

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินขาวเผาจากท้องถิ่นเป็นวัสดุประสาน ในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

The Feasibility Study for Using Metakaolin Calcined from Local Area as a Binder in the Process of Rice Polishing Cylinders

จรรยาพร แสนทวีสุข^{1*} ปรัชญ์ นิระมนต์^{1*} เอกวิทย์ พิมพ์หล่อ¹ และฐิติกันต์ บุญแข็ง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²หน่วยส่งเสริมงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*E-mail: charuayporn.s@ubu.ac.th, prach.ne.55@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินขาวเผาจากพื้นที่วิจัย จังหวัดอุบลราชธานี มาเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ซึ่งเป็นวัสดุประสานเดิมที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตลูกหินขัดข้าว โดยใช้อัตราส่วนวัสดุขัดสีต่อวัสดุประสาน 5: 1 การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจหาแหล่งดินขาวในเขตจังหวัดอุบลราชธานี และพบแหล่งดินขาวที่ ตำบลแจระแม อำเภอเมืองอุบลราชธานี และจากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี พบว่า สมบัติของดินขาวจากท้องถิ่นสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวได้ จากนั้นดำเนินการหาอัตราส่วนของวัสดุประสานระหว่างปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์กับดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี โดยการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมลิขสิทธิ์มินิแทปรีลิส 14 ความต้านทานแรงฟังก์ชันการออกแบบส่วนผสม ในการทดสอบอัด และความต้านทานแรงดึง ทั้งหมด 5 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนที่ให้ค่าผลตอบที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนของปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ต่ออัตราส่วนของดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี เป็น 100:0 และพบว่าอัตราส่วนของปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ต่ออัตราส่วนของดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี 50:50 เป็นอัตราส่วนที่มีเป็นไปได้ในการนำดินขาวเผามาทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ แต่อัตราส่วนผสมดังกล่าวมีค่าสมบัติทางกลที่ต่ำ ดังนั้น จึงมีการศึกษาปรับปรุงส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลโดยการเพิ่มเถ้าแกลบ และเถ้าขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุพอชโซลานร่วมกับดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี โดยในการศึกษาการปรับปรุงจะใช้อัตราส่วนของปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ต่ออัตราส่วนของวัสดุพอชโซลานคงที่ ที่อัตราส่วน 50 : 50 โดยจากออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมลิขสิทธิ์มินิแทปรีลิส รงอัด และความต้านทานแรงดึง ฟังก์ชันการออกแบบส่วนผสม ในการทดสอบความต้านทานแ 14 ทั้งหมด 10 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อเถ้าขานอ้อยต่อดินขาวเผา คิดเป็น ร้อยละ 69: 0: จากนั้นนำ 31 ส่วนที่เหมาะสมนี้มาขึ้นรูปเป็นลูกหินขัดข้าวและทดลองการสีข้าว พบว่า มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ยร้อยละ 29.60 และอัตราการสีหรรเฉลี่ย 13.กรัมต่อชั่วโมง 59

คำสำคัญ : ลูกหินขัดข้าว ดินขาวเผา วัสดุพอชโซลาน วัสดุประสาน

Abstract

The objectives of this research were to study the feasibility for using Kaolin Calcined from local area as a binder material in the casting process of rice polishing cylinders replacing the imported Calcined Magnesite cement and to minimize the production cost by using the proportion of abrasive material: binder material as 5:1. Research methodology began by surveying the metakaolin resource in Ubon Ratchathani area. From analytical results of the physical and chemical properties of the metakaolin found at Jaramae district, it revealed that metakaolin from this area can be used as a binder material. The design of experiment analysis using the MINITAB Release 14 based on the compressive strength and tensile strength testing was conducted which has 5 formulas for each testing in order to determine the



optimal formula for casting the rice polishing cylinder. According to the analysis results, it was found that the optimal formula was Calcined Magnesite cement: metakaolin from Ubon Ratchathani equal to 100: 0 which implied that metakaolin cannot completely replaced the Calcined Magnesite cement. Therefore, the pozzolan materials consisted of rice husk ash, bagasse ash were mixed with metakaolin to improve the mechanical properties of the rice polishing cylinder. The proportion of pozzolan materials and Calcined Magnesite cement was 50:50. According to the mixture design function which has 10 formulations for compressive strength and tensile strength testing, it was found that the optimal formula was rice husk ash: bagasse ash: metakaolin equal to 69: 0: 31. When used this formula to cast the cylinder and test the rice milling, it was found that average broken rice percent was 29.60 and the average wear rate was 13.59 g/hr.

Keywords: Rice Polishing Cylinders, Metakaolin Calcined, Pozzolan, Binder

บทนำ

ข้าวเป็นพืชหลักที่หล่อเลี้ยงชีวิตของคนไทยทั้งประเทศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลผลิตที่เกษตรกรได้จากอาชีพการทำนาปลูกข้าว คือ ข้าวเปลือก ก่อนที่ข้าวเปลือกจะกลายเป็นข้าวสารต้องผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือก ในอดีตเกษตรกรใช้แรงงานคนในการตำกะเทาะเปลือกด้วยครก ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้เครื่องสีข้าวเป็นเครื่องทุ่นแรงในการกะเทาะเปลือกข้าว โดยเครื่องสีข้าวที่มีหลากหลายขนาด แต่ที่นิยมใช้ในครัวเรือนจะเป็นเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 กระสอบต่อวัน เครื่องสีข้าวขนาดเล็กสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ เครื่องสีข้าวที่ใช้ลูกหินขัดข้าวแบบแกนตั้งและเครื่องสีข้าวที่ใช้ลูกหินขัดข้าวแบบแกนนอน คุณภาพของข้าวที่ได้จากการสีข้าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดพันธุ์ข้าว รูปร่าง ขนาด ความชื้น อุณหภูมิในห้องสีข้าว รวมทั้งกลไกการกะเทาะเปลือกและขัดขาวในเครื่องสีข้าว เป็นต้น (สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2558) โดยวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวในปัจจุบันประกอบด้วยวัสดุผสม 2 ส่วน คือ ส่วนวัสดุขัดสี ได้แก่ หินกากแก้ว (Silicon carbide) และหินกากเพชร (Emery grain) (สุรพงศ์ บางพานและสุชังคณา สี, 2551) และส่วนวัสดุประสาน ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์และเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ จากข้อมูลการนำเข้าปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ตั้งแต่ปี 2552 เป็นต้นมามีปริมาณนำเข้าโดยเฉลี่ยต่อปี 5,268 ตัน หรือคิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยปีละ 89 ล้านบาท (ศุลกากร, 2554) ดังนั้น หลายงานวิจัยจึงได้ศึกษาหาวัสดุทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์เพื่อลดต้นทุนการผลิต และปรับปรุงส่วนผสมให้ดียิ่งขึ้นโดยมีการประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานในประเทศไทย ได้แก่ ถ้ำกลบ ถ้ำขานอ้อย และดินขาวเผา มาใช้ทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ และสามารถนำมาใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมคอนกรีต (สุธี ปิยะพัฒน์, 2544; ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จตุรพิทักษ์กุล, 2551; รัฐพล สมนา และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2554) ในส่วนของงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ดินขาวเผาเพื่อเป็นวัสดุประสานนั้น งานวิจัยของ S.Sayamipuk (2000) และอนุพงษ์ สุวรรณ (2543) พบว่า ดินขาวเผามีผลกระทบต่อการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ดีขึ้น โดยคอนกรีตที่ผสมดินขาวเผามีกำลังรับแรงอัดในช่วงอายุต้น ความต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์เพิ่มขึ้น ความต้านทานการกัดกร่อนต่อกรดเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านของน้ำลดลง และช่วยลดการหดตัวของคอนกรีต นอกจากนั้นงานวิจัยของ J.Pradip และ S.Ajay (2013) ก็พบว่า คอนกรีตเกรดต่างๆที่ผสมดินขาวเผา มีอัตราการซึมผ่านของน้ำลดลงและรับแรงอัดสูงขึ้น ตามปริมาณการทดแทนซีเมนต์ด้วยดินขาวเผาที่เพิ่มขึ้นจาก 4-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ สามารถเพิ่มแรงอัดของคอนกรีตจากร้อยละ 10.13 เป็นร้อยละ 22.90 S.Sayamipuk (2000) ยังพบว่า ดินขาวที่ผ่านการขบวนการเผาด้วยอุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 6 ชั่วโมง จะทำให้ดินขาวมีปฏิกิริยาทางเคมีมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุพงษ์ สุวรรณ (2543) ที่ได้ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผาดินขาวดิบในประเทศไทยจาก 3 แหล่ง ได้แก่ ดินขาวจากแหล่งปราจีนบุรี ระนอง และลำปาง โดยทำการทดลองเผาดินขาวดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส และแปรผันเวลาในการเผา คือ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาจากดัชนีกำลังของมอร์ต้าผสมดินขาวที่ได้จากการเผา พบว่า วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินขาวดิบที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับดินขาวดิบทั้ง 3 แหล่ง คือเผาด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดย



มอร์ต้าที่ผสมดินขาวเผาจากแหล่งปราจีนบุรีให้ค่าดัชนีกำลังสูงที่สุดร้อยละ 131 เมื่อเทียบกับมอร์ต้าที่ผสมดินขาวจากแหล่งจังหวัดระนองและลำปางที่ให้ค่าดัชนีกำลังร้อยละ 115 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สมบัติของดินขาวดิบจากแต่ละแหล่งมีศักยภาพในการเป็นวัสดุประสานแตกต่างกัน

ในงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว นั้น ธิติกันต์ บุญแข็ง และคณะ (2556) ได้เลือกวัสดุปอซโซลานจากธรรมชาติ คือ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย ที่มาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และดินขาวเผาที่มาจากจังหวัดลำปางทางภาคเหนือ มาทดแทนวัสดุประสานเดิมซึ่งคือ ปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ในอัตราร้อยละ 40 โดยสัดส่วนที่ดีที่สุดคือ ดินขาว:เถ้าแกลบ:เถ้าขานอ้อย เป็น 60:15:25 และเมื่อนำไปขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว พบว่า มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 19.88 และอัตราการสึกหรอ 4.43 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งลูกหินขัดข้าวที่ผสมวัสดุปอซโซลานนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าลูกหินที่ใช้วัสดุประสานเดิม ที่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 23.96 และอัตราการสึกหรอ 7.02 กรัมต่อชั่วโมง จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าดินขาวมีส่วนการทดแทนที่มากที่สุดของวัสดุปอซโซลานที่นำมาใช้ทดลองเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับดินขาวจากท้องถิ่นในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นพื้นที่วิจัย และเพื่อศึกษาศักยภาพของดินขาวเผาในท้องถิ่นในการเป็นวัสดุประสาน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินขาวเผาจากพื้นที่วิจัย จังหวัดอุบลราชธานี มาเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวทดแทนปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ซึ่งเป็นวัสดุประสานเดิมที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยจะทำการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และส่วนผสมทางเคมีของดินขาว ตลอดจนการศึกษสมบัติทางกล ซึ่งประกอบด้วย ความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึงของชิ้นทดสอบ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำดินขาวไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว หากดินขาวเผาจากพื้นที่วิจัยสามารถนำมาขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและมีประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่ดีก็จะสามารถทดแทนการขนส่งดินขาวเผาจากภูมิภาคอื่น ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตลูกหินขัดข้าวและช่วยลดการนำเข้าปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์จากต่างประเทศได้

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และส่วนผสมทางเคมีของดินขาวในจังหวัดอุบลราชธานี ส่วนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำดินขาวไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว และส่วนที่ 3 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและการทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว

โดยการทดลองในส่วนที่ 1 ได้นำดินขาวมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด ขนาด 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 แล้วนำไปเผาในเตาอบไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำดินขาวไปศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคของดินขาวก่อนเผาและหลังเผา โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเผาโดยใช้เครื่อง Wavelength-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (WD-XRF)

การทดลองในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำดินขาวเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว ซึ่งสมบัติทางกลที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) และ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของชิ้นทดสอบ โดยมีสัดส่วนของวัสดุขัดสีรวมต่อวัสดุประสานรวมที่อัตราส่วน 5 ต่อ 1 และใช้อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 ที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยฟังก์ชัน Mixture Design โดยใช้แบบซิมเพล็กซ์-เซ็นทรอยด์ (Simplex Centroid) โดยเตรียมส่วนผสมที่จะขึ้นรูปตามสูตรต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1 และเตรียมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเค็ม 30 ดิกรี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักน้ำหนักส่วนผสมต่างๆให้ได้ตามน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 1 แล้วนำส่วนผสมต่างๆคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นให้น้ำน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง ขั้นตอนต่อมา นำส่วนผสมดังกล่าวไปขึ้นรูปชิ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ สูง 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก.409-2525 เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัด และเตรียมชิ้นทดสอบแบบบริคส์ สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึง ดังรูปที่ 1 โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบ 3 ชิ้นต่อส่วนผสมในแต่ละสูตร ซึ่งชิ้นทดสอบทั้งหมดจะถูกทิ้งไว้ให้แห้งและใช้ถุงพลาสติกคลุมไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำไปทำการทดสอบสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด และเครื่องทดสอบแรงดึง



ในกรณีที่ผลการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่อความต้านทานแรงอัดและแรงดึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมของดินขาวเผาในการขึ้นรูปลูกหินขัดขาวได้ งานวิจัยนี้จะเพิ่มการศึกษาปรับปรุงส่วนผสมโดยการเพิ่มวัสดุพอลิโพรไพลีนที่ได้มาจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรกรรม ได้แก่ แถ่แกลบ และเถ้าขานอ้อย มาใช้ร่วมกับดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี โดยในการศึกษาการปรับปรุงจะใช้อัตราส่วนของปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ต่ออัตราส่วนของวัสดุพอลิโพรไพลีนคงที่ โดยมีตารางการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 ลักษณะชั้นทดสอบความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึง

ตารางที่ 1 สัดส่วนวัสดุประสานต่อวัสดุขัดสีในการออกแบบการทดลอง

สูตรที่	ส่วนผสม		
	ปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ (กรัม)	ดินขาวเผา (กรัม)	วัสดุขัดสี (ค่าคงที่) (กรัม)
1	50	50	500
2	75	25	500
3	0	100	500
4	25	75	500
5	100	0	500



ตารางที่ 2 สัดส่วนวัสดุประสานต่อวัสดุขัดสีในการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงส่วนผสม

สูตรที่	วัสดุประสาน				วัสดุขัดสี (กรัม)
	เถ้ากลบ (กรัม)	เถ้าขาน้อย (กรัม)	ดินขาวเผา (กรัม)	ปูนแคลซิเนตแมกนีไซด์ (กรัม)	
1	8.33	8.33	33.33	50	500
2	50	0	0	50	500
3	0	50	0	50	500
4	25	0	25	50	500
5	0	0	50	50	500
6	25	25	0	50	500
7	33.33	8.33	8.33	50	500
8	8.33	33.33	8.33	50	500
9	0	25	25	50	500
10	16.67	16.67	16.67	50	500

การทดลองในส่วนที่ 3 เป็นการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและการทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว โดยการศึกษาประสิทธิภาพจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และอัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ฟังก์ชัน T-Test ในการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูล ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว นั้น จะเตรียมวัสดุขัดสีต่อวัสดุประสานในอัตราส่วน 5:1 โดยใช้วัสดุขัดสีคือ หินกากเพชรเบอร์ 16 และเบอร์ 18 และหินกากแก้วเบอร์ 16 ในอัตราส่วน 2:2:1 ตามลำดับ สำหรับวัสดุประสานจะใช้ สัดส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากผลการวิเคราะห์ค่าปัจจัยจากการทดลองในส่วนที่ 2 จากนั้นหน้าเกลียวแมกนีเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 30 ดีกรี ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงในน้ำวัสดุและส่วนผสมแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน จึงนำส่วนผสมที่มีความเหนียวมาขึ้นรูปโดยพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อของลูกหินขัดข้าวให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว และทำการบ่มชิ้นงานไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำลูกหินขัดข้าวมาทำการกลึงแต่งหน้าหินให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยจะทำการเตรียมลูกหินขัดข้าวจำนวน 3 ลูก

ในการทดสอบประสิทธิภาพลูกหินขัดข้าว ลูกหินจะถูกนำมาแช่น้ำหนักก่อนประกอบใส่ในเครื่องสีข้าว ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกับหน้าลูกหินให้ได้ระยะ 1.5 มิลลิเมตร เตรียมข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และวัดความชื้นของข้าวเปลือกโดยความชื้นข้าวเปลือกต้องไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน มอก 888-2532 ทำการสีข้าวเปลือกเพื่อล้างหน้าหินก่อน 5 กิโลกรัม หลังจากนั้นจึงสีข้าวต่อเนื่องอีกจำนวน 20 กิโลกรัมต่อหนึ่งหน่วยการทดลอง เมื่อสีข้าวเปลือกครบตามปริมาณที่กำหนด จึงนำลูกหินที่ผ่านการสีข้าวแล้วมาทำความสะอาด เพื่อที่จะเอาเศษข้าวและรำที่ติดมากับลูกหินโดยใช้ลมเป่า แล้วชั่งน้ำหนักและบันทึกผล และในขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการสุมข้าวสารมาทดสอบเปอร์เซ็นต์ข้าวดีด้วยเครื่องแยกข้าว และคำนวณอัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวจากน้ำหนักลูกหินที่หายไปต่อเวลาสีข้าว นำผลการทดลองการสีข้าวของลูกหินขัดข้าวทั้ง 3 ลูกไปประเมินผลในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

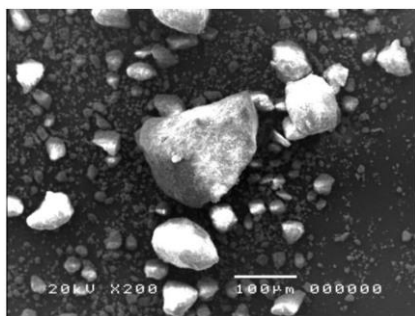
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ และส่วนผสมทางเคมี

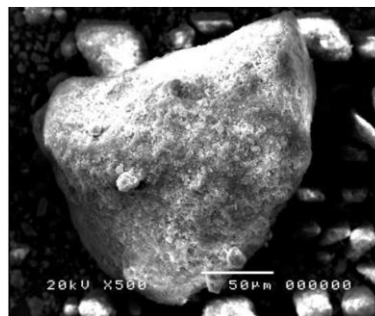
การทดสอบสมบัติทางกายภาพถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสมบัติทางกายภาพส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลในด้านการรับแรงอัด การรับแรงดึง และความทนทานของลูกหินขัดข้าว จากภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของดินขาวที่ผ่านการบดและผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 325 จากจังหวัดอุบลราชธานี ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ดังรูปที่ 2 พบว่า ดินขาวก่อนมีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม ขนาดของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ มีรูพรุนที่ผิว



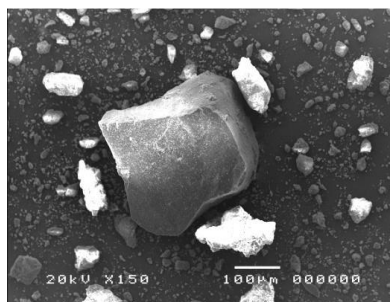
มีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ในขณะที่ดินขาวหลังเผาจะมีความพรุนของผิวน้อยลง และมีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยมขอบมนมากขึ้น



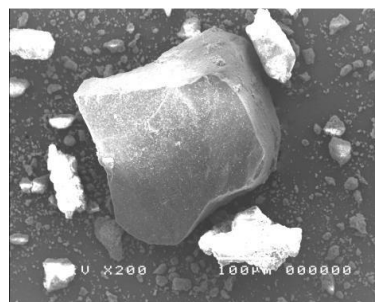
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2 (ก) อนุภาคเชิงกว้างดินขาวก่อนเผา (ข) อนุภาคเฉพาะดินขาวก่อนเผา
(ค) อนุภาคเชิงกว้างดินขาวหลังเผา (ง) อนุภาคเฉพาะดินขาวหลังเผา

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวจังหวัดอุบลราชธานี เปรียบเทียบกับดินขาวเผาจังหวัดลำปาง

สารประกอบทางเคมี	สัดส่วน (%)		
	ดินขาวอุบลราชธานี		ดินขาวเผาลำปาง (อิติกานต์ บุญแข็ง, 2556)
	ก่อนเผา	หลังเผา	
SiO ₂	79.40	79.50	71.74
K ₂ O	1.04	1.04	2.98
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.83
CaO	0.12	0.09	0.28
MgO	0.56	0.54	0.22
Al ₂ O ₃	15.70	15.30	23.67
TiO ₂	1.08	1.10	0.29



จากผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินขาวจังหวัดอุบลราชธานี ด้วยเครื่อง Wavelength-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (WD-XRF) ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ดินขาวจังหวัดอุบลราชธานีไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเมื่อนำดินขาวดิบไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานีและดินขาวเผาจังหวัดลำปางมีซิลิกอนออกไซด์เป็นสารประกอบหลัก ซึ่งซิลิกอนออกไซด์จะส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรง แต่ก็ทำให้วัสดุมีความเปราะและขาดความเหนียว ส่วนอลูมิเนียมออกไซด์จะส่งผลให้วัสดุมีความทนทานต่อการขัดสี และการสึกกร่อน สำหรับสารแคลเซียมออกไซด์จะส่งผลให้วัสดุสามารถขึ้นรูปและคงตัวได้ดีขึ้น และดินขาวจากทั้งสองแหล่งมีปริมาณซิลิกอนออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ดังนั้น ดินขาวเผาจากทั้งสองแหล่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปูขีโกลานได้ตามมาตรฐาน ASTM C 618 (จิรวัดณ์ สุวรรณพุกษ์, 2546)

2. ผลการศึกษาสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของลูกหินขัดขาว

2.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมวัสดุประสาน

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า สัดส่วนผสมที่ให้ค่าสมบัติทางกลที่ดีที่สุด คือ สัดส่วนที่มีปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ร้อยละ 100 ซึ่งไม่มีสัดส่วนของดินขาวเผาที่สามารถทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ได้เลย โดยสมบัติทางกลจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวเผา และเมื่อใช้สัดส่วนดินขาวเผาร้อยละ 100 จะไม่สามารถขึ้นรูปขึ้นทดสอบได้

จากงานวิจัยของธิดิกานต์ บุญแข็ง และคณะ (2556) พบว่า เมื่อนำเถ้ากลบ และเถ้าขานอ้อยมาเป็นวัสดุประสานร่วมกับดินขาวเผาในการขึ้นรูปลูกหินขัดขาว จะทำให้ลูกหินขัดขาวมีค่าความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าว ใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุปูขีโกลานมาทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ในอัตราร้อยละ 40 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงส่วนผสมของวัสดุประสาน โดยการนำเถ้ากลบ และเถ้าขานอ้อยมาใช้ร่วมกับดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานี และดำเนินการปรับปรุงสัดส่วนวัสดุประสานโดยใช้อัตราส่วนของวัสดุปูขีโกลาน ทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ซึ่งเป็นสัดส่วนทดแทนที่สูงกว่างานวิจัยของธิดิกานต์ บุญแข็ง และคณะ (2556) และกำหนดค่าเป้าหมายในการปรับปรุงส่วนผสมตามค่าสมบัติทางกลที่ดีที่สุดเมื่อใช้เพียงดินขาวเผาเป็นวัสดุประสานทดแทนปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ ดังค่าสมบัติทางกลของสูตรที่ 2 ในตารางที่ 4 นั่นคือ ค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 17 MPa และความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3 MPa

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง

สูตรที่	สัดส่วน (%)		ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)		ค่าความต้านทานแรงดึง (MPa)	
	ปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์	ดินขาวเผาอุบลราชธานี	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	50	50	10.59	0.42	3.09	0.23
2	75	25	18.19	1.63	2.95	1.72
3	0	100	0.00	0.00	0.00	0.00
4	25	75	5.26	0.48	2.25	1.73
5	100	0	23.28	0.18	4.82	0.08

2.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงส่วนผสมของวัสดุประสาน

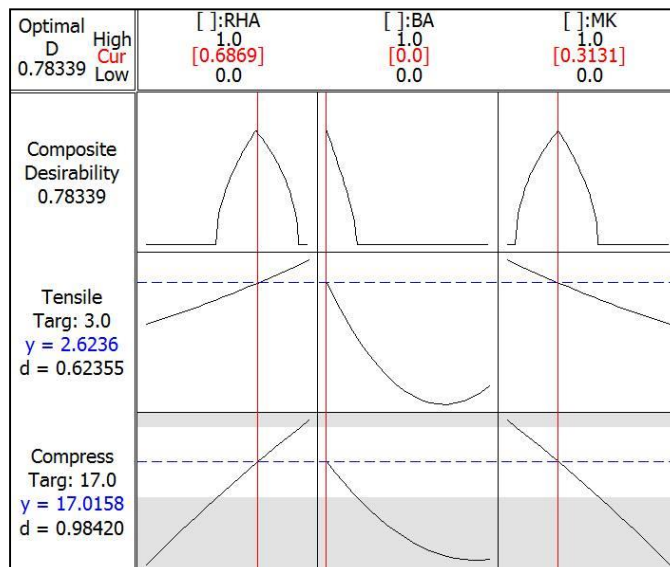
เมื่อทำการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึงหลังปรับปรุงส่วนผสมของวัสดุปูขีโกลาน ดังที่แสดงในตารางที่ 2 และทำการประมวลผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึง โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 14 ฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ทำการศึกษานี้ และ



ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เพื่อต้องการให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด โดยมีการกำหนดเป้าหมายความต้านทานแรงอัดที่ 17 MPa และความต้านทานแรงดึงที่ 3 MPa พบว่า สัดส่วนของวัสดุปอชโซลานที่เหมาะสมมีอัตราส่วน เถ้าแกลบ 0.687 : เถ้าขานอ้อย 0 : ดินขาวเผา 0.313 หรือโดยประมาณอัตราส่วนร้อยละ 69 : 0 : 31 ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้ความต้านทานแรงอัดได้ผลตอบที่ 17.016 MPa ค่าความพึงพอใจ 0.984 หรือร้อยละ 98.40 ความต้านทานแรงดึงได้ผลตอบที่ 2.624 MPa ค่าความพึงพอใจ 0.624 หรือร้อยละ 62.40 และมีค่าความพึงพอใจรวม 0.783 หรือร้อยละ 78.30 ซึ่งค่าความพึงพอใจรวมนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 ตามที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6 และเมื่อพิจารณาในภาพรวมจากปริมาณวัสดุประสานทั้งหมด 700 กรัม โดยใช้วัสดุปอชโซลานทดแทนในอัตราส่วนรวมร้อยละ 50 (350 กรัมสัดส่วนของ : (ปูนแคลซิเนตแมกนีไซต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 (350 กรัม)

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Tensile	Target	2	3	4	1	1
Compressive	Target	16	17	18	1	1
Global Solution						
Components						
RHA	=	0.686869				
BA	=	0				
MK	=	0.313131				
Predicted Responses						
Tensile	=	2.6236	,	desirability =	0.623550	
Compressive	=	17.0158	,	desirability =	0.984204	
Composite Desirability = 0.783390						

รูปที่ 5 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานจากการประเมินความพึงพอใจ



รูปที่ 6 ลักษณะของผลตอบและค่าความพึงพอใจโดยรวมของความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดึง

หมายเหตุ RHA คือ เถ้าแกลบ, BA คือ เถ้าขานอ้อย, MK คือ ดินขาวเผา



3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว

การศึกษาประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวจากสัดส่วนที่ดีที่สุด โดยมีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวจำนวน 3 ลูก และการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และอัตราการสีหอรของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ฟังก์ชัน T-Test ในการวิเคราะห์และประมวลผล ที่ระดับนัยสำคัญ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ อัตราการสีหอร 0.05 เฉลี่ย 13.59 กรัมต่อชั่วโมง และร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 29.61 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่ได้ในงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของธิดิگانต์ บุญแข็ง และคณะ (2556) พบว่า งานวิจัยนี้มีอัตราการสีหอรเฉลี่ยและร้อยละข้าวหักเฉลี่ยที่สูงกว่า โดยงานวิจัยของธิดิگانต์ บุญแข็ง และคณะ (2556) มีค่าอัตราการสีหอรเฉลี่ย 3.91 กรัมต่อชั่วโมง และร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 16.41 ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากอัตราส่วนของวัสดุปอชโซลานทดแทนปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ที่ใช้ในการวิจัยที่แตกต่างกันหรืออาจจะเป็นเพราะลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเผาอุบลราชธานีที่มีรพูนน้อย ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ อาจส่งผลต่อความสามารถในการยึดประสานเม็ดหินและดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานีมีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์น้อยกว่าดินขาวเผาจังหวัดลำปางซึ่งอาจส่งผลต่อความทนทานต่อการขัดสีของลูกหินขัดข้าว ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของอัตราส่วนของวัสดุปอชโซลานทดแทนปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ โดยกำหนดให้ค่าสัดส่วนที่ดีที่สุดของวัสดุปอชโซลานมีค่าคงที่ ซึ่งจากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นทดสอบเมื่อใช้อัตราส่วนของวัสดุประสานต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ค่าความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณของปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ จึงกล่าวได้ว่าเมื่อปริมาณของปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความต้านทานแรงอัด และค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน หรืออาจสรุปได้ว่าปริมาณของปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ที่แตกต่างกันส่งผลโดยตรงต่ออัตราการสีหอร และร้อยละข้าวหัก ดังนั้น หากเปลี่ยนสัดส่วนวัสดุประสานโดยใช้อัตราส่วนของวัสดุปอชโซลานที่มีส่วนประกอบของดินขาวเผาจังหวัดอุบลราชธานีทดแทนปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 จะสามารถลดอัตราการสีหอรของลูกหินขัดข้าว และลดร้อยละข้าวหักได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุธิ ปิยะพิพัฒน์ (2544) ที่พบว่า อัตราส่วนทดแทน 60:40 มีความเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นทดสอบเมื่อใช้ส่วนผสมของวัสดุประสานต่างกัน

อัตราส่วนปูนแคลซิเนดแมกนีไซด์ต่อวัสดุปอชโซลาน	ความต้านทานแรงอัด (MPa)		ความต้านทานแรงดึง(MPa)	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
50:50	15.3	0.78	2.56	0.05
60:40	21.3	2.26	2.72	0.12
100:0	23.28	0.18	4.82	0.08

สำหรับต้นทุนวัสดุในการผลิตลูกหินขัดข้าวที่ใช้วัสดุประสานจากจังหวัดลำปาง และลูกหินที่ใช้ดินขาวเผาอุบลราชธานีร่วมกับเถ้าแกลบ ซึ่งเมื่อขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวในอัตราส่วนวัสดุขัดสี 5 : 1 สามารถสรุปรายละเอียดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้ตามตารางที่ 6 เมื่อทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวจากงานวิจัยนี้ พบว่า ถึงแม้ว่าต้นทุนในการผลิตลูกหินขัดข้าว เวลาที่ใช้ในการสีข้าว และปริมาณข้าวที่สีได้ต่อวันเมื่อใช้วัสดุประสานจากท้องถิ่นจะมีประสิทธิภาพดีกว่าลูกหินขัดข้าวจากงานวิจัยของธิดิگانต์ บุญแข็ง (2556) แต่ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย และอัตราการสีหอรของลูกหินขัดข้าวยังมีค่าสูง จึงควรหาแนวทางการปรับปรุงสูตรการผสมให้เหมาะสมยิ่งขึ้นเพื่อลดร้อยละข้าวหักและลดอัตราการสีหอรของลูกหินขัดข้าวให้น้อยลง



ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว

รายการ	ลูกหินขัดข้าวจากงานวิจัยของ นิติกันต์ บุญแข็ง (2556)	ลูกหินขัดข้าวจาก งานวิจัยนี้
อัตราส่วนของวัสดุพอลิโพรไพลีนต่อปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์	40:60	50:50
แหล่งดินขาว	จังหวัดลำปาง	จังหวัดอุบลราชธานี
ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย	16.41	29.6
เวลาสีเฉลี่ย วาต่อชั้ (นาท) 20 กิโลกรัม	65	49
อัตราสีหรือเฉลี่ย (กรัมต่อชั่วโมง)	3.91	13.59
ร้อยละปริมาณข้าวที่สีได้เฉลี่ย	60.32	60.15
ต้นทุนวัสดุลูกหิน(บาท) + ต้นทุนค่าขนส่งต่อกิโลกรัม(บาท)	1071	991.93
ปริมาณข้าวที่สีได้ต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)	130	133.14

สรุปผลการวิจัย

1. ดินขาวเผือกอุบลราชธานีมีลักษณะทางกายภาพเป็นทรงเหลี่ยมขอบมน และมีความพรุนลดลง ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวเผือกอุบลราชธานีมีซิลิกอนไดออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์เป็นสารประกอบหลัก สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุพอลิโพรไพลีนได้

2. การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุพอลิโพรไพลีนในการเป็นวัสดุประสานของการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวจากการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง พบว่า สัดส่วนของวัสดุพอลิโพรไพลีนที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว มีอัตราส่วนร้อยละของ เถ้าแกลบ: เถ้าขานอ้อย: ดินขาวเผือก เป็น 69: 0: 31 ในส่วนของแรงอัดได้ผลตอบที่ 17.02 ค่าความพึงพอใจ 0.98 ในส่วนของแรงดึงได้ผลตอบที่ 2.62 ค่าความพึงพอใจ 0.62 มีค่าความพึงพอใจรวมที่ 0.78

3. เมื่อนำค่าสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดไปขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว โดยควบคุมปัจจัยในการทดสอบประสิทธิภาพลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากแต่ละแหล่งด้วยมาตรฐานการทดสอบเดียวกัน และควบคุมปัจจัยในการขึ้นรูปและใช้วิธีการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวแบบเดียวกัน พบว่า ลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดอุบลราชธานีเป็นวัสดุประสาน มีอัตราการสีหรือเฉลี่ย 13.59 กรัมต่อชั่วโมง มีค่ามากกว่าอัตราการสีหรือที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดลำปางเป็นวัสดุประสาน ซึ่งมีอัตราการสีหรือเฉลี่ย 3.91 กรัมต่อชั่วโมง และในส่วนของร้อยละข้าวหักนั้นพบว่าลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดอุบลราชธานีเป็นวัสดุประสานมีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 29.61 มีค่ามากกว่าร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดลำปางเป็นวัสดุประสาน ซึ่งมีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 16.41 ถึงแม้ว่าเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการสีข้าว คือ ร้อยละข้าวหัก และอัตราการสีหรือที่สูงกว่าลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดลำปางเป็นวัสดุประสาน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณข้าวดีและอายุการใช้งานของลูกหินขัดข้าวขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณข้าวที่สีได้ต่อวันสูงที่มีค่าสูงกว่า และต้นทุนรวมค่าขนส่งที่ถูกกว่าลูกหินขัดข้าวที่ใช้ดินขาวเผือกจากจังหวัดลำปางเป็นวัสดุประสาน การใช้ดินขาวเผือกจังหวัดอุบลราชธานีจึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กลุ่มเกษตรกรช่างหล่อหิน และโรงงานทำลูกหินขัดข้าวในท้องถิ่น นอกจากนี้เถ้าแกลบที่นำมาใช้ก็เป็นวัสดุในท้องถิ่นที่ไม่มีต้นทุน จึงถือเป็นการใช้ประโยชน์ของเศษวัสดุจากภาคเกษตรกรรมอย่างคุ้มค่า และเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุพอลิโพรไพลีนในท้องถิ่น นอกจากนั้นยังช่วยลดการนำเข้าวัสดุประสานจากต่างประเทศ โดยวัสดุพอลิโพรไพลีนในท้องถิ่นสามารถทดแทนปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ได้ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ซึ่งส่งผลต่อการลดการนำเข้าปูนแคลซิเนดแมกนีไซต์ได้ถึงประมาณ 45 ล้านบาทต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัย รวมทั้งการสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณ บริษัทอุบลกรุ๊ปไทย



กลการที่ให้ความอนุเคราะห์ช่างในการขึ้นรูปลูกหินขัดขาว และองค์การบริหารส่วนตำบลแจระแม อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร. (2554). สถิติของการนำเข้าและส่งออก. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://customs.go.th/statistic/statisticindex2554>.
- จิราวัฒน์ สุวรรณพฤกษ์. (2546). ผลของดินขาวต่อกำลังและความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ธิดิกานต์ บุญแข็ง. (2556). การประยุกต์วัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานทดแทนในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดขาว. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ธิดิกานต์ บุญแข็ง และคณะ. (2556). การใช้วัสดุปอชโซลานและวัสดุขัดสีในประเทศเป็นวัสดุผสมในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดขาว. วิศวกรรมสาร มช., ปีที่ 40 (ฉบับที่ 4), 517 - 526.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2551). ซีเมนต์ ปอชโซลาน และคอนกรีต. กรุงเทพมหานคร:สมาคมคอนกรีต.
- รัฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2554). การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 4 (ฉบับที่ 34), 369-381.
- สมาคมโรงสีข้าวไทย. (2558). ราคาข้าวสารประจำปี 2558. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.thairicemillers.com>
- สุธี ปิยะพิพัฒน์. (2544). การปรับปรุงคุณภาพเถ้าแกลบผสมทรายโดยใช้ปูนขาว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- สุรพงศ์ บางพานและสุขอังคณา ลี. (2551). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างลูกหินขัดขาวที่ขึ้นรูปด้วยหินกากเพชรและหินเขียวหนุมาน. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม ปีที่ .อบ.1 ฉบับที่)1 ,(33-42.
- อนุพงษ์ สุวรรณ. (2543). การใช้ดินขาวเพื่อเพิ่มความต้านทานซัลเฟตของมอร์ต้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพมหานคร.
- Pradip J. and Ajay S.. (2013). Determination of durability of metakaolin blend high grade concrete by using water permeability test. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol.5 (Issue 2), 35-39.
- Sayamipuk, S., (2000). *Development of Durable Mortar and Concrete Incorporating Metakaolin from Thailand*. Ph.D. Thesis, Asian Institute of Technology, Pathumthani.

