



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การใช้วัสดุปอซโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศเป็นวัสดุผสมในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว Using by pozzolan material and domestic abrasive material as composite material in casting process of rice polishing cylinder

ธิติกานต์ บุญแข็ง^{*1)} นลิน เพียรทอง¹⁾ ตะวันฉาย โพธิ์หอม¹⁾ สุขอังคณา ลี¹⁾ และ สุรพงษ์ บางพาน²⁾

Thitikan Boonkang^{*1)}, Nalin Pianthong¹⁾, Tawanchai Pothom¹⁾, Sukangkana Lee¹⁾ and

Surapong Bangpan²⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

¹⁾ Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190.

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²⁾ Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiangmai, Thailand, 50200.

Received December 2012

Accepted March 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสานทดแทนบางส่วนร่วมกับวัสดุประสานเดิมและใช้วัสดุขัดสีในประเทศเป็นส่วนผสมในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว โดยพบว่าวัสดุประสานเดิมปัจจุบันเป็นปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศมีมูลค่าเฉลี่ย 50 ล้านบาท/ปี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าขาน้อย และดินขาวเผา มาใช้ในการทดลองและทดแทนในอัตราส่วน ร้อยละ 40 ต่อ ปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ ร้อยละ 60 โดยออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมลิขสิทธิ์มินิแทปรีลิส 14 ฟังก์ชันการออกแบบส่วนผสม ในการทดสอบแรงอัดและแรงดึง ซึ่งมีทั้งหมด 10 สูตร พบว่าสูตรที่เหมาะสมคือ สูตรที่อัตราส่วนของ เถ้าแกลบ : เถ้าขาน้อย : ดินขาวเผา คือ 15 : 25 : 60 เมื่อนำสูตรดังกล่าวไปขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและนำไปทดสอบการสีข้าว พบว่า มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย ร้อยละ 16.41 และอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 3.91 กรัม/ชั่วโมง ส่วนลูกหินขัดข้าวเดิมที่ใช้วัสดุผสมจากต่างประเทศทั้งหมด มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 23.98 และอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 7.02 กรัม/ชั่วโมง ดังนั้น การใช้วัสดุปอซโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศเป็นวัสดุผสมจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสีข้าวและปรับปรุงคุณภาพของลูกหินขัดข้าวได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ปอซโซลาน วัสดุผสม ลูกหินขัดข้าว กระบวนการขึ้นรูป

Abstract

The objective of this research was to apply pozzolan material as a binder replacement with the original binder material and use domestic abrasive material as composite material in the casting process of rice polishing cylinders. In the present, the original binder was imported as calcined magnesite cement that cost an

*Corresponding author. Tel.: +66-4535-3319 ; fax: +66-4535-3333

Email address: thitikan2515@yahoo.com.

average of 50 million baht per year. This research has selected pozzolan materials which consist of rice husk ash, bagasse ash, and metakaolin to use in the experiment and substitute Calcined Magnesite Cement by 60% using design of experimental with licensed Minitab Release 14. According to the mixture design function which has 10 formulations for compressive strength and tensile strength testing, it found that the optimal formular was rice husk ash : bagasse ash : metakaolin equal to 15: 25 : 60. When used this formular to cast the cylinder and test rice milling, it found that average broken rice percent was reduced to 16.41 and the average wear rate was 3.91 g/hr. While the rice polishing cylinder which used all abroad composite material has average broken rice percent equal to 23.98 and average wear rate equal to 7.02 g/hr. So, the using composite material from pozzolan materials and domestic abrasive material can improve the efficiency of rice milling and quality of rice polishing cylinder.

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

1. บทนำ

สำหรับประเทศไทยนั้น เครื่องสีข้าวเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรพื้นฐานที่มีความสำคัญกับเกษตรกรไทยมาด้วยดีโดยตลอด เกษตรกรได้นำเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1-2 ตันต่อวันและเครื่องสีข้าวขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือนที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 กระสอบต่อวันมาใช้ในปัจจุบันกันมากขึ้นเนื่องจากสะดวก รวดเร็ว เพราะสามารถสีข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือน ในการออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กก็จะแตกต่างกันตามท้องถิ่น มีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ลูกหินที่เป็นแบบแกนนอนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น ถึงอย่างไรก็ดี คุณภาพข้าวที่สีออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดพันธุ์ข้าว รูปร่าง ขนาด ความชื้น รวมทั้งกลไกการกะเทาะเปลือกและขัดขาวในเครื่องสีข้าวด้วย [1] สำหรับการขัดขาวเป็นขั้นตอนที่สำคัญและคุณภาพของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสีจะมีเปอร์เซ็นต์การหักมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของหินขัดที่ใช้เป็นสำคัญ [2] ลูกหินขัดไม่ว่าจะเป็นแบบแกนตั้งหรือแบบแกนนอนที่นิยมใช้กันอยู่ในชนบทประเทศไทยในปัจจุบันนี้ มีวัสดุผสม 2 ส่วนที่สำคัญ [3] คือ ส่วนที่ 1 คือ วัสดุขัดสี ได้แก่ หินกากเพชร (Emery grain) และ หินกากแก้ว (Silicon carbide) ส่วน

ที่ 2 คือ วัสดุประสาน ที่เป็นส่วนผสมระหว่างปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ และเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

ในกระบวนการหล่อลูกหินขัดทำได้โดยนำเพลาล้อหินที่ทำด้วยเหล็กหล่อไปกะเทาะเอาวัสดุหุ้มที่ ชำรุดอกและพอกหุ้มใหม่โดยผสมปูนและหินในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีดักริความเค็ม 30 ดิกรี ผสมทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมที่มีความเหนียว ปั้นขึ้นรูปได้นี้ไปพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว เมื่อแห้งแล้วประมาณ 1 วัน จึงนำมาเกลึงแต่งผิว และให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ เมื่อเกลึงเสร็จแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ถึงอย่างไรก็ดีจากกระบวนการขึ้นรูปลูกหินดังกล่าวขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวัง คือ การผสมปูนและน้ำเกลือให้ได้ความเหนียวที่เหมาะสม โดยกระบวนการนี้ใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการผสม [4] เพราะถ้าลูกหินขัดที่ขึ้นรูปแล้วมีความแข็งมากเกินไป จะทำให้ข้าวหัก และถ้าลูกหินอ่อนมากเกินไป จะทำให้เม็ดหินหลุดมีการสึกหรอ รวดเร็วก่อนเวลาอันควร ซึ่งลูกหินขัดที่หมดสภาพแล้ว หรือมีคุณภาพไม่ดีก็จะเป็นการไม่สามารถนำมาใช้ได้

ปัจจุบันพบว่าวัสดุประสาน คือ ปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ประมาณ 2,077 ตันปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยปีละ 50 ล้านบาท [5] จึง

มีแนวคิดในการประยุกต์วัสดุพอลิซิลานในประเทศ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางภาคเกษตรกรรม คือ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย และดินขาวเผา มาเป็นส่วนผสมร่วมกับปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิต รวมถึงการปรับปรุงส่วนผสมให้เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น [6] เช่นงานวิจัย Sangmahamud P. [7] เรื่อง ความคงทนของก้อนหล่อแข็งจากตะกอนโรงชุบโลหะที่ใช้เถ้าแกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ โดยใช้เถ้าแกลบทำการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้เถ้าแกลบที่ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 95.6 จากนั้นนำเถ้าแกลบที่เตรียมได้มาใช้แทนปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนัก พบว่าที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบและกากตะกอน โรงชุบโลหะที่เหมาะสมคือปริมาณร้อยละ 10 สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าขานอ้อย Montakansiwong C. [8] เรื่อง การศึกษาความร้อนของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าขานอ้อยร้อยละ 20, 30, 40 พบว่าการใช้เถ้าขานอ้อยที่มีปริมาณ LOI และ CaO ต่ำแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตลดลง 4.1 ถึง 11.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า เถ้าขานอ้อยที่มีค่าปริมาณ LOI ต่ำและปรับปรุงคุณภาพโดยการบดให้ละเอียดเพิ่มขึ้น เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถใช้งานคอนกรีตได้เป็นอย่างดี ในส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับดินขาวเผานั้น Suwannapu K. [9] ได้ศึกษา ผลของดินขาวต่อกำลังและความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต โดยได้ทำการเผาดินขาว ด้วยความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้ระดับการแทนที่ซีเมนต์ด้วยดินขาว ในอัตราร้อยละ 0, 10, 20, 30 ผลการศึกษา พบว่า ดินขาวช่วยปรับปรุงโครงสร้างภายในของคอนกรีต โดยคอนกรีตผสมดินขาวมีกำลังอัด

และกำลังดัดสูงขึ้น สำหรับ วัสดุขัดสี นั้น คือ หินกากเพชร และหินกากแก้ว ก็มีการนำเข้าจากต่างประเทศ เช่นกัน ประมาณ 1,335 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยปีละ 13 ล้านบาท [5] ซึ่งพบว่ามีงานวิจัยของ Bangpan S. [10] เรื่องการพัฒนาวัสดุผสมทางเลือกสำหรับลูกหินขัดข้าว โดยใช้วัสดุขัดสีในประเทศคือ แร่ควอทซ์และหินกากแก้วรีไซเคิลที่มีราคาต่ำกว่าวัสดุขัดสีเดิมประมาณร้อยละ 50 มาใช้เป็นวัสดุผสม โดยออกแบบการทดลองทั้งหมด 10 สูตร และทดสอบการสีข้าว โดยพบว่า สูตรที่ แร่ควอทซ์และหินกากแก้วรีไซเคิล ในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 เป็นสูตรที่เหมาะสม ให้ผลตอบสูงสุด ร้อยละข้าวดี 92.14 และอัตราการสึกหรอ 1.89 กรัม/ชั่วโมง ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำวัสดุพอลิซิลานและวัสดุขัดสีในประเทศเพื่อใช้เป็นวัสดุผสม แต่ยังไม่มีการศึกษาเพื่อนำมาทดแทนในลูกหินขัดข้าว ซึ่งการประยุกต์ใช้วัสดุพอลิซิลานและวัสดุขัดสีในประเทศเพื่อทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ และวัสดุขัดสีที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าการนำเข้าสูง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตและการเพิ่มมูลค่าของวัสดุดังกล่าว จึงเป็นที่มาของงานวิจัย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับปัจจัยควบคุม คือ วัสดุพอลิซิลาน ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย และดินขาวเผา ที่ทำการบดและผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยใช้ทดแทนในอัตราส่วนรวมร้อยละ 40 : สัดส่วนของปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ ในอัตราร้อยละ 60 สำหรับการทดแทนโดยใช้วัสดุพอลิซิลานในอัตราส่วนร้อยละ 40 เพื่อให้มีการทดแทนในอัตราสูงสุด [7-9] และทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบและลูกหินขนาดจริง ในอัตราส่วนเดียวกัน คือ วัสดุขัดสี : วัสดุประสาน อัตรา 5 : 1 [3] และทดสอบการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

แบบแกนนอนซึ่งนิยมใช้กันในชนบท ในส่วนข้าวเปลือกที่ทำการทดลองเพื่อสีชาวนั้น เป็นข้าวดอกมะลิ 105 ตามมาตรฐาน มอก 888-2532 ซึ่งใช้ในการทดลองกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และข้าวเปลือกที่ทำการทดลองจะผ่านการตรวจวัดความชื้นและทำความสะอาดเพื่อขจัดเศษที่ปนมา มีการป้อนข้าวเปลือกในอัตรา 20 กิโลกรัม ต่อ 1 หน่วยทดลอง ทั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม มินิแทปรีลิส 14 ที่มีลิขสิทธิ์ ในการออกแบบการทดลองด้วย ฟังก์ชันการออกแบบส่วนผสม โดยใช้แบบซิมเพล็กซ์-เซนทรอยด์ (Simplex centroid) [11-12] วิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับทดสอบปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย และสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุปอชโซลานในการสร้างพื้นผิวผลตอบจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive strength) และความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ซึ่งทั้งสองปัจจัยเป็นส่วนสำคัญในการบ่งชี้ประสิทธิภาพของวัสดุผสม [3]

2.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานแล้วนำสัดส่วนที่เหมาะสมใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวจริง โดยมีผลตอบ 2 ส่วน คือ ความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึง

2) การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสีข้าวของวัสดุผสมแบบเดิมและวัสดุผสมแบบใหม่ โดยมีผลตอบ 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหัก และอัตราการสีห่อ

สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย และดินขาวเผา โดยกำหนดให้ x_1 , x_2 และ x_3 คือ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย และ ดินขาวเผา ตามลำดับซึ่งเมื่อใช้โปรแกรม ในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบส่วนผสม จะได้ทั้งหมด 10 สูตร ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนวัสดุปอชโซลานในการออกแบบการทดลอง

สูตร ที่	สัดส่วนวัสดุปอชโซลาน ของแต่ละสูตร (%)			วัสดุผสม (คงที่)	
	x_1	x_2	x_3	ปูน (กรัม)	วัสดุ ขัดสี (กรัม)
1	100	0	0	60	500
2	0	100	0	60	500
3	0	0	100	60	500
4	50	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 ดิกรี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2) นำส่วนผสมต่างๆคลุกเคล้าให้เข้าด้วยกัน จากนั้นค่อยเทน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไป แล้วคลุกเคล้าให้เข้าด้วยกัน

3) นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 2 ไปทำขึ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก.409-2525 เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัด และทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยตรง ในรูปแบบขึ้นทดสอบแบบบรีค ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนทดสอบความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึง

4) ขั้นตอนทดสอบที่ได้จากข้อ 3 นำไปตั้งทิ้งไว้ให้แห้งพอดีและใช้ถุงพลาสติกคลุมบ่มไว้เป็นเวลา 7 วัน

5) ทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามขั้นตอนที่ 1-4 ให้ได้จำนวน 3 ชิ้นงานต่อการทดสอบในแต่ละสูตร

2.4 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

1) ผสมวัสดุขัดสี คือ แร่ควอทซ์และหินกากแก้ววีไซเคิล ในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 กับ วัสดุประสาน คือ ปูนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 60 กับวัสดุปอชโซลาน ร้อยละ 40 โดยมีอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน

2) เทน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเค็ม 30 ดีกรี ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงในส่วนผสมตามข้อ 1 แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3) นำส่วนผสมที่มีความเหนียว บันขึ้นรูปโดยพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อของลูกหินขัดข้าวให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การพอกส่วนผสมขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

4) บ่มชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำลูกหินขัดข้าวทำลึงแต่งหน้าหินให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

2.5 การทดลองสีข้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ

1) นำลูกหินมาซึ่งน้ำหนักแล้วประกอบใส่ในเครื่องสีข้าว ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกับหน้าลูกหินให้ได้ระยะ 1.5 มิลลิเมตร

2) ทำการสีข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เพื่อล้างหน้าหินก่อน 5 กิโลกรัม หลังจากนั้นจึงสีข้าวต่อเนื่องอีกจำนวน 20 กิโลกรัมต่อหนึ่งหน่วยการทดลอง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การนำลูกหินขัดข้าวมาทดสอบการสีข้าว

3) นำลูกหินที่ผ่านการสีข้าวแล้วมาทำความสะอาดเพื่อที่จะเอาเศษข้าวและรำที่ติดมากับลูกหิน โดยใช้ลมเป่า แล้วชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

4) สุ่มข้าวสารมาทดสอบเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก ด้วยเครื่องแยกข้าว และคำนวณอัตราการสีหรือของลูกหินขัดข้าว จากน้ำหนักลูกหินที่หายไปต่อเวลาสี

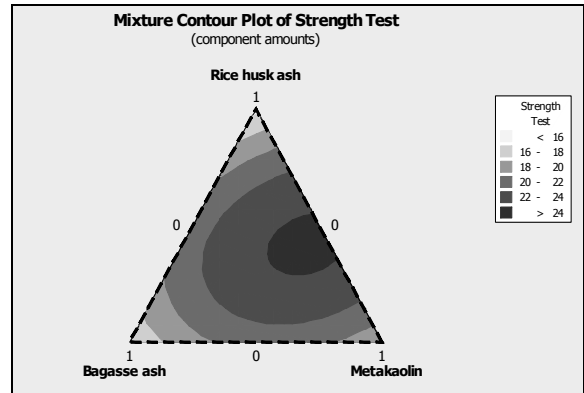
5) ทำการทดลองตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 1 ถึง ข้อ 3 โดยทำซ้ำให้ครบ 3 ครั้ง

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

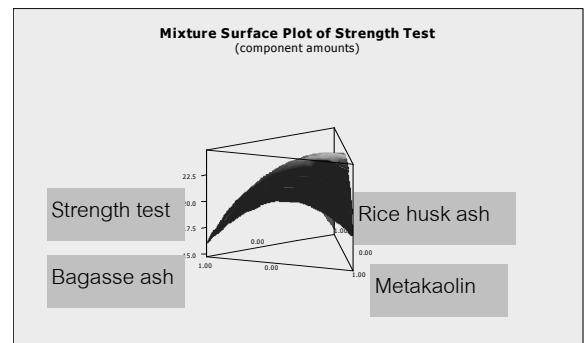
3.1 ผลการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลาน

ในโปรแกรม มินิแทปรีลิส 14 มีฟังก์ชัน Response optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัยที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษานี้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (Desirability function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (Lower) ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าในระดับสูงสุด (Upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบ (Weight) และค่าความสำคัญของผลตอบ (Importance) ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด สำหรับขอบเขตของผลตอบในส่วนของแรงอัดและแรงดึงได้กำหนดค่าเป้าหมายให้ใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยของแรงอัดและแรงดึงของวัสดุประสานปัจจุบัน [3] กล่าวคือ แรงอัดที่ 23 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 20 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 26 MPa ในส่วนแรงดึงที่ 4 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 3 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 5 MPa

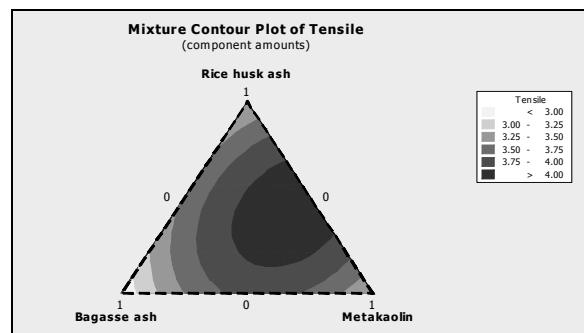
เมื่อทำการประมวลผล พบว่า ได้ลักษณะรูปร่างส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงอัด ตามรูปที่ 4 โดยมีลักษณะพื้นผิวผลตอบในการทดสอบความต้านทานแรงอัด ตามรูปที่ 5 และ ลักษณะของรูปร่างส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามรูปที่ 6 โดยมีลักษณะพื้นผิวผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองส่วนมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของค่าเป้าหมายอยู่ในบริเวณดินขาวเผา และเมื่อประมวลผลทั้งสองส่วนรวมกันจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานที่ต้องการ



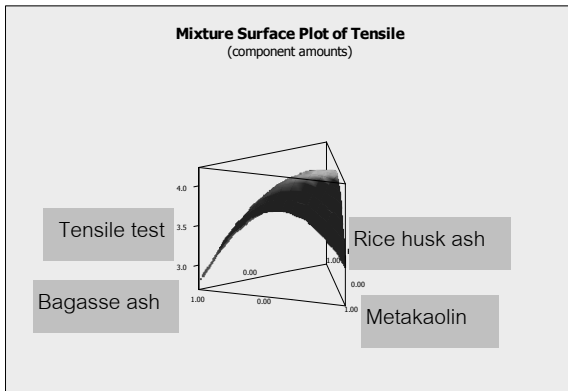
รูปที่ 4 ลักษณะรูปร่างส่วนผสมของการทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 5 ลักษณะพื้นผิวผลตอบส่วนผสมของการทดสอบความต้านทานแรงอัด

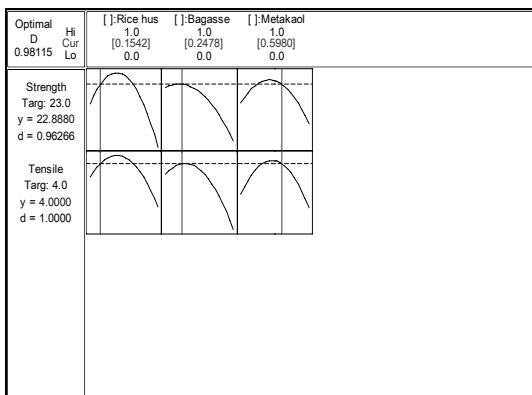


รูปที่ 6 ลักษณะรูปร่างส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 7 ลักษณะพื้นผิวผลตอบส่วนผสมของการทดสอบความต้านทานแรงดึง

จากการประมวลผลรวมทั้งสองส่วน ตามรูปที่ 8 พบว่า สัดส่วนของวัสดุโพลานที่มีเหมาะสมมีอัตราส่วนคือ เถ้าแกลบ 0.15423 : เถ้าขานอ้อย 0.24776 : ดินขาว เผา 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 โดยมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ย 0.98115 ซึ่งค่าความพึงพอใจดังกล่าวใกล้เคียง 1 ตามที่กำหนดไว้ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไปได้



รูปที่ 8 ลักษณะของผลตอบและค่าความพึงพอใจโดยรวมของความต้านทานแรงอัดและแรงดึง

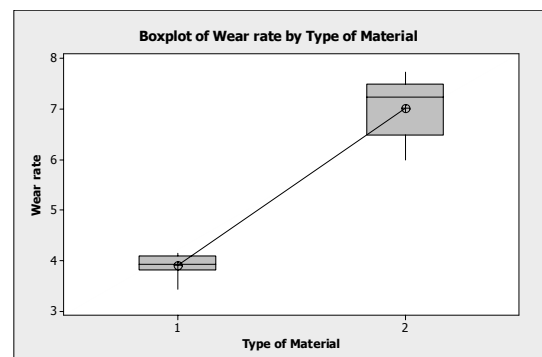
3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสึกกร่อน

เมื่อทำการประมวลผล เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกกร่อนระหว่างลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีวัสดุพอลิโพรพิลีนและวัสดุขัดสีในประเทศเป็นวัสดุผสมกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้วัสดุผสมจากต่างประเทศทั้งหมด พบว่าประเภทของวัสดุผสมมีผลต่อ อัตราการสึกกร่อนของลูกหินขัดข้าว ตามตารางที่ 2 กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และพบว่า ค่า R-Sq = 89.64% R-Sq(adj) = 88.26% โดยทั่วไป หากค่าดังกล่าว มีค่าร้อยละ 70 ขึ้นไป [11] แล้วค่าที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ต่อไปได้ ทั้งนี้พบว่า อัตราการสึกกร่อนของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีอัตราการสึกกร่อนเฉลี่ย 3.906 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีอัตราการสึกกร่อนเฉลี่ย 7.022 กรัม/ชั่วโมง โดยแสดงผลของข้อมูลตามรูปที่ 7

ตารางที่ 2 ผลการประมวลผลในการทดสอบปัจจัยระหว่างประเภทของวัสดุผสมกับอัตราการสึกกร่อน

Source	DF	SS	F	P
Type Material	1	43.71	217.51	0.000
Error	16	3.22		
Total	17	46.93		

S = 0.4483 R-Sq = 93.15% R-Sq(adj) = 92.72%



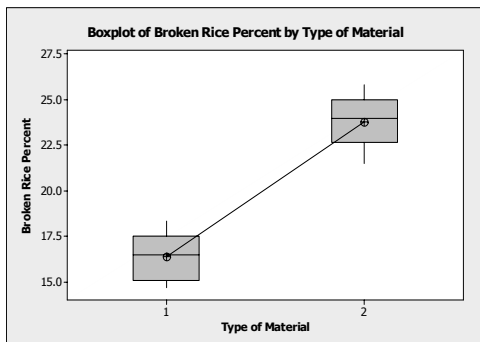
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอัตราการสึกกร่อนเฉลี่ยของลูกหินขัดข้าวทั้งสองประเภท

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักพบว่า ประสิทธิภาพการสีข้าวพบว่ามีผลต่อ ร้อยละข้าวหักเช่นกัน ตามตารางที่ 3 กล่าวคือ ค่า P น้อยกว่า $\alpha = 0.05$ และ พบว่า ค่า R-Sq = 89.16% R-Sq(adj) = 88.48% โดยทั่วไป หากค่าดังกล่าว มีค่าร้อยละ 70 ขึ้นไป [11] แล้วค่าที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ต่อไปได้ ทั้งนี้พบว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 16.41 ซึ่งน้อยกว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 23.80 โดยแสดงผลของข้อมูลตามรูปที่ 8

ตารางที่ 3 ผลการประมวลผลการทดสอบปัจจัยระหว่าง ประสิทธิภาพการสีข้าวกับร้อยละข้าวหัก

Source	DF	SS	F	P
Type Material	1	245.68	131.61	0.000
Error	16	29.87		
Total	17	275.55		

S = 1.366 R-Sq = 89.16% R-Sq(adj) = 88.48%



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักเฉลี่ยที่เกิดจาก ลูกหินขัดข้าวทั้งสองประเภท

3.3 การประเมินประสิทธิภาพกับต้นทุนวัสดุ

จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ระหว่าง ลูกหินแบบเดิมที่ใช้วัสดุผสมทั้งหมดจากต่างประเทศกับ ลูกหินแบบใหม่ที่ใช้วัสดุปอชโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศเป็นวัสดุผสม พบว่า ลูกหินแบบเดิมใช้เวลาขัดสี ข้าวเปลือกเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 60 นาที ส่วนลูกหินแบบ ใหม่ ใช้เวลาเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 65 นาที จะเห็นได้ว่า

ประสิทธิภาพการทำงานใกล้เคียงกัน สำหรับ ประสิทธิภาพการสีข้าวพบว่ามีผลต่อ ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย ร้อยละ 23.98 และอัตราการสีหหรือ 7.02 กรัม/ชั่วโมง ส่วนลูกหินแบบใหม่ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย ร้อยละ 16.41 และอัตราการสีหหรือ 3.91 กรัม/ชั่วโมง จะ เห็นได้ว่า ลูกหินแบบใหม่มีร้อยละข้าวหักลดลงและอัตราการสีหหรือต่ำกว่าลูกหินแบบเดิม โดยแสดงการ เปรียบเทียบตามตารางที่ 4 สำหรับ ต้นทุนวัสดุลูกหินขัด ข้าวประกอบด้วย ส่วนผสมต่างๆ [12] ดังนี้

วัสดุผสมที่นำเข้าจากต่างประเทศ ประกอบด้วย

หินกากเพชร	= 60 บาท/กก.
หินกากแก้ว	= 70 บาท/กก.
ปูนเคลือบเม็ดแกรนิต	= 75 บาท/กก.
น้ำเกลือ	= 50 บาท/กก.

วัสดุผสมที่มีส่วนผสมปอชโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศประกอบด้วย

ปูนเคลือบเม็ดแกรนิต	ร้อยละ 60	= 45 บาท/กก.
วัสดุปอชโซลาน	ร้อยละ 40	= 5 บาท/กก.
แร่ควอทซ์		= 30 บาท/กก.
หินกากแก้วรีไซเคิล		= 35 บาท/กก.
แกนหินขัดในประเทศ		= 700 บาท/แกน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุทั้งสองและ ผลลัพธ์หลังการขัดสีข้าวเปลือก

รายการ	ลูกหินแบบเดิม	ลูกหินแบบใหม่
ต้นทุน(บาท)	1,090	935
ข้าวที่ได้(กก./วัน)	120	130
ค่าไฟฟ้า(บาท)	7.30	7.30
เฉลี่ยกิโลกรัมต่อชั่วโมง	20	20
ที่สีได้		
ข้าวเปลือก 1 กก.	600	650
สีข้าวสาร (กรัม)		
ร้อยละข้าวหัก	23.98	16.41
อัตราการสีหหรือ	7.02	3.91
เวลาที่ใช้ (นาที)	60	65
ค่าแรงงาน (ต่อวันต่อคน)	250	250

4. สรุปและเสนอแนะ

เมื่อนำวัสดุปอชโซลานคือ แก้วเคลือบ แก้วชานอ้อย และ ดินขาวเผา ในอัตราส่วน 15 : 25 : 60 คิดเป็น ปริมาณรวมร้อยละ 40 ผสมรวมกับ ปูนแคลซิเนดแมกนีไซท์ ซึ่งเป็นวัสดุประสานเดิมในอัตราส่วนร้อยละ 60 มาใช้ร่วมกับวัสดุขัดสีในประเทศคือ แร่ควอทซ์และหินกากแก้ว ริชเคิล ในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 เพื่อเป็นวัสดุผสมในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว พบว่า จากทดสอบการประสิทธิภาพการสีข้าวโดยเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุผสมจากต่างประเทศทั้งหมดนั้น ลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีวัสดุผสมจากวัสดุปอชโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศมีปริมาณข้าวที่สีได้ต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.33 ร้อยละข้าวหักเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 7.57 และ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 44.30 ซึ่งจะส่งผลให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น โดยมีต้นทุนต่อลูกลดลงร้อยละ 14.22 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การใช้วัสดุผสมจากวัสดุปอชโซลานซึ่งโดยทั่วไปจะมีสารซิลิกาปริมาณสูงและสารซิลิกาก็ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งได้ดี จึงทำให้ลูกหินขัดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอลดลง นอกจากนี้แร่ควอทซ์ที่เป็นวัสดุขัดสีในประเทศมีความคมและละเอียดจึงทำให้การขัดสีข้าวเป็นไปได้ดีทำให้ร้อยละของข้าวหักที่ลดลง ถึงอย่างไรก็ตาม การลดต้นทุนในอนาคต สามารถลดค่าวัสดุจากน้ำเกลือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและแกนหินขัดภายในประเทศที่มีราคาต่ำกว่านี้แต่ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาประยุกต์ใช้ รวมถึงการพัฒนาลูกหินขัดข้าวในอนาคต นอกจากจะพัฒนาวัสดุผสมแล้ว ควรพัฒนาระบบการ เพราะการขึ้นรูปแบบเดิมยังใช้ความชำนาญของช่างจึงทำให้ลูกหินมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอได้ ซึ่งการขึ้นรูปแบบใหม่ที่ใช้เครื่องหล่อเรียงมาช่วยในการขึ้นรูป ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาระบบการขึ้นรูปให้เป็นไปอย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้การวิจัยและพัฒนาลูกหินขัดข้าวมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณบริษัทอุบลกรุงเทพกลการที่ให้ความอนุเคราะห์ช่างในการขึ้นรูปชิ้นงานและลูกหินขัดข้าว รวมถึงบริษัทสหเรืองและบริษัทดินขาวลำปางที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Naewpanich M. Quality of paddy. Report of Harvest Back Engineering Research. Department of Agriculture. 2001. (In Thai).
- [2] Pummarin W, Ratanapusadee S. Modifying new rice polishing cylinder for rice quality increasing : experimental in mall rice mill machine. Proceeding of IE Network. 2002 Oct 24-25; Kanjanaburi, Thailand. 2002. p.486-93. (In Thai).
- [3] Lee S, Choksawadi S, Lee M F. Physical and mechanical properties study of composite material for rice polishing cylinder casting in small rice mill. Research report. Faculty of engineering, Ubon Ratchathani University. 2003. (In Thai).
- [4] Boonkang T. Parameters study which affect to wear rate of rice polishing cylinder in small rice mill [MEng thesis]. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University; 2007. (In Thai).
- [5] Customer department. Statistic of import and export. Customer report. 2011. (In Thai).

- [6] Jindaprasert P, Jatupitak C. Cement pozzolan and concrete. Thai concrete association. 2008. (In Thai).
- [7] Sangmahamud P. Durability of solid sludge metal used as rice husk ash fast reactive to replace instead cement [MEng thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2002. (In Thai).
- [8] Montakansiwong C, Siripanidtakorn A, Jatupitak C, Kiatkomol K. Strength and heat of concrete mix bagasse ash. Annual Conference Concrete 1, 2005 Oct 25-27; Rayong, Thailand. 2005. p.53-61. (In Thai).
- [9] Suwannapuk J. Effect of kaolin on strength and chloride resistance of concrete [MEng thesis]. Bangkok : Kastsart University; 2003. (In Thai).
- [10] Bangpan S, Lee S. The efficiency comparison between the rice polishing cylinder produced from emery and quartz. UBU Eng J. 2008;1(1) : 33-42. (In Thai).
- [11] Bangpan S, Lee S, Jomjunyung S. The statistical of mixture design of rice Polishing cylinder. The World Congress on Engineering. London, England. 2008 July 2-4. p.1226-31.
- [12] Bangpan S, Lee S, Jomjunyung S. The optimal milling condition of the quartz rice polishing cylinder using response surface methodology. The World Congress on Engineering. London, England. 2009 July 1-3. p. 743-747.