

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาวัสดุปอซโซลานภายในประเทศ คือ เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และดินขาวเผา มาเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว นั้น มีการศึกษา 3 ส่วนที่สำคัญ คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกล ซึ่งการศึกษาศสมบัติทางกลนั้น จะศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุประสานสำหรับการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว เมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมแล้วก็จะนำไปทดลองขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวและศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสีข้าวกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีใช้ในท้องตลาดทั่วไป รวมถึงการนำลูกหินปอซโซลานไปทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวที่โรงสี 3 แห่ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการใช้งาน

6.1 สรุปผลการวิจัยในการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลานแต่ละประเภทพบว่า เถ้าแกลบจะมีรูปร่างโค้งมน ลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนและมีรูพรุน สำหรับเถ้าชานอ้อยนั้น จะมีรูปร่างเป็นแท่งและเป็นเหลี่ยม ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ มีผิวขรุขระและมีรูพรุน ในส่วนดินขาวเผานั้น มีลักษณะเป็นแผ่นเป็นเหลี่ยม ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน แต่เมื่อทำการบดวัสดุปอซโซลานแต่ละประเภทแล้ว พบว่า ความพรุนจะลดลง อนุภาคมีขนาดเล็กลง และมีความละเอียดมากขึ้น เพราะการบดจะไปทำลายรูพรุนและโพรงอากาศ โดยพบว่าอนุภาคของเถ้าแกลบกับเถ้าชานอ้อยจะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีรูปร่างไม่แน่นอนและยังมีรูพรุนอยู่ ในส่วนของอนุภาคของดินขาวเผาและปูน Calcined Magnesite มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีรูปร่างที่แน่นอน เป็นกลุ่มก้อนและมีความพรุนอยู่น้อย ซึ่งสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลานที่เป็นทรงกลม กลุ่มก้อน จะส่งผลต่อการกัดอัดและแรงดึงได้ดีกว่าสมบัติทางกายภาพที่เป็นเหลี่ยมมุม เพราะสามารถเข้าไปแทรกในความพรุนที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า

ในส่วนผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุปอซโซลานแต่ละประเภทพบว่า เถ้าแกลบมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลัก สำหรับเถ้าชานอ้อยมี ซิลิกอนไดออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ เป็นสารประกอบหลัก ในส่วนของดินขาวเผามีซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นสารประกอบหลัก สารประกอบหลัก ซึ่งสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) โดยทั่วไปจะมีปริมาณมากในเถ้าแกลบ ซึ่งสารดังกล่าว ก็จะส่งผลให้วัสดุมีความแข็ง แต่เพราะ ไม่อ่อนเหนียว สำหรับดินขาวเผานั้นก็มีสารอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นสารประกอบอันดับรองลงมา สาร

ดังกล่าวก็จะส่งผลให้วัสดุมีความทนทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนได้ดีขึ้น ในส่วนเถ้าชานอ้อยก็จะมีการแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นสารประกอบอันดับรองลงมา สารดังกล่าวก็จะช่วยให้วัสดุมีการขึ้นรูปและคงตัวได้เร็วขึ้น

6.2 สรุปผลการวิจัยในการศึกษาสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลาน

ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลาน ได้ศึกษาสมบัติทางกลที่กำหนดให้เป็นผลตอบ คือ ความต้านทานแรงอัดและแรงดึง โดยประมวลผลในโปรแกรม Minitab Release 14.00 ที่ฟังก์ชัน Response Optimizer โดยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (desirability function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (lower) ค่าเป้าหมาย (target) และค่าในระดับสูงสุด (upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบ (weigh) และค่าความสำคัญของผลตอบ (importance) ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด สำหรับขอบเขตของผลตอบในส่วนของแรงอัดและแรงดึงได้กำหนดค่าเป้าหมายให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของแรงอัดและแรงดึงของวัสดุประสานปัจจุบัน กล่าวคือ แรงอัดที่ 23 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 20 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 26 MPa ในส่วนแรงดึงที่ 4 MPa โดยมีระดับต่ำสุดที่ 3 MPa และ ระดับสูงสุดที่ 5 MPa จากการประมวลผลรวมทั้งสองส่วน พบว่า สัดส่วนของวัสดุปอชโซลานที่เหมาะสมมีอัตราส่วนคือ เถ้าแกลบ 0.15423 : เถ้าชานอ้อย 0.24776 : ดินขาวเผา 0.59801 หรือโดยประมาณ อัตราส่วนร้อยละ 15 : 25 : 60 ทั้งนี้ได้แรงอัดได้ผลตอบที่ 22.8880 ค่าความพึงพอใจ 0.96266 ในส่วนของแรงดึงได้ผลตอบที่ 4.0000 ค่าความพึงพอใจ 1 โดยมีค่าความพึงพอใจรวม 0.98115 ซึ่งค่าความพึงพอใจดังกล่าวใกล้เคียง 1 ตามที่ได้กำหนดไว้ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไปได้

เมื่อวิเคราะห์ผลการประมวลที่ให้สัดส่วนปริมาณของดินขาว มากกว่า เถ้าชานอ้อยและเถ้าแกลบ นั้น มีสาเหตุจากลักษณะทางกายภาพของดินขาวเผาเมื่ออบแล้วเป็นทรงกลม กลุ่มก้อน จะส่งผลต่อกำลังอัดและสัดส่วนทดแทนสูงกว่าเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยที่มีสมบัติทางกายภาพเป็นเหลี่ยมมุม ประกอบกับดินขาวเผานั้นก็มีสารอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นสารประกอบสำคัญ สารดังกล่าวก็จะส่งผลให้วัสดุมีความทนทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนได้ดี จึงมีผลต่อความต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่มากขึ้นตามไปด้วย สำหรับปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่มากกว่าเถ้าแกลบ นั้น มีสาเหตุจากสารประกอบหลักของเถ้าแกลบที่มีสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ปริมาณมาก ซึ่งสารดังกล่าว ก็จะส่งผลให้วัสดุมีความแข็ง แต่เพราะ ส่งผลต่อความต้านแรงอัดและแรงดึงน้อยลงตามไป

6.3 สรุปผลการวิจัยในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวปอชโซลานแบบต่างๆ กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวปอชโซลานแบบต่างๆ จะศึกษา 2 ส่วนสำคัญ คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และ อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ การทดสอบสมมุติฐาน โดยใช้ ฟังก์ชัน T Test แบบ Two Sample ในการประมวลผล ทั้งนี้ลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ปอชโซลานที่ทดสอบมี 3 ประเภทคือ ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยมือ ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีในประเทศขึ้นรูปด้วยมือ และลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศโดยขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง ซึ่งเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้วัสดุประสานและวัสดุขัดสีจากต่างประเทศ

จากผลการทดลองพบว่า ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยมือ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 4.483 กรัม/ชั่วโมง ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีในประเทศขึ้นรูปด้วยมือ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 3.906 กรัม/ชั่วโมง ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 3.120 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้วัสดุประสานและวัสดุขัดสีต่างประเทศ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 7.02 กรัม/ชั่วโมง ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานนั้นมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าลูกหินขัดข้าวแบบเดิม อยู่ในอัตราร้อยละ ระหว่าง 36.16 – 55.57 โดยลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง จะให้อัตราการสึกหรอที่ต่ำสุด

สำหรับในส่วนของร้อยละข้าวหักนั้น พบว่า ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยมือ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 19.88 ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีในประเทศขึ้นรูปด้วยมือ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 16.41 ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 18.33 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้วัสดุประสานและวัสดุขัดสีต่างประเทศ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 23.79 ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานนั้นมีอัตราร้อยละข้าวหักที่ต่ำกว่าลูกหินขัดข้าวแบบเดิม อยู่ในอัตราร้อยละ ระหว่าง 16.44 – 31.02 โดยลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีในประเทศขึ้นรูปด้วยมือ จะให้อัตราการหักที่ต่ำสุด เมื่อนำลูกหินปอชโซลานทั้ง 3 ประเภท ไปทดสอบที่โรงสี 3 แห่ง โดยทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวเหนียว พบว่า มีร้อยละข้าวหักโดยเฉลี่ย ระหว่าง 21.41-24.47 และมีร้อยละความพึงพอใจในการใช้งาน ระหว่าง 75-80

ดังนั้น การพัฒนาวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวนี้ พบว่า ลูกหินแบบใหม่ปอชโซลานมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าลูกหินแบบเดิมที่ใช้วัสดุประสานและวัสดุ

ขัดสีจากต่างประเทศ ถึงอย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อดี และข้อด้อย ของลูกหินแบบใหม่ปอชโซลานทั้ง 3 ประเภท แล้วสามารถสรุปเพื่อแนวทางในการเลือกใช้งานได้ ดังนี้

- 1) ข้อดี ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยมือ คือ กระบวนการในการทำไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน เพราะยังใช้วิธีแบบเดิม คือ การขึ้นรูปด้วยมือ และวัตถุดิบทั้งในส่วนวัสดุขัดสี ก็เป็นวัสดุขัดสีเดิม ซึ่งสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด และวัสดุประสานที่เป็นวัสดุปอชโซลานก็สามารถหาและทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ข้อด้อย คือ ร้อยละของข้าวหักและอัตราการสึกหรออยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเทียบกับลูกหินปอชโซลานอีก 2 ประเภท
- 2) ข้อดี ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีในประเทศขึ้นรูปด้วยมือ คือ มีร้อยละข้าวหักและต้นทุนวัตถุดิบที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับลูกหินปอชโซลานอีก 2 ประเภท ข้อด้อย คือ วัสดุขัดสีในประเทศ ยังไม่มีจำหน่าย แพร่หลายในท้องตลาด กล่าวคือ หินเขียวหุนมาน ยังอยู่ในเหมืองปิด และ ซิลิกอนคาร์ไบด์ไร้ซิลิกอน ยังไม่มีการทำจำหน่ายในเชิงพาณิชย์
- 3) ข้อดี ลูกหินขัดข้าวปอชโซลานใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง คือ มีอัตราการสึกหรอที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับลูกหินปอชโซลานอีก 2 ประเภท ข้อด้อย คือ เครื่องหล่อเหวี่ยงที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป มีจำกัดในสถานประกอบการบางแห่ง เท่านั้น ไม่ได้มีการนำมาจำหน่ายแพร่หลายในท้องตลาด ประกอบกับ โดยทั่วไปมีความนิยมขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งมีกระบวนการไม่ยุ่งยากและซับซ้อน

6.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) สำหรับวัสดุปอชโซลานในส่วนของดินขาวเผา พบว่า มีสัดส่วนทดแทนที่สูงกว่า ถ้ำกลบและถ้ำชานอ้อย โดยดินขาวที่ใช้ทดลองมีแหล่งที่มาจากจังหวัดลำปางทางภาคเหนือ ดังนั้น หากสามารถหาดินขาวจากทางภาคอีสาน เพื่อมาศึกษาในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุประสาน ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินขาวในภาคอีสาน ซึ่งโดยทั่วไปจะพบในจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น จังหวัดนครราชสีมา อุดรธานี ขอนแก่น เป็นต้น
- 2) ในส่วนของเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ซึ่งเป็นวัสดุประสานในการบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวปัจจุบัน ยังมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้น หากสามารถหาเกลือภายในประเทศที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันและราคาถูกกว่า ก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนได้
- 3) ในการพัฒนาวัสดุปอชโซลานเพื่อเป็นวัสดุประสานที่มีคุณภาพนั้น ควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุปอชโซลาน เช่น ลักษณะของอนุภาค อุณหภูมิที่ใช้เผา (ดินขาวเผา) แหล่งที่มาของวัสดุ เพื่อมาศึกษาวิจัยต่อยอดเกี่ยวกับวัสดุประสานของลูกหินขัดข้าวให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาวัสดุปอชโซลานเป็นไปได้อย่างแพร่หลายต่อไป