รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. เนื้อดินเซรามิก. 2000 เล่ม. ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ ,2541.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ.วัตถุทนไฟ. 2000 เล่ม.ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : บริษัท สุรพิมพ์ จำกัด, 2538.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชา เทคโนโลยีชีวภาพ คณะ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

นาวาอากาศตรี ตระการ ก้าวกสิกรรม.คู่มือฉนวนความร้อน.กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521.

มนัส สถิรจินดา.เหล็กกล้า. ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2519.

มนัส สถิรจินดา.วิศวกรรมงานหล่อเหล็ก.กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

นริส สูตรบุตร.หล่อโลหะ.กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2517.

มนตรี ทองคำ.การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหิน.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

เพ็ญศิริ นวเศรษฐกุล.การสังเคราะห์โพลิไซลอกแซนจากเถ้าแกลบ.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชา ปิโตร-โพลิเมอร์ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Croy,D.E. & Dougherty, D.A. Handbook of Thermal Insulation Applications. Newyork : Noyes Publication, 1984.

Malloy, John F. Thermal Insulation.Newyork : Vantrand-Reinhold, 1969.

Tye,R.P. Thermal conductivity.London : Academic Press,1969.

Worrall, W.E. Clay & Ceramic Raw Materials. Amsterdam : Elsevier Applied Science Publishers, 1986.

Kingery , Bowen and Uhlmann. Introduction to Ceramics. Second edition. Singapore : John Wiley & Sons , 1991.

Brennan, Thomas J. Ceramic. Homewood : Goodheart-Willcox, 1964.

Ray L. Whistler & Eugene F. Paschall.Starch chemistry and technology. Newyork : Academic Press,1967.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

กรรมวิธีการหาค่าการนำความร้อนในผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวน

การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของผลิตภัณฑ์

1. เตรียม Hotplate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-10 เซนติเมตร
2. นำฉนวน glass wool มาห่อรอบ Hotplate เพื่อกันการสูญเสียความร้อนในแนวรัศมีของ Hotplate
3. เตรียม Thermocouple และ Thermometer เพื่อใช้ในการหาค่าฟลักซ์ความร้อนของ Hotplate โดยใช้น้ำเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ จากสูตร

$$Q = mC_{pH_2O}dT$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

m คือ น้ำหนักของน้ำ

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ

dT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ

4. ปรับ Thermostat ของ Hotplate ตามต้องการ (ควรมีค่าน้อยๆ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการวัดอุณหภูมิ)
5. Plot graph ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา แล้วแทนค่าลงในสมการจะได้ค่าฟลักซ์ความร้อนของ Hotplate จากการปรับ Thermostat ของ Hotplate ในค่าต่างๆ กัน
6. เลือกค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบ หลังจากนั้นห้ามทำการปรับ Thermostat อีก

การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของผลิตภัณฑ์

1. นำผลิตภัณฑ์ทรงกระบอกที่ได้ ขนาดความหนา 1 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร วางใน Hotplate หุ้มฉนวนทำการวัดอุณหภูมิทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์คงที่
2. นำค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์หาคำนวณหาค่าการนำความร้อน จากสมการ

การหาค่าการนำความร้อนของลูกบอลฉนวน

$$Q = \frac{kA(T_0 - T_1)}{x}$$

Q คือ ปริมาณความร้อน

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของฉนวน

T_0 คือ อุณหภูมิผิวด้านที่สัมผัสกับแหล่งกำเนิดความร้อน

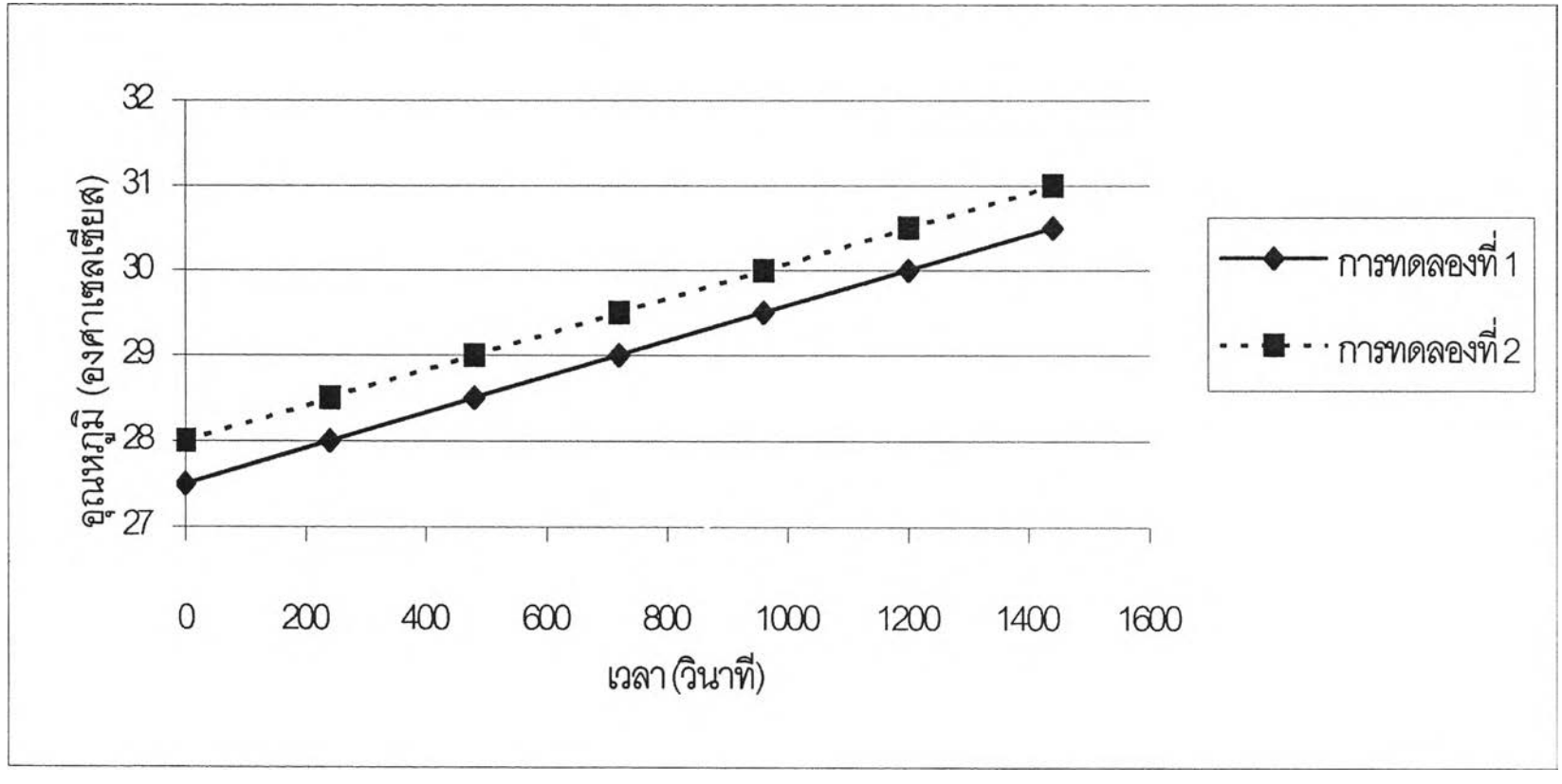
T_1 คือ อุณหภูมิผิวด้านที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อม

3. ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าการนำความร้อน
4. นำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับวัสดุฉนวนชนิดอื่นๆ

ตารางภาคผนวก ก ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำกับเวลา ในกรรมวิธีการหาค่าปริมาณความร้อนของแผ่นร้อน

เวลา (sec)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
0	27.5	28
240	28	28.5
480	28.5	29
720	29	29.5
960	29.5	30
1200	30	30.5
1440	30.5	31

รูปภาคผนวก ก ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำกับเวลา ในกรรมวิธีการหาค่าปริมาณความร้อนของแผ่นร้อน



ความชันของกราฟเท่ากับ 0.0021

ภาคผนวก ข.

การวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนทำงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบเถ้าแกลบ ดินดำ เถ้าลอย ก่อนการผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการทดลอง

1. นำวัตถุดิบไปอบแห้งในเตาอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน
3. นำวัตถุดิบเก็บไว้ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้นำไปทดสอบหาค่าการนำความร้อนจากท่อ PVC

1. เตรียมท่อ PVC ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร นำมาตัดให้ได้ความสูง 1 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร
2. หลังจากได้ขนาดแม่พิมพ์ที่ต้องการแล้ว นำแม่พิมพ์วางในแนวนอนแล้วผ่าให้ด้านหนึ่งของท่อ PVC ให้ขาดออกจากกัน จากนั้นผ่าแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่งในแนวเดียวกับความสูงของแม่พิมพ์ โดยทำการเลื่อยไปเพียงครึ่งเดียวของความหนาของท่อ PVC เพื่อให้สามารถง้างแม่พิมพ์ในการถอดพิมพ์ออกจากผลิตภัณฑ์ได้
3. นำเทปกาวผนึกด้านที่ผ่าขาดออกจากกัน เพื่อกันการทะลักของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการใส่ผลิตภัณฑ์ลงในแม่พิมพ์
4. ทาซิลิโคนเจล เพื่อใช้หล่อลื่นไม่ให้ผลิตภัณฑ์ติดกับแม่พิมพ์ ในตอนถอดพิมพ์
5. เตรียมนำผลิตภัณฑ์บรรจุใส่ในแม่พิมพ์ แล้วนำเข้าเตาอบต่อไป

การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปทดสอบหาค่าการนำความร้อน

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการนวดผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการมาใส่ลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้
2. นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเกือบจะแห้ง จากนั้นถอดแม่พิมพ์ออกจากผลิตภัณฑ์ แล้วอบผลิตภัณฑ์ต่อจนแห้งสนิท
3. นำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ทิ้งให้เย็น แล้วนำไปทำการทดสอบ

ภาคผนวก ค

กรรมวิธีวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณของวัสดุและผลิตภัณฑ์ในงานวิจัย

การหาปริมาณความชื้น (Moisture, M)

1. อบถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำมาเก็บในเดซิเคเตอร์ (desicator) จนเย็น นำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่วตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ถาดอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก ปิดฝา
3. นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$M = (A-B)/A \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

A = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบแห้ง

การหาปริมาณเถ้า (Ash, A)

1. เผาครูซิเบิลพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล ปิดฝา
3. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$A = (D/B) \times 100$$

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

B = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น

D = น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือหลังเผา

การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter, VM)

1. เผานิเกิลครูซิเบิลพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนัก
2. ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัมลงในครูซิเบิลและปิดฝา

3. นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อโดยให้ความร้อนเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนกับตัวอย่างที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 2 นาที ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 3 นาที ช่วงที่ 3 เผาที่กึ่งกลางเตาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที
4. นำครูซิเบิลออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$VM = [(B-C)/B \times 100] - M$$

เมื่อ VM = ร้อยละของสารระเหย

B = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น

C = น้ำหนักของตัวอย่างหลังเผา

M = ร้อยละความชื้น

การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC)

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$FC = 100 - (M+A+VM)$$

เมื่อ FC = ร้อยละของคาร์บอนคงตัว

M = ร้อยละความชื้น

A = ร้อยละของเถ้า

VM = ร้อยละของสารระเหย

ภาคผนวก ง

กาวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของวัสดุในงานวิจัย

การวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

ชั่งน้ำหนักกระบอกตัวที่มีความจุ 10 มิลลิลิตรให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 (คือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 กรัม) บันทึกผล (A)

ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกก้นกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่

ถ้าระดับที่คงที่นั้นไม่เท่ากับ10 มิลลิลิตร ให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกก้นกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับคงที่เป็น 10 มิลลิลิตร

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผล (B)

คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาณ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ได้จาก

$$BD = (A-B)/10$$

ตารางภาคผนวก ง ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของวัสดุ

สมบัติทางกายภาพ	ชนิดของวัสดุ		
	เถ้าแกลบ	เถ้าลอย	ดินดำ
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (kg/m^3)	350	1100	1250

ภาคผนวก จ

การคำนวณร้อยละการแตกกระจายโดยน้ำหนักของวัสดุ

การคำนวณร้อยละการแตกกระจายของลูกบอลฉนวนที่อุณหภูมิสูง

ชั่งน้ำหนักถาดอะลูมิเนียม (A)

ใส่ลูกบอลฉนวนลงไปในถาดพอประมาณ นำไปชั่งน้ำหนัก (B)

นำลูกบอลฉนวนไปทดสอบการแตกกระจายที่อุณหภูมิสูง (700-800 องศาเซลเซียส) ปล่อยลูกบอลฉนวนให้เย็นตัวลง จากนั้นเก็บตัวอย่างลูกบอลฉนวนที่ยังเหลือเป็นก้อนไปแตกเป็นผงใส่ถาดอะลูมิเนียม (A) นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมกัน (C)

หาร้อยละการแตกกระจายโดยน้ำหนักได้จาก

$$\text{ร้อยละการแตกกระจาย} = (B-C)/(B-A)\times 100$$

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบค่ากำลังวัสดุ

การเตรียมแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้นำไปทดสอบหาค่าการนำความร้อนจากท่อ PVC

1. เตรียมท่อ PVC ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร นำมาตัดให้ได้ความสูง 5 เซนติเมตร
2. หลังจากได้ขนาดแม่พิมพ์ที่ต้องการแล้ว นำแม่พิมพ์วางในแนวนอนแล้วผ่าให้ด้านหนึ่งของท่อ PVC ให้ขาดออกจากกัน จากนั้นผ่าแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่งในแนวเดียวกับความสูงของแม่พิมพ์ โดยทำการเลื่อยไปเพียงครึ่งเดียวของความหนาของท่อ PVC เพื่อให้สามารถง้างแม่พิมพ์ในการถอดพิมพ์ออกจากผลิตภัณฑ์ได้
3. นำเทปกาวผนึกด้านที่ผ่าขาดออกจากกัน เพื่อกันการทะลักของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการใส่ผลิตภัณฑ์ลงในแม่พิมพ์
4. ทาซิลิโคนเจล เพื่อใช้หล่อลื่นไม่ให้ผลิตภัณฑ์ติดกับแม่พิมพ์ ในตอนถอดพิมพ์
5. เตรียมนำผลิตภัณฑ์บรรจุใส่ในแม่พิมพ์ แล้วนำเข้าเตาอบต่อไป

การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนการนำไปทดสอบหาค่าการนำความร้อน

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการนวดผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการมาใส่ลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้
2. นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเกือบจะแห้ง จากนั้นถอดแม่พิมพ์ออกจากผลิตภัณฑ์ แล้วอบผลิตภัณฑ์ต่อจนแห้งสนิท
3. นำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ทิ้งให้เย็น แล้วนำไปทำการทดสอบ

การทดสอบค่ากำลังวัสดุโดยการวัดแรงกดด้วยเครื่อง Autograph รุ่น AG-1000E

1. วัดขนาดของชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ (เส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง)
2. วางชิ้นงานบนแท่นเพื่อพร้อมกด
3. ทำการกดชิ้นงาน โดยเครื่องจะวัดค่าแรงกดเป็นหน่วยนิวตัน

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพอสังเขป

ต้นทุนการผลิตลูกบอลฉนวนเถ้าแกลบ

ราคาค่าวัตถุดิบ (ต่อ 1000 กก.ผลิตภัณฑ์)

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กก.)	อัตราส่วนการผสม	ราคาวัตถุดิบ(บาท)
เถ้าแกลบ	0.50	0.70	350
ดินดำ	0.60	0.30	180

อัตราส่วนของการผสมวัตถุดิบที่ผสมแล้วกับน้ำแป้ง 1 : 1

แป้งมัน	8.00	0.05	400
น้ำ	0.01	1.00	10
รวม			940

ค่าไฟฟ้า (ต่อ 1000 กก.ผลิตภัณฑ์)

ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยละ 3 (บาท/ยูนิต)

ขั้นตอนการผลิต	อุปกรณ์ไฟฟ้า ขนาด (kW)	จำนวนที่ใช้	กำลังไฟฟ้า (kW)	เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชม.)	ราคาค่าไฟฟ้า (บาท)
การนวดวัตถุดิบ	2.2	10	22	0.5	33
การปั้น (การขึ้นรูป)	2.2	10	22	1	66
การอบแห้ง	1.2	250	300	2	1800
รวม					1899

หมายเหตุ มอเตอร์ 2.2 kW ประมาณ 10 ตัว

มอเตอร์ 2.2 kW ประมาณ 10 ตัว

เตาอบขนาด 1.2 kW ประมาณ 250 เครื่อง (1 เครื่องอบได้ ประมาณ 4 กก.)

ค่าแรงงาน (ต่อ 1000 กก.ผลิตภัณฑ์)

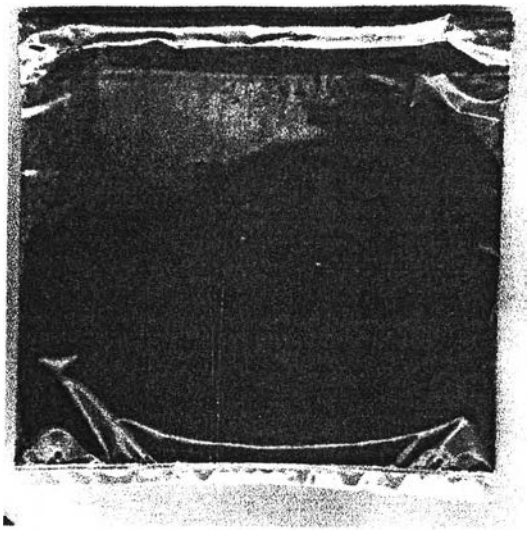
		ค่าแรงต่อวัน (บาท/ 8 ชม.)	จำนวนเวลาที่ทำงาน (ชม.)	ค่าแรง (บาท)
แรงงาน		200	2	50

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2889 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 1000 กก.

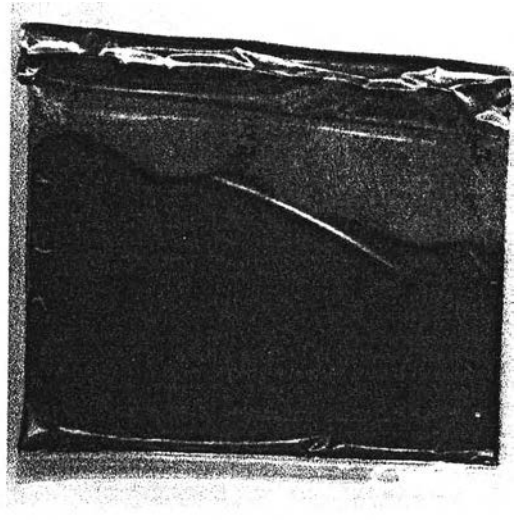
ภาคผนวก ซ

ลักษณะขององค์ประกอบและผลิตภัณฑ์ลูกบอลฉนวน

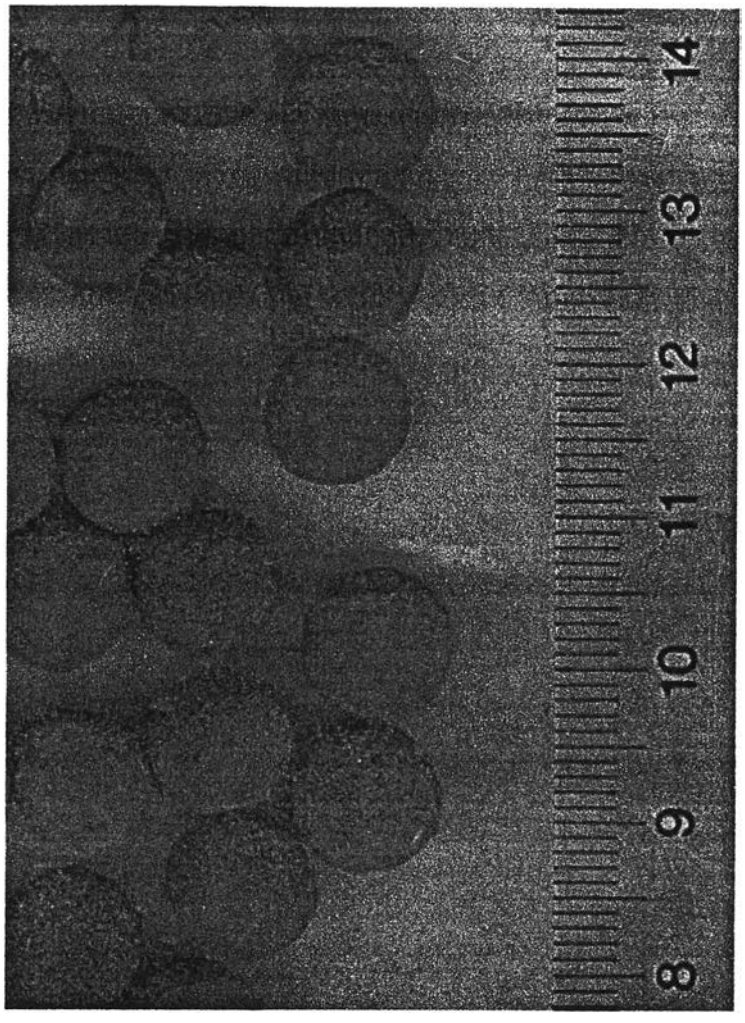
ลักษณะทั่วไปของเถ้าแกลบ

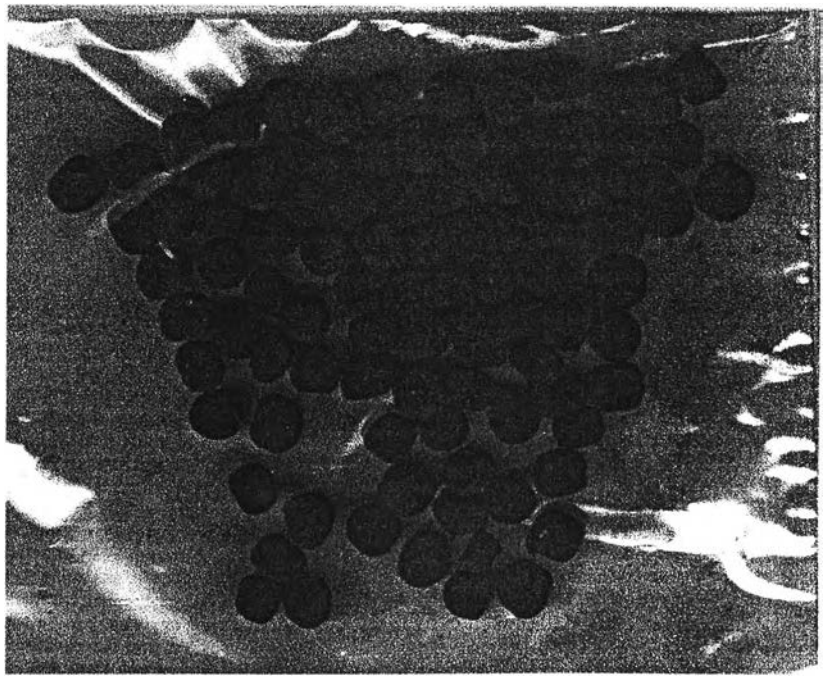


ลักษณะทั่วไปของดินดำ



ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์





ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย สุรเชษฐ์ ปัณฑิตานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ ปีการศึกษา 2542