

บทที่ 4

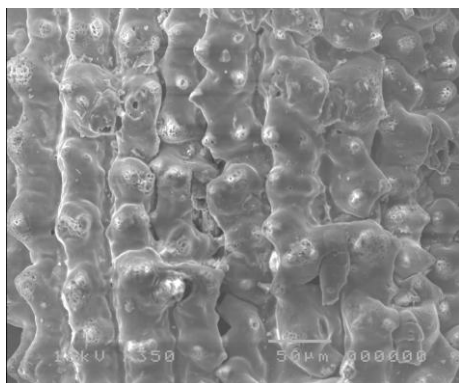
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุพอลิโซลานภายในประเทศนำมาผสมกับปูน Calcined Magnesite เพื่อเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูป ลูกหินขัดข้าวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ทำการทดลองกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ได้ดำเนินการทดลองและมีผลการศึกษาแบ่งเป็น 7 ส่วน ดังนี้

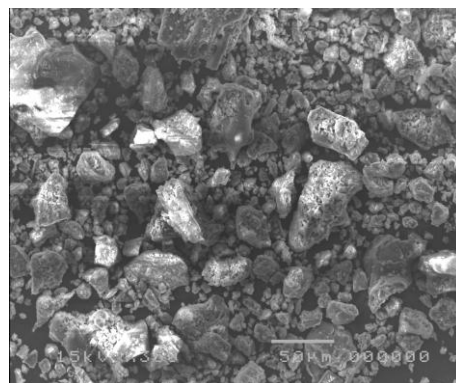
- 1) ผลการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของวัสดุพอลิโซลาน
- 2) ผลการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของวัสดุพอลิโซลาน
- 3) ผลการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกลเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุพอลิโซลานในการเป็นเป็นวัสดุประสานในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว
- 4) ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานเป็นวัสดุประสาน กับลูกหินขัดข้าวที่ใช้วัสดุประสานเดิมซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้วัสดุขัดสีเดิมซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสองแบบ
- 5) ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานเป็นวัสดุประสานร่วมกับวัสดุขัดสีภายในประเทศ กับลูกหินขัดข้าวที่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานเป็นวัสดุประสาน โดยใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ
- 6) ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่มีการขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงโดยมีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานเป็นวัสดุประสาน กับลูกหินขัดข้าวที่มีการขึ้นรูปด้วยมือมีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานเป็นวัสดุประสาน
- 7) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวของลูกหินที่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโซลานทั้ง 3 ประเภทที่โรงสี 3 แห่ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการใช้งาน

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุพอลิโซลาน

การดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุพอลิโซลานได้ทำที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุพอลิโซลาน ก่อนบดและหลังบด ว่ามีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยทำการวิเคราะห์จากการถ่ายภาพขยายกำลังสูงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะอนุภาคของวัสดุพอลิโซลาน ซึ่งมีผลการศึกษาของอนุภาควัสดุพอลิโซลานแต่ละประเภทก่อนและหลังการบด ตามภาพดังนี้

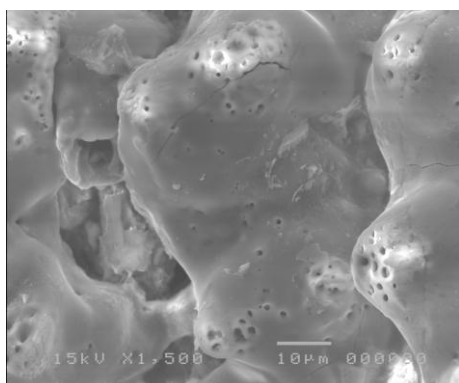


(ก)

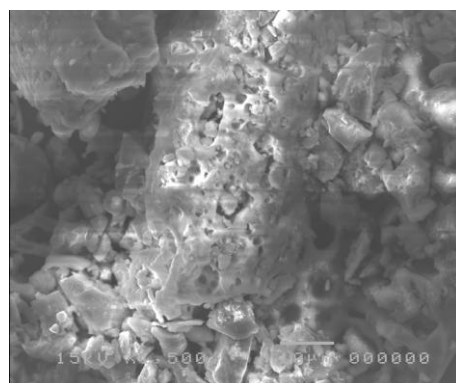


(ข)

ภาพที่ 4.1 ก) เถ้าเคลือบก่อนบด (ข) เถ้าเคลือบหลังบด (ความพรุนภาพรวม)

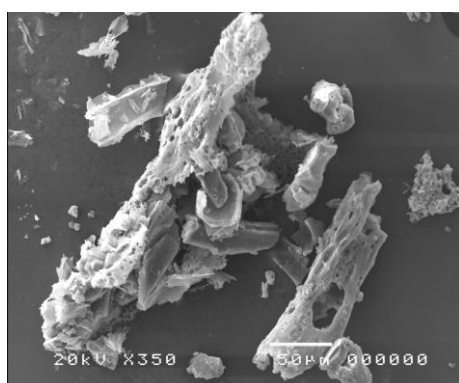


(ก)

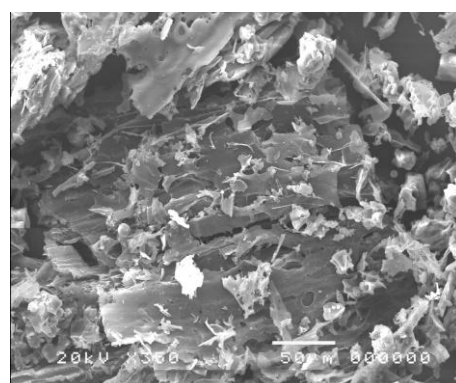


(ข)

ภาพที่ 4.2 ก) เถ้าเคลือบก่อนบด (ข) เถ้าเคลือบหลังบด (ความพรุนเฉพาะอนุภาค)

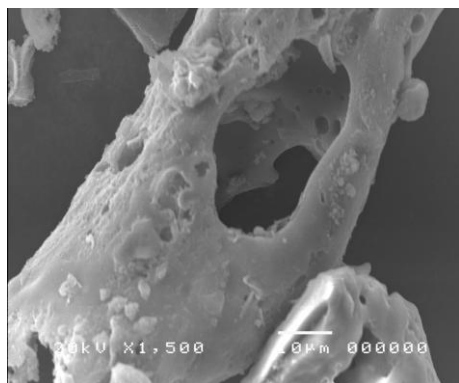


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.3 ก) เถ้าซันอ้อยก่อนบด (ข) เถ้าซันอ้อยหลังบด (ความพรุนภาพรวม)

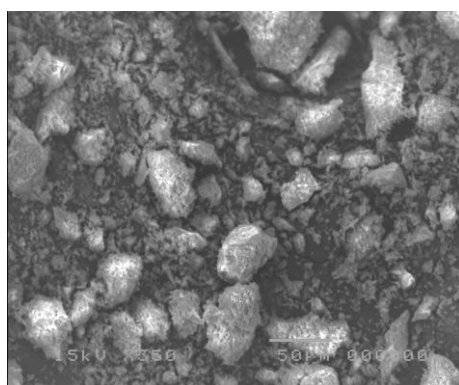


(ก)

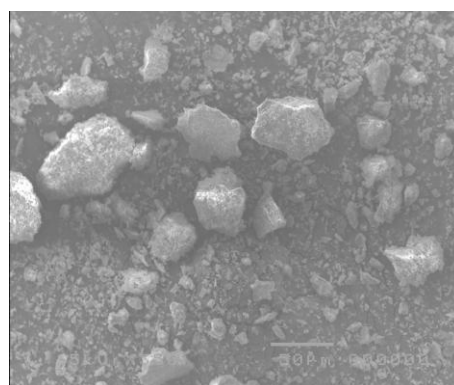


(ข)

ภาพที่ 4.4 ก) ลำต้นอ้อยก่อนบด (ข) ลำต้นอ้อยหลังบด (ความพรุนเฉพาะอนุภาค)

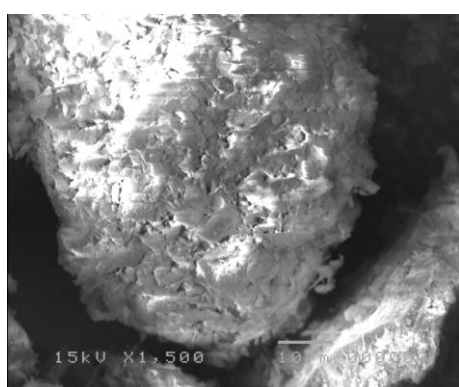


(ก)

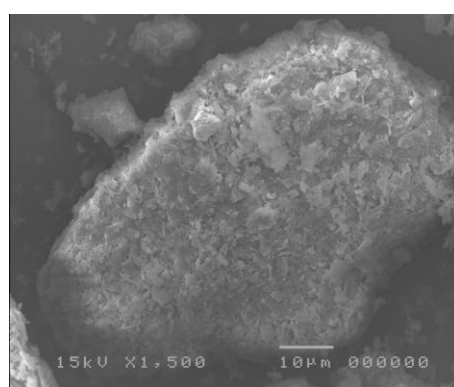


(ข)

ภาพที่ 4.5 ก) ดินขาวเผือกก่อนบด (ข) ดินขาวเผือกหลังบด (ความพรุนภาพรวม)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.6 ก) ดินขาวเผือกก่อนบด (ข) ดินขาวเผือกหลังบด (ความพรุนเฉพาะอนุภาค)

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ถือได้ว่ามีความสำคัญเนื่องมาจากสมบัติทางกายภาพเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของงานคอนกรีต (ศราวุธ เรืองฤทธิ์, 2544) ในด้านกำลังแรงอัด กำลังรับแรงดึง ความทนทาน เป็นต้น ทั้งนี้ล้วนเป็นผลมาจาก ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัว และความพรุนของอนุภาคทั้งสิ้น โดยทั่วไปแล้วการนำวัสดุปอซโซลานไปประยุกต์ใช้ต้องนำไปทำการบดและผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 ซึ่งการบดนั้นจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง มีความละเอียดมากขึ้น เพราะการบดจะไปทำลายรูพรุนและโพรงอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัย จตุรพิทักษ์กุล (2545)

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลานแต่ละประเภทพบว่า ถ้าเกลบก่อนบดจะมีรูปร่างโค้งมน ลักษณะไม่แน่นอนและมีรูพรุน ตามภาพที่ 4.1, 4.2 (ก) เมื่อบดแล้วจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง รวมความพรุนที่น้อยลง ตามภาพที่ 4.1, 4.2 (ข) ซึ่งลักษณะอนุภาคของถ้าเกลบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัย บุรฉัตร จัทรวิระ (2540) และ ศราวุธ เรืองฤทธิ์ (2544)

สำหรับถ้าชานอ้อยนั้น ก่อนบดจะมีรูปร่างเป็นแท่งและเป็นเหลี่ยม ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ มีผิวขรุขระและมีรูพรุน ตามภาพที่ 4.3, 4.4 (ก) เมื่อบดแล้วจะมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอมากขึ้น มีผิวขรุขระและความพรุนที่น้อยลง ตามภาพที่ 4.3 , 4.3 (ข) ซึ่งลักษณะอนุภาคของถ้าชานอ้อยดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิมล สัจจาณิชย์ (2547) และ ณพงศธร ลิขิตศรีไพบูลย์ (2548)

ในส่วนดินขาวเผานั้น ก่อนบดจะมีลักษณะเป็นแผ่นเป็นเหลี่ยม ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ และมีรูพรุน เมื่อบดแล้วมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอมากขึ้น เป็นทรงกลม มีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน และมีความพรุนที่น้อยลง ตามภาพที่ 4.4, 4.5 (ข) ซึ่งลักษณะอนุภาคของดินขาวเผาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรวัดน์ สุวรรณพฤษ (2544) และ จิตติมา ประสาระเอ (2547)

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน

การทดสอบส่วนผสมทางเคมีของวัสดุปอซโซลานหลังการบด คือ ถ้าเกลบ ถ้าชานอ้อย และดินขาวเผา ได้ทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน ด้วยเครื่อง X-rays fluorescence (Philips) ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี การทดสอบจะใช้รังสีเอกซ์โดยใช้โรเดียมเป็น secondary target ค่าที่ได้แสดงเป็นความเข้มข้นของกราฟที่ได้ ที่ระดับค่าพลังงานของธาตุที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการศึกษาร่องรอยองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน แต่ละประเภทแสดงรายละเอียดสารประกอบทางเคมีและธาตุแต่ละประเภท ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.1 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

Compound Name	Proportion (%)
SiO ₂	92.84879
K ₂ O	3.05598
P ₂ O ₅	2.46111
CaO	1.03143
MgO	0.33809
Al ₂ O ₃	0.26461

ตารางที่ 4.2 ธาตุทางเคมีของเถ้าแกลบ

Element Name	Proportion (%)
O	51.90716
Si	43.40076
K	2.53692
P	1.07408
Ca	0.73717
Mg	0.20388
Al	0.14005

ตารางที่ 4.3 สารประกอบทางเคมีเถ้าขาน้อย

Compound Name	Proportion (%)
SiO ₂	65.40346
K ₂ O	9.50337
P ₂ O ₅	9.46595
CaO	10.98651
MgO	1.37870
Al ₂ O ₃	0.95712

ตารางที่ 4.4 ธาตุทางเคมีของเถ้าขาน้อย

Element Name	Proportion (%)
O	47.29475
Si	30.57186
K	7.88920
P	4.13114
Ca	7.85207
Mg	0.83140
Al	0.50656
S	0.92301

ตารางที่ 4.5 สารประกอบทางเคมีของดินขาวเผา

Compound Name	Proportion (%)
SiO ₂	71.73589
K ₂ O	2.97506
P ₂ O ₅	0.83130
CaO	0.27537
MgO	0.22254
Al ₂ O ₃	23.66927
TiO ₂	0.29055

ตารางที่ 4.6 ธาตุทางเคมีของดินขาวเผา

Element Name	Proportion (%)
O	50.60342
Si	33.53186
K	2.46974
P	0.36280
Ca	0.19681
Mg	0.13420
Al	12.52697
Ti	0.17419

การศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุนี้มีความสำคัญต่อการกำลั้งอัดของคอนกรีต (ศราวุธ เริงฤทธิ์, 2544) เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาเคมีของคอนกรีต กำลั้งอัดที่ได้ของคอนกรีตในงานวิจัยจะอาศัยปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังนั้น สมบัติทางด้านเคมี เช่น สภาพความเป็นกรด-ด่าง และองค์ประกอบทางเคมี จึงถือได้ว่ามีความสำคัญต่อการกำลั้งอัดของคอนกรีต

จากผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุปอซโซลานแต่ละประเภทพบว่า เถ้าแกลบมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักคือ ร้อยละ 92.85 ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งมีธาตุหลักคือ ออกซิเจน ร้อยละ 51.91 และธาตุซิลิกอนร้อยละ 43.40 ตามตารางที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บุรฉัตร ฉัตรวิระ (2540) ซึ่งพบว่าในเถ้าแกลบค่านั้นมีซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 90-95 ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในการประสานได้ตาม ASTM C 618

สำหรับเถ้าขานอ้อยนั้น มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักคือ ร้อยละ 65.40 ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งมีปริมาณที่ต่ำกว่าเถ้าแกลบ และมีธาตุหลักคือ ออกซิเจน ร้อยละ 47.29 และธาตุซิลิกอนร้อยละ 30.57 ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณพงศธร ลิขิตศรีไพบุลย์ (2548) ซึ่งพบว่าในเถ้าขานอ้อยนั้นมีซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 65-75 และสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในการประสานได้ตาม ASTM C 618

ในส่วนดินขาวเผานั้น มีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักคือ ร้อยละ 71.74 ตามตารางที่ 4.5 ซึ่งมีปริมาณที่ต่ำกว่าเถ้าแกลบ แต่สูงกว่าเถ้าขานอ้อย และมีธาตุหลักคือ ออกซิเจน ร้อยละ 50.60 และธาตุซิลิกอนร้อยละ 33.53 ตามตารางที่ 4.6 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรวัดน์ สุวรรณพฤษ (2546) ซึ่งพบว่าในดินขาวเผานั้นมีซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมินาไดออกไซด์ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในการประสานได้ตาม ASTM C 618

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุพอลิโพรพิลีนเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุพอลิโพรพิลีนในการเป็นวัสดุประสาน

สำหรับข้อมูลของการศึกษาสมบัติทางกลในส่วนของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงนั้น ก่อนจะทำกราฟวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ควรเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อประเมินความเหมาะสมของข้อมูล ความแปรปรวนของข้อมูลรวมถึงการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำไปใช้ โดยมีแนวทางดังนี้

- การตรวจสอบการกระจาย แบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ในการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวอย่างไร โดยทั่วไปหากข้อมูลมีการกระจายตัวเกาะกลุ่มกันตามแนวเส้นตรงแสดงว่า ลักษณะข้อมูลมีความเหมาะสม (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2551)

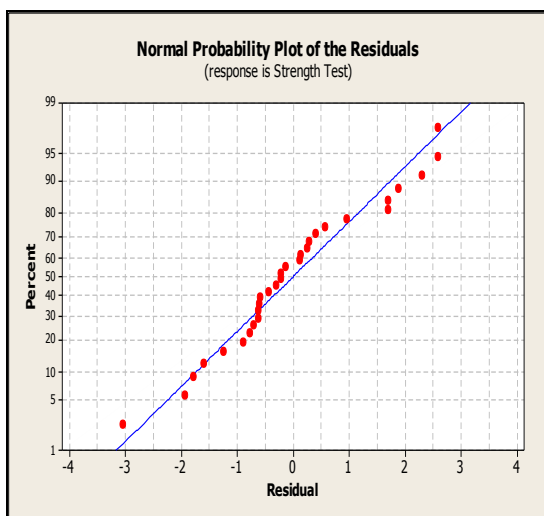
- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัยว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองเป็นอย่างไร โดยทั่วไปหากข้อมูลการกระจายตัวเกาะเป็นลักษณะแนวเส้นตรงตามแนวตั้ง มีการกระจายทั้งแนวบวกและลบ แสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2551)

สำหรับผลการทดลองในแต่ละส่วนนั้น สามารถสรุปรายละเอียด ได้ดังนี้

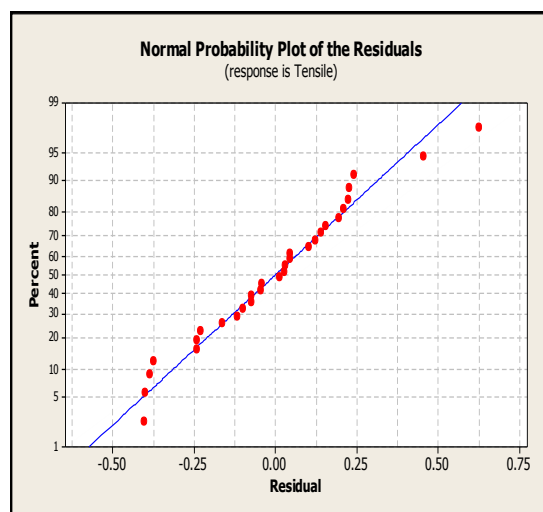
1) การกระจาย แบบแจกแจงปกติของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงจากวัสดุพอลิโพรพิลีน พบว่า มีการกระจายตัวที่ข้อมูลเกาะกลุ่มกันเป็นแนวเส้นตรงตามภาพที่ 4.7 ก และ ข แสดงว่า ข้อมูลมีความเหมาะสมในเบื้องต้น โดยมีข้อมูลบางส่วนที่ห่างจากแนวเส้นตรง แต่มีปริมาณที่ไม่มากนัก

2) ความแปรปรวนของปัจจัยที่เป็นส่วนตกค้างของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงจากวัสดุพอลิโพรพิลีน พบว่า การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) มีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง มีการกระจายตัวทั้งแนวบวกและลบ ตามภาพที่ 4.8 ก และ ข แสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่

3) การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงจากวัสดุพอลิโพรพิลีน พบว่า สัมประสิทธิ์การถดถอยความต้านทานแรงอัด มี $R^2 = 82.61\%$ $R^2 (adj) = 78.99\%$ สำหรับสัมประสิทธิ์การถดถอยความต้านทานแรงดึง มี $R^2 = 74.89\%$ $R^2 (adj) = 69.66\%$ ตามตารางที่ 4.7 ซึ่งค่า R^2 ของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงมีมากกว่าร้อยละ 70 ถือว่าข้อมูลที่นำมาทำการทดลองมีความเชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้ได้

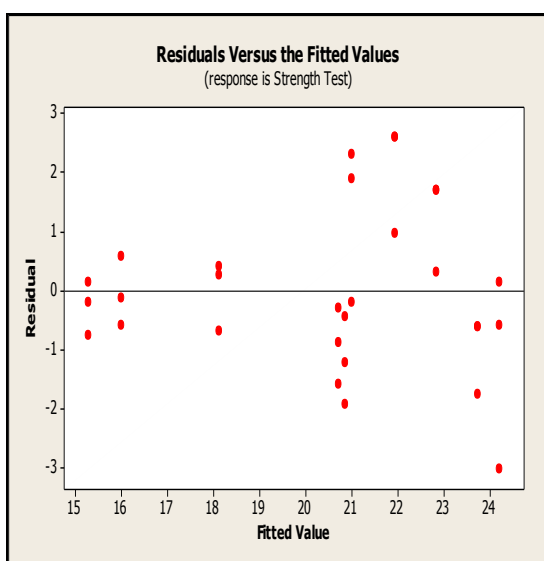


(ก)

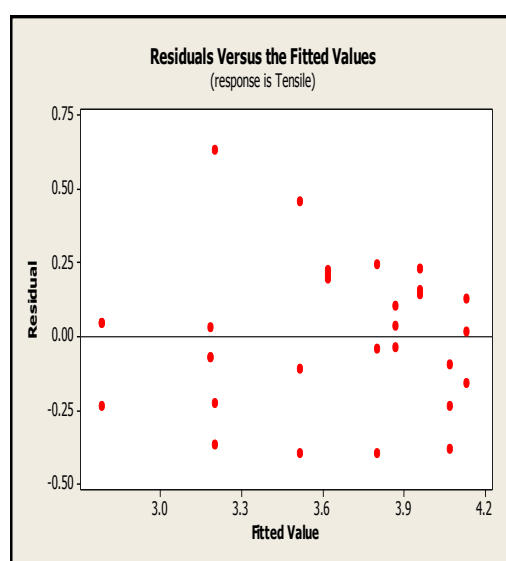


(ข)

ภาพที่ 4.7 ก) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับความต้านทานแรงอัดจากวัสดุพอลิโพรพิลีน
 ข) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับความต้านทานแรงดึงจากวัสดุพอลิโพรพิลีน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.8 ก) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับความต้านทานแรงอัดจากวัสดุพอลิโพรพิลีน
 ข) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับความต้านทานแรงดึงจากวัสดุพอลิโพรพิลีน

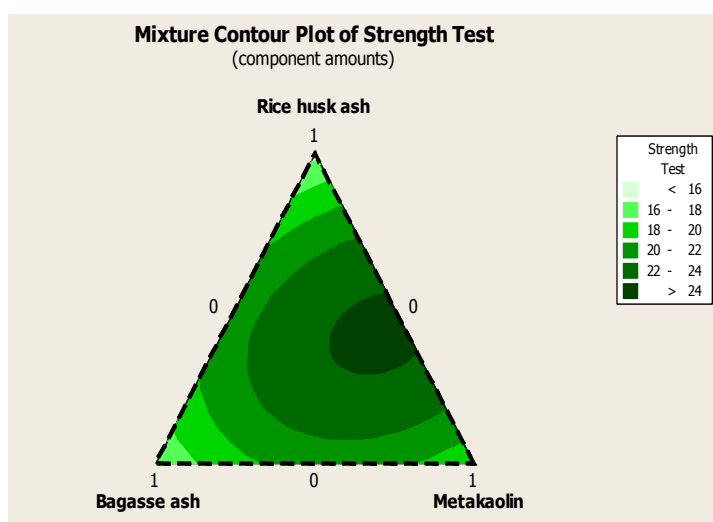
ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์การถดถอยของความต้านทานแรงอัดและแรงดึงของวัสดุพอลิโพรพิลีน

Term	Compressive Strength	Tensile Strength
R-Sq	82.61%	74.89%
R-Sq (adj)	78.99%	69.66%

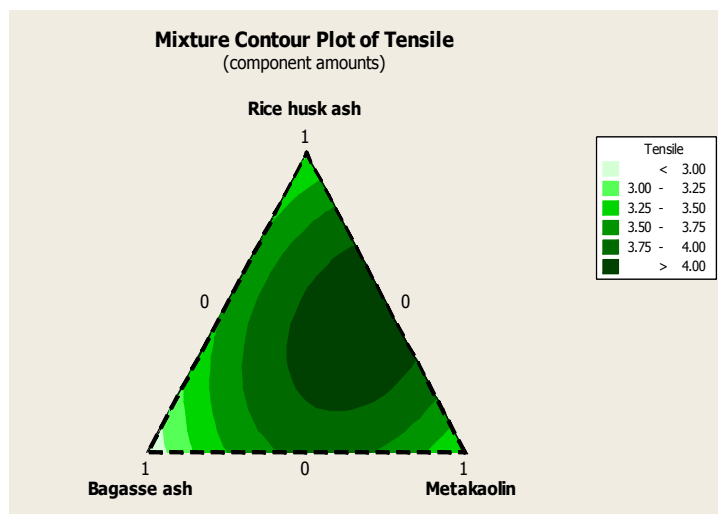
ในโปรแกรม Minitab Release 14.00 มีฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัย ที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษานี้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจโดยรวม (desirability function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (lower) ค่าเป้าหมาย (target) และค่าในระดับสูงสุด (upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบ (weight) และค่าความสำคัญของผลตอบ (importance) ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด และผลตอบที่ได้จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ ข้อมูลโดยใช้ Response Optimizer จะได้ค่าเหมาะสม

สำหรับขอบเขตของผลตอบในส่วนองแรงอัดและแรงดึงได้กำหนดค่าเป้าหมายให้ใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยของแรงอัดและแรงดึงของวัสดุประสานปัจจุบัน (สุขอังคณา ลี, 2547) กล่าวคือ แรงอัดที่ 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 4.9 และลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองส่วนมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่ของค่าเป้าหมายอยู่ในบริเวณดินขาวเผา และเมื่อประมวลผลทั้งสองส่วนรวมกันจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปอชโซลานที่ต้องการ

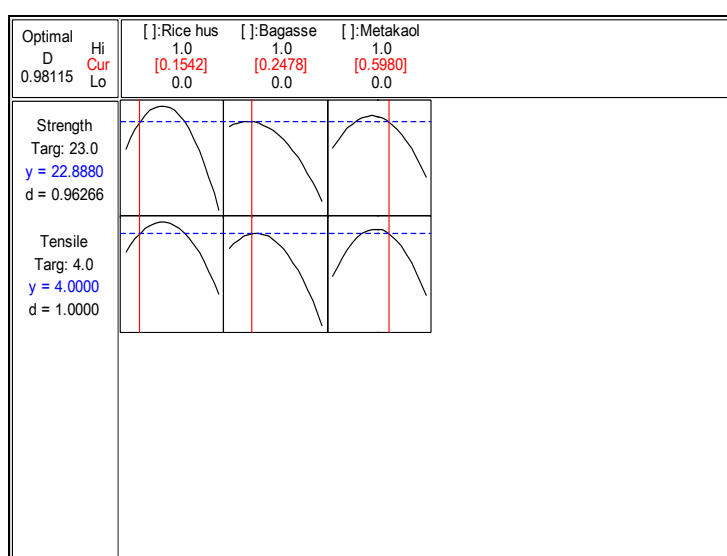


ภาพที่ 4.9 ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงอัด



ภาพที่ 4.10 ลักษณะของผลตอบส่วนผสมในการทดสอบความต้านทานแรงดึง

จากการประมวลผลรวมทั้งสองส่วน ตามรูปที่ 4.11 พบว่า สัดส่วนของวัสดุโปลานที่มีเหมาะสมมีอัตราส่วนคือ เถ้าแกลบ 0.15423 : เถ้าขานอ้อย 0.24776 : ดินขาวเผา 0.59801 หรือโดยประมาณ 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 ตามที่ได้กำหนดไว้ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไปได้



ภาพที่ 4.11 ลักษณะของผลตอบและค่าความพึงพอใจโดยรวมของความต้านทานแรงอัดและแรงดึง

เมื่อได้สัดส่วนของวัสดุพอลิโพรพิลีนที่เหมาะสมแล้ว ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันผลนั้น อีกครั้ง โดยนำสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุพอลิโพรพิลีนทั้งสามประเภทไปขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงอัดและแรงดึงอีกครั้ง ซึ่งทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้งในการยืนยันผล ตามตารางที่ 4.8 เพื่อเป็นการประเมินข้อมูลว่ามีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ สำหรับผลการทดลองในการยืนยันพบว่า ค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงอัด คือ 22.86 MPa และ ค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงดึง คือ 4.03 MPa โดยค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ ความต้านทานแรงอัด 23 MPa และ ความต้านทานแรงดึง 4.00 MPa ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 4.8 บันทึกการทดลองในการยืนยันผล

ครั้งที่ในการทดลอง	ความต้านทานแรงอัด (MPa)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)
1	22.90	3.95
2	22.80	4.05
3	22.85	4.15
4	22.80	3.95
5	22.95	4.05
เฉลี่ย	22.86	4.03
ค่าเป้าหมาย	23	4

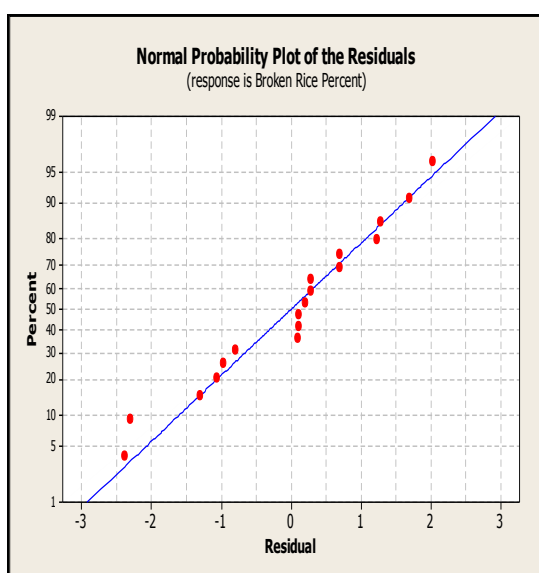
4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโพรพิลีนเป็นวัสดุประสาน กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้วัสดุประสานเดิมซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ

การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวนี้ ใช้วัสดุขัดสีเดิมซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสองแบบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของลูกหินแบบใหม่ที่มีวัสดุประสานมีส่วนผสมของวัสดุพอลิโพรพิลีน กับลูกหินแบบเดิมที่ไม่มีส่วนผสมของวัสดุพอลิโพรพิลีนและวัสดุประสานนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งใช้กันในท้องตลาด การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะศึกษา 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และ อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ฟังก์ชัน T-Test ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้การขึ้นรูปลูกหินแบบใหม่และแบบเดิมประเภทละ 3 ลูกหิน

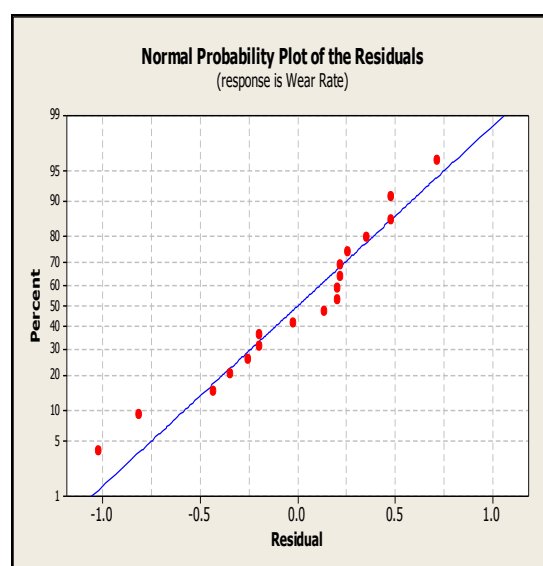
สำหรับข้อมูลของการศึกษาเปรียบเทียบนั้น ก่อนจะทำวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ควรเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อประเมินความเหมาะสมของข้อมูล ความแปรปรวนของ

ข้อมูลรวมถึงการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำไปใช้ ซึ่งผลการทดลองในแต่ละส่วนนั้น สามารถสรุปรายละเอียด ได้ดังนี้

- 1) การกระจาย แบบแจกแจงปกติของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน พบว่า มีการกระจายตัวที่ข้อมูลเกาะกลุ่มกันตามแนวเส้นตรงตามภาพที่ 4.12 ก และ ข แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมในเบื้องต้น โดยมีข้อมูลบางส่วนที่ห่างจากแนวเส้นตรง แต่มีปริมาณที่ไม่มากนัก
- 2) ความแปรปรวนของปัจจัยที่เป็นส่วนตกค้างของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน พบว่า การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) มีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง มีการกระจายตัวทั้งแนวบวกและลบ ตามภาพที่ 4.13 ก และ ข แสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่



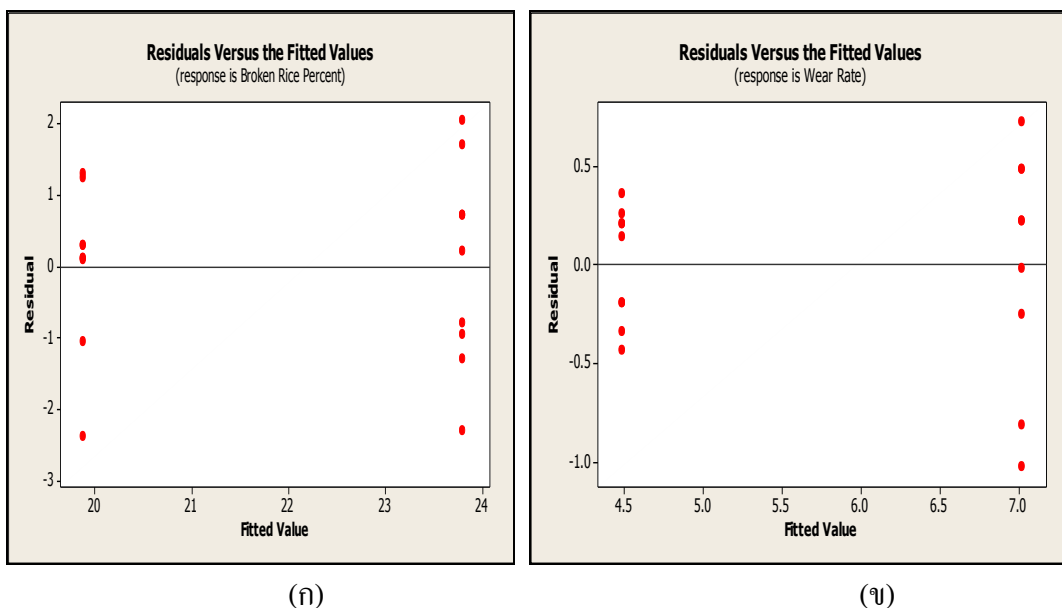
(ก)



(ข)

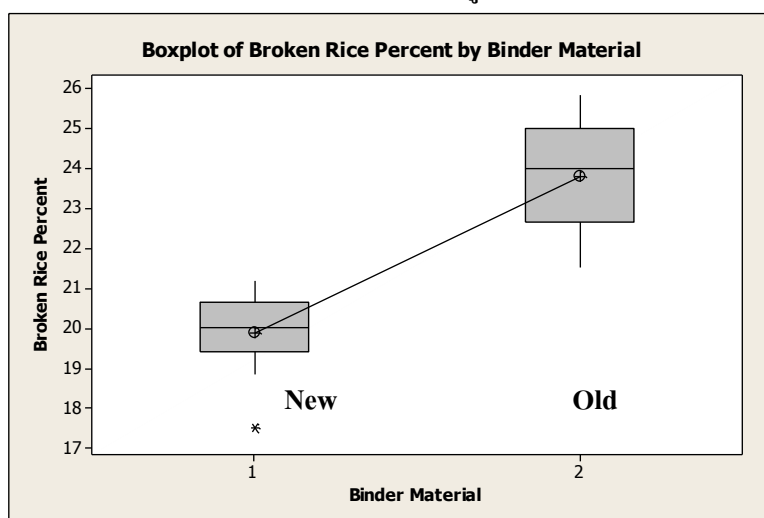
ภาพที่ 4.12 ก) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน

ข) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน

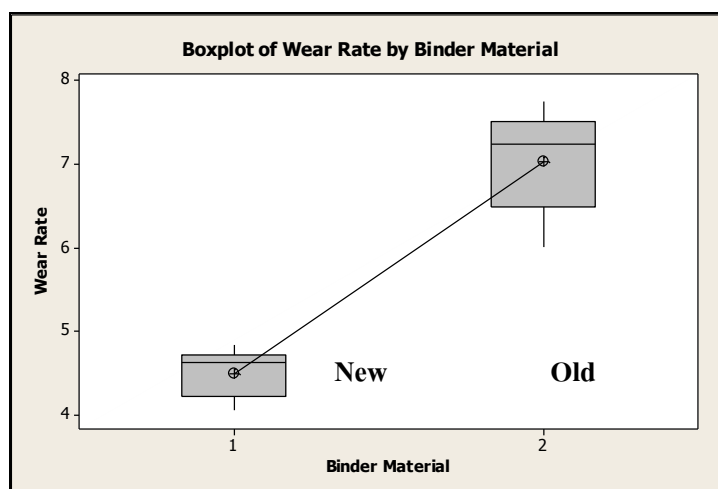


ภาพที่ 4.13 ก) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน
 ข) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน

เมื่อทำการประมวลผล จากฟังก์ชัน T-Test เพื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 19.88 ซึ่งน้อยกว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิม ที่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 23.79 โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.14 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอระหว่างลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 4.483 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่า ลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 7.022 กรัม/ชั่วโมง โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม

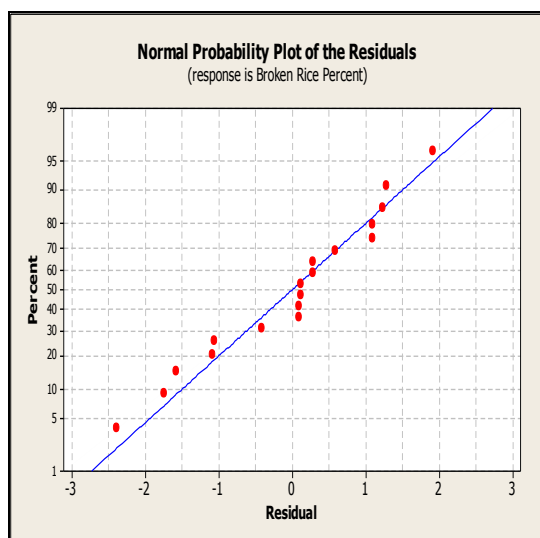
4.5 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานและใช้วัสดุขัดสีในประเทศ กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสาน โดยใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ

การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวนั้น เป็นการทดสอบการใช้งานวัสดุปอชโซลานว่า เมื่อใช้วัสดุขัดสีที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไร โดยวัสดุขัดสีจัดในประเทศคือ หินเขียวหนุมาน เบอร์ 16 และซิลิคอนคาร์ไบด์ไรเซิล เบอร์ 18 ในอัตราส่วน 50 : 50 (สุรพงศ์ บางพาน, 2554) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะศึกษา 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และ อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ฟังก์ชัน T-Test ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้การขึ้นรูปลูกหินแบบใหม่และแบบเดิมประเภทละ 3 ลูกหิน

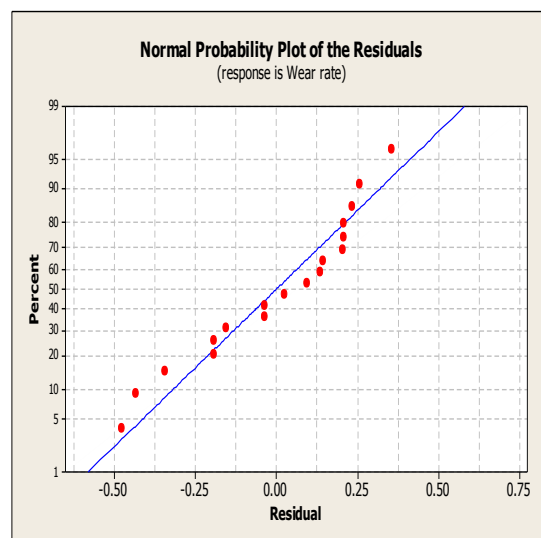
สำหรับข้อมูลของการศึกษาเปรียบเทียบนั้น ก่อนจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ควรเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อประเมินความเหมาะสมของข้อมูล ความแปรปรวนของข้อมูลรวมถึงการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำไปใช้ ซึ่งผลการทดลองในแต่ละส่วนนั้น สามารถสรุปรายละเอียด ได้ดังนี้

- 1) การกระจาย แบบแจกแจงปกติของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลานพบว่า มีการกระจายตัวที่ข้อมูลเกาะกลุ่มกันตามแนวเส้นตรงตามภาพที่ 4.16 ก และ ข แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมในเบื้องต้น โดยมีข้อมูลบางส่วนที่ห่างจากแนวเส้นตรง ในปริมาณไม่มากนัก
- 2) ความแปรปรวนของปัจจัยที่เป็นส่วนตกค้างของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลานพบว่า การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) มีการกระจายตัวเป็นแนว

เส้นตรง มีการกระจายตัวทั้งแนวบวกและลบ โดยในส่วนของอัตราการศึกษาหรือมีการกระจายตัวเชิงบวกมากกว่าเชิงลบเล็กน้อย ตามภาพที่ 4.17 ก และ ข โดยสรุป มีความแปรปรวนคงที่



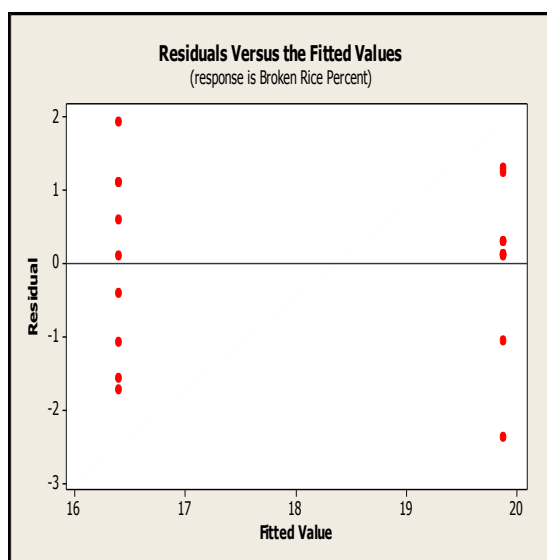
(ก)



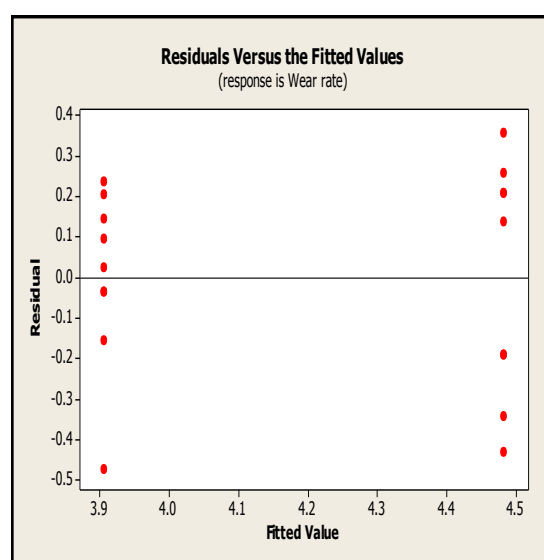
(ข)

ภาพที่ 4.16 ก) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน

ข) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับอัตราการศึกษาหรือจากลูกหินปอชโซลาน



(ก)

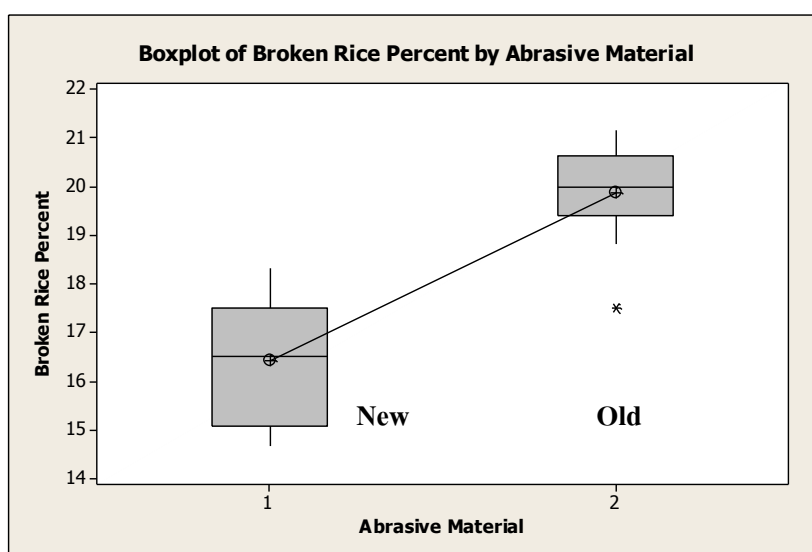


(ข)

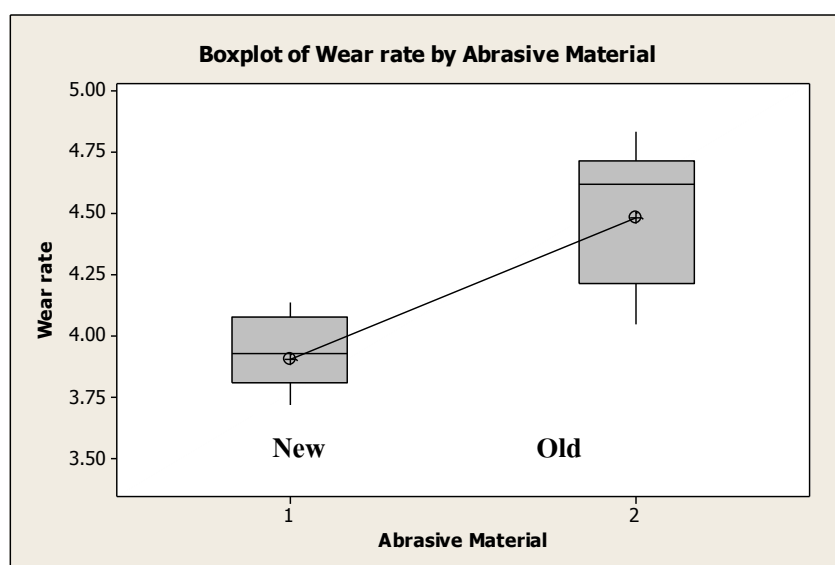
ภาพที่ 4.17 ก) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน

ข) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับอัตราการศึกษาหรือจากลูกหินปอชโซลาน

เมื่อทำการประมวลผลจากฟังก์ชัน T-Test เพื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 16.41 ซึ่งน้อยกว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 19.88 โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.18 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอระหว่างลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 3.905 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่า ลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 4.438 กรัม/ชั่วโมง โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม



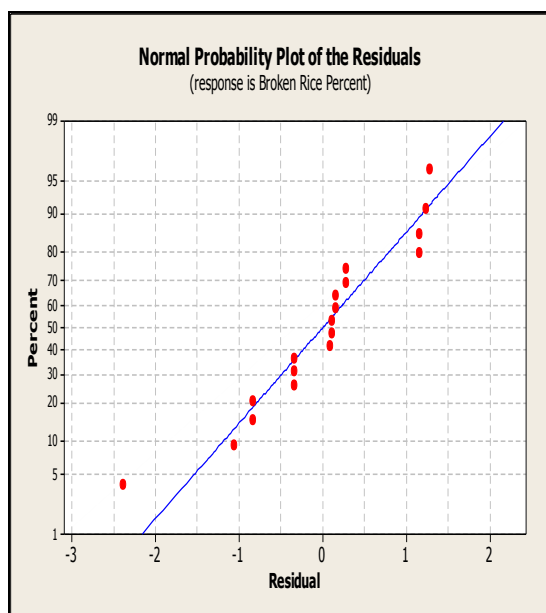
ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบร้อยละอัตราการสึกหรอของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม

4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสาน ที่มีการขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสาน โดยขึ้นรูปด้วยมือ

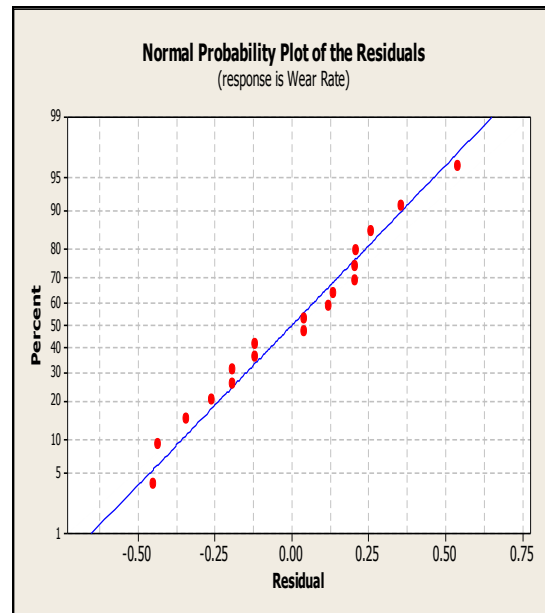
การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวนั้น เป็นการทดสอบการใช้งานลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานและขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยง กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีวัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุประสานและขึ้นรูปด้วยมือ ทั้งนี้ใช้วัสดุขัดสีแบบเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศ การทดสอบเปรียบเทียบดังกล่าวเพื่อ ประเมินวัสดุปอชโซลาน ที่มีการขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าว และมีความแตกต่างจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่ใช้กันในท้องตลาดหรือไม่ อย่างไร การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะศึกษา 2 ส่วน คือ ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากการสีข้าว และ อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยใช้ฟังก์ชัน T-Test ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้การขึ้นรูปลูกหินแบบใหม่และแบบเดิมประเภทละ 3 ลูกหิน

สำหรับข้อมูลของการศึกษาเปรียบเทียบนั้น ก่อนจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ควรเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อประเมินความเหมาะสมของข้อมูล ความแปรปรวนของข้อมูลรวมถึงการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำไปใช้ ซึ่งผลการทดลองในแต่ละส่วนนั้น สามารถสรุปรายละเอียด ได้ดังนี้

- 1) การกระจาย แบบแจกแจงปกติของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน พบว่า มีการกระจายตัวที่ข้อมูลเกาะกลุ่มกันตามแนวเส้นตรงตามภาพที่ 4.20 ก และ ข แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมในเบื้องต้น โดยมีข้อมูลบางส่วนที่ห่างจากแนวเส้นตรง แต่มีปริมาณที่ไม่มากนัก
- 2) ความแปรปรวนของปัจจัยที่เป็นส่วนตกค้างของร้อยละข้าวหักและอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน พบว่า การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) มีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง มีการกระจายตัวทั้งแนวบวกและลบ โดยในส่วนของอัตราการสึกหรอมีการกระจายตัวเชิงบวกมากกว่าเชิงลบเล็กน้อย ตามภาพที่ 4.21 ก และ ข โดยสรุป มีความแปรปรวนคงที่



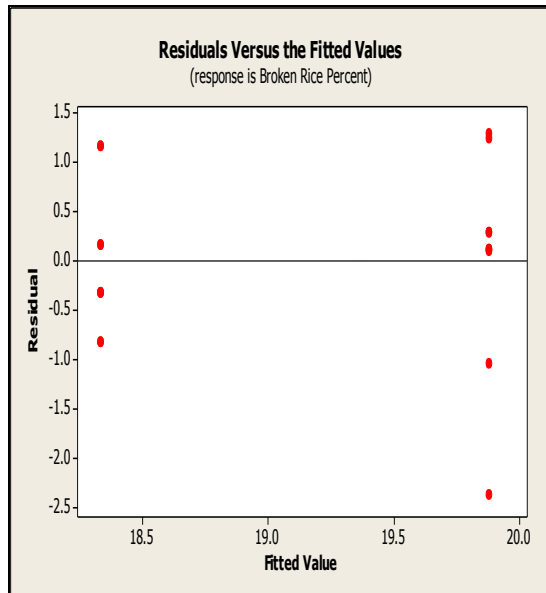
(ก)



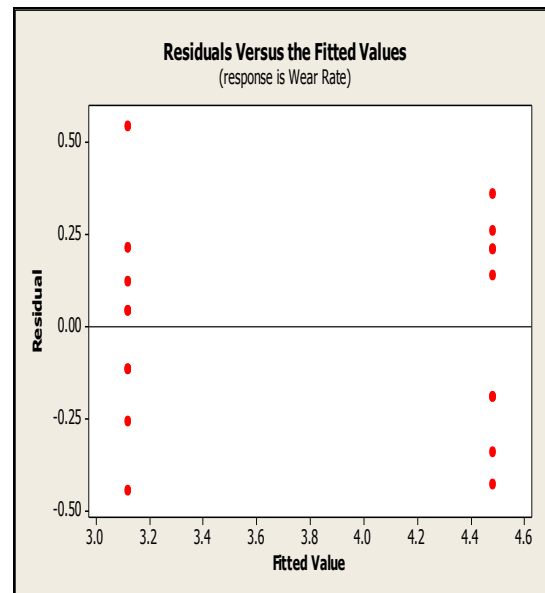
(ข)

ภาพที่ 4.20 ก) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน

ข) แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติสำหรับอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน



(ก)

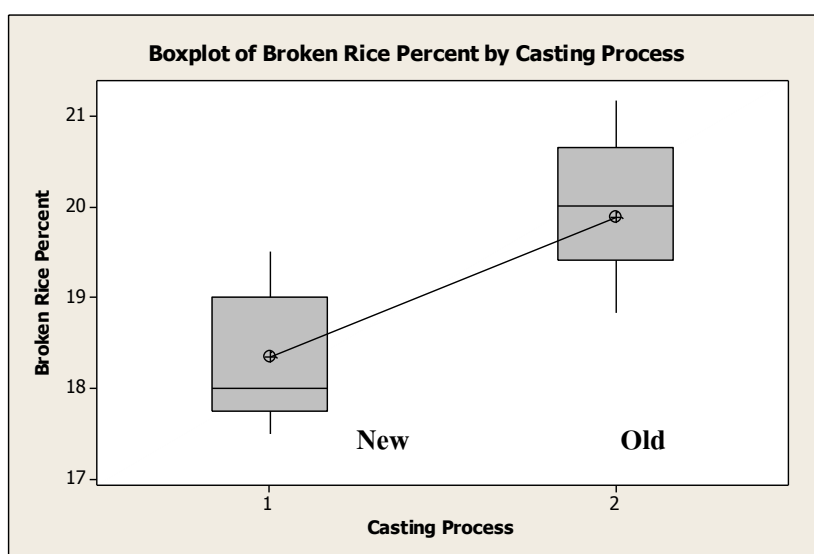


(ข)

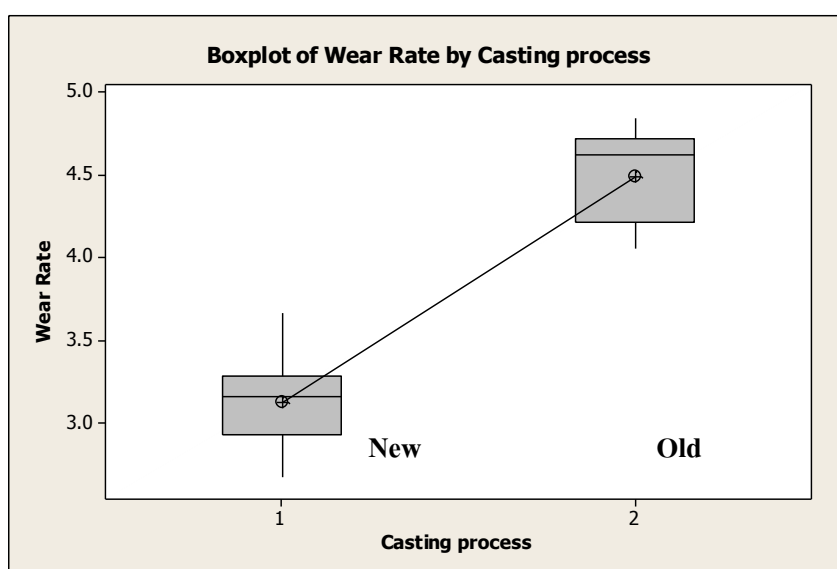
ภาพที่ 4.21 ก) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับร้อยละข้าวหักจากลูกหินปอชโซลาน

ข) ส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับค่าคงที่สำหรับอัตราการสึกหรอจากลูกหินปอชโซลาน

เมื่อทำการประมวลผล จากฟังก์ชัน T-Test เพื่อเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 18.33 ซึ่งน้อยกว่า ร้อยละข้าวหักที่เกิดจากลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย 19.88 โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.22 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอระหว่างลูกหินขัดข้าวแบบใหม่กับลูกหินขัดข้าวแบบเดิม พบว่า อัตราการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 3.12 กรัม/ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่า ลูกหินขัดข้าวแบบเดิมที่มีอัตราการสึกหรอเฉลี่ย 4.48 กรัม/ชั่วโมง โดยแสดงผลของข้อมูลตามภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบร้อยละข้าวหักของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม



ภาพที่ 4.23 การเปรียบเทียบร้อยละอัตราการสึกหรอของลูกหินแบบใหม่กับลูกหินแบบเดิม

4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวของลูกหินที่มีส่วนผสมของวัสดุปอชโซลานทั้ง 3 ประเภทที่โรงสี 3 แห่ง

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวปอชโซลานแบบต่างๆที่โรงสีนั้น จะทำการทดสอบลูกหินปอชโซลาน 3 ประเภท ดังนี้

- 1) ลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 1)
- 2) ลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุขัดสีในประเทศ (ลูกหิน # 2)
- 3) ลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องและใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 3)

ในการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวนั้น จะทำการทดสอบที่โรงสี 3 แห่ง ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของลูกหินขัดข้าวและประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน โดยทำการทดสอบการสีข้าว ที่เป็นพันธุ์ข้าวเหนียว ซึ่งนิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ซึ่งจะทำให้การประเมินประสิทธิภาพการสีข้าวจากร้อยละข้าวหักที่เกิดขึ้น และประเมินความพึงพอใจจากแบบสอบถาม มีผลการทดสอบประสิทธิภาพการสีข้าวตามตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินประสิทธิภาพการสีข้าวของโรงสีทั้ง 3 แห่ง

ครั้งที่ในการทดสอบ	ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย โรงสีที่ 1 (ลูกหิน # 1)	ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย โรงสีที่ 2 (ลูกหิน # 2)	ร้อยละข้าวหักเฉลี่ย โรงสีที่ 3 (ลูกหิน # 3)
1	25.17	22.50	23.75
2	22.50	21.50	22.50
3	25.17	21.50	23.25
4	25.75	21.73	23.83
5	23.83	19.83	22.17
เฉลี่ย	24.47	21.41	23.10

จากผลการประเมินประสิทธิภาพข้าวของลูกหินปอชโซลานทั้ง 3 ประเภท พบว่า มีร้อยละข้าวหักเฉลี่ย ระหว่าง 21.41-24.47 โดยลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุขัดสีในประเทศ (ลูกหิน # 2) ให้ร้อยละข้าวหักต่ำสุดรองลงมา คือ ลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องและใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 3) และลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุขัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 1) ตามลำดับ

เมื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของลูกหินปอชโซลานทั้ง 3 ประเภท พบว่า มีระดับความพึงพอใจ ระหว่าง 3.75-4 จากคะแนนเต็ม 5 โดยลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุจัดสีในประเทศ (ลูกหิน # 2) ให้ความพึงพอใจสูงสุด คือ 4 สำหรับลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องและใช้วัสดุจัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 3) และลูกหินปอชโซลานที่ขึ้นรูปด้วยมือและใช้วัสดุจัดสีต่างประเทศ (ลูกหิน # 1) ให้ความพึงพอใจเท่ากัน คือ ร้อยละ 3.75 โดยมีรายละเอียดแสดงตามตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินความพึงพอใจลูกหินปอชโซลานของโรงสีทั้ง 3 แห่ง

ลำดับ	หัวข้อการประเมินความพึงพอใจ	โรงสีที่ 1 (ลูกหิน # 1)	โรงสีที่ 2 (ลูกหิน # 2)	โรงสีที่ 3 (ลูกหิน # 3)
1	ปริมาณข้าวที่สีได้	4	4	4
2	ปริมาณแกลบ รำที่ได้	4	4	4
3	ความเต็มของเม็ดข้าว	3	4	3
4	ความเร็วในการสีข้าว	4	3	4
5	ราคาของลูกหินขัดข้าว	4	5	4
6	ลักษณะผิวของลูกหิน	3	4	3
7	ปริมาณหินที่ไม่ปนมากับข้าว	4	4	4
8	การใช้งานของลูกหินโดยรวม	4	4	4
	ค่าเฉลี่ยโดยรวมทั้งหมด	3.75	4	3.75

หมายเหตุ: ระดับความพึงพอใจ มีค่าตั้งแต่ 1-5 แปลความหมายคือ 1: ควรปรับปรุง 2: น้อย 3: ปานกลาง 4: มาก และ 5: มากที่สุด ตามลำดับ