

การพัฒนาวัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสานทดแทนในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

Development of Pozzolan Material as a Binder Replacement in the Casting Process of Rice Polishing Cylinders

ธิติกานต์ บุญแข็ง¹ นลิน เพียรทอง¹ ตะวันฉาย โพธิ์หอม¹ สุขอังคณา สี¹ และ สุรพงศ์ บางพาน²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

*E-mail: thitikan2515@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุปอซโซลานสำหรับใช้เป็นวัสดุประสานทดแทนบางส่วนร่วมกับวัสดุประสานเดิมในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว โดยพบว่าวัสดุประสานเดิมปัจจุบันเป็นปูน Calcined Magnesite ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศมีมูลค่าเฉลี่ย 80 ล้านบาท/ปี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และดินขาว เผา มาใช้ในการทดลองและทดแทนในอัตราส่วน ร้อยละ 40 ต่อ ปูน Calcined Magnesite ร้อยละ 60 โดยออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมลิขสิทธิ์ Minitab Release 14 ฟังก์ชัน Mixture Design ซึ่งมีทั้งหมด 10 สูตร ในการทดสอบแรงอัดและแรงดึง พบว่าสูตรที่เหมาะสมคือ สูตรที่อัตราส่วนของ เถ้าแกลบ : เถ้าชานอ้อย : ดินขาวเผา คือ 15 : 25 : 60 เมื่อนำสูตรดังกล่าวไปขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและนำไปทดสอบการสีข้าว พบว่า มีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย ร้อยละ 80.12 และอัตราการสึกหรอ 4.43 กรัม/ชั่วโมง ส่วนวัสดุประสานเดิมมีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย ร้อยละ 76.02 และอัตราการสึกหรอ 7.02 กรัม/ชั่วโมง ดังนั้น การใช้วัสดุปอซโซลานเป็นส่วนผสมวัสดุประสานช่วยให้ปรับปรุงคุณภาพของลูกหินขัดข้าวและประสิทธิภาพการสีข้าวด้วย

คำสำคัญ : ปอซโซลาน วัสดุประสาน ลูกหินขัดข้าว กระบวนการขึ้นรูป

Abstract

The objective of this research was to investigate the use of pozzolan material as a binder replacement for the original binder material in the casting of rice polishing cylinders. The original binder was imported calcined magnesite cement that cost an average of 80 million baht per year. The pozzolan material consisted of rice husk ash, bagasse ash, and metakaolin, and formed 40% of the total mix, and calcined magnesite cement (60% of the total mix). The design of the experiment was based on Minitab Release 14 licensed on Mixture Design function which had 10 formulae for compressive strength and tensile strength testing. It was found that the most efficient formula was 15:25:60 (rice husk ash:bagasse ash:metakaolin). Use of this formula in the casting of rice polishing cylinders and the testing of rice milling resulted in 80.12% of good rice and a wear rate of 4.43 g/hr compared to the use of the original binder that resulted in 76.02% of good rice and a wear rate of 7.02 g/hr. The research showed that the use of pozzolan material in the binder mixture improved the quality of the rice mill cylinder and the efficiency of rice milling.

Keywords: Pozzolan, Binder material, Rice polishing cylinder, Casting process

1. บทนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันเครื่องสีข้าวป็นเครื่องจักรกลการเกษตรพื้นฐานที่มีความสำคัญกับเกษตรกรไทยมาด้วยดีโดยตลอด เกษตรกรได้นำเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1-2 ตันต่อวันและเครื่องสีข้าวขนาดใหญ่ในครัวเรือนที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 กระสอบต่อวันมาใช้ในปัจจุบันกันมากขึ้นเนื่องจากสะดวก รวดเร็ว เพราะสามารถสีข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือน สำหรับการออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กก็จะแตกต่างกันตามท้องถิ่น มีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ลูกหินที่เป็นแบบแกนนอน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น ถึงอย่างไรก็ตามคุณภาพข้าวที่สีออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดพันธุ์ข้าว รูปร่าง ขนาด ความชื้น รวมทั้งกลไกการกะเทาะเปลือกและขัดขาวในเครื่องสีข้าวด้วย [1] สำหรับการขัดขาวเป็นขั้นตอนที่สำคัญและคุณภาพของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสีจะมีเปอร์เซ็นต์การหักมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของหินขัดที่ใช้เป็นสำคัญ [2] ลูกหินขัดไม่ว่าจะเป็นแบบแกนตั้งหรือแบบแกนนอนที่นิยมใช้กันอยู่ในชนบทประเทศไทยในปัจจุบันนี้ มีวัสดุผสม 2 ส่วนที่สำคัญ [3] คือ ส่วนที่ 1 คือ วัสดุขัดสี ได้แก่ หินกากเพชร (emery grain) และหินกากแก้ว (silicon carbide) ส่วนที่ 2 คือ วัสดุประสาน ที่เป็นส่วนผสมระหว่างปูน Calcined Magnesite และเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

สำหรับกระบวนการหล่อลูกหินขัดทำได้โดยนำเปลาลือหินที่ทำด้วยเหล็กหล่อไปกะเทาะเอาวัสดุหุ้มที่ ขรุขระออก และพอกหุ้มใหม่โดยผสมปูนและหินในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีดัดกริความเค็ม 30 ดิกรี ผสมทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมที่มีความเหนียว ปั้นขึ้นรูปได้นี้ไปพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว เมื่อแห้งแล้วประมาณ 1 วัน จึงนำมากลึงแต่งผิว และให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ เมื่อกลึงเสร็จแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ถึงอย่างไรก็ตามจากกระบวนการขึ้นรูปลูกหินดังกล่าว ขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวัง คือ การผสมปูนและน้ำเกลือให้มีความเหนียวที่เหมาะสม โดยกระบวนการนี้ใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการผสม [4] เพราะถ้าลูกหินขัดที่ขึ้นรูปแล้วมีความแข็งมากเกินไป จะทำให้ข้าวหัก และถ้าลูกหินอ่อนมากเกินไป จะทำให้เม็ดหินหลุดมีการสึกหรอ รวดเร็ว

ก่อนเวลาอันควร ซึ่งลูกหินขัดที่หมดสภาพแล้ว หรือมีคุณภาพไม่ดีก็จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ อีก ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาวัสดุผสมที่เป็นตัวประสานซึ่งมีประสิทธิภาพจะช่วยทำให้ลูกหินขัดมีความแข็งแรงและเหนียวที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปหินขัด

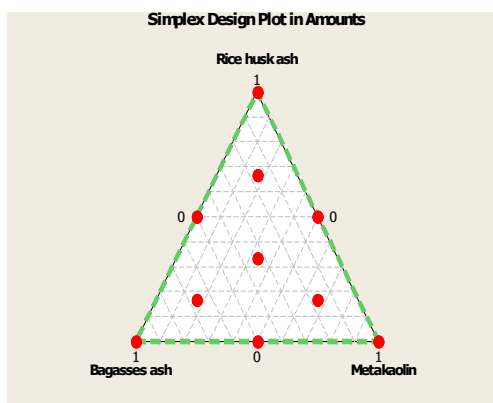
ในปัจจุบันพบว่าปูน Calcined Magnesite มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ประมาณ 3,311 ตัน/ปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยปีละ 80 ล้านบาท [5] จึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุพอลิโอสโซลานในประเทศ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางภาคเกษตรกรรมในประเทศ คือ แถ่แกลบ ถั่วชานอ้อย รวมถึงดินขาวเผา มาเป็นส่วนผสมกับปูน Calcined Magnesite เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิต รวมถึงการปรับปรุงการผสมให้เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น [6] เช่น งานวิจัยของจิตติมา ประสาระเอ [7] เกี่ยวกับ การศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบผสมปูนขาวในการทำบล็อกปูพื้น โดยพบว่า แถ่แกลบซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผ่านการร่อนตะแกรง ขนาด 325 ปริมาณไม่เกินร้อยละ 34 ผสมกับปูนขาวสามารถทำบล็อกปูพื้น สำหรับถั่วชานอ้อยมีงานวิจัยของ ณพชกร ลิขิตศรีไพบลูย์ [8] ที่ได้ศึกษา การพัฒนาถั่วชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุพอลิโอสโซลาน ซึ่งได้นำถั่วชานอ้อยที่ผ่านการร่อนตะแกรง ขนาด 325 โดยพบว่าสามารถไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราร้อยละ 10-40 ในส่วนดินขาวเผา มีงานวิจัยของ เจริญ วุฒิ ปัญญาอนุสรณ์กิจ [9] เกี่ยวกับ การปรับปรุงซีเมนต์มอร์ต้าโดยใช้ดินขาวสำหรับงานซ่อม โดยพบว่าดินขาวซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถไปแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราร้อยละ 10-40 โดยพบว่าระดับที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 20-30 ดังนั้น การพัฒนาวัสดุพอลิโอสโซลานในประเทศเพื่อใช้ทดแทนร่วมกับปูนซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุดังกล่าวได้อีกด้วย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับปัจจัยควบคุม คือ วัสดุพอลิโอสโซลาน ได้แก่ แถ่แกลบ ถั่วชานอ้อย และดินขาวเผา ที่ทำการบดและผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยใช้ทดแทนในอัตราส่วนรวม 40% : สัดส่วนของปูน Calcined Magnesite ในอัตรา 60% สำหรับการทดแทน

โดยใช้วัสดุปอชโซลานในอัตราส่วนร้อยละ 40% เพื่อให้มีการทดแทนในอัตราสูงสุด [7], [8], [9] และทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบและลูกหินขนาดจริง ในอัตราส่วนเดียวกัน คือ วัสดุขัดสี : วัสดุประสาน อัตรา 5 : 1 และทดสอบการสืข้าวด้วยเครื่องสืข้าวขนาดเล็กแบบแกนนอนซึ่งนิยมใช้กันในชนบท ในส่วนข้าวเปลือกที่ทำการทดลองเพื่อสืข้าว เป็นข้าวดอกมะลิ 105 ตามมาตรฐาน มอก 888-2532 ซึ่งใช้ในการทดลองกับเครื่องสืข้าวขนาดเล็ก และข้าวเปลือกที่ทำการทดลองจะผ่านการตรวจวัดความชื้นและทำความสะอาดเพื่อขจัดเศษที่ปนมา มีการป้อนข้าวเปลือกในอัตรา 20 กิโลกรัม ต่อ 1 หน่วยทดลอง ทั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม MINITAB Release 14.00 ที่มีลิขสิทธิ์ ในการออกแบบการทดลองด้วยฟังก์ชัน Mixture Design โดยใช้แบบซิมเพล็กซ์-เซนทรอยด์ (simplex centroid) [10], [11] ตามรูปที่ 1 วิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับทดสอบปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย และสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุปอชโซลานในการสร้างพื้นผิวผลตอบจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด (compressive strength) และความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ซึ่งทั้งสองปัจจัยเป็นส่วนสำคัญในการบ่งชี้ประสิทธิภาพของวัสดุประสาน [7], [8] ที่มีผลต่อความแข็งแรงและการยึดเกาะในลูกหินขัดข้าว



รูปที่ 1 การออกแบบแผนทดลองแบบซิมเพล็กซ์-เซนทรอยด์

2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

- 1) การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลาน

แล้วนำสัดส่วนที่เหมาะสมใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวจริง โดยมีผลตอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง

- 2) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสืข้าวของวัสดุประสานเดิมและวัสดุประสานใหม่ โดยมีผลตอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ร้อยละข้าวดี อัตราการสืหรือ

สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ แก้วกลม แก้วชานอ้อย และดินขาวเผา โดยกำหนดให้ x_1 , x_2 และ x_3 คือ แก้วกลม แก้วชานอ้อย และ ดินขาวเผา ตามลำดับซึ่งเมื่อใช้โปรแกรม ในการออกแบบการทดลองด้วย วิธี Mixture Design จะได้ทั้งหมด 10 สูตร ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนวัสดุปอชโซลานในการออกแบบการทดลอง

สูตรที่	สัดส่วนวัสดุปอชโซลานของแต่ละสูตร (%)			วัสดุผสม (กึ่งที่)	
	x_1	x_2	x_3	ปูน Calcinced Magnesite (gram)	วัสดุขัดสี (gram)
1	100	0	0	60	500
2	0	100	0	60	500
3	0	0	100	60	500
4	0.50	0.50	0	60	500
5	50	0	50	60	500
6	0	50	50	60	500
7	33.33	33.33	33.33	60	500
8	66.67	16.67	16.67	60	500
9	16.67	66.67	16.67	60	500
10	16.67	16.67	66.67	60	500

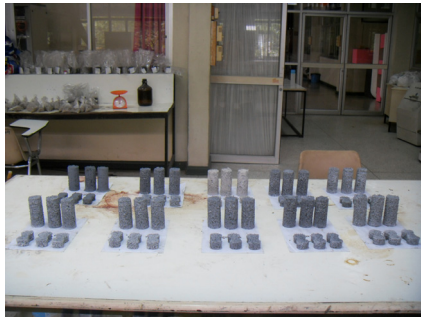
2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงอัดและแรงดึง

- 1) เตรียมส่วนผสมที่จะขึ้นรูปตามสูตรต่างๆในตารางที่ 1 และเตรียมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเค็ม 30 ดีกรี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

- 2) นำส่วนผสมต่างๆ คลุกเคล้าให้เข้าด้วยกัน จากนั้นค่อยเทน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงไป แล้วคลุกเคล้าให้เข้าด้วยกันอีกครั้ง

- 3) นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 2 ไปทำขึ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก.409-2525 เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัด และทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยตรง ในรูปแบบขึ้นทดสอบแบบปริคห์ ดังภาพที่ 2

- 4) ชั่งทดสอบที่ได้จากข้อ 3 นำไปตั้งทิ้งไว้ให้แห้งพอดีและใช้ถุงพลาสติกคลุมบ่มไว้เป็นเวลา 7 วัน
- 5) ทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามขั้นตอนที่ 1-4 ให้ได้จำนวน 3 ชิ้นงานต่อการทดสอบในแต่ละสูตร



รูปที่ 2 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงอัดและแรงดึง

2.4 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

- 1) ผสมวัสดุขี้ตีสี คือ หินกากเพชร เบอร์ 14 16 และหินกากแก้ว กับ วัสดุประสาน คือ ปูน Calcined Magnesite ร้อยละ 60 กับวัสดุพอซโซลาน ร้อยละ 40 โดยมีอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- 2) เทน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 30 ดีกรี ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงในส่วนผสมตามข้อ 1 แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
- 3) นำส่วนผสมที่มีความเหนียว บันขึ้นรูปโดยพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อของลูกหินขัดข้าวให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ดังภาพที่ 3
- 4) บ่มชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำลูกหินขัดข้าวทำลึงแต่งหน้าหินให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



รูปที่ 3 การบันขึ้นรูปโดยพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อของลูกหินขัด

2.5 การทดลองสีข้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ

- 1) นำลูกหินมาซึ่งน้ำหนักแล้วประกอบใส่ในเครื่องสีข้าว ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกับหน้าลูกหินให้ได้ระยะ 1.5 มิลลิเมตร
- 2) ทำการสีข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เพื่อล้างหน้าหินก่อน 5 กิโลกรัม หลังจากนั้น จึงสีข้าวต่อเนื่องอีกจำนวน 20 กิโลกรัมต่อหนึ่งหน่วยการทดลอง
- 3) นำลูกหินที่ผ่านการสีข้าวแล้วมาทำความสะอาดเพื่อที่จะเอาเศษข้าวและรำที่ติดมากับลูกหิน โดยใช้ลมเป่าแล้วชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
- 4) สุ่มข้าวสารมาทดสอบเปอร์เซ็นต์ข้าวดี ด้วยเครื่องแยกข้าว และคำนวณอัตราการสีหรือของลูกหินขัดข้าวจากน้ำหนักลูกหินที่หายไปต่อเวลาสี
- 5) ทำการทดลองตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยทำซ้ำให้ครบ 3 ครั้ง

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึงของวัสดุพอซโซลาน

เมื่อนำผลการทดลองในการทดสอบความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึงไปประมวลผลในโปรแกรม MINITAB Release 14.00 สำหรับการออกแบบการทดลองด้วย วิธี Mixture Design เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ตามตารางที่ 2 การผสมวัสดุพอซโซลานมีผลต่อความต้านทานแรงอัด กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ พบว่า และพบว่า ค่า $R-Sq = 82.61\%$ $R-Sq(adj) = 78.997\%$ โดยทั่วไป หากค่าดังกล่าว ร้อยละ 70 ขึ้นไป [10] แล้วค่าที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ได้ต่อไปได้ ในส่วนของความต้านทานแรงดึง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูล ตามตารางที่ 3 พบว่า การผสมวัสดุพอซโซลานมีผลต่อความต้านทานแรงดึง กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ พบว่า ค่า $R-Sq = 74.89\%$ $R-Sq(adj) = 69.66\%$ สำหรับค่า $R-Sq$ และ $R-Sq(adj)$ ของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่แตกต่างกัน มาจากการประมวลผลค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งแตกต่างกัน จะเป็นตัวบ่งชี้ต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล ยิ่งใกล้เคียง 100% ก็ยิ่งมีความน่าเชื่อถือมาก นอกจากนี้ในส่วนของ สมประสิทธิ์ ในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 นั้น พบว่า Term ในส่วนของ Rice husk ash * Metakaolin มีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับ Term ส่วนอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาของเถ้าแกลบ

กับดินขาวส่งผลต่อการความต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่มากขึ้น

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์การถดถอยโดยประมาณสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงอัดของวัสดุปอชโซลาน

Term	Coef	SE Coef	T	P
Rice husk ash	15.31	0.8315	*	*
Bagasse ash	16.02	0.8315	*	*
Metakaolin	18.14	0.8315	*	*
Rice ash	20.80	3.8322	5.43	0.000
* Bagasse				
Rice husk ash	29.92	3.8322	7.81	0.000
* Metakaolin				
Bagasse ash	14.54	3.8322	3.89	0.001
* Metakaolin				

S = 1.49327 PRESS = 75.9689
R-Sq = 82.61% R-Sq(pred) = 75.32%
R-Sq(adj) = 78.99%

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การถดถอยโดยประมาณสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุปอชโซลาน

Term	Coef	SE Coef	T	P
Rice husk ash	3.020	0.1507	*	*
Bagasse ash	2.785	0.1507	*	*
Metakaolin	3.188	0.1507	*	*
Rice ash	2.090	0.6947	3.01	0.000
* Bagasse				
Rice husk ash	3.758	0.6947	5.41	0.000
* Metakaolin				
Bagasse ash	3.262	0.6947	4.69	0.000
* Metakaolin				

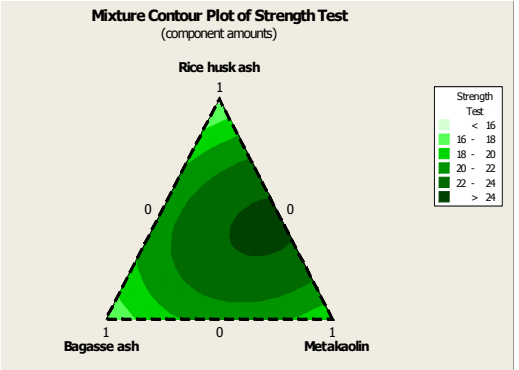
S = 0.270707 PRESS = 3.05786
R-Sq = 74.89% R-Sq(pred) = 56.34%
R-Sq(adj) = 69.66%

ในโปรแกรม Minitab Release 14.00 มีฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัย ที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษานี้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (desirability

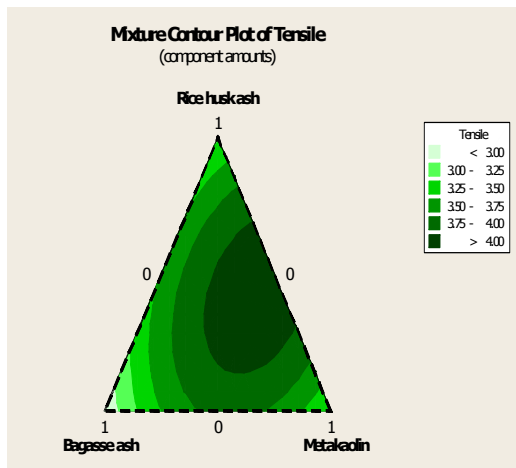
function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (lower) ค่าเป้าหมาย (target) และค่าในระดับสูงสุด (upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบ (weigh) และค่าความสำคัญของผลตอบ (importance) ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด และผลตอบที่ได้จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Optimizer จะได้ค่าเหมาะสม

สำหรับขอบเขตของผลตอบในส่วนของแรงอัดและแรงดึงได้กำหนดค่าเป้าหมายให้ใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยของแรงอัดและแรงดึงของวัสดุประสานปัจจุบัน [3] กล่าวคือแรงอัดที่ 23 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 20 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 26 MPa ในส่วนแรงดึงที่ 4 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 3 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 5 MPa

เมื่อทำการประมวลผล ในโปรแกรม Minitab Release 14.00 จากฟังก์ชัน Response Optimizer พบว่า ได้ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงอัด ตามรูปที่ 4 และ ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองส่วนมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของค่าเป้าหมายอยู่ในบริเวณดินขาวเผา และเมื่อประมวลผลทั้งสองส่วนรวมกันจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานที่ต้องการ

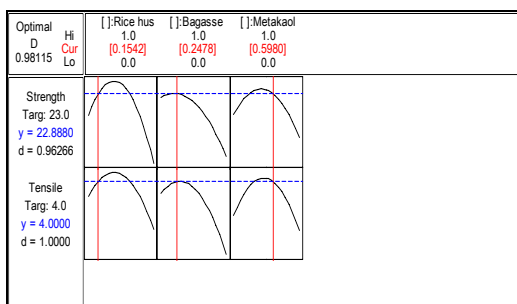


รูปที่ 4 ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 5 ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง

จากการประมวลผลรวมทั้งสองส่วน ตามรูปที่ 6 พบว่า สัดส่วนของวัสดุปอชโซลานที่เหมาะสมมีอัตราส่วนคือ แก้วแกบลบ 0.15423 : แก้วชานอ้อย 0.24776 : ดินขาวเผา 0.59801 หรือ โดยประมาณ อัตราส่วนร้อยละ 15 : 25 : 60 โดยกำหนดเป้าหมายแรงอัดที่ 23 MPa และแรงดึง 4 MPa ทั้งนี้ได้แรงอัดได้ผลตอบที่ 22.8880 ค่าความพึงพอใจ 0.96266 ในส่วนของแรงดึงได้ผลตอบที่ 4.0000 ค่าความพึงพอใจ 1 โดยมีค่าความพึงพอใจรวม 0.98115 ซึ่งค่าความพึงพอใจดังกล่าวใกล้เคียง 1 ตามที่ได้กำหนดไว้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไปได้ ซึ่งการเพิ่มหรือลดสัดส่วนของวัสดุปอชโซลานทั้ง 3 ประเภท จากอัตราส่วนที่เหมาะสมดังกล่าวจะทำให้ค่าความพึงพอใจรวมลดลง



รูปที่ 6 ลักษณะของผลตอบและค่าความพึงพอใจโดยรวมของ ความต้านทานแรงอัดและแรงดึง

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าว

ในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสีข้าวนั้น เป็นการทดสอบเปรียบเทียบลูกหินขัดข้าวที่ใช้วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลาน โดยได้ทำการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวซึ่งใช้สัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานคือ แก้วแกบลบ : แก้วชานอ้อย : ดินขาวเผา ในอัตราส่วน 15 : 25 : 60 คิดเป็นปริมาณรวมร้อยละ 40 (280 กรัม) ผสมรวมกับปูน Calcined Magnesite ในอัตราส่วนร้อยละ 60 (420 กรัม) คิดเป็นปริมาณรวม 700 กรัม โดยผสมวัสดุขัดสี คือ หินกากเพชร เบอร์ 14 16 และหินกากแก้ว คิดเป็นปริมาณรวม 3,500 กรัม ซึ่งมีอัตราส่วนของวัสดุขัดสี ต่อ วัสดุประสาน ในอัตราส่วน 5 : 1 โดยน้ำหนัก และเทน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเค็ม 30 ดีกรี ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงในส่วนผสมโดยคลุกเคล้าให้เข้ากัน [3] ทำการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว จำนวน 3 ชุด โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับลูกหินที่ขึ้นรูปโดยใช้ปูน Calcined Magnesite ทั้งหมดปริมาณ 700 กรัม โดยผสมวัสดุขัดสี คือ หินกากเพชร เบอร์ 14 16 และหินกากแก้ว คิดเป็นปริมาณรวม 3,500 กรัม ในอัตราส่วน 5 : 1 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว จำนวน 3 ชุด ซึ่งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวโดยประเมินจากร้อยละของข้าวดีและอัตราการสึกหรอที่เกิดจากการสีข้าว

เมื่อประมวลผลในโปรแกรม Minitab Release 14.00 จากฟังก์ชัน One-way ANOVA พบว่า ประเภทของวัสดุประสานมีผลต่อ อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ พบว่า ค่า R-Sq = 89.64% R-Sq(adj) = 88.26% โดยทั่วไป หากค่าดังกล่าวร้อยละ 70 ขึ้นไป [10] แล้วค่าที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดข้อมูลตามตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอระหว่างลูกหินขัดข้าวที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลาน พบว่า อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสาน มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 4.439 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่า ลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานมีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 7.022 กรัม/ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดข้อมูลตามรูปที่ 7

ตารางที่ 4 ผลการประมวลผลการทดสอบปัจจัยระหว่างประเภทของวัสดุประสานกับอัตราการสึกหรอ

Source	DF	SS	F	P
Binder	1	68.91	41.19	0.000
Material				
Error	16	26.77		
Total	17	95.68		

S = 0.4740 R-Sq = 89.64% R-Sq(adj) = 88.26%

Level	N	Mean	StDev	
1	9	4.4388	0.2763	(--*---)
2	9	7.0222	0.5953	(--*---)

Pooled StDev = 0.4740

รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอเฉลี่ยของลูกหินขัดข้าวทั้งสองประเภท

นอกจากนี้ ประเภทของวัสดุประสานยังมีผลต่อจำนวนร้อยละข้าวดี กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ พบว่า ค่า R-Sq = 72.02% R-Sq(adj) = 70.28% โดยทั่วไป หากค่าดังกล่าว ร้อยละ 70 ขึ้นไป [10] แล้วค่าที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือ โดยมีรายละเอียดข้อมูลตามตารางที่ 5 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวดีที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานกับร้อยละข้าวดีที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลาน พบว่า ร้อยละข้าวดีที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสาน มีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย 80.12 ซึ่งมากกว่า ร้อยละข้าวดีที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานที่มีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย 76.02 โดยมีรายละเอียดข้อมูลตามรูปที่ 8

ตารางที่ 5 ผลการประมวลผลการทดสอบปัจจัยระหว่างประเภทของวัสดุประสานกับร้อยละข้าวดี

Source	DF	SS	F	P
Binder	2	29.15	64.88	0.000
Material				
Error	15	3.37		
Total	17	32.52		

S = 1.293 R-Sq = 72.02% R-Sq(adj) = 70.28%

Level	N	Mean	StDev	
1	9	80.118	1.128	(----*-----)
2	9	76.204	1.440	(----*-----)

Pooled StDev = 1.293

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวดีเฉลี่ยที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวทั้งสองประเภท

3.3 การประเมินประสิทธิภาพกับต้นทุนวัสดุ

จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ระหว่างวัสดุประสานเดิมที่ไม่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลานกับวัสดุประสานที่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลาน พบว่า วัสดุประสานเดิมที่ไม่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลานใช้เวลาขัดสีข้าวเปลือกเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 60 นาที ส่วนวัสดุประสานที่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลาน ใช้เวลาเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 65 นาที จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานใกล้เคียงกัน สำหรับประสิทธิภาพการสีข้าวพบว่า วัสดุประสานเดิม มีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย ร้อยละ 76.02 และอัตราการสึกหรอ 7.02 กรัม/ชั่วโมง ส่วนวัสดุประสานที่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลาน มีร้อยละข้าวดีเฉลี่ย ร้อยละ 80.12 และอัตราการสึกหรอ 4.43 กรัม/ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานมีร้อยละข้าวดีเพิ่มขึ้น และอัตราการสึกหรอต่ำกว่าวัสดุประสานที่ไม่มีส่วนผสมวัสดุปอชโซลาน โดยแสดงการเปรียบเทียบตามตารางที่ 6 สำหรับ ต้นทุนวัสดุลูกหินขัดข้าวประกอบด้วย ส่วนผสมต่างๆ [12] ดังนี้

วัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ ประกอบด้วย

หินกากเพชร	= 60	บาท/กก.
หินกากแก้ว	= 70	บาท/กก.
ปูน Calcined Magnesite	= 75	บาท/กก.
น้ำเกลือ	= 50	บาท/กก.

วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของโซลัน ประกอบด้วย

ปูน Calcined Magnesite ร้อยละ 60	= 45	บาท/กก.
วัสดุประสาน ร้อยละ 40	= 5	บาท/กก.
แกนหินขัดในประเทศ	= 700	บาท/แกน

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุทั้งสองและ
ผลลัพธ์หลังการขัดสีข้าวเปลือก

รายการ	วัสดุประสาน เดิม	วัสดุประสานมี ส่วนผสมวัสดุ ประสานโซลัน
ต้นทุน(บาท)	1,090	1065
ข้าวที่ได้(กก./วัน)	120	130
ค่าไฟฟ้า(บาท)	7.30	7.30
เฉลี่ยกำไรต่อชั่วโมง ที่ สีได้	20	20
ข้าวเปลือก 1 กก. สี ได้	600	650
ข้าวสาร (กรัม)		
เปอร์เซ็นต์ข้าวดี	76.02	80.12
อัตราการสีหรือ	7.02	4.43
เวลาที่สี (นาท)	60	65
ค่าแรงงาน(ต่อวันต่อคน)	250	250

4. สรุปและเสนอแนะ

เมื่อนำวัสดุประสานคือ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย และดินขาวเผา ในอัตราส่วน 15 : 25 : 60 คิดเป็นปริมาณรวมร้อยละ 40 ผสมรวมกับ ปูน Calcined Magnesite ซึ่งเป็นวัสดุประสานเดิมในอัตราส่วนร้อยละ 60 พบว่า เมื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและทดสอบการประสิทธิภาพการสีข้าวโดยเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุประสานเดิมที่ไม่มีส่วนผสมวัสดุประสานโซลัน ลูกหินที่มีส่วนผสมของวัสดุประสานมีปริมาณข้าวที่สีได้ต่อวัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 10 ร้อยละข้าวดีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ร้อยละ 4.1 และ มีอัตราการสีหรือเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 36.89 ซึ่งจะส่งผลให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น โดยมีต้นทุนต่อลูกลดลงร้อยละ 2.29 ซึ่งยังไม่มากนัก แต่การใช้วัสดุประสานโซลันเป็นส่วนผสมของวัสดุประสานก็ส่งผลให้ปริมาณข้าว ร้อยละข้าวดีที่เพิ่มขึ้นและอัตราการสีหรือเฉลี่ยที่ลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาในภาพรวมเมื่อส่งเสริมให้มีการใช้วัสดุประสานเป็นส่วนผสมรวมแล้วก็

จะลดการนำเข้าวัตถุดิบได้ถึงร้อยละ 40 ประมาณ 30 ล้านบาทต่อปี สำหรับการพัฒนาลูกหินขัดข้าวในอนาคตนั้น ควรนำวัสดุขัดสีภายในประเทศมาทดลองใช้กับวัสดุประสานที่มีส่วนผสมของวัสดุประสานโซลันซึ่งจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนการผลิตมากขึ้นและส่งผลต่อการลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศได้มากขึ้นนั่นเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย ขอขอบคุณบริษัทอุบลกรูไทยกลการที่อนุเคราะห์ช่างขึ้นรูปชิ้นงาน และลูกหินขัดข้าว รวมถึงบริษัทสหเรือและบริษัทดินขาวลำปางที่อนุเคราะห์วัตถุดิบในการทดลอง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ไมตรี แนวพานิช. 2544. "คุณภาพของข้าวเปลือก." การเผยแพร่ กลุ่มงานวิจัยวิศวกรรมหลังเก็บเกี่ยว. กรมวิชาการเกษตร.
- [2] วิชระชัย ภูมิรินทร์ และ สมโชค รัตนมุสดีกุล. 2545. "การดัดแปลงวัสดุหินขัดใหม่เพื่อเพิ่มคุณภาพการสีข้าว:การทดลองในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก." การประชุมวิชาการชา่่งงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2545. 24-45 ตุลาคม 2545. โรงแรมเฟลิกส์เวิร์คแคว. กาญจนบุรี.
- [3] สุของค์ณา ลี, สุริยา โชคสวัสดิ์ และ หมิงฟู ก. 2547. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดเมล็ดข้าวขาวสำหรับโรงสีขนาดเล็ก. รายงานวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [4] ธิดิกานต์ บุญแจ้ง. 2549. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสีหรือของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [5] ปริญญ์ จินดาประเสริฐ และ ชัย จตุรพิทักษ์กุล. 2551. ซีเมนต์ ปอชโซลัน และคอนกรีต. สมาคมคอนกรีต. .

- [6] กรมศุลกากร. 2552. สถิติของการนำเข้าและส่งออก. <http://customs.go.th/Statistic/StatisticIndex2550>. 1 มิถุนายน 2553.
- [7] จิตติมา ประสาระเอ. 2547. การศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบผสมปูนขาวในการทำลือกปูนพื้น. วิทยานิพนธ์คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] ณพวงศธร ลิขิตศรีไพบูลย์. 2548. การพัฒนาเก้าอี้ขานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืช. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [9] เจริญวุฒิ ปัญญาสุรณกิจ. 2548. การปรับปรุงซีเมนต์มอร์ต้าของดินขาวเผาสำหรับงานซ่อม. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเกษตรศาสตร์.
- [10] Bangpan, S., Lee, S. and Jomjunyung, S. 2008. "The Statistical of Mixture Design of Rice Polishing Cylinder." **The World Congress on Engineering 2008**.
- [11] Bangpan, S., Bangpan, P., Lee, S., Jomjunyung, S. and Phanphet, S. 2009. "The Optimal Milling Condition of the Quartz Rice Polishing Cylinder using Response Surface Methodology." **The World Congress on Engineering 2009**.
- [12] สุรพงศ์ บางพาน และ สุโขธกณา ลี. 2551. "การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่ผลิตจากหินกากเพชรและหินเขียว หนุมาน". วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 1(1) : 33-42.