หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Experimental procedure

การล้างดิน (Clay washing)

นำดินลำปาง เชียงใหม่ เวียงป่าเป้า นครนายก สุราษฎร์ธานีและเขาเขียว มาทำการล้าง เพื่อขจัดพวกเมล็ดทรายและเศษแร่ feldspar ที่ปนมาในเนื้อดิน พร้อมทั้งกำจัดพวก impurities อื่น ๆ เช่น เศษไม้ เศษหิน เป็นต้น ซึ่งมักปนมากับผิวดิน

วิธีการล้างดิน เริ่มด้วยการนำเอาดินมาทำการกวนในน้ำ วัตถุที่เบาเช่น เศษไม้ รากไม้ ใบไม้ที่ปนมากับดินจะลอยน้ำ เรานำช้อนออกไป

ดินที่เหลือเรานำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ๑๔๐ mesh ใส่ลงในถังพลาสติก (ตะแกรงเบอร์ ๑๔๐ mesh คือตะแกรงที่มีจำนวนรู ๑๔๐ รูต่อความยาวของลวด ๑ นิ้ว) พวกทรายและเศษแร่ feldspar มีขนาดเมล็ดใหญ่กว่าดินจะติดค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนเนื้อดินจะลอดผ่านตะแกรง เราทิ้งเศษทรายและเศษแร่ feldspar เสีย

เมื่อเราได้เนื้อดินล้วนแล้ว ปล่อยทิ้งไว้ให้เนื้อดินตกตะกอน เนื่องจากดินมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ เมื่อดินตกตะกอนแล้วก็รินเอาน้ำใส ๆ ส่วนบนออก (dewatering) เหลือดินที่เป็นก้อนอยู่ตอนล่าง เรียกว่าดินเหลว (slip) เรานำ slip ไปเทลงในแบบปูนพลาสเตอร์ (plaster mold) แบบปูนพลาสเตอร์นี้มีคุณสมบัติดูดเอาน้ำจากดินเข้าสู่ตัวมันได้ เมื่อเห็นว่าดินที่มีความแห้งพอประมาณก็นำมาอบหรือตากแห้ง สำหรับในห้องปฏิบัติการเราอบให้แห้งโดยใช้แสง infrared dryer

การตากดินต้องตากให้ดินมีความแห้งสนิท นั่นคือน้ำหนักของดินคงที่แล้ว ขณะนี้ดินอาจจะเกาะเป็นก้อนใหญ่ เราต้องบ่อยให้ดินมีขนาดเล็กละเอียดพอสมควร เพื่อจะนำไปใช้ต่อไปได้สะดวก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผสมและการบด (mixing and milling)

ในการเตรียม bodies ต่าง ๆ ความสำคัญอยู่ที่ว่าส่วนผสมจะต้องเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด เราเอาตัววัตถุมาชั่งตามส่วนผสม (compositions) จะได้ body ต่าง ๆ จำนวน ๒๙ bodies น้ำหนัก body ละ ๙ กิโลกรัม นำมาเข้าเครื่องบดแต่ละ body โดยวิธีบดเปียก คือผสมน้ำลงไป การบดนี้ให้บดเพื่อให้วัตถุดิบเหล่านี้มีขนาดเล็กลง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของ body

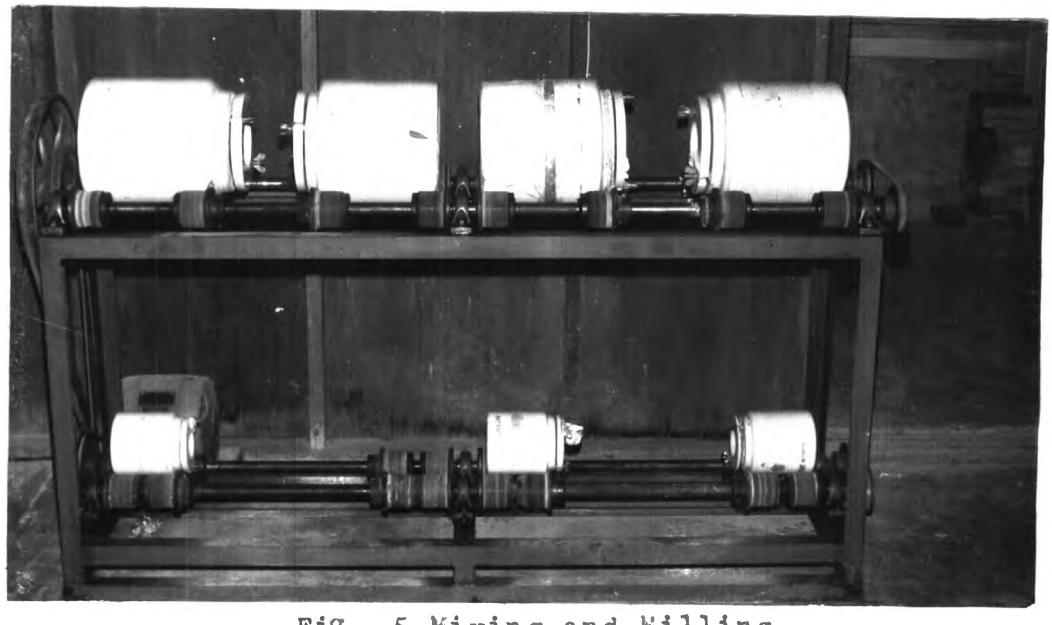


Fig. 5 Mixing and Milling

หลักการของ (Ball Mill) Principle of Ball Mill

การทำงานของ ball mill ก็คือเราเอาทั้งลูกบด (grinding media) และวัตถุที่จะทำการบดใส่เข้าไปในหม้อบดที่ปิดสนิท แล้วหมุนหม้อบดให้ได้ความเร็วที่เหมาะสมกัน (critical speed) ทั้งนี้เนื้อดิน body และ ball mill จะถูกเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ทำให้เนื้อดินที่อยู่ระหว่างผิวในของหม้อบดและลูกบด หรือระหว่างว่างช่องของลูกบดถูกบดไปด้วย

สำหรับ performance ของ ball mill โดยทั่วไปเราอาจกล่าวได้ดังนี้

ถ้าความเร็วของหม้อบดช้ามาก จะทำให้ลูกบดเพียงแต่ไหลเลื่อนลงมาตามผิวด้านในของหม้อบดเท่านั้น และจะทำให้ลูกบดบดกันเอง และค่อย ๆ สึกกร่อนลงไป แทนที่จะบดดินที่ใส่ลงไปเมื่อต้องการบด

ถ้าความเร็วของหม้อบดเร็วเกินไปจะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางมากกว่าจะกระจายลูกบดให้แก่ผิวด้านในของหม้อบดอย่างสม่ำเสมอ จะต้องลดความเร็วของหม้อบดให้ได้ critical speed และลูกบดจะได้มีโอกาสกระจายอย่างสม่ำเสมอตามผิวในของหม้อบด ถ้าความเร็วของหม้อบดเร็วเกินไปอยู่เช่นนี้เรื่อยไป

ถ้าค่อย ๆ ลดความเร็วที่สูงนี้ลงอย่างช้า ๆ แรงหนีศูนย์จะมีค่าลดลงด้วย และลูกบดก็จะขึ้นสูงถึงความสูงสุดของมัน แล้วก็จะตกลงมากระทบกับชั้นของลูกบดที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ด้านล่าง การลดเกิดขึ้นระหว่างลูกบดที่ลดลงมากับลูกบดที่กำลังเคลื่อนที่ เคลื่อนลงมาตามผิวด้านในของหม้อบด การกระทบกันอย่างแรงเป็นเวลานานจะให้เกิดการสึกหรอของลูกบดอย่างมาก และทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวด้านในของหม้อบด ซึ่งจะทำให้หม้อบดแตกได้และทำให้เกิดเรียงตัวขณะบด

เมื่อกอนนี้เชื่อว่าการทำงาน (performance) ของหม้อบดเป็นไปตามที่ได้กล่าวมานี้เป็นส่วนใหญ่ แต่ปัจจุบันเราถือว่าการบดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดทำได้โดยการหมุนหม้อบดให้มีความเร็วเพียงพอ optimum speed ที่จะทำให้เกิดการกระจายของลูกบดให้แก่วัตถุที่ต้องการจะบดทั้งหมด โดยทำให้มีพื้นที่ที่ใช้ในการบดมากที่สุด

งานที่ได้จากการบดโดยวิธี ball mill นี้ขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ คือ

- ขนาดของหม้อบด
- ขนาดและจำนวนของลูกบด
- น้ำหนักและปริมาตรของลูกบด
- ขนาดเม็ดของสารที่ต้องการบด
- ปริมาตรของน้ำที่ใช้
- ความหนืดของ
- อุณหภูมิขณะที่ทำการบด

I15539982

เวลาที่ใช้ในการบด (duration of milling)

เวลาที่ต้องการบดจนกลายเป็นผงละเอียดตามขนาดความละเอียดที่ต้องการขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อบด ขนาดน้ำหนัก และปริมาตรของลูกบด ปริมาตรของดินที่ถูกบด เส้นผ่าศูนย์กลางและความเร็วของหม้อบด

สำหรับในการปฏิบัติการทดลองครั้งนี้ใช้เวลาในการบด ๑๐ ชั่วโมง

ความเร็วของหม้อบด (size of the ball)

ตามปกติแล้วความเร็วของหม้อบดที่ทำงานได้ผลดีคือที่ความเร็วประมาณ ๘๗ เปอร์เซนต์ของความเร็ววิกฤติ (critical speed) "ความเร็ววิกฤติ" คือ ความเร็วของหม้อบดที่ต่ำสุดที่ทำให้ลูกบดเคลื่อนที่ติดผิวด้านในของหม้อบด เราเขียนสูตรได้ดังนี้

$$\text{ความเร็ววิกฤติ (critical speed)} = \frac{54.19}{R}$$

เมื่อ R เป็นรัศมีของหม้อบด มีหน่วยเป็นฟุต

ขนาดของลูกบด (sizes of the ball)

ลูกบดขนาด ๒ นิ้วเป็นลูกบดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อมันบดไปนาน ๆ ขนาดของมันจะเล็กลงเหลือเพียง ๑ นิ้วหรืออาจจะน้อยกว่านั้นอีก ลูกบดที่มีขนาดเล็กเนื่องมาจากความสึกกร่อน ทำให้การบดมีประสิทธิ์ดีขึ้น ส่วนลูกบดที่มีขนาดใหญ่มีประโยชน์เพียงการช่วยบดพวกทรายหรือสารอย่างอื่นซึ่งมีเม็ดหยาบเท่านั้น ลูกบดซึ่งเล็กเท่าใดการบดก็ยิ่งเร็วเท่านั้น

การบรรจุลูกบด (loading of mill)

การบรรจุลูกบดที่เหมาะสมที่สุดควรจะให้ปริมาตรของลูกบดอยู่ในระหว่าง ๕๕ ถึง ๖๒.๕% ของปริมาตรของหม้อบด ภายหลังการบดแรกที่แขิงแต่ละครั้งให้เติมลูกบดขนาดโตที่สุดลงไป เพื่อชดเชยกับลูกบดที่สึกกร่อนไป ในการบดสาร ๑๐ ปอนด์ มักเติมลูกบดจำนวน ๑๐ ถึง ๑๕ ปอนด์ลงไป และลูกบดที่ใช้เป็นชนิด porcelain ball

การร่อนผ่านตะแกรง (Screening)

นำเอา slip ที่ได้จากการบดแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ๑๔๐ mesh ตาม Tyler Standard Series การร่อนนี้เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ เพราะขนาดของเมล็ดมีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติของ body ทั้งก่อนเผาและหลังทำการเผา ทำให้ body มีขนาดของเมล็ดสม่ำเสมอ (uniform grain)

Fig. 6 แสดงการ Screening

การทำให้ slip แห้ง (Dewatering Bodies Slip)

เป็นการลดปริมาณโดยปล่อยให้เนื้อดินใน slip ตกตะกอนลงมาเนื่องจากเนื้อของดิน (body) มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าของน้ำ อัตราเวลาที่เส้นแบ่งเขตระหว่างน้ำใสตอนบนกับดินข้น ด้านล่างลดความสูงลงมา เรียกว่าอัตราการตกตะกอน ในระหว่างการทดลองจะต้องกระทำที่อุณหภูมิคงที่ เพื่อขจัดการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือการพาความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

ในการทดลองครั้งนี้พอเห็นว่าดินตกตะกอนหมดแล้ว จึงรินน้ำใส ๆ ที่อยู่ส่วนบนออก แล้วนำดินเปียกตอนล่างไปเกรอะในแบบ plaster mold เพื่อให้แบบปูนช่วยดูดน้ำจากดินจนดินมีความแห้งดีแล้วจึงนำเข้าเครื่องตากหรือตากแดด

การตากแห้ง (Drying)

นำ body ซึ่งผ่านการเกรอะในแบบพลาสเตอร์แล้วนั้นมาเข้าเครื่องตากแห้ง (Dryer) เพื่อทำให้เนื้อ body แห้งสนิท คือน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงอีก ในการทดลองนี้ใช้แสงแดด การตากแห้งเกิดขึ้นโดยที่ shrinkage water ไหลออกสู่ผิวดินโดยทางหลอดเล็ก ๆ ในดินและระเหยกลายเป็นไอ สำหรับในทางอุตสาหกรรมเขาจะมี Dryer โดยเฉพาะ

การตากแห้งโดยใช้ infrared ray จะต้องใช้เวลาตากประมาณ ๑๐ ชั่วโมง

การขึ้นรูป (Forming)

ก. Wet process (extrusion and jiggering) เอา body ที่ตากแห้งแล้วนำมาผสมน้ำให้มีปริมาณพอเหมาะ เพื่อทำให้เกิด proper working consistancy นำไป extrude ที่ความดันบรรยากาศธรรมดา (atmospheric pressure) แล้วนำดินที่ผ่านการ extrusion จำนวน ๓ ครั้งมาขึ้นแบบดังนี้

๑ก. Bracket for tensile strength by hand pressed

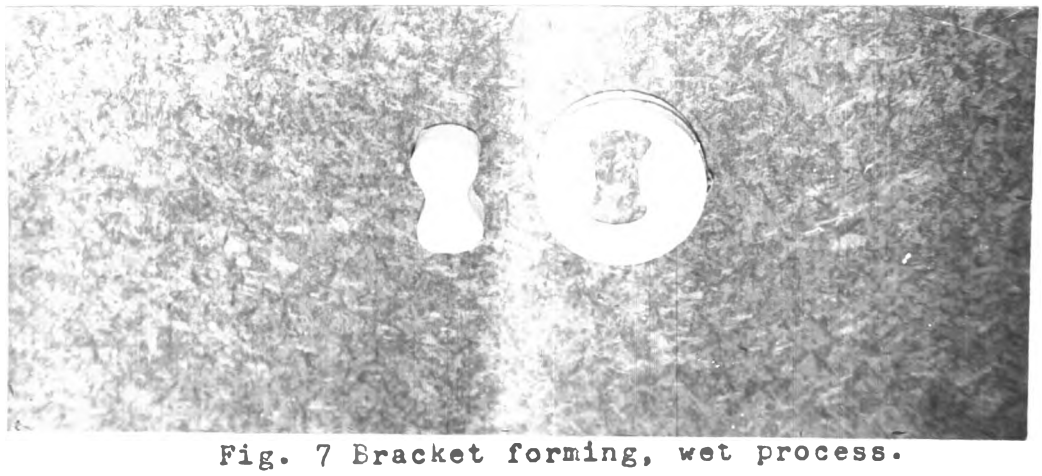


Fig. 7 Bracket forming, wet process.

๒ก. Colum สำหรับ compressive test speciment by hand pressed

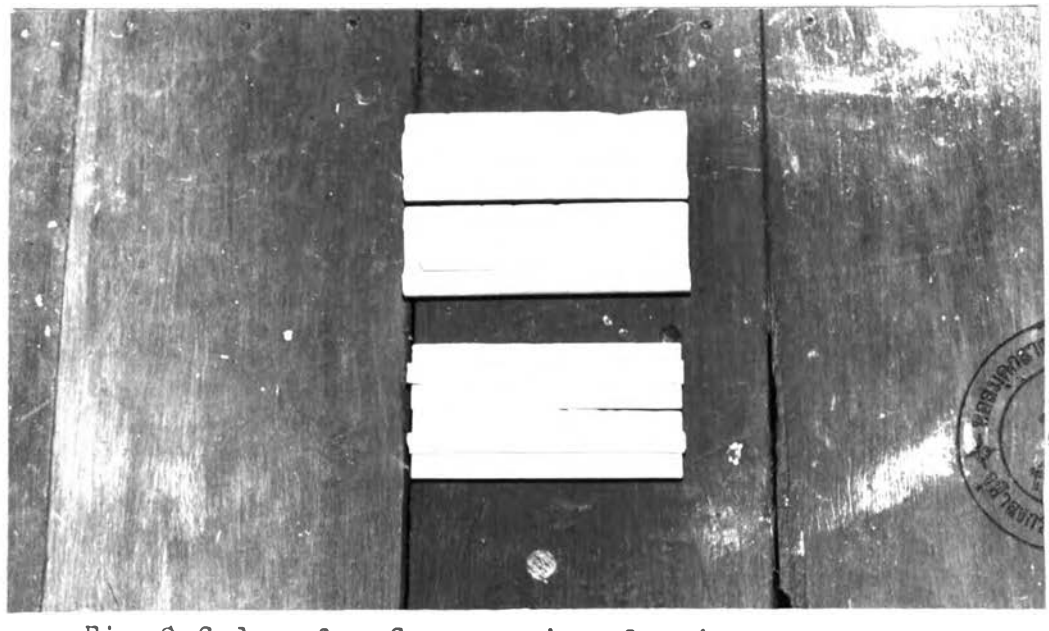


Fig.8 Colum for Compressive forming,wet process.

๓ก. Round bar for Bending Stress and thermal expansion 10 mm.Ø, 150 mm. in length

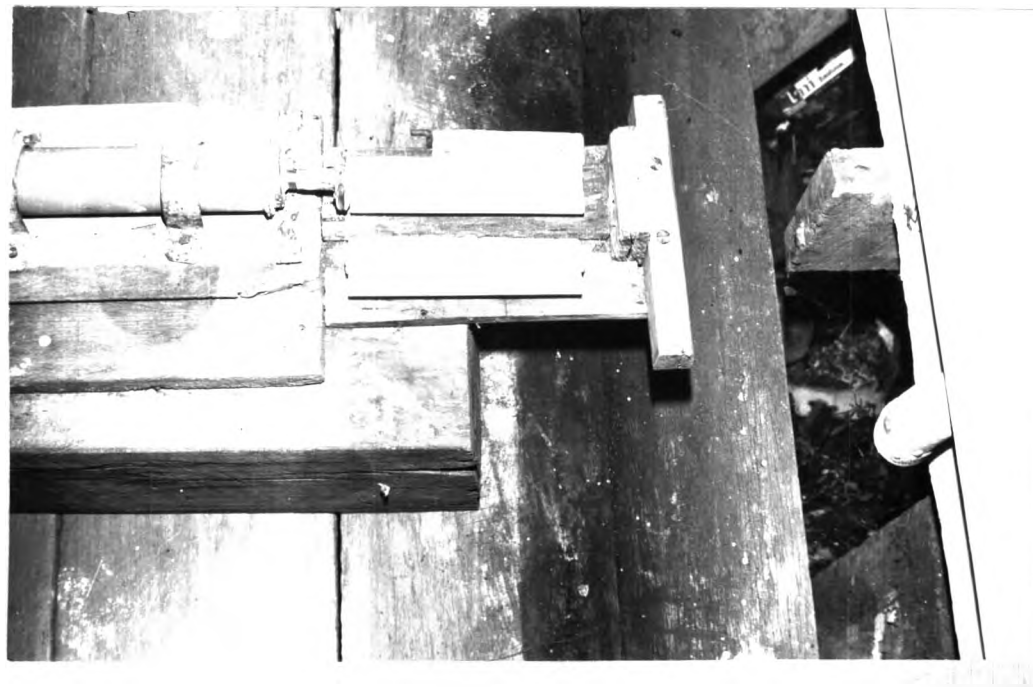


Fig.9 Rod and Colum for Bending test forming,wet process.

ข. Dry Process (Dry Pressed) นำ body ที่ตากแห้งนี้มาตำและบดให้ละเอียดในโกร่ง (mortar) แล้วผ่านตะแกรงเบอร์ ๓๕/นิ้ว แล้วนำไปผสมน้ำให้มีปริมาณพอเหมาะแก่การทำ dry pressed คือประมาณ ๕ – ๗% แล้วนำเข้าเครื่องอัดตามแบบที่สร้างไว้ด้วยความดัน ๑๕,๐๐๐ ปอนด์/ตารางนิ้ว เพื่อสร้างใช้เป็น Electrical property testing specimens

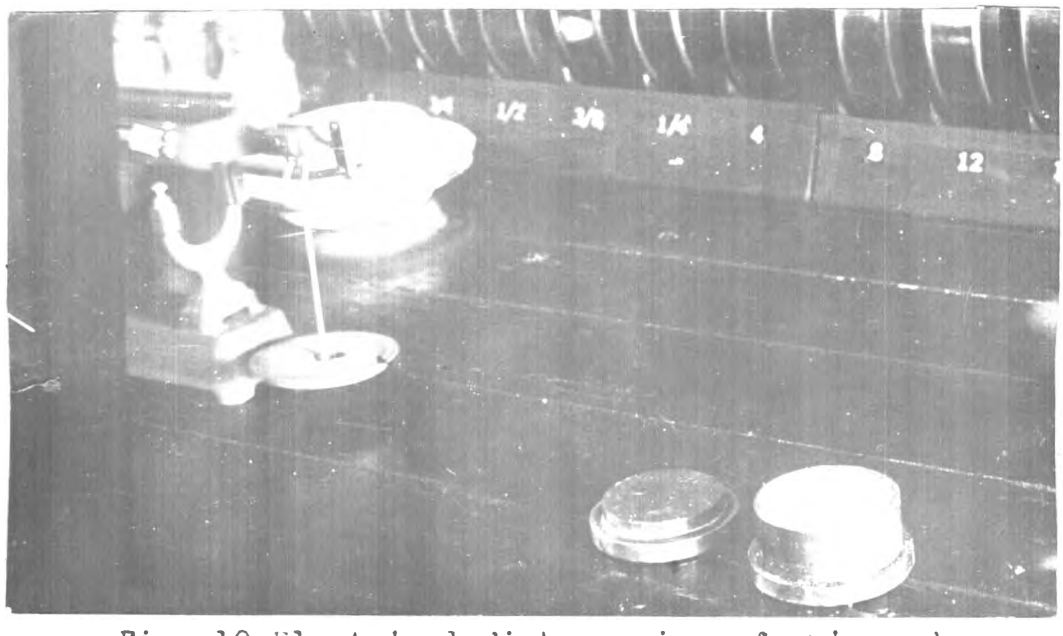


Fig. 10 Electrical dish specimen forming, dry process

การเผา (Firing)

การเผาเป็นขั้นที่สำคัญที่สุดของอุตสาหกรรม ceramics, specimen ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ทำการเผาในเตาแบบ periodic rectangular downdraft โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การเผานี้ต้องจัดตารางการเผา (firing schedule) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาให้พอเหมาะ นั่นคืออัตราการเพิ่มอุณหภูมิต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดยไม่เร็วหรือช้าไป ถ้าการเพิ่มอุณหภูมิช้าไปจะเป็นการเปลืองค่าเชื้อเพลิงมากเกินความจำเป็น แต่เผาเร็วเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหาย หลักสำคัญคืออัตราความร้อนที่ได้จากเตา ต้องไม่เร็วกว่าอัตราการดูดความร้อนของผลิตภัณฑ์ และต้องทำการ soaking คือเผาทิ้งไว้ในอุณหภูมิเดิมนั้นนานพอสมควร เพื่อให้อุณหภูมิข้างในของผลิตภัณฑ์ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิข้างนอกเท่ากับอุณหภูมิข้างนอกของผลิตภัณฑ์ และเพื่อให้การที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกริยาทางเคมีของเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนมากเป็นการ CO_2 ออกมาจากผิวของผลิตภัณฑ์

ในการทำ electrical porcelain นี้จุดประสงค์ส่วนใหญ่ก็เพื่อต้องการให้ porosity มีค่าน้อยเป็นศูนย์หรือเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงต้องทำการเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง คือที่อุณหภูมิ ๑,๒๐๐ องศาเซ็นติเกรด, ๑,๒๕๐ องศาเซ็นติเกรด และ ๑,๒๘๐ องศาเซ็นติเกรด ในอัตราเพิ่มอุณหภูมิประมาณ ๑๒๐ องศาเซ็นติเกรดต่อชั่วโมง ทำการเผาจนกว่า cone จะล้มลงมาสัมผัสฐาน และทำการ soak ทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้น ๆ นานประมาณ ๑ ชั่วโมง ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น

การวัดอุณหภูมินี้เราใช้เครื่องมือที่ทำการวัด ๒ อย่าง คือใช้ recording pyrometer ซึ่งใช้หลักของ Thermocouples

ส่วนอีกวิธีหนึ่งใช้ pyrometric-cone ซึ่งนำมาจากส่วนผสมของ clay และ grog ที่ทราบจุดหลอมตัวแน่นอน โดยปักบนฐานทำมุม ๘๒ องศากับแนวราบ cone จะเบี้ยมตัวและเอนงอลง เมื่อจุดเบี้ยมตัวของมันมาถึงการเบี้ยมตัวของ cone จะสัมพันธ์กับเวลาและอุณหภูมิที่ทำการเผา

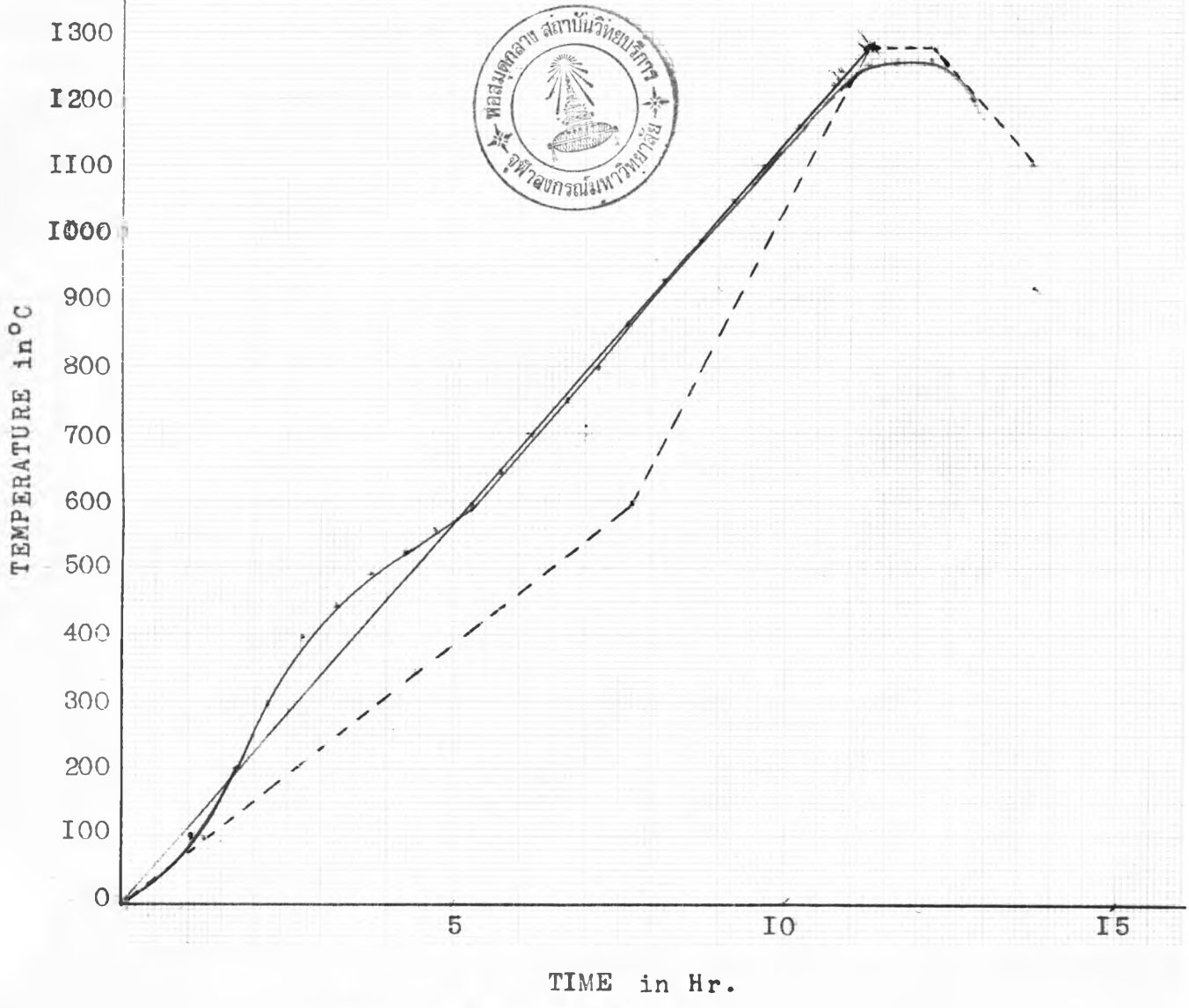
FIRING TEMPERATURE MEASURING.

S.K.No.	°CENT.	°FAHR.	S.K.No.	°CENT.	°FAHR.	S.K.No.	°CENT.	°FAHR.
022	600	1112	02a	1060	1940	19	1520	2768
021	650	1202	01a	1080	1976	20	1530	2786
020	670	1238	1a	1100	2012	26	1580	2876
019	690	1274	2a	1120	2048	27	1610	2930
018	710	1310	3a	1140	2084	28	1630	2966
017	730	1346	4a	1160	2120	29	1650	3002
016	750	1382	5a	1180	2156	30	1670	3038
015a	790	1454	6a	1200	2192	31	1690	3074
014a	815	1499	7	1230	2246	32	1710	3110
013a	835	1535	8	1250	2282	33	1730	3146
012a	855	1571	9	1280	2336	34	1750	3182
011a	880	1616	10	1300	2372	35	1770	3218
010a	900	1652	11	1320	2408	36	1790	3254
09a	920	1688	12	1350	2462	37	1825	3317
08a	940	1724	13	1380	2516	38	1850	3362
07a	960	1760	14	1410	2570	39	1880	3416
06a	980	1796	15	1435	2615	40	1920	3488
05a	1000	1832	16	1460	2660	41	1960	3560
04a	1020	1868	17	1480	2696	42	2000	3632
03a	1040	1904	18	1500	2732			

SAMPLE OF FIRING SCHEDULE

Firing temp. B I280 ° C

Jap. Cone No. 9



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ควรเกิน ๑๕๐/ชม.

FIGURE 11 FLOW SHEET FOR PORCELAIN-WARE