

## 磁器質素地の 機械的 強度에 關한 研究

李 應 相

漢陽大學校 窯業工學科  
 (1974年 4月 15日 收受)

### Studies on the Mechanical Properties of Porcelain Bodies

Eung-Sang Lee

Department of Ceramic Engineering, Han-Yang University

#### ABSTRACT

In order to clarify, factors affecting on mechanical strength of porcelain bodies, some experiments were carried out for bodies consisting of Hadong kaolin, quartz of optical glass grade and potash-feldspar.

At first, degree of vitrification of the fired bodies were examined from the results of bulk density measurement. Constituent minerals of these fired bodies were mainly examined by means of X-ray diffraction, and their microstructure were observed by means of the polarization microscope and scanning electron microscope. Transverse and impact strength of the bodies were also determined. Finally, relations between their mechanical strength and the other properties obtained were discussed. The mechanical strength, at least the transverse strength increased with increasing densification of the bodies and accompanied with an increase of stress produced in the quartz grains and, perhaps other phases composing the bodies.

#### 1. 緒 論

陶磁器製品은 工業材料로서 使用하는 것이 漸次 많아졌으므로 素地の 機械的強度는 더욱 重要な 性質로 되었다. 이 問題에 對해서는 只今까지 많은 研究가 이루어지고 있다. 예를 들면 Watts는 1902년에 電磁器素地の 引張強度는 比較的 高알루미나, 高실리카素地の 境遇에서 크다고 報告하고 있으며 Zoellner는 1908년에 陶磁器素地の 機械的 強度는 felt와 같이 素地中에 서로 일컫있는 자더간(뮤라이트)針狀結晶에 의한다고 提案하였다. 1935년에 Krause<sup>1)</sup> 등은 硬質磁器素地の 性質에 對하여 여러가지 因子의 影響을 廣範圍하게 檢討한結果, 石英粒子的 크기가 10~30 $\mu$  範圍에 있을 때에 最大強度가 나타나며 一般的으로 石英配合量이 많아질수록 強度가 커지는 것을 報告하였다. 또 1953년에 Ditzel은 유리質메트릭스中에 둘러 쌓여 있는 石英粒子周圍에 stress가 생기는 것을 論하고 있으며 1955년

에 Marzahl은 이 stress을 數式的으로 取扱하였으며 Krause<sup>1)</sup> 등은 石英의 影響을 說明하므로써 세로히 陶磁器素地の 強度에 對하여 構造歪(pre-stress)의 假說을 提案하였다. 現在 陶磁器素地の 強度를 支配하는 것으로서 두가지 生覺을 하고 있다. 그 하나는 素地中에 서로 일컫있는 針狀의 뮤라이트 結晶의 存在에 의한다고 하는 뮤라이트假說과 또 다른 하나는 素地를 構成하는 相에 內在하는 stress, 主로 素地中에 가장 많이 存在하며 또한 機械的으로도 弱하다고 生覺되어 있는 유리相中에 內在하는 壓縮應力에 의한다고 하는 pre-stress 假說이 있다. 이들 兩理論에 對한 相反의 많은 研究가 報告되어 있다. 이와같은 陶磁器素地の 機械的 強度의 問題에 對하여 漢野의 자세한 報告가 있다. 本研究에서는 이와같은 陶磁器素地の 機械的 強度에 影響을 미치는 原因을 調査하여 強度를 支配하는 要因을 明白하게 하는 것을 目的으로 하였다. 陶磁器素地の 機械的

強度에 영향을 미치는 因子는 複雜하여 그것을 直接檢討하기는 困難하므로 素地를 單純한 것으로 分離하여 檢討하였으며 機械的強度로서는 曲強도와 衝擊強도를 測定檢討하였다.

2. 原料 및 實驗方法

2-1. 原料 및 試片

本研究에 使用한 原料의 化學分析値는 表 1과 같으며 카올린은 水籤한 것을 使用하였다. 試片은 카올린 單味, 카올린-石英, 카올린-長石 및 카올린-石英-

長石系素地로 單純化하였으니 그 結果는 表 2 및 圖 1과 같이 作成하였다. 三成分系素地에 對해서는 磁器素地の 基本配合인 카올린 : 石英 : 長石 50 : 25 : 25을 中心으로 相互變化시켰다. 試驗片은 이 配合素地 約 8g를 金型에 鑄고 800kg/cm<sup>2</sup>의 壓力으로 油壓프레스로 80×10×5(mm<sup>2</sup>) 크기로 成形한 後 排化炭素發熱 體電氣爐中에서 每分 6°C의 上昇速度로 1000~1500°C의 所定深度에서 各各 2時間維持한 後 放冷하여 試片으로 하였다.

Table. 1 Chemical composition of raw materials(%)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. loss
Kaolin	45.81	0.09	38.45	0.70	tr	0.35	0.25	1.14		13.21
Feldspar	65.24		18.96	0.06				2.66	12.43	0.24
Quartz	99.74									

Table. 2 Compositions of bodies.

1. Kaolin-bodies							
2. Kaolin-quartz bodies							
a)	{Kaolin (24 hr. grinding).....	97.5	95	90	80	60%	
	{Quartz (10~20μ).....	2.5	5	10	20	40	
b)	{Kaolin (24 hr. grinding).....	80%					
	{Quartz (<5, 5~10, 10~20, 20~44μ).....	20					
3. Kaolin-feldspar bodies							
	{Kaolin (24 hr. grinding).....	99	98	95	90	80	70%
	{Feldspar (<10μ).....	1	2	5	10	20	30

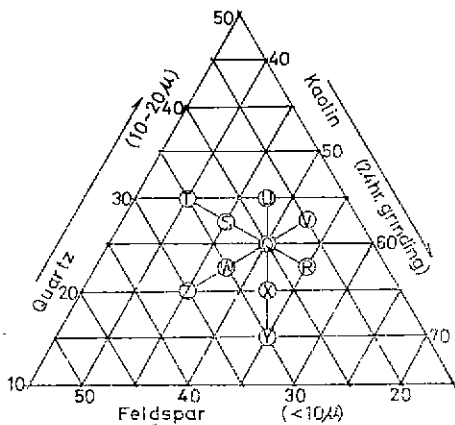


Fig. 1 Composition of triaxial bodies

Fig. 1. Composition of triaxial bodies

2-2. 測定裝置

- ㄱ) 曲強도 : 三點支持法에 의하여 測定하였다.
- ㄴ) 衝擊強도 : Chalpy 型測定裝置를 使用하였다.

3. 結果 및 考察

3-1. 曲強도

測定値는 試驗片 5個의 値에서 最低値를 除外한 나머지 4個値를 平均하여 結果値로 하였다.

3-1-1. 카올린單味素地의 曲強도

카올린單味素地의 強도는 水籤한 末粉碎 카올린 및 이것을 미리 結晶알루미나製 포트필中에서 12, 24, 48, 96, 192 및 384 時間 各各 濕式粉碎한 카올린을 使用한 素地의 各各에 對하여 測定하였다. 이들 카올린 粉末의 粒度分布曲線은 圖 2와 같으며 이들의 素地에 對

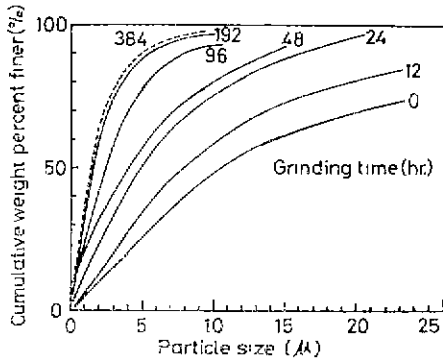


Fig. 2 Grain size distribution curves of the ground kaolins

Fig. 2 Grain size distribution curves of the ground kaolins

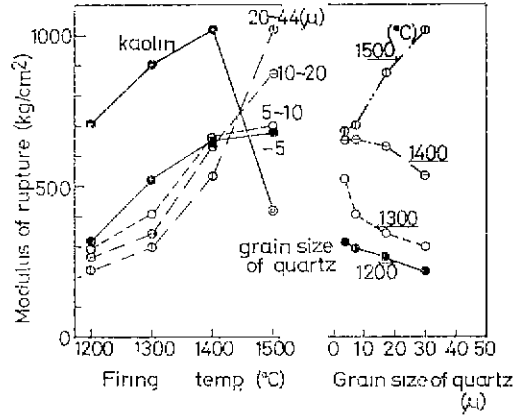


Fig. 4 Modulus of rupture of 80% kaolin-20% quartz bodies

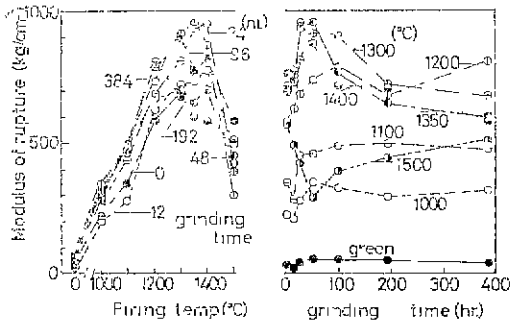


Fig. 3 Modulus of rupture of kaolin bodies.

하여 얻어진 曲強度의 結果를 燒成溫度 및 카올린의 粉碎時間에 對하여 表示하면 圖 3과 같다.

曲強度는 燒成溫度의 上昇과 함께 增大하여 카올린의 粉碎時間이 24時間의 것까지는 1400°C까지 계속 增大하나 그 以上의 粉碎時間으로 되면 粉碎時間이 긴 카올린일수록 低溫度에서, 예를 들면 384時間粉碎한 카올린의 素地에서는 1200°C에서 強度가 最大로 된다. 그 以上 燒成溫度가 높아지던 反對로 強度가 低下하기 始作한다. 粉碎時間에 對하여도 똑같은 關係를 볼 수 있으며 燒成溫度에 따라 粉碎時間의 效果가 變化한다.

3-1-2. 카올린-石英系素地の 曲強度

24時間 粉碎한 카올린에 石英을 配合한 素地에 對하여 檢討하였다. 石英配合에 있어서는 그의 粒度的 影響을 보기 위하여 5μ以下, 5~10μ, 10~20μ 및 20~44μ인 4種의 粒度 範圍의 石英을 各々 카올린 80wt%에 對하여 各々 20wt% 配合한 素地와, 石英配合量의 影響을 檢討하기 위하여 카올린에 對하여 10~20μ의 粒度인 石英을 2.5, 5, 10, 20 및 40% 配合한 素地에 對하여 曲強度를 測定하였다.

우선 石英의 粒度를 變化한 素地에 對하여 그 結果

를 整理하면 圖 4와 같다. 比較하기 위하여 新記한 카올린單味素地の 燒成溫度는 달리 1500°C까지 燒成溫度가 높아질수록 曲強度도 커진다. 그러나 이 傾向은 配合하는 石英粒子的 粒度에 따라 相當히 規則的으로 變化하여 1400°C까지는 強度가 작을수록 強度는 크지만 1500°C 燒成에서는 反對로 粒度가 클수록 強度가 커지는 傾向을 볼 수 있다. 바꾸어 말하면 粒度가 작은 石英을 使用한 素地일수록 低溫度範圍에서 強度가 커지며 高溫度에서 燒成하면 粗粒子的 石英을 配合한 素地일수록 強度가 커지는 結果가 된다. 또한 1500°C 燒成의 素地를 除外하면 石英을 配合한 素地는 어느 것이나 카올린單味素地보다도 曲強度가 弱하지만 1500°C로 되면 反對로 石英을 配合한 素地가 強하여지는 것이 注目된다.

石英을 配合하는 경우에는 粒度 이외에도 이와같이 石英의 配合 자체가 曲強度에 影響을 미치고 있음을 알았으므로 再次石英配合量의 影響에 對하여도 檢討하였다. 粒度 10~20μ의 石英을 配合한 경우 그 配合量에 따른 曲強度의 變化는 圖 5와 같다. 燒成溫度가 높아질수록 曲強度도 커지며, 石英 25% 配合의 경우만이

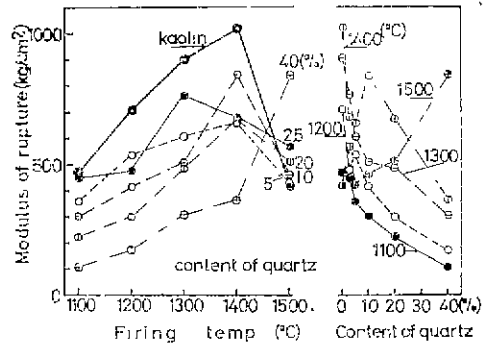


Fig. 5 Modulus of rupture of kaolin-quartz bodies

1300°C에서, 그 이상 20%까지의 配合素地에서는 카울린單味素地の 경우와 같이 1400°C에서 強度는 各 最大로 된 後 그 以上の 燒成溫度에서는 曲強度는 減少하고 있다. 그러나 40%의 石英을 配合한 素地는 1400°C까지는 燒成溫度의 上昇과 함께 徐徐히 強하여 진다. 1500°C로 되면 急激히 強해지고 있다. 이와같이 石英配合量이 많은 素地일수록 高溫度까지 曲強度가 계속 增加한다. 그러나 1400°C까지는 配合量이 增加할 수록 強度는 顯著히 低下한다. 다만 1400°C 燒成의 경우만이 例外로서 10%配合의 경우에 強度가 最大로 되어 있는 것이 注目된다. 1500°C 燒成의 경우에는 이제까지와는 反對로 石英의 配合量이 增加하면 強度도 急激히 增加한다.

카울린에 石英을 配合한 경우, 粒度를 變化시킨 燒週에도, 配合量을 變化시킨 경우에도 1400°C를 燒界로 하여 1400°C 以下와 1400°C 以上에서 燒成한 경우 그 傾向이 反對로서 1400°C 以下の 경우에는 粒度가 粗粒일수록, 또한 配合量이 많을 수록 曲強度는 작아지나 1500°C 以上에서 燒成한 경우에는 粒度가 粗粒일수록 또한 配合量이 增加할수록 曲強度가 커지는 傾向이 있음을 알 수 있다.

3-1-3. 카울린-長石系素地の 曲強度

카울린에 長石을 配合한 素地에 對한 曲強度의 測定 結果는 圖 6과 같다. 長石을 1, 2%配合한 素地는

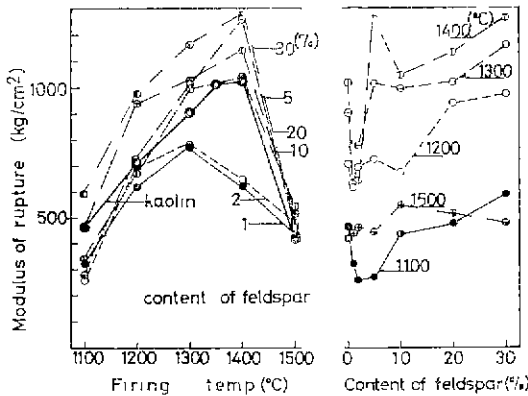


Fig. 6 Modulus of rupture of kaolin-feldspar bodies

1400°C까지는 各 燒成溫度의 上昇과 함께 曲強度도 增大하나 이보다 높은 溫度로 되면 強度는 低下하고 있다. 特히 1400°C에서 1500°C로 되면 強度는 急激히 低下한다. 長石配合量의 影響을 보면, 1400°C 以下の 燒成에서는 1, 2%配合에서 強度는 急激히 低下한 後 長石配合量의 增加와 함께 強度도 커진다. 1300°C와 1400°C 燒成의 경우에는 5%의 長石配合에서 強度는 急激히 增大하고 있다. 1500°C 燒成의 素地에서는

強度는 全般的으로 1400°C 燒成에 比하여 相當히 低下하고 있으나 10% 長石을 配合한 것은 配合量의 增加와 함께 曲強度도 커지고 그 以上 配合하면 反對로 低下하는 傾向이 있다. 또한 카울린單味素地에 比하인 1, 2%의 少量의 長石을 配合한 경우에는 素地の 曲強度는 低下하지만 5%配合에서는 1300°C 以上, 10%配合에서는 1200°C 以上, 20%, 30%의 多量의 長石을 配合한 素地에서는 1100°C 以上の 모든 溫度範圍에서 카울린單味素地보다 曲強度가 커지고 있는 것도 注目된다.

3-1-4. 카울린-石英-長石系素地の 曲強度

三成分으로 이루어진 素地에 對하여 測定한 曲強度의 結果는 圖 7과 같다. 實驗에 使用한 모든 素地는 燒成溫度의 上昇과 함께 強度도 增加하며 長石配合量이 가장 많은 素地 Z (K: 45, Q: 20, F: 35)와 長石과 石英이 모두 많은 T (K: 40, Q: 30, F: 30)는 1300°C에서, 그 以外の 素地는 어느 것이나 1350°C에서 最大로 된 後, 더욱 溫度가 높아지면 反對로 強度는 低下한다. 그러나 1500°C 燒成의 경우에는 素地에 따라 大端히 多餘

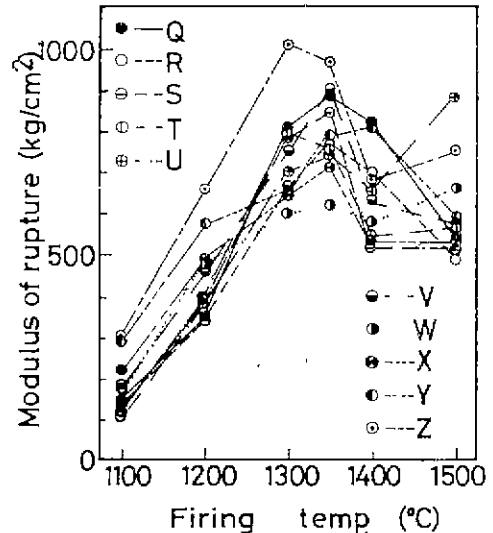


Fig. 7 Modulus of rupture of triaxial bodies

한 結果를 나타내고 있다. 標準素地보다 카울린配合量이 작고 長石또는 石英의 配合量이 많은 素地(S, T, U, W, Z)는 1500°C가 되면 反對로 強度가 增加한다. 그러나 그 以外の 素地는 1500°C로 되어도 계속 強度는 低下한다. 이 實驗에서 擇한 素地는 成分配合의 變化範圍가 좁아서 全般的인 素地の 配合比와 曲強度와의 關係에 對하여는 明確한 相互關係를 찾아 낼 수는 없었다. 그러나 燒成溫度가 낮은 1100°, 1200°C의 경우에는 長石이 特히 적은 素地를 除外하고는 長石量이 많을 수록, 또 石英量이 적은 素地일수록 強度가 커지는

傾向이 있다. 圖 8은 三原料의 配合比와 曲強度와의 關係를 概略的으로 表示한 것이다. 1300°C 以上의 高溫度로 되면 原料配合比와 曲強度와의 사이에는 거의 規則性을 찾을 수 없다. 1300°C의 경우에는 長石配合量이 가장 많은 35%의 경우보다도 標準配合의 素地가 強하며 1350°C 以上 特히 1400°C 以上이 되면 石英이 적고 카올린이 많은 素地도 曲強度가 커지는 傾向을 볼 수 있다. 圖 8-(a)는 1200°C 燒成의 경우이며 圖 8-(b)는 많은 素地가 最大 強度를 나타내는 1350°C 燒成

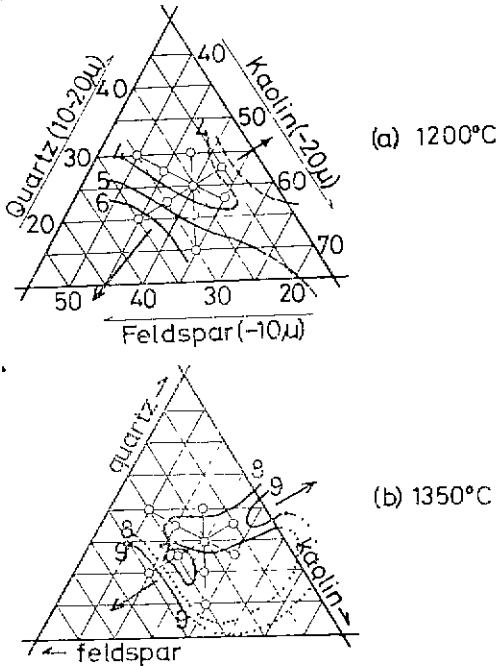


Fig. 8 Modulus of rupture of triaxial bodies ( $\times 100 \text{ kg/cm}^2$ )

의 경우의 關係를 整理한 것으로 大體的인 傾向으로서 長石의 配合量이 많은 素地가 強하며 1200°C의 경우와 어느 程度 類似한 傾向이 認定되나 이 圖에서도 規則性이 뚜렷하지 不확을 알 수 있다.

3-1-5. 曲強度에 對한 總括

曲強度의 測定結果를 綜合하면 本實驗條件內에서는 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 素地의 曲強度는 燒成溫度가 높아질수록 強하여지며 카올린을 48時間以上 粉碎하던지 長石을 配合한 素地 및 三成分系素地는 1400°C 以下의 溫度範圍에서 強度는 最大로 되며 그 以上 燒成溫度가 높아지면 強度는 反對로 低下한다. 이 強度가 最大로 되는 溫度는 카올린의 粉碎時間을 길게 할수록, 長石은 少量配合한 素地가, 또 長石과 石英을 함께 카올린에 配合하는 경

우 長石量이 많던지 長石, 石英이 다 같이 많은 素地 일수록 低溫度로 되는 傾向이 있다.

2. 카올린에 石英을 配合하면 1300°C 以下의 燒成溫度에서는 石英配合量이 많을 수록 強度는 低下하지만 1400°C 燒成의 경우에는 石英 10%配合의 경우 強度는 最大로 되며 1500°C 燒成에서는 이제까지와는 反對로 石英의 配合量이 많을 수록 曲強度는 크게 된다.

3. 1400°C 以下의 燒成溫度인 경우 카올린에 配合하는 石英의 粒子가 微粒일수록 曲強度는 커지지만 1500°C 燒成에서는 이와는 反對로 石英의 粒子가 粗粒일 수록 強度가 커진다.

4. 카올린에 長石을 配合한 경우 配合量이 적은 1, 2%의 素地는 카올린 單味素地보다 어느 程度 強度가 低下하지만 配合量이 많은 素地에서는 어느 것이나 카올린 單味素地보다 強度는 增大한다.

5. 三成分系素地의 경우에는 關係가 複雜하며 大體的으로 1200°C 以下의 燒成溫度가 낮은 경우에는 長石의 配合量이 特히 적은 경우를 除外하고 長石量이 많던지 또는 長石量이 많고 石英量이 적은 素地일수록 強度는 增大한다. 1300°C 以上의 高溫度에서는 더욱 不規則하며 大體的인 傾向으로서 長石配合量이 35%로서 가장 많은 素地 및 標準配合의 素地가 強度가 크며 이 以外에는 1400°C 以上으로 되면 石英量이 가장 적은 15%이고 카올린이 많은 素地도 相當히 強하다는 것을 알았다. 1500°C로 되면 카올린의 配合量이 標準보다 적고 長石 또는 石英의 配合量이 標準보다 많은 試驗片은 1400°C 보다 強度가 커지는 傾向이 있다.

3-2. 衝擊強度

各試驗片의 衝擊強度는 얻어진 5個의 測定値에서 最低值를 除外한 나머지 4個의 平均值이다.

3-2-1. 카올린 單味素地의 衝擊強度

圖 9는 粉碎時間을 變化시킨 카올린 素地에 對한 試

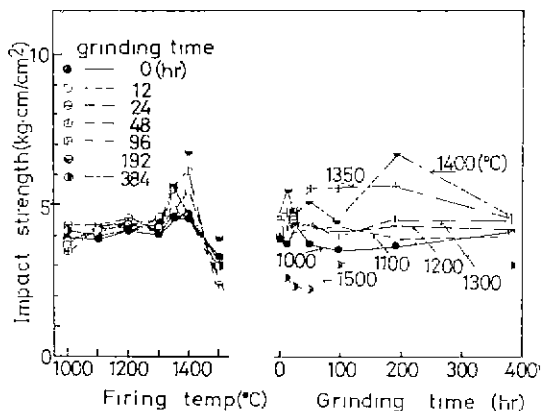


Fig. 9 Impact strength of fired kaolin bodies

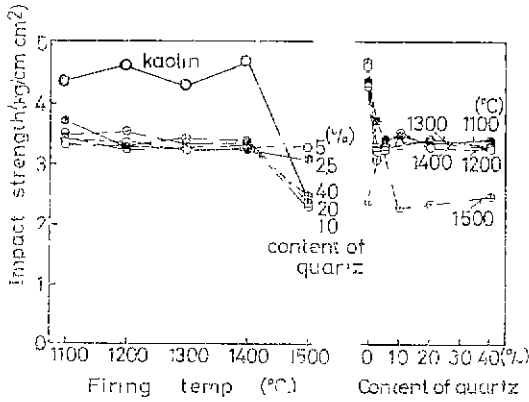


Fig. 10. Impact strength of fired kaolin-quartz bodies

果를 燒成溫度 및 粉碎時間에 對하여 圖示한 것이다. 全體적으로 明確한 關係를 얻을 수는 없었으나 카올린의 粉碎時間에 따라 衝擊強度는 規則적인 變化를 나타내지 않으며 概略적인 傾向으로 1400°C까지는 燒成溫度가 높을수록 특히 1380~1400°C에서 急速히 衝擊強度가 커지는 傾向이 있으며 1500°C로 燒成되면 價는 急激히 작아진다.

3-2-2. 카올린-石英系素地の 衝擊強度

圖 10은 카올린에 粒度가 10~20 $\mu$ 인 石英 粒子를 配合量을 變化시켜 配合한 素地에 對한 衝擊強度의 測定 結果이다. 카올린에 石英이 분과 2.5% 配合되어도 衝擊強度는 急激히 低下하며 그 以上은 石英의 配合量이 增加하여도 거의 強度의 變化는 볼 수 없다. 1500°C 燒成의 경우에는 2.5% 石英을 配合하던 衝擊強度는 커지나 10% 配合에서는 急激히 低下한다. 石英粒子의 粒度를 變化시킨 경우에도 4.5 $\mu$  以下의 溫度範圍에서는 衝擊強度에 別 영향을 미치지 않는다는 것을 알았다

3-2-3. 카올린-長石系素地の 衝擊強度

圖 11은 카올린에 10 $\mu$  以下의 長石을 配合한 素地の 燒成溫度와 配合量에 따른 衝擊強度의 變化를 圖示한 것이다. 長石은 配合量이 많아지던 特히 1300, 1400°C의 高溫度에서 燒成한 素地の 衝擊強度는 커지는 傾向

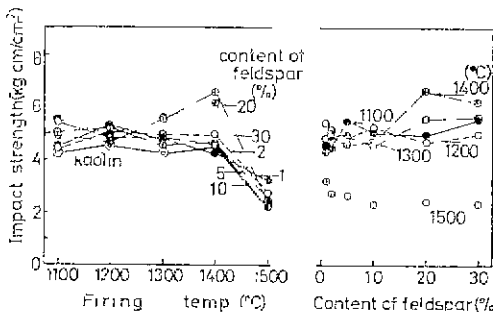


Fig. 11 Impact strength of fired kaolin-feldspar bodies

을 나타내며 1400°C 以下의 溫度範圍에서는 長石을 配合한 素地가 카올린單味素地보다도 衝擊強度가 크다.

3-2-4. 카올린-石英-長石系素地の 衝擊強度

三成分系素地에서는 成分範圍가 좁으며 圖 10, 11에 서 볼 수 있는 石英 및 長石을 配合한 경우의 結果가 서로 相反되는 効果 때문에 規則的 傾向을 찾아내기는 困難하다 圖 12는 三原料의 配合比와 衝擊強度와의 關

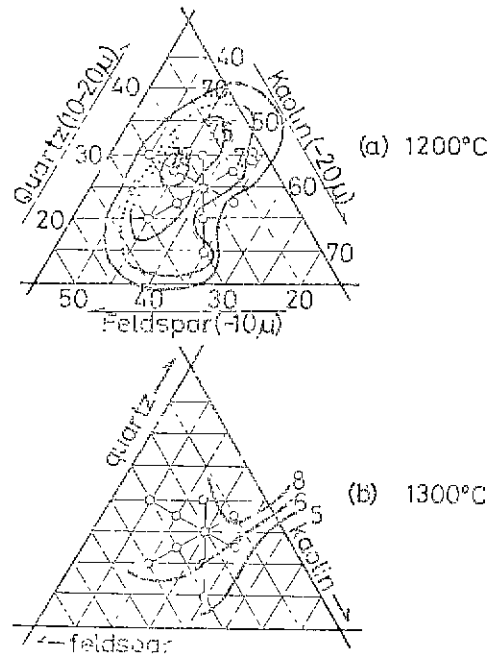


Fig. 12. Impact strength of fired triaxial bodies (kg/cm)

係를 概略적으로 나타낸 것으로 a)의 1200°C의 경우에는 열핏보기에는 카올린 45, 石英 27.5, 長石 27.5의 組成인 경우가 가장 衝擊強度가 크고 이 組成에서 따라질 수록 強度가 低下하는 傾向을 나타내는 것같이 보이며 1300°C 燒成인 b)로 되면 傾向은 完全히 變하여 石英이 많고 特히 長石이 적은 쪽이 큰 値를 나타내고 있다.

3-3 素地の 曲強도와 磁化度 및 組成鐵物과의 關係 機械的 強度의 變化가 素地の 磁化度の 結果와 어떤 關係가 있는 가를 調査하여 強度變化의 原因을 先明할 려고 하였다.

3-3-1 부피 比重과 曲強도

素地가 磁化될수록 其의 曲強도는 強하여진다고 生 覺되므로 이들의 關係를 確認하기 위하여 于先 素地の 磁化度の 尺寸의 하나로서 부피比重을 擧하여 부피 比重과 強度와의 關係를 圖示하면 圖 13과 같이 豫期한 대로 明確히 부피比重이 크고 素地가 잘 燒結될수록 曲 強度는 強하여지고 있다. 그러나 부피比重이 2.0~1.9

보다도 작으면 急激히 強度가 低下하고 또 2.4附近보 다른 경우에는 對反로 急激히 強度가 增大한다.

3-3-2 결보기 氣孔率과 曲強度

廢化度의 또 하나의 尺度로서 결보기 氣孔率과 曲強度와의 關係를 圖示하면 圖 14와 같으며, 氣孔率이 커 지면 曲強度는 작아진다. 이 圖의 結果로서도 燒結이 잘 되면 曲強度가 커짐을 알 수 있다.

以上の 結果로서 素地の 廢化가 進行될수록 曲強度는 커지는 것이 明瞭하다

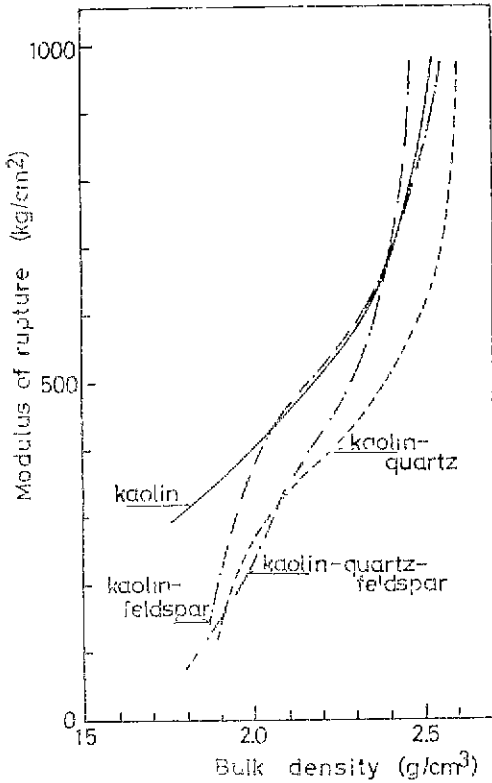


Fig. 13. Relation between modulus of rupture and bulk density

3-3-3 曲強度와 素地の 組成礦物과의 關係

曲強度와 素地の 組成礦物의 相對含有量과의 關係를 檢討하였다. 于先 뮤라이트 含有量과의 關係를 檢討하였다. 圖 15는 카올린單珠素地 및 카올린-石英系素地에 對하여 X線回折법의 세기에서 얻어진 相對의 뮤라이트含有量과 曲強度와의 關係를 圖示한 것이다. 그 圖에서 볼 수 있는 바와 같이 이 素地뿐만 아니고 다른 素地の 경우에도 마찬가지로 뮤라이트 含有量과 曲強度와의 사이에는 明白한 相互關係를 찾을 수는 없고 다만 뮤라이트가 많은 것이 어느정도 曲強度가 커지는

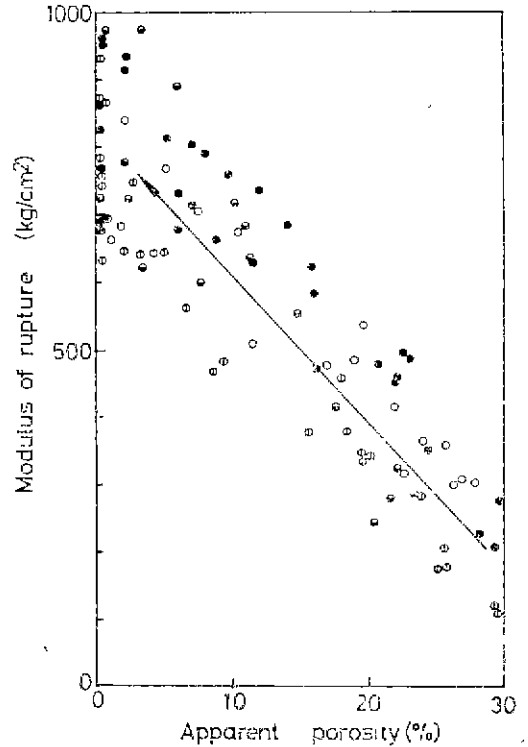


Fig. 14. Relation between modulus of rupture and apparent porosity

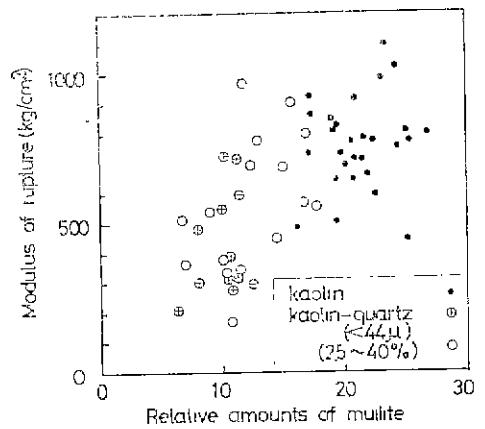


Fig. 15. Relation between modulus of rupture and mullite content of fired bodies

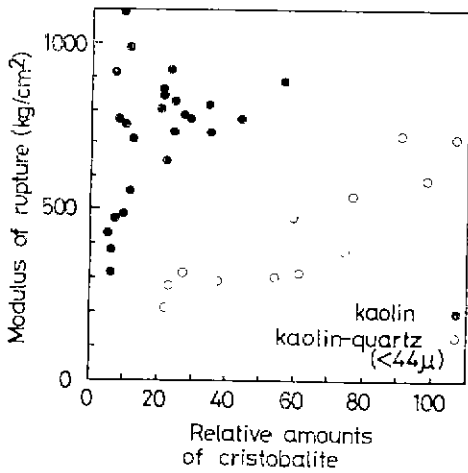


Fig. 16. Relation between modulus of rupture and cristobalite content of fired bodies

傾向을 볼 수 있을 뿐이다. 크리스토파라이트의 결보기 함유량의 相互關係는 카올린單素地와 20%石英을 配合한 素地에 對하여 圖示하면 圖 16과 같다. 이 結果로서 同一系統의 素地에 있어서는 이 정도 크리스토파라이트가 많은 素地쪽이 強度가 큰 傾向이 있으나 全體的으로는 이 경우에 드물었던 規則的인 關係는 볼 수 없었다. 圖 17은 카올린-石英 및 三成分系素地에 對하여 石英의 相對含有量과 曲強度와의 關係를 圖示한 것이다. 이 圖에서 素地중에 遊離石英의 含有量이 많을 수록 曲強度는 低下하는 것을 알았다. 이와같이 素地の 曲強度는 組成鑛物의 含有量과는 明白한 關係를 나타내지 않으며 다만 크리스토파라이트가 많은 素地 및 遊離石英이 작은 素地가 強度가 큰 傾向을 나

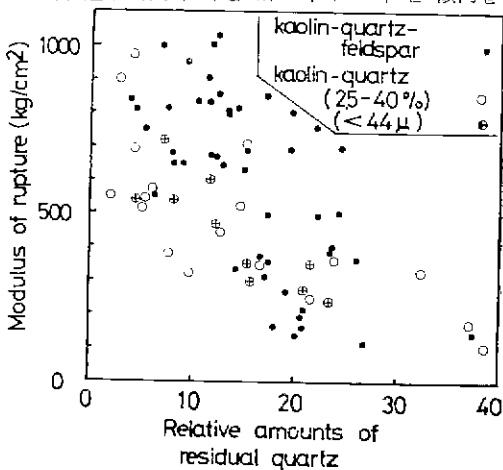


Fig. 17. Relation between modulus of rupture and quartz content of bodies

타낼 뿐이다.

陶磁器素地の 組成鑛物中에서 石英에 對하여는 그의 面間隔이나 크리스타릿트의 크기를 測定算出할 수가 있다. 이들 値는 一般的으로 長石을 同伴하는 素地에 있어서는 素地の 燒成이 進行될수록 面間隔이 커지거나 또한 결보기上 크리스타릿트의 크기가 작아지는 것을 浜野가 報告하였다. 이것은 燒成過程의 高溫度狀態에서 素地中の 長石質 매트릭스中에 둘러싸인 石英粒子가 冷却되는 경우에 유리相으로 固化한 매트릭스中에서 相轉移等を 이르기므로서 stress을 받아 引張應力은 이 트킨 狀態에 있음을 意味한다. 그러므로 石英粒子中에

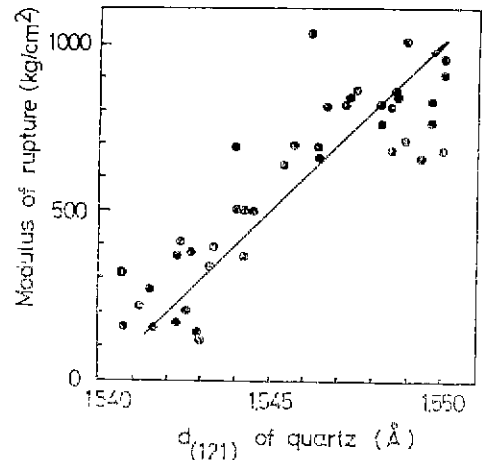


Fig. 18 Relation between modulus of rupture and lattice distance of  $d_{(121)}$  of quartz remained in fired triaxial porcelain bodies

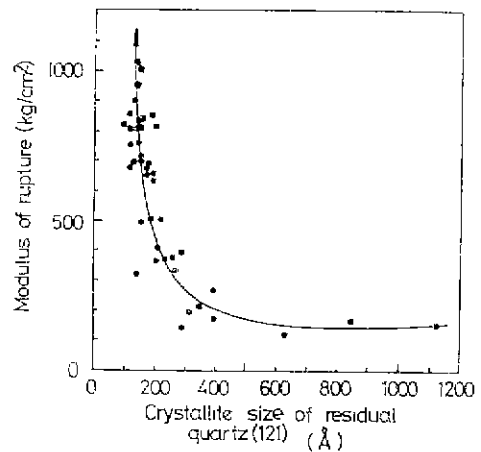


Fig. 19 Relation between modulus of rupture and crystallite size of quartz remained in fired triaxial porcelain bodies



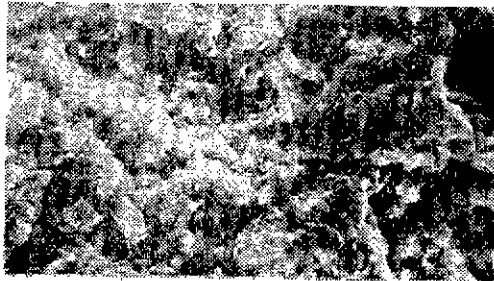
存在하고 있는 이와같은 應力의 크기와 曲強度와의 關係를 檢討하였다. 圖 18은 三成分系素地中의 石英粒子에 對하여 測定한 (121)面의 面間隔과 曲強度와의 關係를 圖示한 것이다. 이 圖에서 面間隔이 커질수록 曲強度는 커짐을 알 수 있다. 圖 19는 三成分系素地中에 殘留하고 있는 石英粒子의 (121)面에 對하여 測定算出한 粒보기上의 크리스탈릿의 크기와 曲強度와의 關係를 나타낸 것이다. 이 경우에는 크리스탈릿의 크기가 數 100Å 以下로 되면 急激히 曲強度가 커지는 것을 알 수 있다. 粒보기上의 크리스탈릿가 작아지는 것도 石英粒子에 스트레스가 있음을 暗示하는 것으로 이 圖의 結果에서도 石英粒子에 스트레스가 存在할수록 曲強度는 커지고 있음을 나타낸다. 結局素地中의 石英粒子等의 結晶相과 이들을 둘러 싸고 있는 유리相에 應力이 內在할수록 素地의 曲強度는 增大하고 있음이

明白하다. 이와같은 結果는 應力說을 뒷받침하는 것으로 된다.

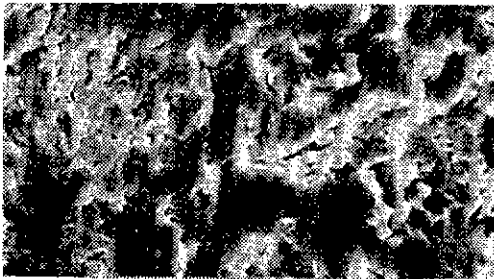
3-4 衝擊強度와 磁化度 및 組成鐵物과의 關係  
 衝擊強度에 對하여도 曲強度에서와 같은 檢討를 하였으나 待記할 傾向을 찾아내지 못하였으므로 報告를 省略한다.

3-5 機械的 強度와 微構造組織과의 關係

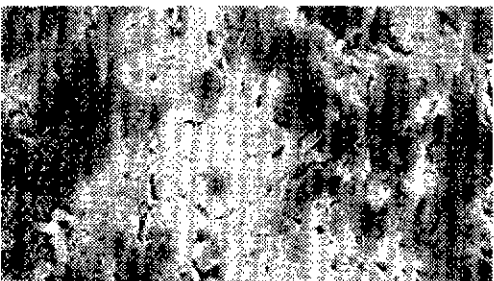
素地의 機械的 強度는 그의 微構造組織에도 關係된다고 推定된다. 圖 3에서 볼 수 있는 바와 같이 粉碎하지 않은 카올린 素地의 曲強度는 燒成溫度 上昇과 함께 커진다. 圖 20은 이들 素地의 走査型電子 顯微鏡寫眞이며 이 사진에서도 볼 수 있듯이 素地가 緻密하게 燒結될수록 強度가 增加하는 것으로 된다. 또한 圖 3에서 384時間 粉碎한 카올린 素地는 未粉碎한 素地와는 달리 지나치게 燒成溫度가 높아지면 強度가 急速히 低下하



1000° C



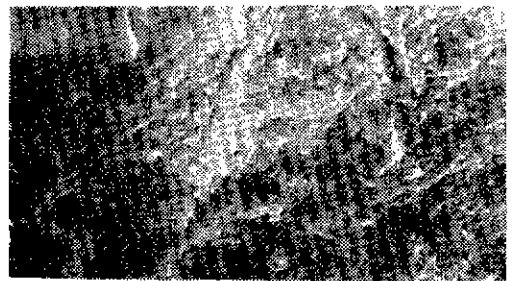
1350° C



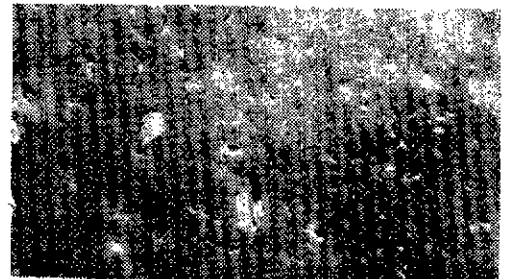
1400° C



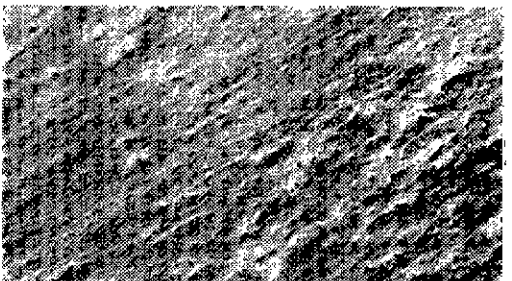
Fig. 20. Scanning electron microphotographs of fired kaolin bodies (unground kaolin)



1000° C



1350° C

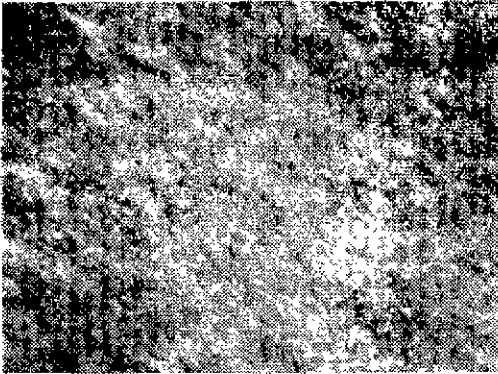


1400° C

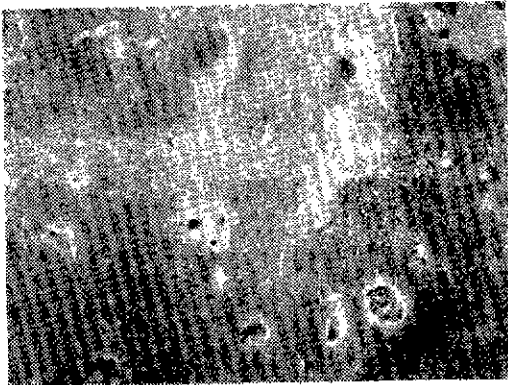


Fig. 21. Scanning electron microphotographs of fired kaolin bodies (384 hrs ground kaolin)

고 있다. 圖 21은 334時間 粉碎한 카올린素地の 電子顯微鏡寫眞이며 1300°C에 比하여 1400°C 燒成素地는 明白히 多孔質로 되어 있어 이것이 強度低下의 原因으로 되어 있음을 알 수 있다. 圖 22는 카올린에 長石 30%를 配合한 素地の 電子顯微鏡寫眞이며 1200°C, 1400°C로 燒成溫度가 높은 것일수록 素地는 緻密하게 되고 強度 또한 이와 平行하이 增大하고 있다.



1300°C



1400°C

Fig. 22. Scanning electron microphotographs of fired kaolin (70%) feldspar (30%) bodies

이와같이 素地の 強度는 그의 微構造組織에도 密接히 關係되고 있음을 알 수 있다. X線의 測定된 素地中の 珪酸鹽含有量과 強度와의 사이에는 거의 相互關係가 없음을 말한바 있으나 이 點에서는 一段 珪酸鹽이 素地の 強度를 支配한다고 하는 珪酸鹽假說을 認定할 수 없게 된다. 그러나 이미 本人 등이 報告한 바와 같은 여러 素地の 偏光顯微鏡觀察이나 弗酸處理한 試片의 電子顯微鏡寫眞에서 보인 素地中에는 유리相이 많은 곳에 發達하는 比較的 큰 針狀의 珪酸鹽結晶과 1~2μ以下의 작은 珪酸鹽結晶들 적어도 二種의 珪酸鹽이 存在하고 있

을 것 같다. X線의 測定된 珪酸鹽 量은 이들 珪酸鹽의 總量이며 특히 電子顯微鏡寫眞에서 針狀의 比較的 큰 珪酸鹽結晶이 緻密하게 發達하고 있는 狀態는 역시 素地の 強度에 어떤 影響을 미치고 있는 것이 아닌가 推定되어 珪酸鹽假說도 全적으로 否定할 수는 없다.

#### 4. 結論

素地の 長期的 強度와 微構造의 關係에 對하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1) 素地の 粒 크기 比重大이 크고 緻密하게 될수록 曲 強度는 커진다. 微構造組織의 狀態로서도 素地中에 氣泡나 龜裂의 分布가 적어지고 緻密하게 될수록 曲 強度가 커짐을 알 수 있다.

2) 衝擊強度에 對해서는 카올린單素地和 같이 單純한 素地의 경우에만 粒 크기 比重大이 크고 緻密한 素地 일수록 強하여지는 傾向이 보이나 其他의 素地에 對하여는 明白한 關係를 찾을 수 없다.

3) X線回折法으로 測定되는 珪酸鹽의 含有量과 機械의 強度와의 사이에는 相互關係를 찾을 수 없었다.

4) 크리스토타라이트含有量이 많은 쪽이 어느 정도 強度가 커지는 傾向을 나타내나 그렇게 明白한 것은 못된다.

5) 素地中에 들어있는 遊離石英의 含有量이 많을 수록 素地의 強度는 低下하는 傾向이 認定되었다.

6) 石英의 面間隔의 增大 및 크리스타라이트의 크기가 작아지는 데에서 推定되는 粒 크기上 素地中の 石英 粒子에 內재하는 引張應力, 卽이 粒子周圍에 있는 유리相中에 생겨있는 壓縮應力이 커질수록 本實驗의 條件 內에서는 分明히 素地の 曲 強度는 커진다.

以上의 結果로서 素地の 燒成이 進行되어 緻密하게 되고 또한 이 素地를 構成하고 있는 結晶相에 相當한 應力이 생기고 이것을 둘러 싸고 있는 유리相中에 壓縮應力이 存在하고 있을 수록 적어도 그 素地의 曲 強度는 커진다고 結論지을 수 있으며 陶磁器素地の 強度를 支配하는 要因으로서도 素地の 緻密化와 함께 適當한 應力의 存在가 큰 影響을 미친다는 것을 알 수 있다. 그러나 素地中에 發達하는 針狀의 珪酸鹽結晶의 存在도 強度를 높이는 데 效果가 있는 것이 아닌가 生 疑된다. 이 効果에 對해서는 本實驗에서는 明白히 할 수가 없었다.

#### Reference

1) O. Krause, "Relation between particle size of quartz and the properties of hard porcelain I, II"

- sprech* 70 611, 623, 633, 647 (1937)
- 2) K. Hamano, 陶磁器의 機械的 強度, 日窯協 3 171 (1968)
- 3) 浜野, 李應相 “카올린素地の 燒結過程에 關한 研究” 日窯協 80 93 (1972)
- 4) 李應相, 浜野 “카올린—石英系素地の 燒結過程에 關한 研究” 日窯協 80 405 (1972)
- 5) 李應相, 浜野 “카올린—長石系素地の 燒結過程에 關한 研究” 日窯協, 81 1 (1973)
- 6) 浜野, 李應相 “카올린—石英—長石系素地の 燒結過程에 關한 研究” 日窯協, 81 64 (1973).