

울진陶石에 關한 基礎的인 研究

吳 一 煥

大邱工業專門大學

(1993년 10월 20일 접수)

Basic Studies On Uljin Pottery Stones

Il-Hwan O

Tae Gu Technical Junior College

(Received October 20, 1993)

요 약

本 研究는 埋藏量이 3억5천만톤으로 推定되는 울진陶石에 關해서 資源을 活用하기 위한 基礎的인 研究로 얻어진 結論은 다음과 같다. 울진陶石의 化學成分中에서 다른 도석원료에 比較해서 Al_2O_3 의 含有量은 적고, Na_2O , K_2O 의 含有量은 많은 편이다. Fe_2O_3 의 含有量은 0.3 wt% 이하이며 白色度는 83으로 純白에 가깝다. 울진陶石은 長石質陶石에 屬하고, 耐火度는 SK14이다. 울진陶石중의 Quartz의 Lattice constant인 a軸 길이는 4.8865 \AA 이고 c軸 길이는 5.3852 \AA 이나 鹽酸處理 및 燒成時에 그 값이 增加하였다. 울진陶石의 微細構造는 $10 \mu\text{m}$ 이하의 작은 結晶粒자들이 서로 結合되어 塊石을 이루고 있다.

ABSTRACT

The fundamental studies for exploit natural resources was investigated on Uljin pottery stones that estimated the amount of mineral deposits at 350 million tons. The results obtained are as follows; In the chemical composition of Uljin pottery stones the amount of Al_2O_3 are a little compared with other pottery stones and that of Na_2O and K_2O are a large. Fe_2O_3 content is lower than 0.3 wt%, thus whiteness of its is 83. The major minerals composition of Uljin pottery stones are quartz and feldspar mineral. The refractoriness (SK) of its is 14. Lattice constants of quartz in Uljin pottery stones are 4.8865 \AA in a-axis and 5.3852 \AA in c-axis. Lattice constants were expanded by HCl treatment and sintering. Microstructures of Uljin pottery stones are linked up with the crystal particles under 10 microns in size.

1. 緒 論

陶石은 單味로 성형이 가능하고 소성하면 磁器化하는 암석으로 石英, sericite, kaolinite, feldspar를 주체로 하는 원료를 가르킨다^{5,12,13}.

陶石은 石英粗面岩이나 石英斑岩 등의 岩石이 熱水變質作用을 받아서 생성¹⁴한 것이다.

陶石은 일반적으로 塊狀으로 채굴되어 粉碎後 分級하여 도자기 원료로서 사용된다. 도석중의 석영의 함유율이 높으므로 석영을 가능한한 제거하지 않으면 단미로는 성형이 곤란하고 성형할 때 건조강도가 작아 부적합하게 된다. 석영이 미분쇄되지 않도록 분쇄하고 수비하여 석영을 제거하여 배토로 하기도 하고 어떤 경우에는 도석을

전부 분쇄하고 가소성 점토를 가하여 배토로 하기도 한다.

현재 도석은 조성광물에 따라서 sericite질 도석, kaolinite질 도석, 장석질 도석, pyrophyllite질 도석 등으로 분류^{12,14}된다.

도석의 용도는 성분에 따라서 각종의 도자기에 배합되는데, 최근에는 내화물 원료, 제지용, 농약, 직포, 고무충진용, 도료, 용접flux, 합성수지, 비닐 등의 점토 원료, 지석 기타에 이용된다.

도자기 분야에 공급되는 도석은 鐵磁物 기타의 不純物이 극히 적은 것은 高級食器, 美術工藝品, 高壓磚子, 衛生陶器, 타일 등의 白色陶磁器 등에 愛用되고, 일반의 도석 및 다소의 철광물을 함유한 도석은 食器, 硬質陶器,

普通磁子, 靑磁, 보통타일, 모자이크 타일, 半溶磁器, 耐酸磁器, 玩具工藝品 등에 사용되고, 또 原岩에 장식류가 많은 것은 釉藥, 장식의 代用자원이 되고 있다.

本 研究는 埋藏量이 3억5천만톤으로 推定되어 單一鑛으로는 最大가 되는 울진 陶石에 관해서, 資源을 活用하기 위한 基礎研究로 주로 物理的性質에 主眼點을 두었다.

2. 實驗方法

울진陶石의 物理 化學的 性質을 알기 위해서 化學成分, 白色度, 粉碎時間, 耐火度, 構成鑛物, 微細構造, quartz의 格子定數, 酸處理時의 白色度 등을 調査하였으며, 燒結體의 物性を 考察하였다.

2.1. 酸處理

酸의 種類는 HCl을 사용하고 閏酸의 濃度는 17.5% 溶液을 사용하였으며 試料의 용액에 대한 농도는 4 ml/g로 하였다. 산처리 的 溫度는 62°C 에서, 도석 粉體의 粒度는 44 μm 이하의 粉末과, 500~1000 μm의 粉碎物로 區分하였으며 산처리시간은 24, 72, 132시간으로 하여 실험하였다.

2.2. 定量分析

Quartz의 定量분석은 X-線回折分析 方法으로 定量하였다. X-선 회절분석장치는 Rigaku社製로 filter Ni, target CuKα, slit 1°-1°-0.15 mm, 管電壓, 管電流 35 KV, 25 mA, full scale 8000 cps, scanning speed 2°/min, chart speed 20 mm/min이었다.

Quartz의 定量에서 標準物質로는 김천규석을 사용하였으며 内部標準物質로는 CaF₂를 10 wt% 添加하여 (101)面에서 強度를 測定하여 檢量線을 作成하고 定量하였다. 長石의 定量은 표준물질로는 안면도 장석으로 (002)面에서 相對強度를 測定하여, 化學成分중 Na₂O, K₂O의 성분은 장석 광물로부터 함유된 광물이라고 가정하여 化學成分으로부터 計算한 結晶量을 補正하여 檢量線을 作成하고 定量하였다.

2.3. 格子定數

XRD 測定條件은, scanning speed 1°/min, chart speed 40 mm/min, 2θ=20°-70°, 내부표준물질은 Si를 10 wt% 첨가하여, 面指數 (100), (101), (110), (102), (200), (201)에서 Quartz의 面間隔 d값을 구하고, Quartz는 Hexagonal이므로,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

의 關係式에서 각각 면지수 a, c를 구하고, 格子常數는 Sin²θ, Cos²θ의 外插法에서 求하고, unit volume은 Sin 60°×a²c에서 計算하였다.

2.4. 燒成

燒結體의 鑛物變化, 白色度, 吸水率 등을 檢討하기 위해서 울진陶石의 原料를 粒度別로(104~74 μm, 74~44 μm, 44 μm 이하) 區分하여, 水分含量 8%, 成形壓을 306 kg/cm²으로 成形한 다음 燒成速度는 0~650°C에선 3.61°C/min, 650~1000°C에선 2.92°C/min, 1000°C 이상은 2.35°C/min로 하였으며, 1100, 1150, 1200°C 및 1250°C에서 各各 1시간씩 維持한 후 自然冷却하였다. 燒成雰囲気는 酸化분위기였다.

3. 結果 및 考察

3.1. 化學成分

울진도석의 化學成分은 시료의 평균조성이 Table 1과 같으며 陶石(특히 단일 지역으로 광량이 많은 天草陶石¹⁴⁾)의 조성범위에 比較하여 Al₂O₃含有量이 적고 K₂O, Na₂O의 含有量은 많은 편이다. 도석의 色相 및 燒成色相에 關係되는 Fe₂O₃의 含有量은 0.3% 이하로 적고, 그

Table 1. Chemical Composition of Uljin Pottery Stones

Cemical Analysis (wt%)	Mean	Range	General pottery stone
SiO ₂	76.38	75.00-77.82	70.00-80.00
Al ₂ O ₃	14.67	13.46-15.54	13.00-20.00
Fe ₂ O ₃	0.26	0.12- 0.33	0.04- 1.00
TiO ₂	0.09	0.08- 0.10	-
MgO	0.34	Tr - 0.67	below 0.40
CaO	0.42	Tr - 0.68	0.03- 0.80
K ₂ O	3.09	2.98- 3.85	0.06- 4.00
Na ₂ O	3.35	3.20- 4.32	0.10- 3.00
Loss on ignition	1.40	0.74- 1.64	1.50- 5.00
Refractoriness (SK)	14(500-1000 μm, 72 hrs acid treatment, 15)		
Whiteness	83		
True density	2.60		
Minerals composition(wt%)	Quartz: 40.82, Feldspar: 42.53 Kaolinite: 7.23, Sericite: 8.72		

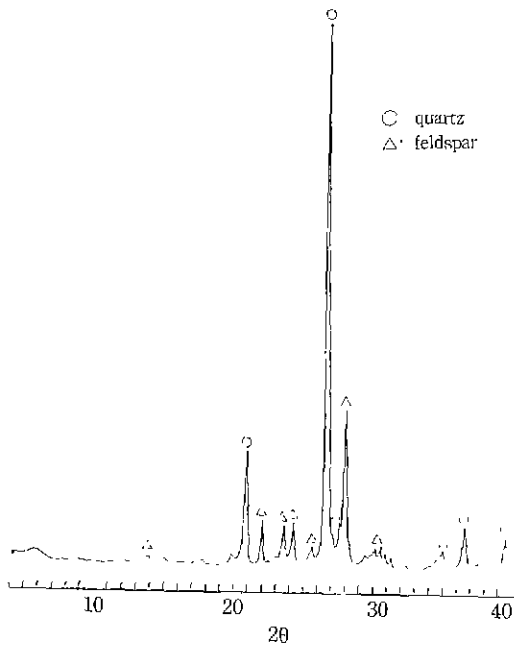


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Uljin pottery stones.

러므로 白色度는 83 程度로 純白에 가깝다.

3.2. 構成鑛物

울진陶石의 XRD 그래프는 Fig.1과 같다. 중요한 構成鑛物은 Quartz와 Feldspar이다. 化學成分으로부터 K_2O , Na_2O 의 成分이 장석광물이라고 가정하여 산출한 理論計算과 X線 回折分析 方法으로부터의 定量分析에 의해 算出된 構成鑛物의 組成은 Table 1에서와 같이 Quartz의 함유량이 약 40%, Feldspar는 약 42%이며, 少量의 Kaolinite, Sericite가 含有되어 있으나, Fig.1의 X線 回折圖에는 Kaolinite나 Sericite의 peak는 거의 나타나지 않고 있다. 울진도석은 Quartz와 Feldspar가 주 구성광물이므로 分類에 의하면 長石質도석에 해당된다. 이것은 石英粗面岩이나 石英斑岩 등의 岩石이 熱水變質作用을 받을 때 다른 도석에 비교해서 반응이 덜 진행된 것으로 考慮된다.

장석질의 함유량이 많으므로 耐火度는 낮으며, 내화도시험기에서 測定한 내화도는 SK14이다. 구성광물로부터의 내화도 算出式¹⁾ $T_{SK} = 1404 + 2.98QU + 0.00SE + 1.72KA - 3.20AB - 23.2CA - 24.4SI$ (여기서 QU, SE, KA, AB, CA 및 SI는 各各, 石英, 세리사이트, 카올린광물, 長石, 石灰石, 菱鐵鑛의 함유량(wt%)을 나타낸다.)에 의

Table 2. The Weight Percent of Uljin Pottery Stones-retained Over Screen that Grinded by Pol Mill

Grinding time(hrs)	wt. per cent retained		
	over 250 μ m	147-44 μ m	under 44 μ m
14	9.71	0.20	90.09
17	6.41	0.16	93.43
20	4.26	0.11	95.63
23	2.65	0.05	97.30
26	1.26	0.04	98.70

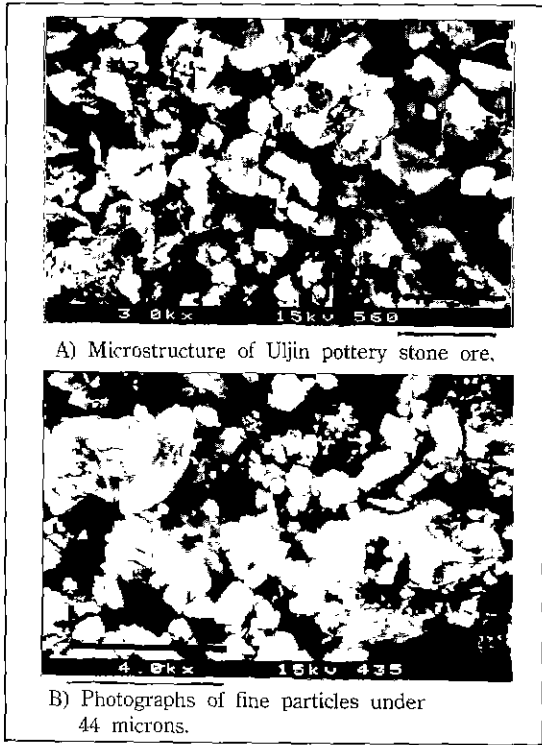


Fig. 2. SEM photographs of Uljin, pottery stones. Scale bars represent 10 microns.

해서 계산한 熔倒溫度는 $1395.6^{\circ}C$ ($T_{SK} = 1404 + 2.98 \times 40.82 + 1.72 \times 7.23 - 3.20 \times 42.53 - 24.4 \times 0.26 = 1395.6$)로 SK14에 該當되며 내화도는 낮은 편이다.

Kaolin 광물의 함유량이 적어서 可塑性이 不足하나 原料調合時에 珪石, 長石原料의 代用으로서 많은 利用이 可能할 것이며 鐵分含有量이 적기 때문에 그 利用度는 倍加될 것으로 考慮된다.

Table 3. Lattice Constants of Quartz in Uljin Pottery Stones at 25°C

Sample	Lattice constants		Axis ratio (c/a)	unit volume (Å ³)
	a (Å)	c (Å)		
raw material	4.8865	5.3852	1.10	111.36
heated at 1100°C 1 hr(under 44 μm)	4.9157	5.4080	1.10	113.17
acid treatment 72 hrs(500-1000 μm)	4.8977	5.3908	1.10	111.99
Kim chun Quartz	4.9216	5.4023	1.098	113.32
JCPDS 33-1161 low quartz	4.9133	5.4053	1.10	113.00

3.3. 粉碎特性 및 微細構造

Pot mill에 의해서 粉碎能率을 實驗한 結果는 Table 2에서와 같다. 14시간 분쇄할때 44 μm 이하로 분쇄되는 양이 90%를 超過하고 20시간 동안 분쇄하면 44 μm 이하로 분쇄되는 양이 95%를 초과하고 있다.

울진도석의 SEM 사진은 Fig. 2와 같다. 울진도석의 塊石은 Fig. 2의 A에서와 같이 10 μm 이하의 結晶들을 成形한 것과 같은 模樣을 하고 있다.

도석 塊狀을 44 μm 이하로 분쇄한 微粉末의 모양은 Fig. 2의 B에서와 같이 A의 도석 塊石의 微結晶의 모양과 類似한 모양이고 크기도 거의 같거나 그 半으로 粉碎된 모양을 하고 있다.

울진도석이 분쇄가 容易한 것은 Fig. 2의 A에서와 같이 10 μm 이하의 Quartz, Feldspar 結晶粒子들이 약한 結合力으로 結合되었기 때문으로 考慮된다.

3.4. 울진陶石중의 Quartz의 格子定數

울진陶石을 窯業原料로 供給할 때 機械的인 強度, 白色度 등의 重要한 役割을 하는 Quartz의 結晶特性을 아는 것은 중요한 일일 것이다.

X-線回折法으로 求한 Quartz의 格子定數의 값은 Table 3과 같다. 울진도석중의 Quartz의 격자정수의 a軸 길이는 JCPDS의 Quartz Data보다 0.55% 정도 작으며 김천규석보다는 0.71% 정도 작다. 또한 c축 길이는 JCPDS의 Data보다는 0.37% 정도 작으며 김천규석보다는 0.32% 정도 작다. unit volume도 JCPDS의 Data보다 1.45% 작고 김천규석보다는 1.73% 정도나 작다.

그러나 結晶軸의 比(c/a)는 Table 3의 試料 모두 1.10 (김천규석은 1.098)으로 같다. 울진도석중의 Quartz의 결

Table 4. Whiteness of Uljin Pottery Stones

sample	whit-ness	sample	whit-ness
heated at 1100°C 1 hr(under 44 μm)	82	raw material	83
heated at 1150°C 1 hr(under 44 μm)	77	acid treatment for 24 hrs(under 44 μm)	88
heated at 1200°C 1 hr(under 44 μm)	85	acid treatment for 72 hrs(under 44 μm)	88
heated at 1250°C 1 hr(under 44 μm)	86	acid treatment for 132 hrs(under 44 μm)	88
heated at 1200°C 1 hr(74-44 μm)	77	acid treatment for 24 hrs(500-1000 μm)	85
heated at 1250°C 1 hr(74-44 μm)	85	acid treatment for 72 hrs(500-1000 μm)	85
heated at 1200°C 1 hr(104-74 μm)	77	acid treatment for 132 hrs(500-1000 μm)	85
heated at 1250°C 1 hr(104-74 μm)	85		

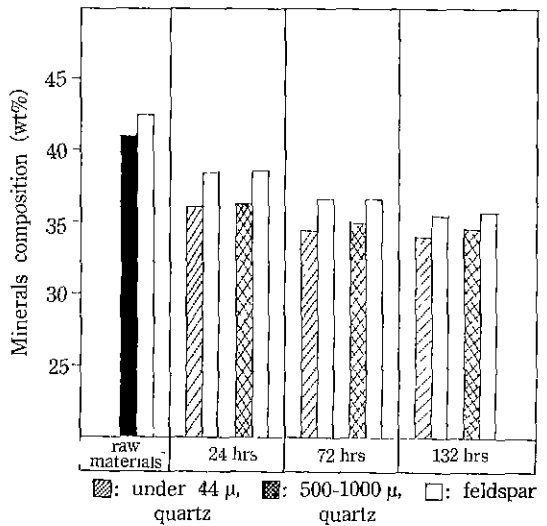


Fig. 3. Minerals composition of Uljin pottery stones obtained by acid treatment.

정축이 작은 것은 石英粗面岩 등이 熱水變質作用을 받을 때 壓力을 받았기 때문으로 생각되며 閏酸處理하거나 1100°C 로 加熱하였을 때 結晶軸의 길이가 늘어나서 JCPDS의 Data나 김천규석에 가까워지는 것은 熱에너지를 받아서 Si-O-Si의 結合길이 膨脹되었기 때문으로 생각된다. 또한 結晶軸의 比가 모두 같은 것은 壓力을 받

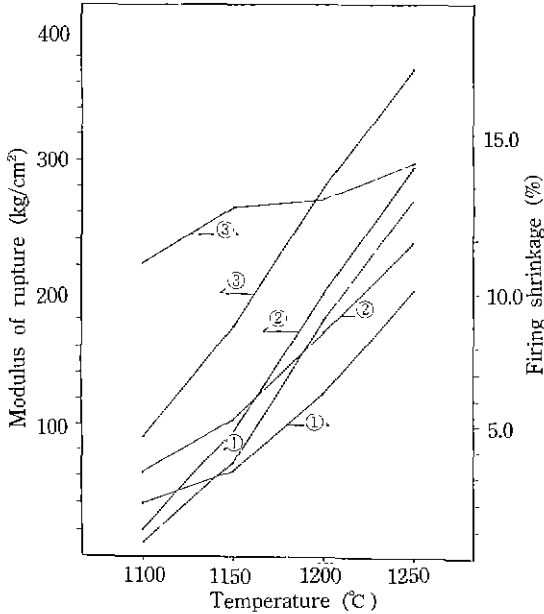


Fig. 4. MOR and firing shrinkage of Uljin pottery stones formed at various particle size and heated at various temperature for 1 hour.
① 104-74 μ ② 74-44 μ ③ under 44 μ

거나 열에너지를 받을 때 應力이 모든 축방향으로 갈게 作用하기 때문에 考慮된다.

3.5. 塩酸處理

塩酸處理하였을 때의 白色도의 變化는 Table 4와 같고 結晶量의 變化는 Fig. 3과 같다. 塩酸處理 後의 Quartz, Feldspar의 量은 各各 少量 減量을 나타내었는데 이것은 一部가 溶出된 것으로 고려되며 白色도는 顯著하게 增加하였다. 44 μ 이하의 粉砕物을 염산처리한 것은 산 처리의 維持時間(24시간 이상 산처리)에 相關없이 一定 하였으며 白色도는 88로 純白에 가깝게 良好한 狀態를 나타내었다. 원료를 염산처리할 때의 洗滌 등을 勘案하여 500~1000 μ의 분쇄물을 염산처리한 것은 역시 산 처리의 유지시간에 關係없이 백색도가 85로 良好한 狀態를 나타내었다. 염산처리에 의해서 백색도가 增加하는 것은 Fe₂O₃의 含有量(500~1000 μ 분쇄물을 72시간 산처리 할 때 Fe₂O₃ 함유량은 0.23% 이하)이 減少하기 때문이며 울진도석의 백색도가 양호한 것은 울진도석이 모든 陶磁器 製品의 素地에 使用될 수 있음을 意味한다고 할 수 있었다.

3.6. 燒成變化

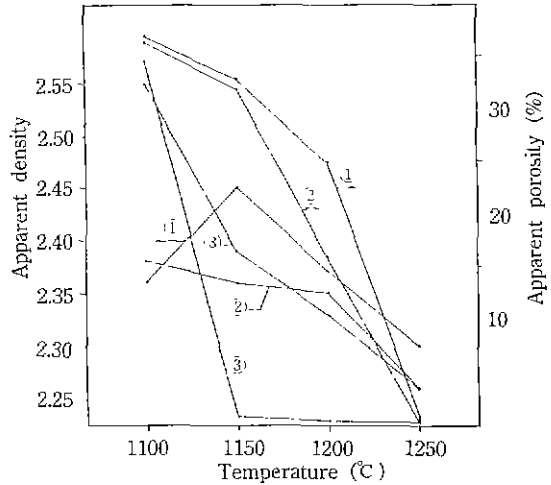


Fig. 5. Apparent density and apparent porosity of Uljin pottery stones with firing temperature
① 104-74 μ ② 74-44 μ ③ under 44 μ

燒成하였을 때 燒結體의 第一의 變化는 燒成色相의 變化였다. 소결체를 微粉하여 백색도를 측정된 결과는 Table 4에서와 같다. 溫度가 上昇함에 따라서 熔融體가 增加(결정상의 XRD peak의 강도감소와 파쇄단면)하고 氣孔率이 減少함에 따라서 백색도는 증가하여 1200°C 以上の 소성(74~44 μ, 44 μ 이하의 분쇄물)에서 85 以上을 나타내는 純白에 가까웠다 그러나 44 μ 분말 成形體의 소성온도가 1150°C (74~44 μ, 104~74 μ 成形體는 1200°C)에서는 오히려 原料보다도 백색도가 低下하였는데 이것은 磁化가 시작될 때 Fe₂O₃ 및 TiO₂의 症色에 起因된 것이며 1200°C 以上에서는 磁化가 完了된 狀態로 Fe₂O₃ 및 TiO₂의 一部가 揮發하고 SiO₂ 및 유리질 등에 의해서 擴散 및 稀釋되기 때문인 것으로 考慮된다.

소성온도의 상승에 따른 收縮率, 氣孔率 및 吸水率의 變化는 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에서와 같다. 소성온도가 상승함에 따라서 熔融體의 量이 增加(주로 장식과 석영의 용융)하고 따라서 소성수축률은 현저하게 커지고 기공율과 흡수율은 減少하였다.

1100°C 에서 소성한 소결체가 30% 以上の 기공율(Fig. 5)을 나타내었던 것이 온도가 상승하여 熔融物의 量이 증가하는 것에 比較하여 기공율은 급격하게 감소하고 1250°C 에서의 소결체는 1% 이하를 나타내고 있다. 기공율이 급격하게 감소하는 것은 원료속의 Feldspar가 熔融하는 量(熔融速度)이 급격하게 증가하기 때문에 熔融物에 의한 粒子의 結合과 熔融物에 의한 物質의 移動에 의해서 氣孔率이 減少하는 것으로 考慮된다.

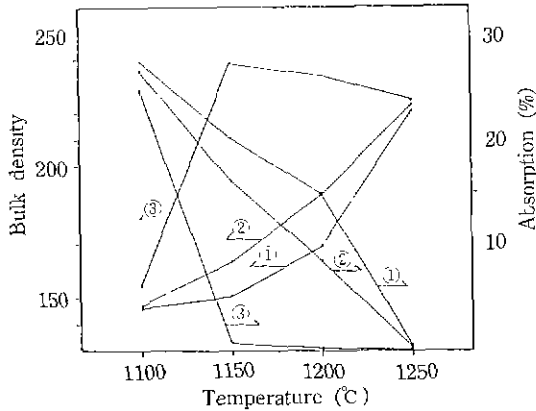


Fig. 6. Bulk density and absorption of Uljin pottery stones with firing temperature.

① 104-74 μ ② 74-44 μ ③ under 44 μ

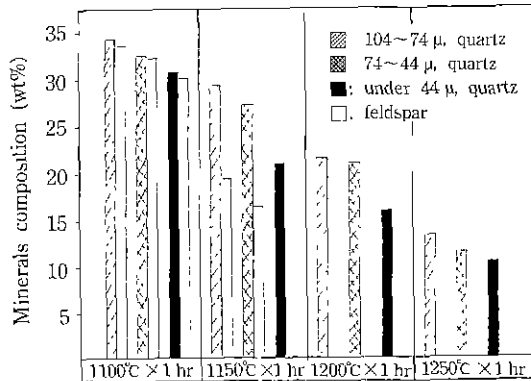


Fig. 7. Minerals composition of Uljin pottery stones formed at various particle size and fired at various temperature for 1 hour

또한 흡수율도 Fig. 6에서와 같이 기공율이 감소함에 따라서 감소되어 1250°C의 소결체는 1% 이하를 나타내고 있다.

소결체의 변화는 成形時의 粒子의 크기에 따라서 많은 差異를 가져왔다.

1100°C에서 소성한 소결체에서도 熔融物이 生成하기 始作하였으나 생성된 熔融物의 量에 차이를 나타냈고 Fig. 7에서와 같이 소성온도가 1150°C에 到達하였을때 44 μ 이하로 분쇄한 원료의 성형체는 장석이 모두 용융하여 XRD Graph에는 Quartz의 peak만이 보였으나, 74~44, 104~74 μ의 입도로 분쇄한 원료의 성형체에서는 장석의 殘留한 結晶量이 17% 이상이었다. 소성온도가 1200°C에 이르면 성형체의 粉碎입도에 상관없이

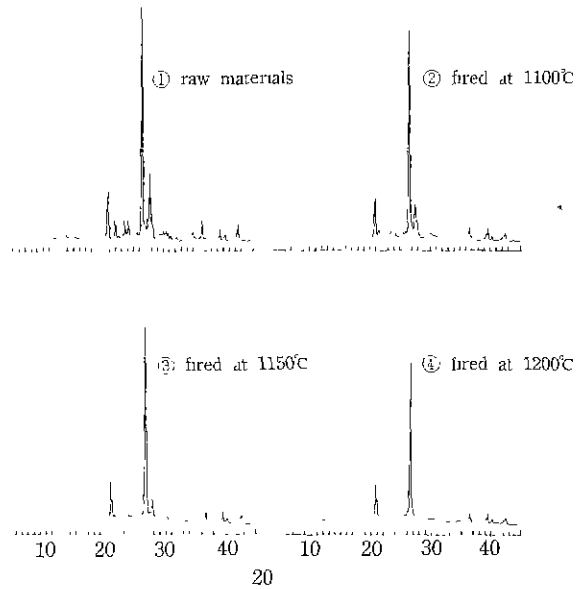


Fig. 8. XRD patterns of Uljin pottery stones formed at 104-74 microns size and fired at various temperature for 1 hour.

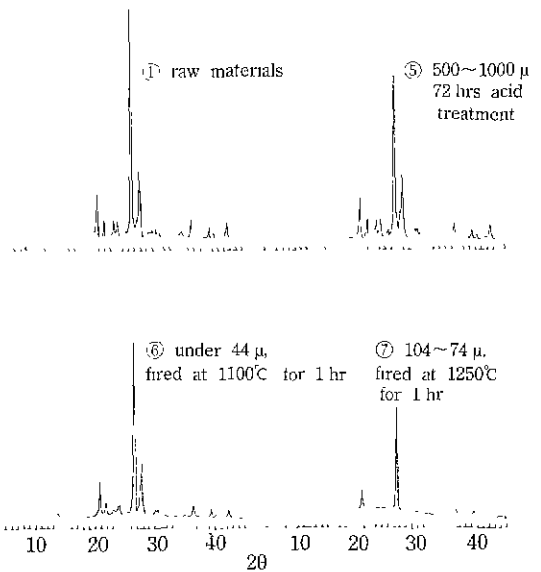


Fig. 9. XRD patterns of Uljin pottery stones caused at various conditions.

XRD의 graph에는 장석의 peak는 보이지 않고 Quartz의 peak만이 唯一한 peak로 남아 있으며 1250°C의 소성온도에서는 Quartz의 結晶 殘量도 15% 이하로 減量하고 있다. 입도가 작을수록 용융물의 생성량이 더욱 증가하여

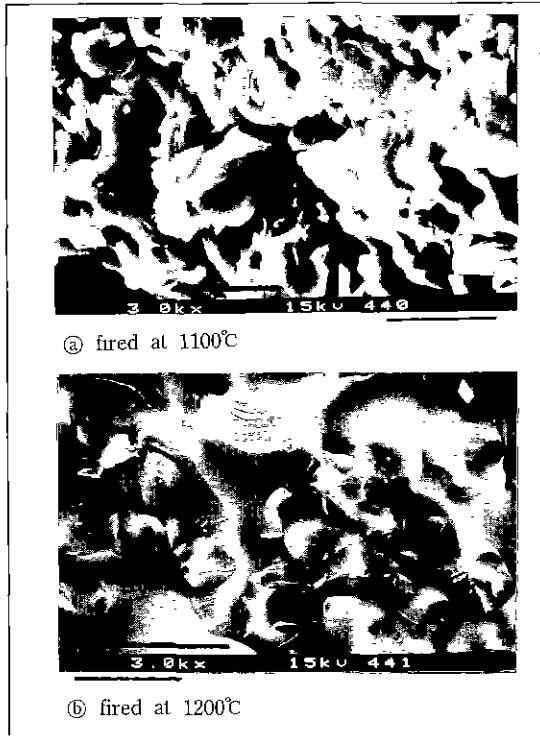


Fig. 10. SEM photographs of Uljin pottery stones formed at 44 microns size and at various temperatures for 1 hour. Scale bars represent 10 microns.

일반적인 소결速度式^{11,14)}에서와 類似하게 소결속도가 增加하고 있다.

소결체의 冷間 靼임强度도 Fig. 4에서와 같이 成형체의 입도가 작을수록 소성온도가 높을수록 증가하였다. 1100°C에서의 소결체는 용융물의 생성량이 적으므로 冷間結 합강도가 작아서 靼임강도가 20 kg/cm²(44 μm 이하 원 료의 소결체의 강도는 90 kg/cm²) 정도이었으나 소성온 도가 상승할수록 成형체의 入도가 작으면 작을수록 용 융물의 생성량이 증가하고 생성된 용융물이 물길을 이 동시켜 結합시켜 주고 냉각하면 용융물이 固形化되어 結合强度가 증가하므로 1250°C의 소결체는 冷間 靼임 강도가 270 kg/cm² 이상을 나타내었다.

소성온도가 상승하면 소결체의 용융물의 양은 증가하 고 Quartz, Feldspar의 結晶량은 모두 감소하고 있다. Fig. 8, Fig. 9는 104~74 μm의 분쇄물을 소성하였을 때 소결체의 XRD peak이다. 소성온도가 1100, 1150, 1200 및 1250°C (Fig. 9의 ㉑)로 상승함에 따라서 Quartz의 in-tensity가 감소하고 있는 것을 알 수 있고 Feldspar의

peak는 1150°C의 소결체까지는 보이고 있으나 1200°C 이상의 소결체에서는 보이지 않고 있다.

소성온도가 1100°C에 達하면 Feldspar의 일부가 용 융하여 熔融物에 젖음이 일어나고 소성온도가 더욱 상 승하여 용융물의 양이 증가함에 따라서 粒子的 移動이 일어나고 毛細管力에 의해서 입자와 입자는 서로 結합 하고 입자의 全表面積이 減少하게 되는 再配列過程을 거치면서 입자가 熔融物에 溶解 및 析出過程이 進行되는 동안 기공률이 감소하면서 소결^{11,14)}하게 된다. Fig. 10의 SEM 사진 ㉑와 ㉒는 44 μm 이하 분쇄물의 成형체를 각각 1100°C와 1200°C에서 소성한 소결체의 사진이다. 1100°C에서 입자들의 結합상태를 보여주고 있으나 커 다란 氣孔이 多量 存在하고 있다. 1200°C의 소성온도에 도달하면 용융물은 증가하고 장식은 모두 용융물로 용 융한 상태에서 용융체가 고체와 함께 기공으로 이동하여 기공이 消滅된 상태로 SEM 사진에서도 기공이 보이지 않는 緻化가 이루어진 模樣을 보여주고 있다.

4. 結 論

본 研究는 埋藏量이 3억5千萬톤으로 推定되는 울진陶 石에 關해서 資源을 活用하기 위한 基礎的인 研究로 얻어진 結論은 다음과 같다.

1) 울진陶石의 化學成分中에서 다른 도석원료에 比較 해서 Al₂O₃의 含有量은 적고, Na₂O, K₂O의 含有量은 많은 편이다. Fe₂O₃의 含有量은 0.3 wt% 이하이며 白色度는 83으로 純白에 가깝다.

2) 울진陶石은 長石質 陶石에 屬하고, 耐火度는 SK14 이다.

3) 울진陶石중의 Quartz의 Lattice constant인 a軸 길 이 4.8865 Å이고 c軸 길이는 5.3852 Å이나 鹽酸處理 및 燒成時에 그 값이 增加하였다.

4) 울진陶石의 微細構造는 10 μm 이하의 작은 結晶 粒子들이 서로 結合되어 塊石을 이루고 있다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 물심양면으로 도와준 울진 도석의 박노천 사장께 심심한 감사의 마음을 전합니다.

REFERENCES

1. Kumō Kimura and Hiroshi Tateyama, "Refinement of the Low-Grade Amakusa Pottery Stone by Hydro-

- thermal Treatment," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **97**(4), 439-446 (1989).
2. 이응상, 임대영, "磁器 素地の 物性에 미치는 陶石添加의 影響," *요업학회지*, **19**(3), 215-222 (1982).
 3. 이응상, 김진용, "磁器質 素地の 強度에 미치는 石英粒 度の 影響," *요업학회지*, **21**(3), 209-216 (1984).
 4. 林 文男, 永田 正典, "陶磁器原料의 化學處理," *セラミツクス* **14**(4), 333-338 (1979).
 5. Zenbe-e Nakagawa, Kenya Hamano, Hideo Takeshi and Yasuaki Uno, "Constituent Minerals and Their Mineralogical Properties of Amakusa Pottery Stones," *粘土科學*, **22**(4), 179-191 (1982).
 6. Takayori Sato, Yoshihisa Toda, Koshiro Hashimoto, Kenkichi Kobayashi and Shoichi Okamoto, "Removing Iron Compounds from Amakusa Pottery Stone by Combined Use of Hydrogen Reduction and Magnetic Separation," *Ygyo Kyokai Shi*, **93**(12), 786-790 (1985).
 7. Satoshi Nishimura, Kazuhiko Jinnai, Hiroshi Tateyama, Kunio Kimura, Osamu Ishibashi and Kinue Tsunenatsu, "Removal of Feldspar in Amakusa Pottery Stone by Two-stage Flotation," *日本鑛業會誌*, **102**(1181), 407-413 (1986).
 8. Masaharu Nakagawa, "Constituent Minerals of Amakusa Pottery Stones," *粘土科學*, **28**(2), 11-29 (1988).
 9. Masaki Yasuoka, Kenji Nonobe, Kiyoshi Okada and Nozomu Otsuka, "On Quartz in Amakusa Pottery Stone," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **97**(8), 818-822 (1989).
 10. Nozomu Otsuka, Masahiko Endo, Akira Ueno, Masaki Yasuoka and Kiyoshi Okada, "Quartz in Pottery Stones from Various Localities and Its Cristobalitzation," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **98**(10), 1139-1145 (1990).
 11. 橋本謙一共著, *セラミツクスの基礎*, 共立 (1975).
 12. 이종근 저, *窯業原料學*, 大學教材社 (1978).
 13. 조봉환 저, *陶磁器工業*, 理工圖書 (1981).
 14. 일본セラミツクス협회編, *セラミツクス 工學 핸드ブック*, 技報堂 (1989).