

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยหินกากเพชรและ หินเขียวหนุมาน

The Efficiency Comparison between the Rice-Polishing Cylinders Produced from Emery and Quartz

สุรพงศ์ บำพาน สุขอังคณา ลี *

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Surapong Bangphan Sukangkana Lee *

Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

Tel : 045-353319 sukangkana.lee@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติและประสิทธิภาพการสีข้าวระหว่างแร่เอเมอรี่และหินเขียวหนุมาน โดยได้ทำการทดสอบผลการขัดสีข้าวของลูกหิน-หินเขียวหนุมานที่มาจากแหล่งแร่ 3 แหล่งเพื่อนำค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด มาเปรียบเทียบกับลูกหินเอเมอรี่ จากการทดลองพบว่า ชนิดของหินเขียวหนุมานที่เหมาะสมที่สุด คือ หินเขียวหนุมาน จากแหล่งอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีร้อยละข้าวหักเท่ากับ 7.86 และอัตราการสึกหรอเท่ากับ 1.89 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งร้อยละข้าวหักลดลงถึง 3 เท่า และมีการสึกหรอลดลง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับหินขัดข้าวที่ผลิตด้วยหินกากเพชร นอกจากนี้ ความต้านทานแรงอัดของส่วนผสมลูกหินซึ่งใช้หินเขียวหนุมานมีค่าประมาณ 51.97 N/mm^2 ซึ่งมากกว่าและความต้านทานแรงอัดของหินขัดข้าวที่ผลิตด้วยหินกากเพชรเกือบ 2 เท่าตัว ส่งผลให้มีการสึกหรอและการร่วงหลุดของเม็ดหินต่ำลง

คำหลัก ประสิทธิภาพสีข้าว, ลูกหินขัดข้าว, หินเขียวหนุมาน, หินกากเพชร

Abstract

This paper presents properties and milling efficiency comparison between the rice polishing cylinders shaped by quartz and by conventional emery grains. Quartz samples used in this experiment are from three different places of

Thailand. The initial experiments were conducted to determine the best quartz in terms of percentage of broken rice and wear rate of rice polishing cylinder. The result obtained displays the best quartz from Thoen district (Lampang province) giving the broken rice percentage of 7.86 coupled with the wear rate of 1.89 gram per hour. This is three times reduction in broken rice percentage and twice reduction in wear rate compared to the conventional emery grain. The compressive strength of the quartz mixture is 51.97 N/mm^2 doubling the conventional emery which gives low wear rate.

Keywords: Rice milling Efficiency, Rice Polishing Cylinder, Quartz, Emery

1. บทนำ

กระบวนการสีข้าวในปัจจุบัน ใช้หลักการของ การขัดสี (Abrasive type) ในห้องขัดข้าวนั้นข้าวเปลือกจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างลูกหินขัดข้าว และแบ่งยาง ที่มีระยะห่างกันประมาณ 1 ถึง 2 มม. และผ่านไปสู่ระบบแยกแกลบและรำต่อไป ลูกหินขัดข้าวโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบทรงกระบอกสีข้าวแนวนอน ซึ่งนิยมใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และ ทรงกรวยสีข้าวแกนตั้ง ซึ่งนิยมใช้ในโรงสีข้าวขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ลูกหินทั้งสองแบบนี้ผลิตด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน คือ แร่เอเมอรี่ (Emery) หรือ

เรียกทั่วไปว่า หินกากเพชร และ ซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือ หินกากแก้ว

สำหรับในชนบทประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กระบบ แกนนอนกระจายอยู่ทั่วไปเกือบทุกหมู่บ้าน และส่วนใหญ่ เป็นเครื่องสีข้าวที่ผลิตจากโรงงานในท้องถิ่น นอกจากนี้ ยังพบว่า มีการใช้งานเครื่องสีข้าวขนาดเล็กครัวเรือนกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากราคาถูก ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า เป็นระบบที่สีข้าวเปลือกเป็นข้าวสารในครั้งเดียว โดยที่ข้าวเปลือกจะถูกบีบให้เปลือกแตกออกด้วยลูกหินขัดที่หมุนด้วยความเร็วประมาณ 1400 รอบต่อนาที และข้าวกลิ้งจะถูกขัดสีด้วยลูกหิน ลูกยางและ แกลบ จากนั้นทั้งข้าวสารและแกลบจะผ่านไปสู่ระบบ แยกแกลบและรำต่อไป

เป็นที่ทราบกันดีว่า คุณภาพของข้าวสารที่ผ่านการขัดสี จะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ความเร็วรอบของเครื่อง ช่องว่างระหว่างลูกหินกับยาง ความชื้นของข้าวเปลือก พันธุ์ข้าว อุณหภูมิในห้องสีข้าว แต่คุณภาพของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสี จะมีร้อยละการหักมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับหินขัดที่ใช้เป็นสำคัญ [1] และถ้าหากลูกหินขัดมีอัตราการสึกหรอมาก จะทำให้ประสิทธิภาพการสีข้าวลดลงอย่างมาก [2]

จากหลักการของการขัดสี วัสดุขัดสีจะต้องมีความแข็งกว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการขัดสี ดังนั้นจึงนิยมใช้ แร่เอเมอรี (Emery) ซึ่งเป็นแร่ในตระกูลกะรุน (Corundum, Al_2O_3) ที่ผ่านการบดให้เป็นเม็ดขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 46 mesh แต่ที่นิยมใช้ในลูกหินขัดจะมีขนาด 16 - 18 mesh (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดประมาณ 1 ถึง 3 มม.) มีสีเทาอมน้ำตาล ผิวขรุขระ มีความคม และ มีความแข็งสูง [3] อย่างไรก็ตามแร่ดังกล่าวไม่ต่ำกว่า 60% ที่ใช้อยู่ทั่วประเทศ เป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ จากรายงานของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ [4] ตั้งแต่ปี 2001 - 2006 ประเทศไทย แร่เอเมอรีซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของแร่ โลหะและหินมีค่า มีปริมาณนำเข้าในปี พ.ศ. 2544 ประมาณ 2800 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 35 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณนำเข้าเพิ่มขึ้นถึง 3800 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 43 ล้านบาท และมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณและมูลค่าสูงขึ้น ดังนั้นถ้าหากประสิทธิภาพของลูกหินขัดไม่ดีเท่าที่ควร และ/หรือ มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็จะเป็นการสิ้นเปลือง

เพราะลูกหินที่หมดสภาพแล้ว หรือที่ไม่มีคุณภาพจะไม่สามารถนำวัสดุกลับมาใช้ได้อีก

จากการวิจัยของ บุญทัน ไพลีขาว และ อภิสิทธิ์ หินแก้ว [5] ได้ศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับสีข้าวครั้งเดียว โดยนำหินกากเพชรและกากแก้วมาผสมในสัดส่วน 5:1 และขึ้นรูปด้วยวิธีการตั้งเค็มแบบพอกหุ้ม และบ่มประมาณ 1 วันพบว่า ปัจจัยทางด้านกายภาพที่มีผลต่อการขัดสี ได้แก่ ขนาดเม็ดหิน ความขรุขระ ความคม และรูปร่าง โดยจะมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างส่วนผสม หินที่มีขนาดต่างกันจะจับตัวกันไม่แน่น เนื่องจากมีเม็ดใหญ่ กั้นการเชื่อมประสานของเม็ดหินขัดข้าว จากการวิจัยของ สุรพงศ์ บางพาน และคณะ [6] Surapong et al [7-8] ได้เสนอการนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง มาใช้ในการสร้าง แบบจำลอง ด้วยวิธี Mixture Design ชนิด Special Cubic Model เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมเมื่อ นำแร่หินเขี้ยวหนูมาน(แหล่งเดียว)จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรีทดแทนหินกากเพชร และ หินกากแก้วที่ทิ้งจากอุตสาหกรรมเซรามิกส์ สำหรับนำมาใช้ในเครื่องสีข้าวระบบแกนนอนแบบสีครั้งเดียว พบว่า ลูกหินขัดวัสดุทดแทนดังกล่าวมีค่าอัตราการสึกหรอเท่ากับ 2.54 กรัมต่อชั่วโมงและ ร้อยละข้าวสารที่ดีที่ได้ผลดีที่สุดมีค่าร้อยละ 95.40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมเท่ากับ 27.5 องศาเซลเซียส และ 12.80% ตามลำดับที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่า $R^2_{(adjust)}$ เท่ากับ 83.58% และ 74.64% ตามลำดับ และ สุรพงศ์ บางพาน และคณะ [6] ได้นำเสนอการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง Mixture Design ชนิด Special Cubic Model มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุด เมื่อนำแร่หินเขี้ยวหนูมาจาก แหล่งบ่อพลอย แหล่งเวียงป่าเป้า และ แหล่งเถิน และ หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า วัสดุทั้งสามแหล่งสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นลูกหินขัด ตามสูตรได้ และสามารถใช้งานได้ดี มีการสึกหรอต่ำ ค่าที่เหมาะสมและดีที่สุด ได้จากลูกหินซึ่งใช้หินเขี้ยวหนูมาจาก อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดลพบุรี มีค่าอัตราการสึกหรอต่ำสุดเท่ากับ 1.89 กรัมต่อชั่วโมง และร้อยละข้าวดี (ปริมาณข้าวสารที่ได้) ที่ได้ผลดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 92.14 โดยน้ำหนัก ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่า $R^2_{(adjust)}$ เท่ากับ 78.62% และ 70.67 % ตามลำดับ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักที่จะศึกษาเปรียบเทียบ คุณสมบัติด้าน

การขัดสี ลักษณะกายภาพ ความแข็ง เพื่อนำมาขึ้นรูปปลูก หินที่ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ตลอดจนศึกษา ประสิทธิภาพของลูกหินขัด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับ เกษตรกรและผู้ประกอบการในการเลือกใช้ วัสดุทดแทน อันจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมของประเทศ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 สมบัติของวัตถุดิบ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของ หินเขียวหนุมาน (Quartz) ที่ผ่านการบด และแยกขนาด จากแหล่งในประเทศจำนวนทั้งหมด สามแหล่ง คือ แหล่งอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบึง จังหวัดลำปาง อำเภอยางป่าเป้า จังหวัดเชียงราย และ หินกากแก้วน้ำ กลับมาใช้ใหม่ (Reused Silicon Carbide) ด้วยกล้อง ดิจิตอลความละเอียด 5 ล้านพิกเซล จากนั้น ความคม ขนาด และ shape factor จะถูกวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Material Plus 4.1

2.2 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ แร่หินเขียวหนุมานทั้งสาม แหล่งกับหินกากแก้วน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Reused Silicon Carbide) โดยกำหนดให้ x_1 , x_2 และ x_3 คือ หินเขียวหนุมานเบอร์ 16, หินเขียวหนุมานเบอร์ 18 และ หินกากแก้วน้ำกลับมาใช้ใหม่ ตามลำดับ

2.3 สมมติฐานของการวิจัย

2.3.1 เปรียบเทียบร้อยละข้าวดี และ อัตราการสึกหรอ ระหว่างลูกหินซึ่งใช้หินเขียวหนุมานจากสามแหล่งที่ได้ภายในประเทศ เพื่อหาวัสดุที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด

2.3.2 เปรียบเทียบร้อยละข้าวดี และ อัตราการสึกหรอค่าที่ดีที่สุดจากข้อ 2.3.1 กับ เอเมอรี่ซึ่งเป็นวัสดุนำเข้า จากต่างประเทศว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างไร

2.3.3 ตัวแปรอิสระทั้งสามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (ร้อยละข้าวดี และ อัตราการสึกหรอ) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ วัสดุนำเข้าจากต่างประเทศอย่างไร (ถ้าค่าทดสอบที่ได้เท่ากับหรือน้อยกว่าสมมติฐานหลัก จะปฏิเสธสมมติฐานหลักแสดงว่าสมมติฐานเป็นจริง) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ตามสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \beta_1 = \beta_{1.0} = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq \beta_{1.0} \neq 0$$

นำผลการทดลองมาประมวลผล ด้วยโปรแกรม MINITAB Release 14.00 ด้วยวิธีการการออกแบบ Mixture Design ชนิด Special Cubic Model ได้ทั้งหมด 10 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนและตัวประสาน (ทำการออกแบบทั้งสาม แหล่งแร่ที่ได้ภายในประเทศ)

สูตร ที่	สัดส่วนผสมของแต่ละสูตร (%)			ตัวประสาน (องศา)	
	x_1	x_2	x_3	Calcined Magnesite (gram)	MgCl ₂ (Degree)
1	0.00	0.00	100.00	700	30
2	16.67	16.67	66.67	700	30
3	50.00	50.00	0.00	700	30
4	66.67	16.67	16.67	700	30
5	33.33	33.33	33.33	700	30
6	0.00	100.00	0.00	700	30
7	0.00	50.00	50.00	700	30
8	50.00	0.00	50.00	700	30
9	100.0	0.00	0.00	700	30
10	16.67	66.67	16.67	700	30

ตารางที่ 2 แสดงสัดส่วนและตัวประสานลูกหินขึ้นรูปด้วยการพอกหุ้ม สำหรับหินกากเพชรและหินกากแก้วน้ำเข้า [5].

สูตร ที่	สัดส่วนผสมของแต่ละสูตร (%)			ตัวประสาน (องศา)	
	x_1 (kg) SiC (#16)	x_2 (kg) Emery (#16)	x_3 (kg) Emery (#18)	Calcined Magnesite (gram)	MgCl ₂ (Degree)
1	37.00	63.00	-	700	30
2	37.00	-	63.00	700	30

จากตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนผสมที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ทั้งหมด 10 สูตรโดยแต่ละสูตรจะแปรผันตามปัจจัยที่ทำการศึกษาก็คือ วัสดุทั้ง 3 ชนิด ซึ่งสัดส่วนของวัสดุทั้ง 3 ของแต่ละสูตรประมาณ 2 กิโลกรัมต่อ 1 แร่ควอร์ตซ์ และมีตัวประสานเป็นค่าคงที่ประกอบด้วย ปูนขาว (Calcined magnesite) 700 กรัม และน้ำเกลือ (MgCl₂) ความเข้มข้น 30 ดีกรี ซึ่งเป็นระดับ

ความเค็มที่ใช้กันทั่วไป [3] ส่วนตารางที่ 2 แสดงสูตรที่ทำการทดลอง 2 สูตรด้วยวิธีดั้งเดิม

2.4 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

หินเชียวหนุมานจากทั้งสามแหล่งถูกขึ้นรูปตามสูตรในตารางที่ 1 และมีขั้นตอนเหมือนกัน ดังนี้

1. ผสมแร่หินเชียวหนุมาน (Quartz) เบอร์ 16, 18 กับ หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Reused Silicon Carbide) ดอปูน (Calcined Magnesite) โดยมีอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วผสมน้ำเกลือ $MgCl_2$ 30 ดีกรี ตามสูตรที่ได้จากการออกแบบการทดลองจากข้อ 2.2
2. นำส่วนผสมตามข้อที่ 1 เทลงในแบบหล่อให้เต็ม ทำการปิดหัวท้ายเพื่อป้องกันการตกหล่น ของส่วนผสม
3. ทำการขึ้นรูปลูกหินขัดด้วยเครื่องสั่น และปรับแรงดันให้เท่ากับ 1.5 kg/cm^2 เป็นเวลาประมาณ 25 - 35 วินาที ถอดแบบหล่อออกแล้วนำไปตากให้แห้งในที่ร่ม ประมาณ 30 นาที ซึ่งช่วยขจัดปัญหาความไม่แน่นอนจากการพอกหุ้มแบบวิธีดั้งเดิม และป้องกันการแตกจากการแข็งตัวเร็วเกินไป
4. บ่มชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำลูกหินขัดข้าวทำแต่งหน้าหินให้ได้ขนาด $\varnothing 4$ นิ้ว สำหรับใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

2.5 การทดลองสีข้าวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ

1. นำลูกหินมาซึ่งน้ำหนักแล้วประกอบใส่ในเครื่องสีข้าว ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกับหน้าลูกหินให้ได้ระยะ 1.5 มม.
2. ทำการสีข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เพื่อล้างหน้าดินก่อน 5 กิโลกรัม หลังจากนั้น จึงสีข้าวต่อเนื่องอีกจำนวน 25 กิโลกรัมต่อหนึ่งหน่วยการทดลอง
3. นำลูกหินที่ผ่านการสีข้าวแล้วมาทำความสะอาด เพื่อที่จะเอาเศษข้าวและรำที่ติดมากับลูกหิน โดยใช้ลมเป่า แล้วชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
4. สุ่มข้าวสารมาทดสอบร้อยละข้าวดี ด้วยเครื่องแยกข้าว และคำนวณอัตราการสีหรือของลูกหินขัดข้าว จากน้ำหนักลูกหินที่หายไปต่อเวลาสี
5. ทำการทดลองตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 1

ถึง ข้อ 4 โดยทำซ้ำให้ครบ 4 ครั้งต่อหินเชียวหนุมาน 1 แหล่ง

6. นำผลการทดลองไปประมวลผลหาจำนวนครั้งในการทดสอบ เพื่อทำการเปรียบเทียบในระดับความเชื่อมั่น 90 % ในฟังก์ชัน DOE ของ Mixture Design เมื่อได้ค่าดังกล่าว ทำการทดลองตามวิธีการทดลองข้างต้นจากข้อ 1 ถึง 7

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อหาค่า ที่เหมาะสมที่สุดแต่ละปัจจัย หลังจากทำการทดลองได้จำนวนเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสีหรือของแร่ควอร์ตซ์ ทั้งสามแหล่ง หลังจากการขัดสี ที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ในเทอมต่าง ๆ ของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสีหรือ และนำค่าของสัมประสิทธิ์ในเทอมต่าง ๆ และนำค่าของปัจจัยที่ได้เข้าสมการทำนายค่า ตามสมการ และรูปที่ 1 ที่ได้จากการออกแบบการทดลองจากคำนวณด้วยสมการที่ 1 [9].

$$\begin{aligned}
 Y(x_1, \dots, x_q, z_1, \dots, z_m) = & \sum_{i=1}^q \left[\gamma_i^0 + \sum_{j=1}^m \gamma_{ij}^1 z_j + \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^m \gamma_{ijn}^2 z_j z_n \right] x_i \\
 & + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \left[\gamma_{ij}^0 + \sum_{k=1}^q \gamma_{ijk}^1 x_k + \sum_{k=1}^q \sum_{n=1}^m \gamma_{ijnk}^2 x_k z_n \right] x_i z_j \\
 & + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q \left[\gamma_{ijk}^0 + \sum_{l=1}^m \gamma_{ijkl}^1 x_l + \sum_{l=1}^m \sum_{n=1}^m \gamma_{ijnkl}^2 x_l z_n \right] x_i x_j x_k
 \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่

Y = ผลตอบสนองซึ่งไม่เป็นอิสระต่อสัดส่วนของส่วนประกอบในงานวิจัยนี้

x_{ijk} = ค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ทำการศึกษา

z_1, z_2 = ตัวแปรระหว่างดำเนินการ

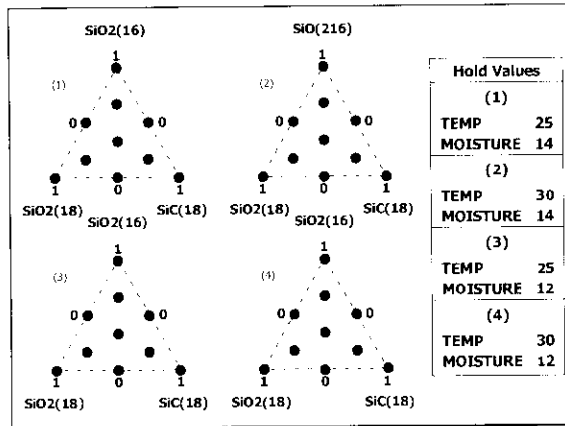
γ_{ijk} = ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลของส่วนประกอบที่ผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ

ε = ค่าความเคลื่อนจากการทดลอง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของหินเชียวหนุมานจากทั้งสามแหล่งซึ่งสีข้าวและมีสีน้ำตาลเพียง



รูปที่ 1 การออกแบบสัดส่วนผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

เล็กน้อยและ มีค่า Shape factor น้อยกว่า 1 แสดงว่ามีรูปทรงค่อนข้างเหลี่ยม มุมคมและมีรอยหยัก ผิวค่อนข้างเรียบเมื่อเทียบกับ เอเมอรี่ ซึ่งมีสีเทาเข้มและมีสีน้ำตาลปนเล็กน้อย สีหม่นไม่มันวาว ผิวสากและผิวหยาบ ส่วนลักษณะทางกายภาพของ หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ และ หินกากแก้วใหม่ มีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน กล่าวคือ มีสีดำ ลักษณะเป็นเหลี่ยมคมมาก มีความวาวคล้ายกระจก แสดงในตารางที่ 3 และเมื่อนำไปทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Micro-hardness พบว่า หินเขียวหนุมานอำเภอดิน มีค่าความแข็งมากที่สุดประมาณ 1570 HV ส่วนหินเขียวหนุมานอำเภอยะยาเป้าและบ่อพลอย มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันที่ประมาณ 1350 HV ส่วน หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ และ หินกากแก้วใหม่ มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันที่ประมาณ 5000 HV

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ และได้พบว่าค่าของหินเขียวหนุมานมีค่าตามสเกลโมห์สคือ 7 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า เอเมอรี่ และ หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีค่าตามสเกลโมห์สคือ 8 และ 9 ตามลำดับและค่าความหนาแน่นมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย และจากการสังเกตพบว่าประสิทธิภาพการขยายตัวของความร้อนดีกว่าทั้ง เอเมอรี่และ หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ ตามลำดับ ทำให้หินเขียวหนุมานสามารถที่จะยึดติดกับตัวประสานได้ดีในขณะที่ความร้อนเพิ่มขึ้นเข้ากันได้ดีกับตัวประสานทำให้มีความแน่นมากขึ้น จึงทำให้มีคุณภาพในการขัดสีที่ดีและได้อัตราการสึกหรอที่ต่ำ

ตารางที่ 3 แสดงขนาดและรูปร่างของวัสดุถูกหินขัดขาว

วัสดุ	เบอร์ 16	เบอร์ 18
หินเขียว หนุมาน (บ่อ พลอย)		
หินเขียว หนุมาน (เถิน)		
หินเขียว หนุมาน (เวียงป่า เป้า)		
Reused silicon Carbide	-	
Silicon carbide	-	
Emery	-	

ตารางที่ 4 แสดงเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ (ที่มา: www.Matweb.com)

คุณสมบัติ	Corundum - α Alumina 96%	Emery	Quartz	SiC
ส่วนประกอบหลัก	Al_2O_3	58% Al_2O_3 , 24% Fe_2O_3	99% SiO_2 , + TiO_2 , + CaO	
ความหนาแน่น (g/cm^3)	3.72	-	2.65	2.97
ความแข็ง (Mohs scale)	-	8	7	9-10
Thermal expansion coefficient ($\mu m/m^\circ C$)	6.4 (at 20 to 300 $^\circ C$)	-	8.1 to 18.9 (at 25 to 500 $^\circ C$)	4-5

3.2 ความต้านทานแรงอัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด ของส่วนผสมหินเขียวหนุมาน จากอำเภอดินมีค่าสูงสุด 51.97 N/mm^2 และมีค่าความหนาแน่นที่ 2.51 kg/m^3 ส่วนค่าความต้าน

แรงอัดต่ำสุดได้จากส่วนผสม ของหินเขี้ยวหนูมาจาก อำเภอบ่อพลอย มีค่าเท่ากับ 5.94 N/mm^2 และมีค่าความแน่นสูงสุดเท่ากับ 2.23 kg/m^3 แต่ค่าความแน่นต่ำสุดอยู่ที่ 1.84 kg/m^3 ของแร่หินเขี้ยวหนูมาจากอำเภอเถิน ส่วนค่าน้ำหนักของชั้นทดสอบแรงอัด ไม่มีความแตกต่างกันมากนักแต่ค่าความต้านแรงอัด มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะหินเขี้ยวหนูมาจาก อำเภอเถิน จังหวัดลำปางมีค่าความต้านแรงอัดสูงกว่า แหล่งหินเขี้ยวหนูมาจากทั้งสอง เป็นไปได้ว่าหินเขี้ยวหนู มาณ ดังกล่าวเป็นหินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิไม่มีแร่อื่น ๆ เจือปน หรือมีเจือปนค่อนข้างน้อยมาก จึงทำให้ค่าที่ได้มีความต้านแรงอัดที่สูงกว่า และนำไปทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจริงและทำการทดลองขัดสีข้าวได้ปริมาณข้าวที่สูงกว่า และอัตราการสึกหรอน้อยกว่าหินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ ใน การทดสอบจะกระทำเหมือนกันทั้งหมด ส่วนวัสดุนำเข้า มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 23.61 N/mm^2 มีค่าสูงกว่าหินเขี้ยวหนูมาจากอำเภอบ่อพลอย และอำเภอเวียงป่าเป้า แต่ต่ำกว่า ค่าที่ได้จาก หินเขี้ยว หนูมาจากอำเภอเถิน ประมาณร้อยละ 50ความต้าน แรงอัดของหินเอเมอริที่รายงานโดย คำพอง ภูมิเทศ [9] มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 22.9 N/mm^2 ได้จากสูตรผสม สัดส่วนหิน ต่อปูน เท่ากับ 4:1 และน้ำเกลือความเค็ม 30 ดีกรี และ ขึ้นรูปด้วยการอัดส่วนผสมในแบบหล่อโลหะทรงกระบอก โดยที่ไม่มีการเขย่า จากการสังเกตค่าทดสอบแรงอัด สำหรับชิ้นงานทดสอบ และการขึ้นรูปชิ้นงานจริงต้องทำ ลักษณะเดียวกัน จึงจะทำให้มีความมั่นใจในการนำไปใช้ งานมากยิ่งขึ้น ส่วนวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มี ข้อมูลการขึ้นรูปด้วยวิธีเดียวกับชั้นทดสอบ ทั้งนี้อาจไม่มี ผลต่อค่าความแรงอัดที่สูงก็ได้ เพราะจากการสำรวจ พบว่า คุณภาพหลังการขัดสี ไม่มีความแตกต่างกันมาก นัก ระหว่าง วัสดุภายในประเทศกับวัสดุนำเข้าจาก ต่างประเทศ

3.3 ผลการเปรียบเทียบ

ผลจากการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าของปัจจัยที่ เหมาะสมต่อการขัดสีข้าวเปลือก โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย คือ หินขัดข้าวเบอร์ 16 และ หินขัดข้าวเบอร์ 18 ของหินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ สำหรับปัจจัยที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และหินขัดเบอร์ 18 ของหินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่ง

ใช้ทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ผล การศึกษาประสิทธิภาพการสีข้าว ของลูกหินที่พอกหุ้ม ด้วยวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่ได้รายงานโดย บุญ ทัน ไพสีขาว และ อภิสิทธิ์ หินแก้ว [5] ผลการทดสอบ พบว่า สามารถขัดสีข้าวเปลือกได้ข้าวโมลละ 20 กิโลกรัม ได้ร้อยละความขาวประมาณ 65-68% ร้อยละข้าวดี 78.50% อัตราการสึกหรอลูกหินขัดข้าวอยู่ที่ 4.52 กรัม ต่อข้าวโมล ค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 4 หน่วยต่อวัน (8 ชั่วโมง) ส่วนผลงานวิจัยนี้ เป็นดังนี้ หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ได้ร้อยละข้าวดีเฉลี่ยอยู่ที่ 91.54% และอัตราการสึกหรออยู่ที่ 3.262 กรัมต่อข้าวโมล อัตราค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 4.26 หน่วยต่อวัน (8 ชั่วโมง) หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ได้ร้อยละข้าวดีที่ 88.77 % และอัตราการสึกหรอที่ 6.94 กรัมต่อข้าวโมล กระแสไฟฟ้าที่ 4.5 หน่วยต่อวัน (8 ชั่วโมง) และแร่ หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ จากอำเภอเวียงป่า เป้า จังหวัดเชียงราย ได้ร้อยละข้าวดีที่ 87.95 % และ อัตราการสึกหรอ 6.12 กรัมต่อข้าวโมล และค่า กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 4-5 หน่วยต่อวัน (8 ชั่วโมง) และร้อยละความขาวของ หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิทั้งสามระหว่าง 67-72 % ตามลำดับ จากการทดลองยืนยันผลการทดลองโดยทำ การทดลองกับ หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิทั้งสามแหล่งที่ได้จาก ภายในประเทศ พบว่าแหล่งแร่ทั้งสามสามารถที่จะ ทดแทนวัสดุ ที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ เพราะว่าการ เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของหินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิทั้งสาม กับวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า วัสดุภายในประเทศทั้งสาม สามารถที่จะทดแทนวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศได้ ซึ่ง หากสามารถทดแทนได้ทั้งหมด ประเทศไทยจะสามารถลด ค่าใช้จ่ายของการนำเข้าประมาณ 30 ล้านบาทต่อปี จาก การสังเกตผลการทดลองและดำเนินการทดลองนั้น หิน เขี้ยวหนูมาบรสิฐธิจากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย มี ข้อดีเมื่อเทียบกับดีกว่าอีกสองแหล่ง ได้แก่ ต้นทุนต่ำกว่า ให้ผลประสิทธิภาพที่กว่าเล็กน้อย และใช้เวลาในการ เตรียมวัสดุและ ขึ้นรูปสั้นกว่า

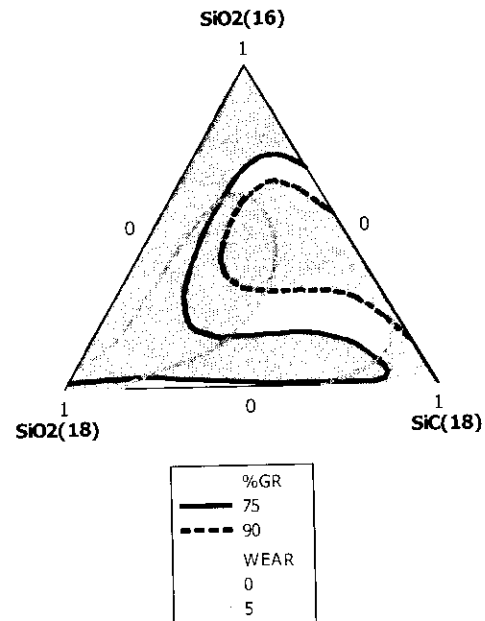
ปัจจัยทั้ง 3 ที่เป็นสัดส่วนระหว่าง หินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ 16,18 และหินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ เบอร์ 18 ตามลำดับ ของลูกหินขัดข้าว ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการ ขัดสีข้าวกล่าวคือหินเขี้ยวหนูมาบรสิฐธิ ทั้งสามแหล่ง ภายในประเทศ ได้ใช้เครื่องทางสถิติมาช่วย ในการ

ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ คือ ใช้โปรแกรม MINITAB Release 14.00 ซึ่งโปรแกรมลิขสิทธิ์ของ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มาช่วยทำนายผลการทดลอง สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ หินเขี้ยวหนุมาน จากทั้งสามแหล่งกำหนดให้ขนาดของหินเขี้ยวหนุมาน เป็น เบอร์ 16 และ เบอร์ 18 คือปัจจัยที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนหินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ ขนาดเบอร์ 18 คือปัจจัยที่ 3 ซึ่งเป็นสัดส่วนผสม โดยใช้วิธีการ ออกแบบผสม (Mixture Design) ชนิด Special Cubic มา ช่วยประมวลผลลัพธ์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนของหินเขี้ยวหนุมาน จากทั้ง สามแหล่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามี นัยสำคัญ ซึ่งปฏิเสธสมมุติฐาน แสดงว่าสมมุติฐานที่ทำ การทดลองนี้เป็นจริง และส่วนของตัวแปรระหว่าง ดำเนินการคือ ความชื้นกับอุณหภูมิมีค่า P-Value สูงกว่า 0.05 แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่ง ยอมรับสมมุติฐาน และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2_{adj} สำหรับร้อยละข้าวดีของหินเขี้ยวหนุมานจากอำเภอดิน จากอำเภอยะรังป่าเป้าและอำเภอบ่อพลอย คือ 78.62%, 99.09% และ 98.91% ตามลำดับ และค่า R^2_{adjust} สำหรับ อัตราการสึกหรอ คือ 70.07%, 60.66% และ 79.50% ตามลำดับ และผลตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทำนาย คือ ร้อยละข้าวดี เท่ากับ 92.14%, 86.99% และ 85.90% ส่วนอัตราการสึกหรอ คือ 1.887, 11.533 และ 11.658 g/hr สำหรับหินเขี้ยวหนุมาน จากอำเภอดิน อำเภอบ่อ พลอย และอำเภอยะรังป่าเป้า ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้ทั้งสามแหล่งมีความเชื่อมั่นเป็นไปตามสมมุติฐาน ที่ได้กำหนดไว้ก่อนการทดลอง [4] และค่าปัจจัยที่ เหมาะสมสำหรับ หินเขี้ยวหนุมานทั้งสามแหล่งดังแสดง ในตารางที่ 5

รูปที่ 2 แสดงโครงร่างทับซ้อนของร้อยละข้าวดี และ อัตราการสึกหรอ แสดงพื้นที่สีขาวซึ่งเป็นบริเวณที่เป็น ค่าที่ดีที่สุด สำหรับแร่จากอำเภอดิน จังหวัดลำปาง และ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากตารางที่ 5 สัดส่วนผสมระหว่าง $x_1 = 0.50$, $x_3 = 0.50$ ตัวแปรระหว่างดำเนินการ ประกอบด้วย อุณหภูมิทดสอบ 27.5 องศาเซลเซียส และ ความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 13.0 % จะได้ผลตอบหลังจาก การทำนาย ค่าร้อยละข้าวดี 92.14% และอัตราการสึก หรออยู่ที่ 1.89 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5 ปัจจัยที่เหมาะสม

แหล่งแร่	SiO ₂		SiC
	x_1 (#16)	x_2 (#18)	x_3 (#18)
อำเภอดิน	0.50	0.00	0.50
อำเภอบ่อพลอย	0.30	0.11	0.590
อำเภอยะรังป่าเป้า	0.50	0.50	0.00



รูปที่ 2 กราฟโครงร่างที่ซ้อนทับสำหรับร้อยละข้าวดี (%GR)และ อัตราการสึกหรอ (WEAR) ของหินเขี้ยวหนุมาน จากอำเภอดิน

3.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ระหว่าง วัสดุนำเข้าและวัสดุทดแทนที่ได้ทำการปรับปรุง และ พัฒนา วัสดุนำเข้าใช้เวลาขัดสีข้าวเปลือกเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 60 นาทีส่วนวัสดุที่ทำการทดลองที่ได้ ปรับปรุงและพัฒนาใช้เวลาเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อ 60 นาที จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานวัสดุ ภายในประเทศ ที่ปรับปรุงและพัฒนาร้อยละข้าวดีเพิ่มขึ้น และอัตราการ สึกหรอต่ำกว่าวัสดุนำเข้า หลังจากการทดลองยืนยัน ผล แต่ประสิทธิภาพทางด้านเวลาในการขัดสีเท่ากัน โดย แสดงการเปรียบเทียบวัสดุทั้ง 2 ดังตารางที่ 6

การเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ ระหว่าง วัสดุ ที่ นำเข้ากับวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและผลหลังการขัดสี ระหว่าง วัสดุนำเข้ากับวัสดุภายในประเทศ แสดงใน ตารางที่ 7

วัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ ประกอบด้วย

หินกากเพชร = 60 บาท/กก.

หินกากแก้ว = 70 บาท/กก.

ปูนขาว = 75 บาท/กก.

น้ำเกลือ = 50 บาท/กก.

วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ ประกอบด้วย

หินเขียวหนุมาน = 20 - 35 บาท/กก.

(เฉลี่ยทั้งสามแหล่ง)

หินกากแก้วนำกลับมาใช้ใหม่ = 25 - 40 บาท/กก.

แกนหินขัด = 700 บาท/แกน

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุทั้งสองและผลลัพธ์หลังการขัดสีข้าวเปลือก

รายการ	วัสดุนำเข้า	วัสดุทดแทน
ต้นทุน(บาท)	1,090	963
ข้าวที่ได้(กก/วัน)	170.67	220
ค่าไฟฟ้า(บาท)	7.30	7.30
เฉลี่ยกลีกริมต่อชั่วโมง ที่ สีได้	20	25
ข้าวเปลือก 1 กก. สี ได้ ข้าวสาร (กรัม)	750	840
ร้อยละข้าวดี	75.45	85.47
เวลาที่ใช้ (นาท)	1.50	1.20
ค่าแรงงาน(ต่อวันต่อคน)	250	250

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด

วัสดุ	Cost (baht)	Efficiency (kg/hr)	Measurement Of rice whitening	Wear rate (g/hr)
งานวิจัยของ บุญทัน (2548)	1,090	21.33	65-68	4.52
งานวิจัยนี้	963	27.50	67-72	1.887
Increase	-	5.866%	4.47%	-
Reduce	127	32.564 %		58.25%

3.5 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการออกแบบ การทดลอง พบว่าจะทำการออกแบบทดลองที่ลำดับสองของการทดลอง (Second order model) เพราะต้องการลำดับความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นโค้ง โดยปกติจะทำการทดลองกับตัวแปรระหว่าง 2-3 ตัวแปร โดยที่มีระดับความเชื่อมั่น 95 % ทำการวิเคราะห์ผลหลังการทำนายด้วย การ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของข้อมูล ภายใต้เงื่อนไขสมมุติฐานที่ได้กำหนดก่อนการทดลอง ทำการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบที่เหมาะสมและดีที่สุด และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในงานจริง ซึ่งส่วนใหญ่ของงานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือ ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ต้นทุนในการทดลองต่ำที่สุด ส่วนใหญ่ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือทำการทดลองคนเดียว (กรณีที่ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำมาศึกษาทดลองต้องมีประสิทธิภาพที่มีความเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง (เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ไม่มีความพร้อม และไม่มี ความเชื่อถือมีผลต่อการดำเนินการทดลอง) อาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นจริงได้ โดยส่วนใหญ่จะสนใจแต่ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ส่วนที่เหลือจะเป็นตัวแปรที่ไม่ได้ควบคุม หรือตัวแปรที่ไม่ได้ศึกษา

ส่วนการออกแบบส่วนผสม (mixture design) ในการศึกษาทำการวางแผนการออกแบบทดลอง สำหรับข้อมูลผสม แสดงสัดส่วนปริมาตร น้ำหนัก และโมเลกุลของ แร่ หิน ดิน หินทราย ซึ่งสัดส่วนเหล่านี้จะต้องไม่เป็นลบ และสัดส่วนของส่วนผสมที่เกิดขึ้น ภายในของส่วนผสม จะต้องรวมกันเท่ากับ 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นต้องนำปัจจัยทุกตัวมาทำการศึกษาร่วมกัน ดังนั้นสัดส่วนของผสมจะอยู่ในรูปอัตราส่วน ในการทดลองของผสมที่มีหลายส่วนประกอบ เพื่อต้องการศึกษาลักษณะทางกายภาพหรือทำการวัดพื้นผิวผลตอบที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบทดลองแบบส่วนผสม จะแตกต่างจากแบบอื่นที่ตัวแปรแต่ละตัว เป็นอิสระต่อกัน โดยส่วนใหญ่ในงานวิจัยที่ได้ศึกษา พบว่าเป้าหมายในงานวิจัยต้องการหาส่วนผสมในอัตราส่วนที่ดีที่สุด ซึ่งทำการทำนายผลลัพธ์ที่ได้ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบ ภายในรูปสามเหลี่ยมเพื่อหาจุดที่เหมาะสม และทดสอบความพอเพียงของความเหมาะสม (Testing the Adequacy of fit) ด้วยวิธีการของ Scheffé model แบบ Simplex - Lattice และ Simplex-Centroid ทั้งสองแบบจะให้คำตอบที่เหมือนกัน โดยเลือกใช้เทคนิค Special cubic model ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของข้อมูล ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ 3 ปัจจัย ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติมาช่วยในการคำนวณ ภายใต้เงื่อนไขสมมุติฐานก่อนการทดลอง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) มากกว่า 0.75 หรือ 75 % ตามนิยาม

ของ Haaland [10] และ Hu [11] ซึ่งงานวิจัยนี้ มีความพอเพียง เพราะว่ามีค่า R^2 สูงกว่า 75 % ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายผลลัพธ์ย่อมมีค่าที่สูง ดังเช่น หินเขี้ยวหนุมาน จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ค่า R^2 สำหรับร้อยละข้าวดีที่ 84.04 % และ ค่า R^2 สำหรับอัตราการสีหรือของลูกหินขัดข้าวอยู่ที่ 78.09 % ตามลำดับ ซึ่งร้อยละที่ได้เป็นผลของ yield (y) อิทธิพลจากตัวแปรที่ทำการศึกษ (แร่ทั้งสาม) ส่วนร้อยละที่เหลืออีก 19.96 และ 21.91 % ตามลำดับ เป็นผลมาจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นๆที่ไม่ทราบได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้า กล่าวคือ ความแม่นยำของการนำสมการไปทำนาย ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ เพราะว่า R^2 มีค่ามากกว่า 75 % จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมและดีที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า การนำเอาเทคนิคการออกแบบการทดลองมาช่วยในการออกแบบทดลอง จะช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งสามารถอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลได้ ทำให้ผลลัพธ์หลังจากการทำนายมีความถูกต้องและเหมาะสม และสามารถนำแนวทางวิธีการที่ได้ออกแบบทดลองนี้ ไปใช้ในงานจริงได้ โดยส่วนใหญ่ผู้ที่ศึกษาวิจัยจะต้องทำการออกแบบทดลองก่อนจึงจะทำการทดลอง ถ้าทดลองก่อนแล้วออกแบบทีหลัง ข้อมูลที่ได้มีคลาดเคลื่อนเชื่อถือไม่ได้ขาดความแม่นยำ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการขัดสีข้าวเปลือก ได้แก่ ชนิดของข้าวซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน ข้าวที่นำทำการกะเทาะเปลือกควรจะมาจากแหล่งเดียวกัน และข้าวเปลือกจะต้องผ่านการทำความสะอาด และตรวจวัดความชื้นก่อนทำการทดลอง

ความชื้นในเมล็ดข้าวประมาณ 10-14 % ให้ประสิทธิภาพในการขัดสีที่ดีมีคุณภาพ ถ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วงที่รายงาน อาจต้องมีการปรับความชื้นก่อนทำการขัดสีข้าวเปลือก และข้าวที่เก็บไว้นานประมาณ 25- 37 องศา พบว่าข้าวที่เก็บอุณหภูมิ 37 องศา มีความชื้นสูงกว่าข้าวที่เก็บอุณหภูมิ 25 องศา และไม่ควรถูกเก็บไว้นานเกินอาจมีผลต่อการขัดสีข้าวเปลือก ทั้งนี้

จะต้องทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเกี่ยวกับความชื้นต่อไป

การปรับตั้งเครื่องสีข้าวขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบทดลองไว้โดยทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องและอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ ทั้งก่อนและหลังการทดลองจะต้องทำความสะอาดเครื่องโดยเฉพาะชุดแกนลูกหินขัดข้าวและตะแกรงรองข้าว จะต้องตรวจสอบไม่ให้เศษข้าวหัก หรือเมล็ดข้าวเปลือกและแกลบติดได้ รวมทั้งลูกยางที่ใช้บีบอัดกับแกนลูกหินขัดข้าวในช่องใส่ ลูกยางจะต้องให้ไหลลื่นและสม่ำเสมอตลอดหน้า ความยาวของลูกยาง ในการทดลองทำการขัดสีข้าว ถ้านำข้าวพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมต่อการขัดสีข้าวเปลือกตามที่ได้ ออกแบบการทดลอง จะมีผลต่อคุณภาพการขัดสีข้าวเปลือกอาจจะทำให้ได้ร้อยละข้าวดีต่ำกว่าที่ต้องการ และอัตราการสีหรืออาจจะสูงได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] กุศล ประกอบการ. 2542. การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. งานวิจัย-มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2542.
- [2] ธิดิกานต์ บุญแข็ง และ สุขอังคณา ส. การศึกษาที่มีผลต่อการสีหรือของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. การประชุมรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2549 วันที่ 18 -19 ธันวาคม 2549 โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล กรุงเทพฯ. 2549.
- [3] สุขอังคณา ส., สุริยา โชคสวัสดิ์ และ หมิงฟุก ส. 2547. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสม ที่ใช้ทำลูกหินขัดเมล็ดข้าวขาวสำหรับโรงสีขนาดเล็ก : รายงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2547.

- [4] กรมทรัพยากรธรณีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม. ทรัพยากรแร่ของไทย.(online). availableURL:http://www.arec.dmr.go.th.
- [5] บุญทัน ไพสีขาว และ อภิสิทธิ์ หินแก้ว, 2548. การศึกษาวัสดุที่เหมาะสมในการทำลูกหินขัดข้าว เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก.ปริญญานิพนธ์.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2548 : 128.
- [6] สุรพงศ์ บางพาน สุขอังคณา ลี และ เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง, 2549. แบบจำลองวัสดุผสมทดแทนลูกหินขัดข้าว. การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE Network 2006). วันที่ 17-19 ธันวาคม 2549.โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล กรุงเทพฯ.
- [7] Surapong Bangphan, Sukangkana lee and Sermkiat Jomjunyong. 2007. Development of the Alternative Composite Material for Rice Polishing Cylinder.APIEMS & CIIE 2007, Kaohsiung,Taiwan.December 9-12, 2007: pp 145-146.
- [8] Surapong Bangphan, Sukangkana lee and Sermkiat Jomjunyong . 2008. The Statistical Mixture Design of Rice Polishing Cylinder. WCE2008 (ICMEEM08, London, U.K. 2-4 July 2008): pp 1161-1162.
- [9] คำพอง ภูมิเทศ. 2547. การศึกษาสมบัติวัสดุลูกหินขัดข้าว.ปริญญานิพนธ์.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2547.
- [10] Haaland.1989.Experimentsl Design in Bio-Biotechnology.Marcel Dekker,Inc, New York ,USA.
- [11] Hu, R.1999.Food Product Design :A-Computer Aided Statistical Approach.Technomic Publishing Co.,Ltd,Pensylvania,USA.