หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบจำเป็นที่จะต้องผสมวัสดุบางอย่างเพื่อเพิ่มความทนทานและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ มีการฟุ้งกระจายสูง จึงไม่เหมาะในการที่จะบรรทุกขนส่ง งานวิจัยนี้เลือกใช้ดินดำเพราะมีความบริสุทธิ์ของดินสูง จึงไม่มีผลกระทบต่อเนื้อเหล็ก มีความหนาแน่นสูง เมื่อผสมกับเถ้าแกลบจะเพื่อความหนาแน่นให้แก่ลูกบอลฉนวน ลดการฟุ้งกระจายของผลิตภัณฑ์ ขณะที่แตกกระจาย ณ อุณหภูมิใช้งาน โดยแบ่งงานวิจัยเป็น 5 ขั้น คือ ตอนที่1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ ผสมกับตัวประสานที่ใช้ ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวน ตอนที่ 3 สังเกตการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนที่อุณหภูมิสูง ตอนที่ 4 หาค่าความทนทานของลูกบอลฉนวน ตอนที่ 5 หาค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวนและมีส่วนเพิ่มเติมของงานวิจัยอีก 2 หัวข้อ คือ ตอนที่ 6 การทดลองหาสมบัติต่างๆ ของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอยและตอนที่ 7 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของลูกบอลฉนวนสองชนิด

4.1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในขึ้นรูปลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบและดินดำ

4.1.1 ลักษณะของของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ ผสมน้ำ

เพื่อหาองค์ประกอบที่สามารถขึ้นรูปได้ของลูกบอลฉนวน จากการทดลองใช้น้ำเป็นตัวผสม พบว่าให้ผสมของขึ้นรูปที่ไม่ดี เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นวัสดุที่ไม่มีความเหนียว ทำให้ไม่มีแรงยึดกันระหว่างอนุภาค จึงต้องใช้วัสดุที่มีความเหนียวอย่างดินดำในปริมาณมากจึงจะขึ้นรูปได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ ผสมน้ำ

ลักษณะการขึ้นรูป	ร้อยละเถ้าแกลบ ในวัตถุดิบแห้ง	ปริมาณน้ำ (กก./กก.วัตถุดิบแห้ง)
ร่วน ปั้นไม่ได้	30 - 50	น้อยกว่า 0.6
ปั้นได้แต่ไม่เหนียว	30 – 50	0.6 - 0.8
	40 - 50	0.8 – 1.0
ปั้นได้ เหนียว	30	0.8 – 1.0
เหลวปั้นไม่ได้	30 - 50	มากกว่า 1.0

4.1.2 ลักษณะของของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ ผสมแป้งเปียก

การนำตัวประสานมาใช้เพื่อช่วยในการขึ้นรูปสามารถลดปริมาณการใช้ดินดำได้อย่างมาก คือ แป้งเปียก ซึ่งมีราคาถูก หาง่าย โดยใช้ร้อยละน้ำแป้งที่ 5, 10 ในการทำแป้งเปียก ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มร้อยละเถ้าแกลบมากกว่าร้อยละ 70 ของผสมเถ้าแกลบกับดินดำจะมีเสถียรภาพในการขึ้นรูปลดลงอย่างมาก คือ ไม่สามารถกำหนดได้ว่าจะใช้แป้งเปียกในอัตราส่วนผสมเท่าใด จึงจะพอเหมาะพอดี บางครั้งใช้อัตราส่วนเท่านี้ขึ้นรูปไม่ได้ พอเพิ่มปริมาณแป้งเปียกก็เหลวจนขึ้นรูปไม่ได้ อีกทั้งยังจะต้องใช้ปริมาณแป้งเปียกมากกว่าปกติ โดยปกติของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ 1 ส่วน ต้องใช้แป้งเปียก 1 ถึง 1.2 ส่วน แต่ถ้าอัตราส่วนเถ้าแกลบร้อยละ 80 จะต้องใช้ของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ 1 ส่วน ต่อ แป้งเปียก 1.2 ถึง 1.4 ส่วน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตแล้วไม่คุ้มค่า

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของของผสมเถ้าแกลบกับดินดำ ผสมน้ำแป้งร้อยละ 5,10

ลักษณะการขึ้นรูป	ร้อยละเถ้าแกลบ ในวัตถุดิบแห้ง	ปริมาณแป้งเปียกร้อยละ 5,10 (กก./กก.วัตถุดิบแห้ง)
ร่วน ปั้นไม่ได้	50 - 80	น้อยกว่า 0.8
ปั้นได้แต่ไม่เหนียว	50 – 60	0.8 – 1.0
	70 - 80	1.0 – 1.2
ปั้นได้ เหนียว	50 – 70	1.0 – 1.2
	70 - 80	มากกว่า 1.2
เหลวปั้นไม่ได้	50 – 70	1.2 – 1.4
	70 - 80	มากกว่า 1.4

4.2 ผลวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของลูกบอลฉนวน

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตลูกบอลฉนวนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมรีดเหล็กหล่อ จากองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกาและอะลูมินาทั้งในเถ้าแกลบ ดินดำ จากผลวิเคราะห์ (บทที่ 2) แสดงให้เห็นว่าลูกบอลฉนวนหลังจากขึ้นรูปแล้วจะมีสมบัติทนความร้อนสูง จุดหลอมเหลวสูง จึงไม่หลอมละลายลงไปเนื้อเหล็ก

ผลการหาสมบัติโดยประมาณของเถ้าแกลบและดินดำและตัวประสาน ในตารางที่ 4.3 เพื่อหาค่าปริมาณของค่าคาร์บอนคงตัวในวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวนไม่ให้มีค่าเกินร้อยละ 5 (ข้อมูลจากบริษัท ไทยพาวเวอร์ซัพพลาย จำกัด) ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อปริมาณคาร์บอนภายในเนื้อของเหล็กหล่อทำให้เหล็กที่ผลิตได้ มีสมบัติไม่ดีเพียงพอต่อการใช้งาน จากค่าที่ทดลองได้ (ตารางที่ 4.3) ผลิตภัณฑ์มีค่าของคาร์บอนคงตัวไม่เกินร้อยละ 5 ค่าที่ได้ คือ ร้อยละ 4.72

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของวัตถุดิบชนิดต่างๆ และผลิตภัณฑ์เถ้าแกลบและดินดำ ภาวะปราศจากความชื้น ร้อยละเถ้าแกลบ 70 ในวัตถุดิบแห้ง

ชนิดของวัตถุดิบ	เถ้าแกลบ	ดินดำ	แป้งมัน	ผลิตภัณฑ์ *
ร้อยละ VM	4.67	13.16	13.06	8.30
ร้อยละ ASH	90.95	84.41	86.44	86.96
ร้อยละ FC	4.37	2.42	0.49	4.72

(*อัตราส่วนวัตถุดิบแห้งต่อปริมาณแป้งเปียกร้อยละ 5 เท่ากับ 1 ต่อ 1)

4.3 ลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบและดินดำที่อุณหภูมิสูง (700-800 องศาเซลเซียส)

4.3.1 ลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำที่องค์ประกอบต่างๆ กัน

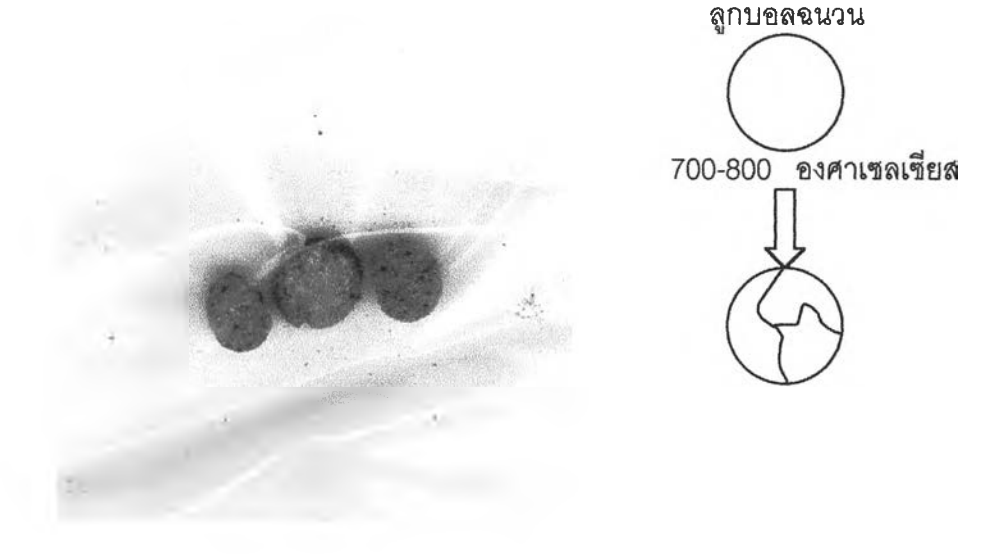
การสังเกตการแตกกระจายที่อุณหภูมิสูง(700-800 องศาเซลเซียส) เพื่อศึกษาลักษณะของลูกบอลฉนวนเมื่อถูกกระทบด้วยความร้อนสูงอย่างเฉียบพลัน และความสามารถในการเป็นฉนวนบังอากาศเพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาการผิวเหล็กเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1

โดยร้อยละการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเท่ากับ 5-10 โดยน้ำหนัก (ภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำที่องค์ประกอบต่างๆ กัน

องค์ประกอบในลูกบอลฉนวน		ไม่แตกกระจาย	แตกกระจายน้อย	แตกกระจายมาก
ร้อยละเถ้าแกลบในวัตถุดิบแห้ง	ปริมาณแป้งเปียกร้อยละ 5,10 (กก./กก.วัตถุดิบแห้ง)			
50	1.0 – 1.2		-**	
60	1.0 – 1.2		⊕	
70	1.0 – 1.2		⊕	

**ไม่ได้ทำการทดสอบเนื่องจากที่สัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวไม่คุ้มค่าต่อการผลิต



รูปที่ 4.1 ลักษณะการแตกของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบและดินดำที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส

4.3.2 ลักษณะการลุกไหม้ของลูกบอลฉนวนที่อุณหภูมิสูง (700-800 องศาเซลเซียส)

ในระหว่างการทดลองลักษณะการแตกตัวของลูกบอลฉนวนพบว่าลูกบอลฉนวนเกิดการลุกไหม้ด้วยโดยองค์ประกอบลูกบอลฉนวนที่ผสมแป้งเปียก ร้อยละ 10 มีการลุกไหม้มากเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นสารอินทรีย์จึงติดไฟได้ ซึ่งถ้าใช้ลูกบอลฉนวนในอุตสาหกรรมอาจจะเกิดอันตรายได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ในหัวข้อต่อไปจึงใช้ร้อยละแป้งในแป้งเปียก เท่ากับ 5 ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.5 การลุกไหม้ของลูกบอลฉนวนที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส

ร้อยละแป้งเปียกในลูกบอลฉนวน	การลุกไหม้
5	ไม่มี
10	มี

4.4 การทดสอบหาค่าความทนทานของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำ

ลูกบอลฉนวนเมื่อผ่านการขึ้นรูปได้แล้วจะต้องทดสอบค่าความทนทานเพื่อนำค่าที่ได้มาพิจารณาความเป็นไปได้ในการบรรทุกขนส่ง ผลการทดลองโดยแปรเปลี่ยนค่าร้อยละเถ้าแกลบในลูกบอลฉนวนระหว่าง 50 ถึง 70 ได้ค่าอยู่ในช่วง 105 ถึง 120 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งมากเพียงพอต่อการกระแทกจากการโยนจากที่สูงและการถูกทับถมกันเองในระหว่างการขนส่ง (ข้อมูลโดย บริษัท ไทยพาวเวอร์ ซัพพลาย จำกัด)

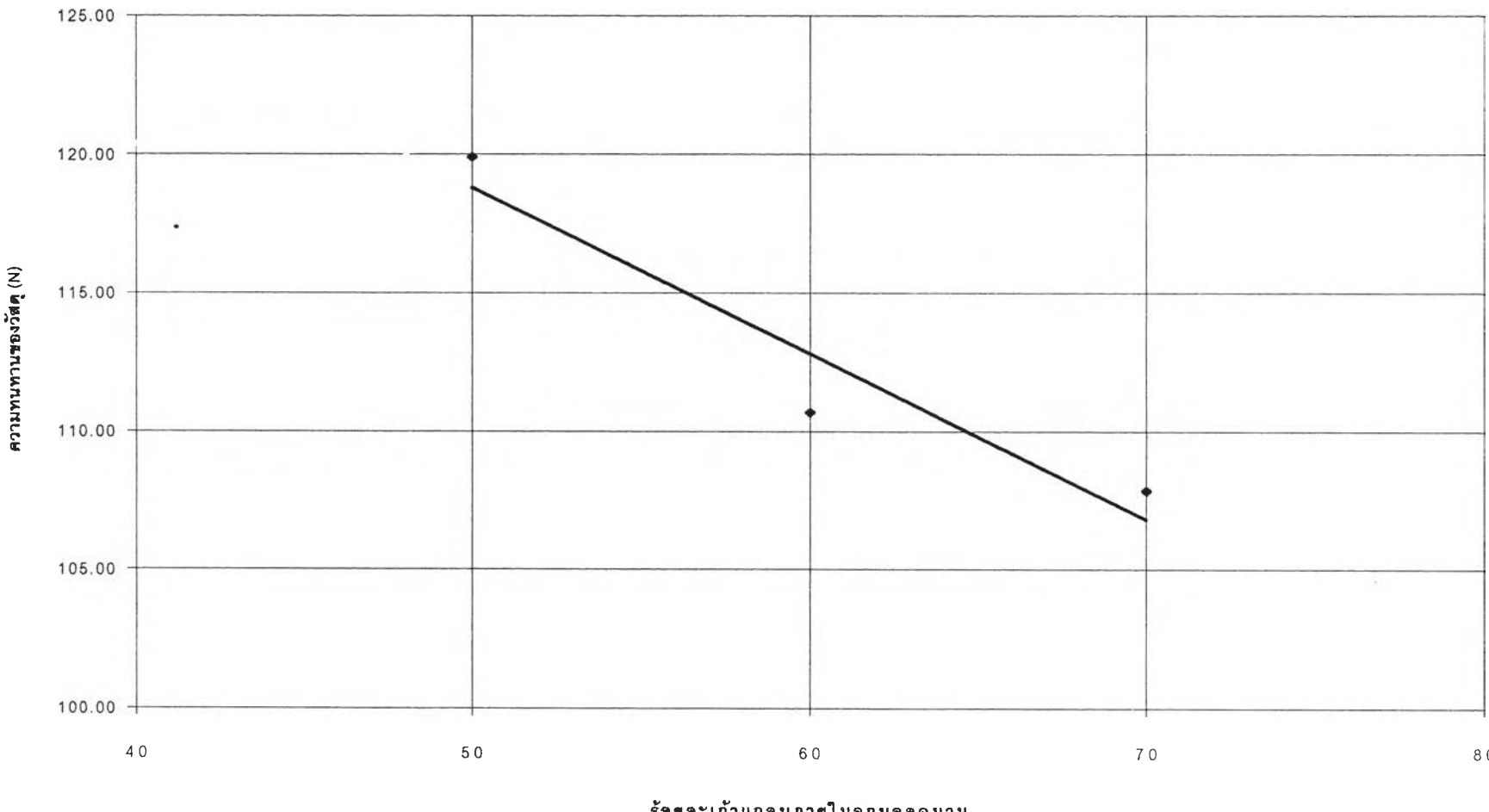
จากรูปที่ 4.2 จะได้แสดงผลขององค์ประกอบภายในของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มร้อยละของเถ้าแกลบขึ้น เนื่องจากลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบมีความหนาแน่นลดลงเพราะว่าขนาดของอนุภาคเถ้าแกลบมีขนาดใหญ่ทำให้การจับตัวกันของอนุภาคไม่แน่นเพราะมีอนุภาคขนาดเล็ก คือ ดินดำไปเติมในส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างอนุภาคของเถ้าแกลบลดลงตามอัตราส่วนของร้อยละเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ค่าความทนทานของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำ

องค์ประกอบลูกบอลฉนวน	wt (g)	D (cm)	thick (cm)	Area (cm^2)	Volume (cm^3)	load (N)	Stress (N/cm^2)
เถ้าแกลบร้อยละ 50	69.31	5.31	4.71	22.10	104.10	2650.00	119.89
เถ้าแกลบร้อยละ 60	66.08	5.26	4.67	21.73	101.55	2405.00	110.67
เถ้าแกลบร้อยละ70	70.49	5.33	4.69	22.29	104.51	2402.50	107.88

I206911191

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานของวัสดุกับสัดส่วนขององค์ประกอบในลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำ



4.5 การหาค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวน

ค่าสภาพการนำความร้อนจากฉนวนเถ้าแกลบ โดยให้มีรูปทรงเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 10 cm หนา 1 cm โดยทำการขึ้นรูปฉนวนเถ้าแกลบหลังจากการผสมต่างเวลากัน แล้วนำมาหาค่าการนำความร้อน แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยตั้งสมมุติฐานว่าค่าการนำความร้อนที่หาได้นี้เป็นตัวแทนของค่าการนำความร้อนทุกมิติ ผลการทดลองได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวน

รัศมี	0.05 ± 0.002	m
พื้นที่หน้าตัด	0.00785 ± 0.004	m^2
ความหนา	0.01 ± 0.001	m
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ	25 ± 0.1	K
ปริมาณความร้อน	1.05 ± 0.01	W

ได้ค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวนเท่ากับ 0.0535 ± 0.0005W/m.K

(กรรมวิธีการหาค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวนแสดงในภาคผนวก ก)

4.6 ส่วนเพิ่มเติมในงานวิจัย

งานวิจัยในหัวข้อที่ 4.3 ลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนได้ค่าที่ไม่เป็นที่น่าพอใจจึงได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อหาองค์ประกอบที่จะใช้เปรียบกับองค์ประกอบเถ้าแกลบกับดินดำ คือ เถ้าลอยถ่านหิน เพราะเป็นวัสดุเหลือทิ้งและมีความบริสุทธิ์สูง

4.6.1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในขึ้นรูปลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบและเถ้าลอย

ผลการทดลองที่ได้เหมือนกับผลการทดลองที่ได้จากของผสมเถ้าแกลบกับดินดำในตารางที่ 4.2 เพราะว่าขนาดอนุภาคของดินดำกับเถ้าลอยและความหนาแน่นเชิงปริมาตรของวัสดุ (ภาคผนวก ง) ทั้งสองอย่างมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.6.2 ผลวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของลูกบอลฉนวนเถ้าลอย

ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณ ผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอยในตารางที่ 4.8 พบว่า มีค่าคาร์บอนคงตัวในร้อยละที่ไม่เกินร้อยละ 5 ค่าที่ได้คือ ร้อยละ 0.79

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย ภาวะปราศจากความชื้นที่ร้อยละเถ้าแกลบ 70 ในวัตถุดิบแห้ง

ชนิดของวัตถุดิบ	ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย
ร้อยละ VM	7.91
ร้อยละ ASH	91.28
ร้อยละ FC	0.79

(*อัตราส่วนวัตถุดิบแห้งต่อปริมาณแป้งเปียกร้อยละ 5 เท่ากับ 1 ต่อ 1)

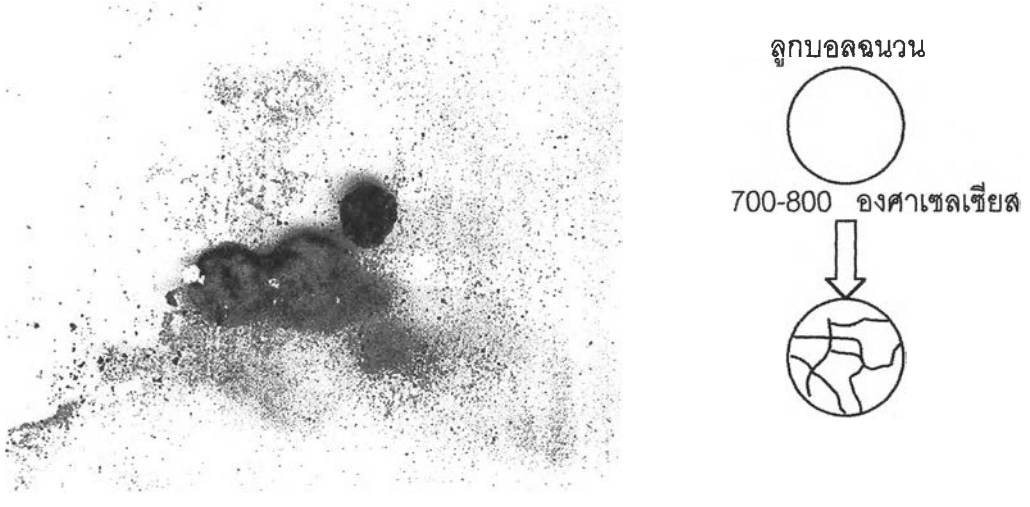
4.6.3 ลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบและเถ้าลอยที่อุณหภูมิสูง (700-800 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลองได้ค่าที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี (บริษัท ไทยพาวเวอร์ ซัพพลาย จำกัด) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.3 โดยร้อยละการแตกกระจายเท่ากับ 40-50 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.9 ลักษณะการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำที่องค์ประกอบต่างๆ กัน

องค์ประกอบในลูกบอลฉนวน		ไม่แตกกระจาย	แตกกระจายน้อย	แตกกระจายมาก
ร้อยละเถ้าแกลบ	ปริมาณแป้งเปียกร้อยละ 5 (กก./กก.วัตถุดิบแห้ง)			
50	1.0 – 1.2	-**		
60	1.0 – 1.2			⊕
70	1.0 – 1.2			⊕

**ไม่ได้ทำการทดสอบเนื่องจากที่สัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวไม่คุ้มค่าต่อการผลิต



รูปที่ 4.3 ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอยจากผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส

4.6.4 การทดสอบหาค่าความทนทานของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย

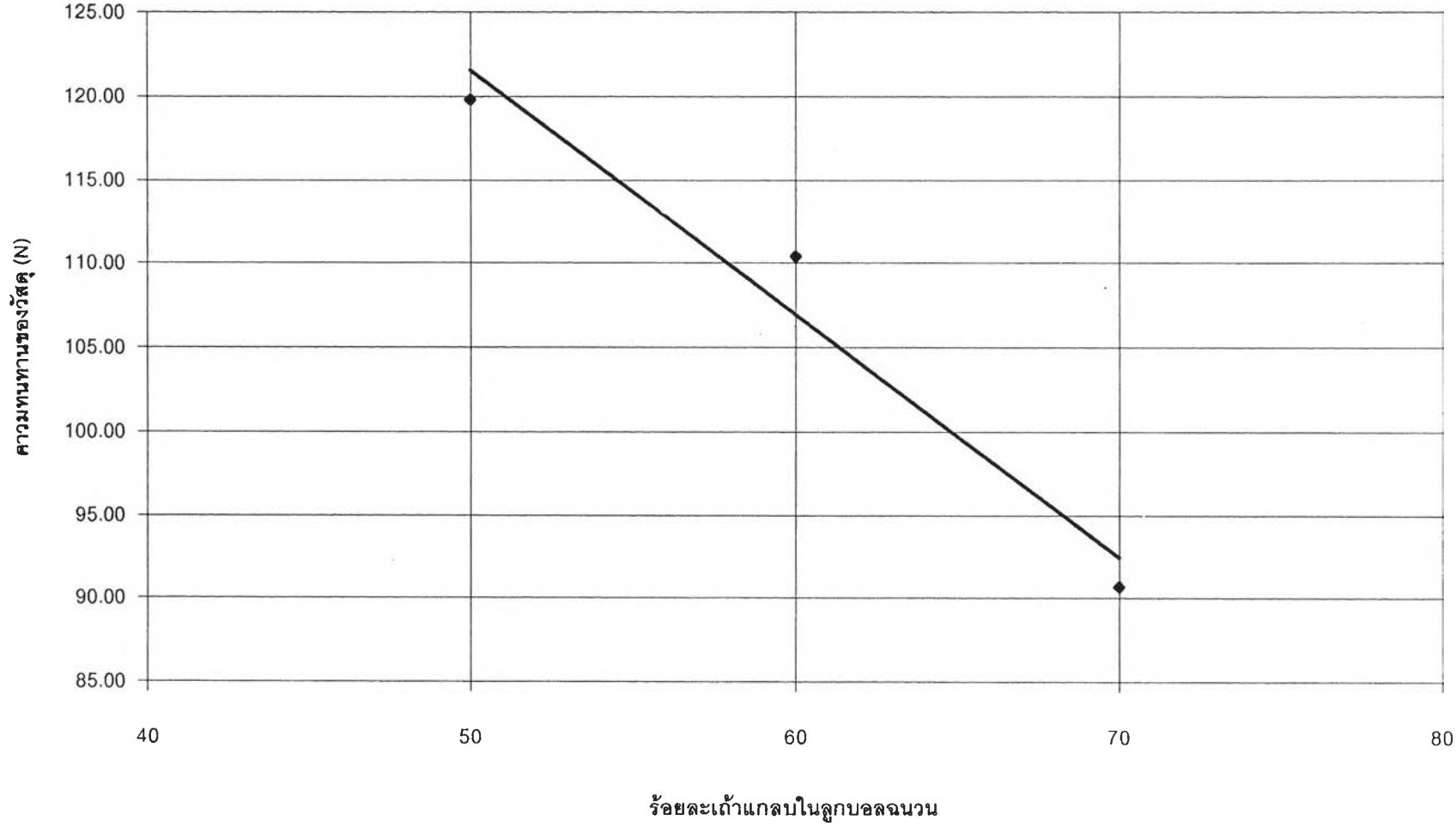
ผลการทดลองโดยแปรเปลี่ยนค่าร้อยละเถ้าแกลบในลูกบอลฉนวนระหว่าง 50 ถึง 70 ได้ค่าอยู่ในช่วง 90 ถึง 120 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.10

จากรูปที่ 4.4 จะได้แสดงผลขององค์ประกอบภายในของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มร้อยละของเถ้าแกลบขึ้น เนื่องจากลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบมีความหนาแน่นลดลง เพราะว่าขนาดของอนุภาคเถ้าแกลบมีขนาดใหญ่ทำให้การจับตัวกันของอนุภาคไม่แน่นเพราะมีอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อเถ้าลอยไปเติมในส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างอนุภาคของเถ้าแกลบลดลงตามอัตราส่วนของร้อยละเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.10 ค่าความทนทานของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย

องค์ประกอบลูกบอลฉนวน	wt (g)	D (cm)	thick (cm)	Area (cm2)	Volume (cm3)	load (N)	Stress (N/cm2)
เถ้าแกลบร้อยละ 50	64.46	5.44	4.51	23.243	104.713	2785.00	119.82
เถ้าแกลบร้อยละ 60	63.05	5.53	4.40	24.040	105.839	2655.00	110.45
เถ้าแกลบร้อยละ 70	65.69	5.38	4.63	22.692	105.054	2060.50	90.66

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานของวัสดุกับสัดส่วนขององค์ประกอบในลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย



4.6.5 การหาค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าการนำความร้อนของฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย พร้อม ๆ กันกับหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งได้ผลการทดลองเหมือนกัน เนื่องจากวัสดุที่ใช้มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนเหมือนกัน

4.7 สมบัติต่าง ๆที่ได้จากการทดลองลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำกับลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย

ตารางที่ 4.11 สมบัติต่าง ๆที่ได้จากการทดลองลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำกับลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย

สมบัติต่างๆ	ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับดินดำ	ลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบกับเถ้าลอย
การขึ้นรูป	ขึ้นรูปได้ดี	ขึ้นรูปได้ดี
ร้อยละการแตกกระจายที่อุณหภูมิสูง	5-10	40-50
ค่าความทนทานของวัสดุ (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	105-120	90-120
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.05	0.05