง จนได้เชื้อเพลิงที่สามารถใช้แทนฟืนและถ่านได้อย่างดี ศุภฤกษ์ ธรรมบันดาลสุข และคณะ [5] ได้ศึกษาการนำเศษขุยมะพร้าวมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากการศึกษาพบว่า ถ่านจากขุยมะพร้าวให้ความร้อนต่ำ จำเป็นต้องเพิ่มวัสดุการเกษตรเหลือทิ้งอื่นๆเพื่อให้ได้ความร้อนสูงขึ้น

2. การตลาด

ลักษณะของถ่านอัดแท่งสำเร็จรูปมีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่แตกประทุ ขี้เถ้าน้อยไม่ฟุ้งกระจายไม่ทำลายสุขภาพ ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอและทนทานใช้งานได้มากกว่า ถ่านไม้ธรรมดาอย่างน้อย 2.5 เท่าโดยผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในขนาด มาตรฐาน 2 ขนาด คือ ถ่านอัดแท่งรูปทรงกระบอก มีรูกลวง ขนาด 4 X 4.5 เซนติเมตร และ ถ่านอัดแท่งรูปทรงกระบอก มีรูกลวง ขนาด 20 X 4.5 เซนติเมตร

2.1 ภาวการณ์ตลาดของถ่านอัดแท่งภายในประเทศ

ราคาจำหน่ายสินค้าถ่านอัดแท่งปลีกอยู่ที่ กิโลกรัมละ 12-15 บาท ขายส่งกิโลกรัมละ 8-10 บาท โดยบรรจุใส่กระสอบพลาสติก น้ำหนัก 30 กิโลกรัม ตลาดถ่านอัดแท่งภายในประเทศไทยมีความต้องการเพื่อใช้เป็นเชื้อฟืนในการประกอบอาหารตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนกระทั่งภัตตาคารใหญ่ ประกอบกับปัจจุบันมีการเกิดขึ้นของร้านอาหารประเภทย่างและปิ้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดมากมาย และมีการเล็งเห็นถึงอันตรายจากการใช้แก๊สในการย่างหรือปิ้งอาหาร ดังนั้นจึงมีการใช้ถ่านในการประกอบอาหารเพิ่มมากขึ้น ความต้องการในการใช้ถ่านก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.2 ภาวการณ์ตลาดต่างประเทศ

ถ่านอัดแท่งนอกเหนือจากสามารถใช้ได้ในประเทศแล้วยังมีความต้องการของตลาดต่างประเทศอีกด้วย ดังแสดงยอดส่งออกตลาดต่างประเทศได้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สถิติการอนุญาตส่งออกถ่านไม้ (รายประเทศ)

ประเทศ	2542		2543		2544		2545	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ญี่ปุ่น	776.71	12.66	453.25	7.64	682.95	13.36	809.66	14.09
ไต้หวัน	596.8	5.56	197.37	2.26	528	6.35	241.02	2.66
ฮ่องกง	299.81	2.99	166.81	1.84	96	1.24	120	1.53
คูเวต	454.05	3.9	173	2.42	-	-	77	0.91
เกาหลีใต้	755.16	7.65	55.02	0.31	24.57	0.34	49.77	0.61
มาเลเซีย	-	-	-	-	381.47	1.04	186.4	0.4
ออสเตรเลีย	-	-	12	0.26	49.5	0.48	24	0.26
สิงคโปร์	10	0.6	-	-	-	-	-	-
รวม	2,892.53	32.82	1,057.45	14.73	1,762.49	22.81	1,507.85	20.46

ปริมาณ : ตัน, มูลค่า : ล้านบาท ที่มา : สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป กรมการค้าต่างประเทศ

ปริมาณส่งออกและรายได้ของการส่งออกถ่านไม้ของประเทศไทยระหว่าง ปี 2542 ถึงปี 2545 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณส่งออกมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มมากขึ้นๆ ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดจึงมีแนวโน้มทางด้านการตลาดที่ดี

รูปที่ 1 แสดงถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด

3. ขั้นตอนการผลิต

คุณภาพของถ่านอัดซังข้าวโพดเริ่มที่ขั้นตอนการผลิตถ่าน เริ่มจากการเผาถ่าน แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดแล้วตากแห้ง การเผาถ่านมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะทำให้ถ่านมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน วิธีการหนึ่งที่ได้ผลดีและมีราคาถูกคือการเผาถ่านในถังสองร้อยลิตรที่วางเอียง ถ่านที่ได้จะมีคุณภาพดี มีสัดส่วนถ่านน้อย และถ่านมีความร้อนสูง

- ขั้นตอนแรกนำซังข้าวโพดไปเผาในเตาเผาที่เตรียมไว้
- ขั้นตอนที่สอง นำถ่านซังข้าวโพดไปบดด้วยเครื่องจักรสับให้เป็นผงละเอียด
- ขั้นตอนที่สาม นำผงถ่านซังข้าวโพดไปผสมกับแป้งและถ่านกะลามะพร้าวในอัตราส่วนที่เหมาะสม และผสมน้ำเพียงเล็กน้อยเพื่อช่วยให้แป้งยึดเกาะกันได้ดี ในการผสมจำเป็นจะต้องผสมให้แป้งกับผงถ่านเข้ากันมาก

ที่สุด ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วการเข้ากันของแป้งและผงถ่านจะไม่ได้ผลดี อาจทำให้ต้องนำผงถ่านไปเข้าเครื่องอัดหลายครั้ง ทำให้สิ้นเปลือง

- ขั้นตอนที่สี่ นำผงถ่านที่ผสมกับแป้งแล้วเข้าเครื่องอัด เพื่อรีด ถ่านออกมาเป็นเส้น แล้วตัดตามความยาวที่ต้องการก่อนนำไปตากแห้ง
- ขั้นตอนที่ห้า นำถ่านที่ได้ไปตากให้แห้งในที่ร่ม ประมาณ 2-3 วัน ไม่ควรนำไปตากในที่ร้อนเพราะจะทำให้ถ่านมีรอยแตกเนื่องจากการแห้งตัวอย่างรวดเร็วที่ไม่เท่ากัน
- ขั้นตอนที่หก เป็นการบรรจุหีบห่อ ชั่งน้ำหนัก เพื่อส่งจำหน่าย

4.2.1 มาตรฐานการวิเคราะห์คุณภาพถ่านอัดแท่ง

มาตรฐานการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่ใช้ในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่จะอ้างอิงกับมาตรฐาน ASTM จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอย่างละเอียด หัวข้อในการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น นอกเหนือจากมาตรฐาน ASTM แล้วยังมีมาตรฐานอื่นๆที่ใช้ในประเทศแต่ยังคงอ้างอิงถึงมาตรฐาน ASTM เช่นกัน ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งออกโดยกรมพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 238/2547 ถ่านอัดแท่ง, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 657/2547 ถ่านไม้หุงต้ม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 658/2547 ถ่านไม้ปิ้งย่าง

5. การออกแบบการทดลอง

ถ่านที่ทำจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือถ่านอัดแท่ง เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมให้ได้ในเรื่องของคุณสมบัติ ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณกำมะถัน และค่าความหนาแน่น ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM หรือมาตรฐานอื่นๆ หากถ่านที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงก็จะได้เปรียบในการแข่งขัน เนื้อหาในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาส่วนผสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดที่ให้ค่าความร้อนสูงและมีคุณสมบัติอื่นที่ได้ตามมาตรฐาน โดยพิจารณาสัดส่วนของถ่านซังข้าวโพด แป้งและถ่านกะลามะพร้าว ที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด แป้งที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแป้งมันเนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่าย และยังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ผงถ่านติดกัน ถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติที่ให้ความร้อนสูง เนื่องจากมีเนื้อที่แข็งมาก การออกแบบการทดลองจะใช้หลักการของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณถ่านซังข้าวโพด ปริมาณแป้งและปริมาณกะลามะพร้าว

5.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ตารางที่ 3 ระดับปัจจัยของการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		-1	1	
1	อัตราส่วนผสมของแป้ง	1	2	กิโลกรัม
2	อัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว	0	2	กิโลกรัม

จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญพบว่า อัตราส่วนของถ่าน แป้ง และ ถ่านกะลา มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ในทางปฏิบัติชาวบ้านใช้ส่วนผสมของอัตราส่วนต่อน้ำหนักของ ถ่านและแป้งเป็น 10:1 และ อาจมีการใส่ถ่านกะลาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความร้อน ดังนั้นในการทดลองปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาศึกษาเพื่อหาค่าความร้อน คือ อัตราส่วนผสมของแป้งและอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว โดยบริสัตร์ให้ดีเสียน

โดยแต่ละปัจจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับด้วยกัน คือระดับต่ำ กับ ระดับสูง ซึ่งจะถูกแทนด้วยหมายเลข -1 และ +1 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมในการทดลองจะเป็น ซังข้าวโพด:แป้ง:กะลามะพร้าว 7:1:0, 7:1:2, 7:2:0, 7:2:2 เนื่องจากปริมาณของแป้งเป็น 1 และ 2 ส่วน และ ปริมาณถ่านกะลามะพร้าวเป็น 0 และ 2 ส่วน เพื่อศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติของถ่านของการเพิ่มถ่านกะลามะพร้าว การกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในแต่ละระดับของการทดลองจะกำหนดตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์หรือช่วงของอัตราส่วนผสมในตารางที่ 3 และสมการของตัวแปรเข้ารหัสแสดงดังนี้

$$X_1 = (\xi_1 - 1.5)/.5 \qquad \text{; ปริมาณส่วนผสมแป้ง}$$

$$X_2 = (\xi_2 - 1)/1 \qquad \text{; ปริมาณส่วนผสมกะลามะพร้าว}$$

โดยที่

X_1 คือ ตัวแปรแบบเข้ารหัสของปริมาณส่วนผสมแป้ง (Coded Variable of flour)

X_2 คือ ตัวแปรแบบเข้ารหัสของปริมาณส่วนผสมกะลามะพร้าว (Coded Variable of coconut shell)

ζ_1 คือ ตัวแปรแบบไม่เข้ารหัสของปริมาณส่วนผสมแป้ง (Uncoded Variable of flour)

ζ_2 คือ ตัวแปรแบบเข้ารหัสของปริมาณส่วนผสมกะลามะพร้าว (Uncoded Variable of coconut shell)

5.2 แบบการทดลอง

แบบการทดลองที่ใช้พิจารณา จะใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาอิทธิพลจากหลายๆปัจจัยพร้อมๆกัน โดยมีปัจจัยนำเข้าที่นำมาพิจารณาจำนวน 2 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ ตามหัวข้อที่ได้กล่าวมา หลักในการออกแบบการทดลอง [6] ที่พิจารณาคือ

5.2.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) การออกแบบการทดลองประเภทนี้ เป็นการออกแบบที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งกลั่นกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยให้เห็นอันตรกิริยาของปัจจัยทั้งสองที่ทดสอบได้อีกด้วย

5.2.2 การทำซ้ำ (Replication) การทำซ้ำหมายถึงการที่ treatment combination หนึ่งถูกทำซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความผิดพลาดจากการทดลองได้

5.2.3 การสุ่ม (Randomization) การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับหลักสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

สมการตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \beta + (\tau\beta) + \varepsilon_{ij}$$

Y คือ ตัวแปรตอบสนองของการทดลอง (ค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณกำมะถัน และค่าความหนาแน่น)

μ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปริมาณแป้ง

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากปริมาณกะลามะพร้าว

$\tau\beta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปริมาณแป้งและกะลามะพร้าว

ε คือ อิทธิพลจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

5.3 การเตรียมการทดลอง

ดังนั้นจึงทำการเตรียมตัวอย่างถ่านอัดทั้งหมดด้วยอัตราส่วนของน้ำหนักของ ถ่าน:แป้ง:กะลา ที่ได้กำหนดไว้ และทำการทดลองซ้ำสองครั้ง ดังนั้นจะมีตัวอย่างทั้งหมดเป็น 8 ชุด และนำไปทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆตามมาตรฐาน ASTM และได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

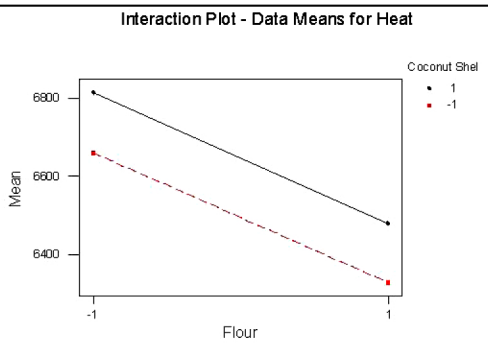
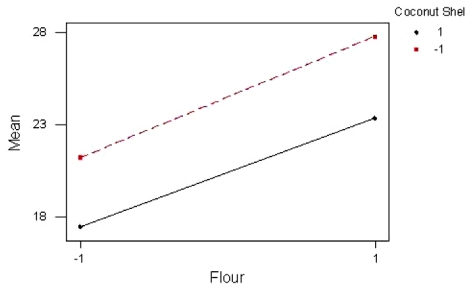
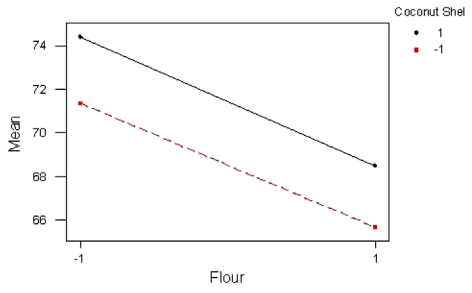
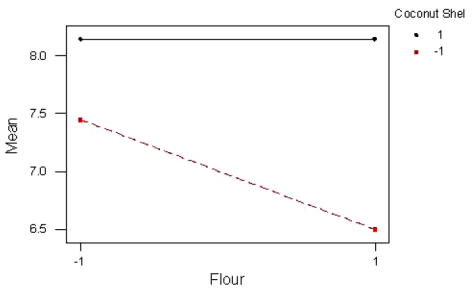
ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

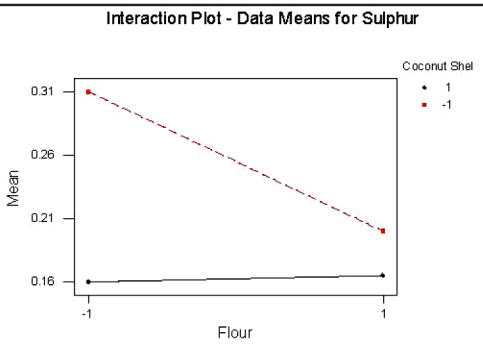
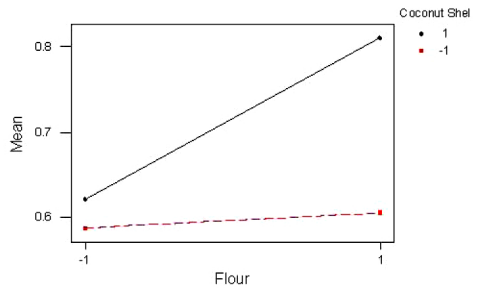
ระดับส่วนผสมแป้ง	ระดับส่วนผสมกะลา	ค่าความร้อน (Kcal/kg)	สารระเหย (%)	ถ่านคงตัว (%)	เถ้า (%)	กำมะถัน (%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
-1	-1	6640	21.3	71.2	7.5	0.31	0.578
-1	-1	6680	21.1	71.5	7.4	0.31	0.597
-1	1	6820	17	74.8	8.2	0.12	0.616
-1	1	6810	17.9	74	8.1	0.2	0.626
1	-1	6360	27.3	66	6.7	0.21	0.62
1	-1	6300	28.3	65.4	6.3	0.19	0.591
1	1	6560	22.4	69.6	8	0.18	0.798
1	1	6400	24.3	67.4	8.3	0.15	0.823

6 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองต่างๆจากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าระดับส่วนผสมของแป้งควรมีค่าน้อยและระดับส่วนผสมของกะลาควรมีค่ามาก เนื่องจากจะทำให้ได้ค่าความร้อนมาก ค่าสารระเหยน้อย ค่าถ่านคงตัวมาก กำมะถันน้อย ส่วนปริมาณเถ้าและค่าความหนาแน่น ยังเป็นปัจจัยที่ไม่สำคัญมากนัก จากการทดลองคุณสมบัติของถ่านที่ได้ยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน (ค่าความร้อนที่ต้องการต่ำสุดตามมาตรฐาน มผช. คือ 6000 Kcal/kg) และยังสามารถปรุงคุณภาพของถ่านที่ได้ให้เพิ่มขึ้นได้โดยเผาถ่านซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวในเตาเผาที่มีคุณภาพ และผ่านขั้นตอนการผลิตที่ดี ถ้าสามารถปรับปรุงคุณภาพของถ่านที่ได้จะทำให้ปริมาณเถ้าลดน้อยลง จากการทดลอง อัตราส่วน ถ่าน:แป้ง:กะลา เป็น 7:1:2 จะทำให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดี อัตราส่วนของแป้งสามารถลดลงได้มากกว่านี้ จนกว่าถ่านอัดแท่งที่ได้จะไม่สามารถเกาะตัวกัน เพราะจะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงไปได้ ส่วนอัตราส่วนของกะลาสามารถเพิ่มได้ แต่เนื่องจากจังหวัดน่านมีถ่านกะลาอยู่เป็นจำนวนน้อย ทำให้ต้องสั่งซื้อจากจังหวัดใกล้เคียง ในทางปฏิบัติสามารถหาถ่านไม้เนื้อแข็งอื่นๆทดแทนได้

ตารางที่ 4 สรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรตามต่างๆ และระดับส่วนผสมแป้งและกะลามะพร้าว

ตัวแปรตาม	ผังของปัจจัยต่างๆและสมการถดถอย	ค่าตอบสนองที่ต้องการ	ระดับส่วนผสมแป้ง	ระดับส่วนผสมกะลา
ค่าความร้อน (Kcal/kg)	 $6571.25+166.25x_1-76.25x_2$	มาก	น้อย	มาก
สารระเหย (%)	 $22.45-3.125x_1+2.05x_2$	น้อย	น้อย	มาก
ถ่านคงตัว (%)	 $69.9875+2.8875x_1-1.4625x_2$	มาก	น้อย	มาก
เถ้า (%)	 $7.5625+0.2375x_1-0.5875x_2+0.2375x_1x_2$	น้อย	มาก	น้อย

ตัวแปรตาม	ผังของปัจจัยต่างๆและสมการถดถอย	ค่าตอบสนองที่ต้องการ	ระดับส่วนผสมแป้ง	ระดับส่วนผสมกะลา
กำมะถัน (%)	 $0.2088 + 0.0263x_1 + 0.0463x_2$	น้อย	-	มาก
ความหนาแน่น (g/cm^3)	 $0.6561 - 0.0519x_1 - 0.0596x_2 + 0.0429x_1x_2$	มาก	มาก	มาก

รายการอ้างอิง

[1] นารา พิทักษ์อรรณพ, เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้ โครงการวิจัยที่ ภ.31-05/รายงานฉบับที่ 2, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ

[2] สมคิด ทักษิณาวิสุทธิ์ และคณะ, รายงานโครงการวิจัยเพื่อหาความเหมาะสมในการนำขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง, กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2538

[3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ และ กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้, รายงานการศึกษาวิจัยโครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงแท่งสีเขียว, ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, พศ. 2540-2542

[4] วินัย ปัญญาธัญญะ และ ประลอง ดำรงค์ไทย, โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้แท่งเชื้อเพลิงเขียว, กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2543

[5] ศุภฤกษ์ ธรรมบันดาลสุข, บรรยง ลักขณาไพบูลย์เวท และ ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตร, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, เพชรบุรี, 2-3 พฤศจิกายน, 2543

[6] Mongomery, D.C., Design and Analysis of Experiment, John Wiley & Son INC, 2001