

Anorthite의 合成 및 그 特性에 關한 研究

白龍赫*·李鍾根
漢陽大 無機材料工學科
(1983年 4月 2日 接受)

A Study on the Synthesis of Anorthite and its Characteristics.

Yong-Hyuck Baik* and Chong-Kem Lee.
Dept. of Inorganic Materials Eng., Hanyang Univ.
(Received April 2, 1983)

ABSTRACT

This study was carried out to research the change of mineral phases and the characteristics (apparent specific gravity, water absorption, firing shrinkage, modulus of rupture, thermal expansion and specific dielectric constant) of the sintered bodies manufactured by kaolin and limestone.

Samples were composed of the same theoretical composition as it of anorthite and fired up to 1450°C.

Investigated the change and micro-structure of the mineral phases by XRD and SEM, the characteristics of the sintered bodies by TMA, Automatic Capacitance Bridge and etc.

The results were as follows.

1. Reactions of sintering are occurred between 860-950°C and 1200-1380°C and state of bloating is occurred at 1410-1450°C.
2. For the inclusion of feldspar and its fine particles of materials, the temperature of producing and collapsing is decreased.
3. Pseudo-wollastonite and gehlenite are formed about 950°C.
4. At 1140°C, anorthite are begin to forming and increase continuously to 1380°C.
Above 1410°C, content of anorthite are decreased.
5. The variations of bending strength with sintering temperature reflect similar trend of sintered contraction and increase continuously from 1200°C.
At 1450°C, reached about 680kg/cm².
6. Specific dielectric constant (ϵ_s) of specimen sintered at 1410°C is 7.12 and that value is most favorable.

1. 緒論

kaolin-石灰石系의 素地는 冷却處理條件에 依하여 透光性이 良好한 磁器素地로 되며 機械的 強度도 kaolin-長石系 素地보다 우수한 特性¹⁾을 나타내고 있으므로

*全南大. 無機材料工學科
Dept. of Inorganic Materials Eng., Chonnam National Univ.

앞으로 發展할 수 있는 素地라고 생각된다.

또한 最近의 電子工業에서는 보다 작고 集積度가 크며 電氣的 回路를 要求하고 있으므로 이와같은 回路를 위해서는 ceramic dielectrics 의 개발이 必要하게 되었다. 또한 보다 큰 半導體 chips 의 使用에서는 chip 와 ceramic 를 接合할때 가능한 한 stress 를 減少시키기 위하여서는 半導體 chip 와 熱膨脹係數가 近似한 ceramic 材料가 必要하게 되었다.

CaO-Al₂O₃-SiO₂系에는 wollastonite, larnite, gehlenite 및 anorthite 등 ceramic工業에서 主要한 礦物들이 포함되어 있으며²⁾ 특히 이들중 anorthite는 高周波에 대하여 低誘電損失을 나타내며 더욱 silicon半導體와 비슷한 熱膨脹係數를 가지고 있으므로 集積回路用 基板으로서 利用할수 있다고 Gdula는 報告³⁾하였다.

그러므로 本 研究에서는 純粹한 試藥을 使用하여 anorthite를 合成한 前報⁴⁾에 이어 國內에서 自然産으로 産出되는 kaolin과 石灰石을 使用하여 anorthite를 合成한후 生成物相의 變化와 그 傾向을 究明하고 韌性強度, 熱膨脹率 및 誘電率을 測定하여 特性을 究明하여 보았다.

2. 實驗 方法

2-1) 使用原料

本 實驗에 使用된 原料는 河東産 kaolin과 全北 益山産 石灰石 및 少量의 工業用 alumina 粉末(-200 mesh)을 使用하였으며 이중 kaolin은 微粉碎된 水簾物이며 石灰石은 原礦을 그대로 微粉碎(325 mesh 以下)한 것

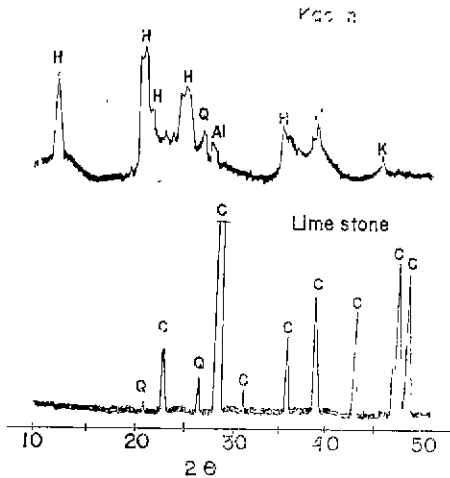


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of raw materials. (H: Halloysite Q: Quartz Al: Albite, K: Kaolinite. C: Calcite.)

이다. 微粉碎된 水簾 kaolin 및 石灰石 原料의 化學組成, X-線回折分析, 熱分析 및 粒度分布 測定 結果를 Table 1 및 Fig. 1~3에 각각 나타내었다.

X-線回折分析과 熱分析 結果에서 보면 河東 kaolin

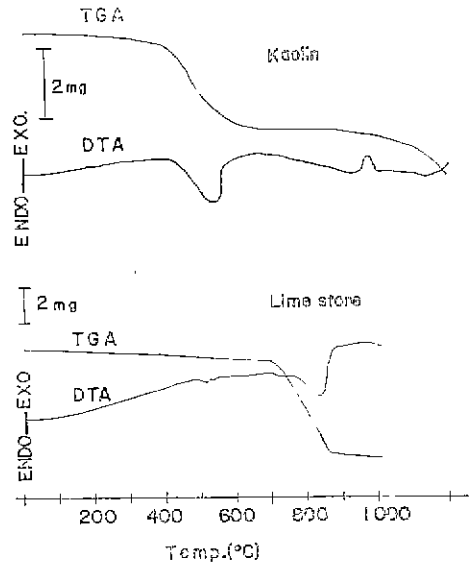


Fig. 2. TG/DTA curves of raw materials.

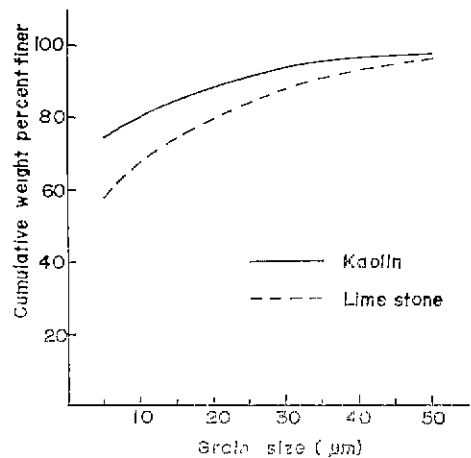


Fig. 3. Particle size distribution curves of the raw materials.

Table 1. Chemical composition of the raw materials.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	lg. loss
Ha-dong kaolin	46.08	38.15	0.35	0.64	0.21	0.028	0.50	0.53	13.33
g-san lime stone	0.48		0.044	55.90	0.49				43.0

은加水 halloysite가主鑛物이며極히少量의 α -quartz와長石이含有된것으로나타났고550°C부근에서meta-kaolin生成에依한吸熱反應과約970°C에서meta-kaolin으로부터Al-Si spinel의生成反應에依한것으로생각되는發熱peak을보이고있다.

益山石灰石은calcite가主鑛物로되어있으며極히少量의 α -quartz도포함하고있다.分解는約700°C부터시작하여約850°C에서끝나고있다.

Fig. 3의粒度分布測定結果使用原料인kaolin및石灰石의粒度는5 μ m以下74%,58%를각각나타내고있어極히微細하였다.

2-2) 試料調合 및 試片成形

Anorthite의理論組成(CaO 20.2%, Al₂O₃ 36.7%, SiO₂ 43.2%)에 따라 batch를調合한후methyl alcohol(試藥1級, 99%以上)을加하여濕式으로충분히混合하였다.混合이끝난후에는alcohol分을완전히揮發,乾燥시켜試料로하였으며이때의調合比는Table 2에나타내었다.

Table 2. Batch composition

Materials	Composition (wt%)
Ha-dong kaolin	68,890
Ig-san lime stone	30,364
Industrial sue Al ₂ O ₃	0,746
Total	100,000

試片成形은調合된試料에3%P.V.A水溶液5%를添加,混合한후steel mold에서1000kg/cm²의成形壓으로,誘電率測定用試片은지름이1cm,두께가약0.2cm인disk로하고,그외의物性測定用試片은지름이2.54cm,두께가약0.3cm인disk형으로成形하였으며T.M.A 및M.O.R測定用은지름이2.54cm의것을切斷하여사용하였다.

2-3) 試片燒成

成形된試片은dry oven에서충분히乾燥시킨후siliconite電氣爐에서約180°C/hr의昇溫速度로630°C, 860°C, 950°C, 1000°C, 1140°C의各溫도와1200°C부터는30°C간격으로1410°C, 1450°C까지燒成하였다.

이때各最高燒成溫度는調合된試料의TG/DTA熱分析結果를참고로하였으며各最高燒成溫度에서3時間유지시킨후電氣爐內에서自然冷却하였다.調合된試料의熱分析結果는Fig. 4에나타내었다.

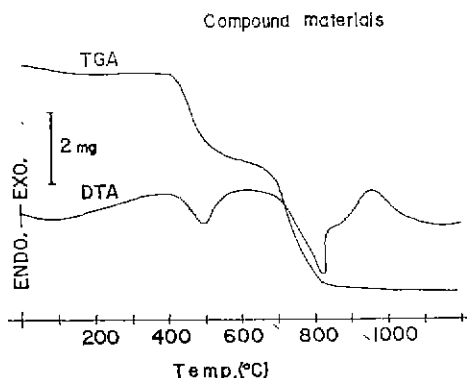


Fig. 4. TG/DTA curves of powder mixture of raw materials.

Fig. 4에서 보면約500°C부근에서의吸熱反應은kaolin이meta-kaolin으로變化함을나타내며700~850°C범위에서의吸熱反應은石灰石의分解를나타내고있음을Fig. 2의결과로추측할수있다.또約870~1100°C범위에서나비가넓은發熱反應은meta-kaolin에서Al-Si spinel의生成²⁾과meta-kaolin과CaO의反應³⁾ 또는Al-Si spinel과CaO와의反應을나타내는것으로추측된다.

2-4) 物性測定 및 走査電子顯微鏡觀察

燒成溫度變化에따른燒結傾向을보기위하여燒成試片에對한겉보기比重,吸水率및燒成收縮率등을測定하였으며生成된鑛物相의變化및그傾向은X-線回折分析(Cuka, 30kv, 15mA)으로究明한후走査電子顯微鏡으로微構造를觀察하여보았다.또한各燒成溫度에서燒成된試片들의燒結程度와生成鑛物의變化에따른特性을究明하기위하여꺾임강도,熱膨脹率및誘電率을測定하였다.꺾임強度는Maruto製Proving Ring을사용한壓縮試驗機로,熱膨脹率은Rigaku製Thermoflex TMA (heating current 20 mv, heating rate 10°C/min, chart speed 2.5cm/min)로,誘電率은HEWLETT, PACKARD製Automatic Capacitance Bridge(4270A)로1MHz, 25°C에서각각測定하였다.

3. 結果 및 考察

3-1) 겉보기比重, 吸水率 및 燒成收縮

各溫度에서燒成된試片들에대하여겉보기比重,吸水率및燒成收縮을測定하여그結果를Fig. 5 및Fig. 6에나타내었다.

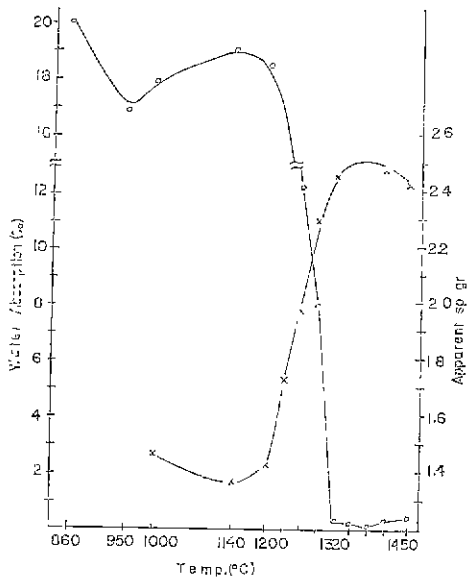


Fig. 5. Water absorption and apparent sp. gr. of sintered specimens at various temperatures.

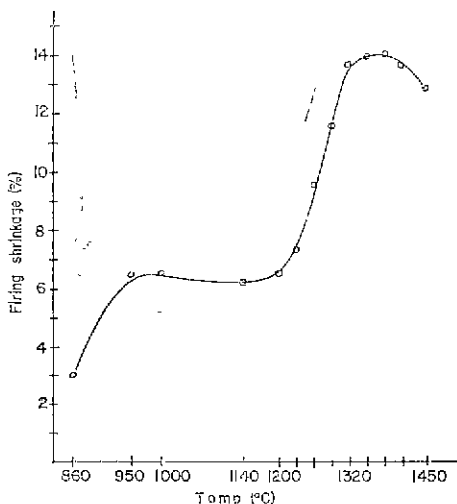


Fig. 6. Firing shrinkage of sintered specimens at various temperatures.

Fig. 5 및 Fig. 6에서 보면 860~950°C의 온도범위에서 燒成收縮이 크게 증가하면서 吸水率 또한 크게 減少되는 것은 950°C보다 낮은 약 550°C에서 kaolin의 分解로 인한 脫水와 約 700~850°C에서 石灰石의 分解로 發生한 CO₂에 의하여 粒子間의 接觸面積이 계속 減少된후 燒成溫度가 860°C 이상으로 되면서 燒結反應이 일어나고 있기 때문이라 생각된다.

950~1140°C의 범위에서는 이와는 반대로 겔보기

比重 및 燒成收縮은 서서히 減少되면서 吸水率은 점점 增加하고 있는 것으로 보아 약간의 膨脹이 있다고 생각된다.

1200~1320°C의 범위에서는 겔보기 比重 및 燒成收縮이 크게 增加하면서 吸水率은 크게 減少되는 것으로 보아 燒結反應이 急激하게 促進됨을 알수 있다.

1320~1380°C의 범위에서는 가장 낮은 吸水率(0.1%以下)과 가장 큰 겔보기 比重 및 燒成收縮을 나타내고 있으나 燒成溫度가 1410°C, 1450°C로 上昇하게 되면 試片이 약간 膨脹하면서 吸水率에는 큰 變化가 있으나 겔보기 比重이 減少되는 것으로 보아 試片이 bloating 현상을 일으키는 것으로 생각된다.

以上の 結果를 前報⁴⁾의 結果와 比較하여 보면 燒成溫度 1200°C까지의 범위에서 吸水率, 겔보기 比重 및 燒成收縮의 變化 傾向은 같으나 吸水率이 37%에서 19%로 큰 차이를 나타내고 있을 뿐이다.

또한 KAWAMURA¹⁾등에 依하면 kaolin과 石灰石의 混合 系地는 900~950°C에서는 meta-kaolin과 CaO가 反應하여 pseudo-wollastonite와 gehlenite를 生成하면서 急激히 緻密化가 일어나고 1250°C 이상에서는 生成된 結晶相間의 共融反應이 일어나 液相이 生成되면서 緻密化가 일어나므로 約 900~950°C의 低溫度범위와 1250°C 이상의 高溫度범위에서 2개의 不連續인 緻密化 過程을 나타낸다고 報告하였다. 이 KAWAMURA가 報告한 結果와 比較하여 보면 本 研究의 結果와 거의 같은 傾向을 나타내고 있으나 本 研究에서는 약 860~950°C의 溫度범위와 1200°C 이상에서 急激히 緻密化가 일어나고 있었다.

이는 本 研究 實驗에 使用된 原料의 粒子가 微細할 뿐만 아니라 使用된 kaolin에 混在된 長石質로 因하여 燒結反應 溫度가 低下되었기 때문이라 생각된다.

3-2) X-線回折分析

各 溫度에서 燒成된 試片의 X-線回折分析 結果를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7은 燒成溫度 860~1200°C 범위에서 燒成된 試片에 對한 것이며 Fig. 8은 燒成溫度 1230°C에서 1450°C까지 30°C 간격으로 燒成된 試片에 對한 것이다.

Fig 7 및 8에서 보면 860°C에서는 meta halloysite를 비롯하여 kaolin 및 石灰石 原料에 含有되었던 α-quartz, kaolin에 含有되었던 長石 및 아직 未分解된 一部 calcite의 peak를 나타내고 있었으며 pseudo-wollastonite나 gehlenite의 peak는 나타나지 않고 있다. 또한 2θ 18°(d=4.928), 34°(d=2.6367), 50.8°(d=1.7972)에서 確인할수 없는 peak도 나타나고 있다. 이

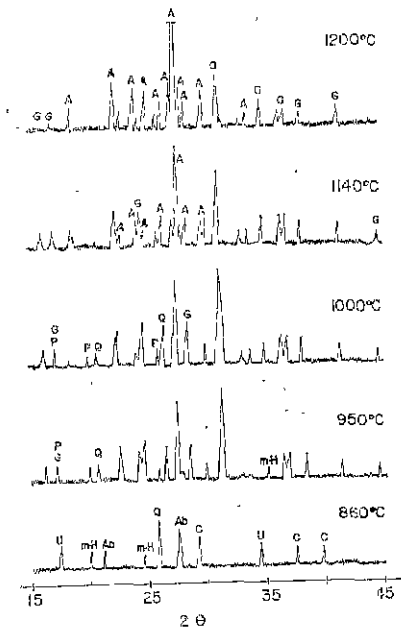


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of sintered specimens at temperature range of 860-1200°C. (A: anorthite, G: gehlenite, Q: α-quartz, Ab: albite, P: pseudo-wollastonite, mH: metahalloysite, C: calcite, U: unknown material.)

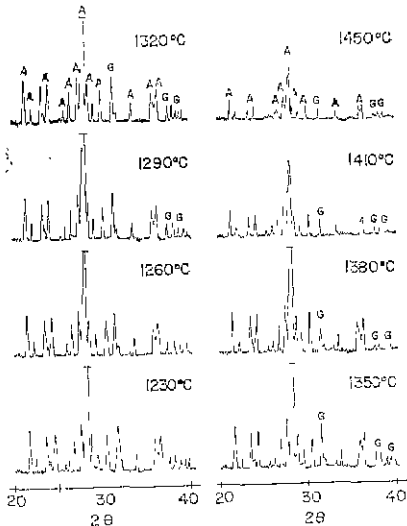


Fig. 8. X-ray diffraction patterns of sintered specimens at temperature range of 1230-1450°C. (A: anorthite, G: gehlenite)

확인할수 없는 結晶은 HAYASHI⁵⁾등이 CaO-Al₂O₃-SiO₂系 glass로부터 晶化燒結法으로 結晶을 生成시

켜본 결과가운데 CaO 20~40%, Al₂O₃ 40~60%, SiO₂ 10~30%의 組成비와 燒成溫度 980~1170°C에서 gehlenite 등 anorthite와 同時에 또는 單獨으로 晶出한다고 報告하였다.

pseudo-wollastonite의 peak는 950°C 燒成試片에서 이미 크게 나타나고 있으며 1000°C에서는 거의 變化가 없었으나 1140°C부터 크게 減少하여 1200°C 燒成試片에서는 pseudo-wollastonite의 peak를 찾아 볼수 없었다.

또한 gehlenite의 peak도 이미 950°C 燒成試片에서 크게 나타나고 있으며 1000°C에서 약간 增加한 후 1140°C부터 減少하기 시작하여 1200°C까지 계속 減少되었다. 1200~1350°C 범위에서는 거의 變化가 없었으나 1380°C 이상으로 燒成溫度가 上昇되면 急激히 減少하여 1450°C에서는 gehlenite의 特性 peak가 極히 弱하게 나타나고 있다.

그러므로 Fig. 4에서 870~1100°C의 나리가 넓은 發熱 peak는 주로 pseudo-wollastonite와 gehlenite 結晶의 生成으로 인한 것이라고 생각된다.

anorthite는 1140°C에서 生成되기 시작하였으며 燒成溫度의 上昇에 따라 1380°C까지 증가한 후 1410°C 이상으로 되면 急激히 減少하는 傾向을 보이고 있다.

kaolin 原料에 含有되었든 長石은 860°C에서는 確認할수 있었으나 950°C에서는 完全히 消滅되었으며 kaolin 및 石灰石 原料에 含有되었든 quartz는 1140°C에서 完全히 消滅되었다.

以上的 結果를 前報⁴⁾의 結果와 比較하여 보면 前報의 CaO-Al₂O₃-SiO₂系에서는 larnite, β-wollastonite 및 α-Al₂O₃가 生成되었으나 本 研究實驗에서는 이들의 生成을 볼수 없었다. 또한 pseudo-wollastonite, gehlenite 및 anorthite의 生成, 消滅溫度 및 그 傾向을 보면 pseudo-wollastonite가 生成, 消滅되는 溫度는 1080°C에서 950°C로, 1260°C에서 1140°C로 約 90°C 및 120°C 각각 低下되었으며 gehlenite는 生成溫度가 1080°C에서 950°C로 低下되었으나 消滅溫度는 1230°C에서 1450°C 이상으로 變하고 있다. anorthite의 生成溫度는 1140°C로 一致하였으며 燒成溫度의 上昇에 따라 계속 增加하였으나 本 實驗에서는 1410°C 이상으로 되면 急激히 減少하고 있었다.

以上과 같이 gehlenite의 消滅溫度 만이 1450°C 이상으로 變하는것 外에는 各 生成物이 生成, 消滅하는 溫度가 크게 低下되는 傾向을 보이고 있다.

KAWAMURA¹⁾는 Kaolin-石灰石系 素地가 984°C에서 一時的으로 Al-Si Spinel 相이 生成된 후 곧 spinel

와 CaO 가 다음과 같은 反應

$3(2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 + SiO_2) + 10CaO \rightarrow 4(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 2(2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2) + 2(CaO \cdot SiO_2)$ 에
 으로 mullite 가 生成되지 않고 gehlenite, wollastonite
 및 anorthite 가 生成된다고 報告하였으며 Peters⁶⁾
 의하던 Calcium-Rich Brick Clays 에서 生成된 an-
 orthite 는 1000~1200°C 에서 燒成溫度 上昇에 따라
 增大되고 gehlenite 는 860°C 에서 急激히 生成되어
 1050°C 에서 最大에 達한 후 燒成溫度가 계속 上昇
 하여도 增加는 거의 없으며, 1330°C 부근에서 wollas-
 tonite 와 gehlenite 는 急激히 減少하여 1400°C 에서는
 anorthite 만이 存在한다고 報告하였다.

KAWAMURA⁵⁾ 와 Peters⁶⁾ 의 結果와 本研究 結果를
 比較하여 보면 wollastonite, gehlenite 및 anorthite 의
 生成溫度와 그 傾向 및 mullite 의 生成이 없는 것은
 一致하고 있으나 wollastonite 의 分解溫度가 低下되었
 고 gehlenite 의 分解溫度가 上昇되고 있는 點이 相異
 하다.

이는 使用原料의 粒도가 微粒(5 μ m 以下 60~70%)
 을 주로 하고 있으며 또한 kaolin 으로부터 含有된 長
 石質이 結晶의 消滅溫度를 低下시킨 것으로 推측된다.
 그러나 gehlenite 의 完全 分解溫度가 上昇되고 있는 것
 은 앞으로 더 究明해야 할 것이다.

Fig. 5 및 Fig. 6 의 結果와 관련하여 考察해 보면 950
 ~1140°C 의 범위에서 약간의 膨脹이 있는 것은 pseudo-

wollastonite 와 gehlenite 의 生成으로 因한 것이라 생각
 되며 1200°C 부터 急激히 收縮이 일어나는 것은
 pseudo-wollastonite 와 gehlenite 의 共融反應으로 glass
 相이 生成되면서 燒結反應이 促進되었다고 생각된다.
 이는 Peters⁶⁾ 및 Gdula³⁾ 의 研究結果에서도 같은 傾向
 을 보이고 있었다. 1410~1450°C 에서는 gehlenite 및
 anorthite 가 分解, 減少되면서 bloating 현상이 일어
 나므로 外觀으로 약간의 膨脹을 나타내는 것으로 생각
 된다.

3-3) 走査電子顯微鏡 觀察

Fig. 5~8 의 結果를 참고로하여 燒成溫度 1140°C,
 1260°C, 1380°C 및 1410°C 에서 燒成된 試片에 대하
 여 走査電子顯微鏡을 觀察하여 Fig. 9 에 나타내었다.

Fig. 9 에서 보면 1140°C 에서는 粒子의 表面이 熔融
 되면서 粒子가 서로 연결되고 있으나 많은 氣孔이 보
 이고 있다. 이는 Fig. 7 의 結果에서 보면 pseudo-woll-
 astonite 結晶이 熔融되는 것으로 생각되며 많은 氣孔
 으로 因하여 Fig. 5 에서 試片의 吸水率이 增加된 것으
 로 보인다.

1260°C 에서는 粒子間의 계속된 熔融으로 粒子間의
 연결이 增加하면서 氣孔이 減少되었으며 柱狀의 an-
 orthite 結晶이 成長하고 있었다. 그러나 粒子間의 熔融
 에 의한 收縮이 일어나면서 熔融된 表面에 cracking 이
 發生하고 있었다.

1380°C 에서는 아직 分解, 熔融되지 못한 gehlenite

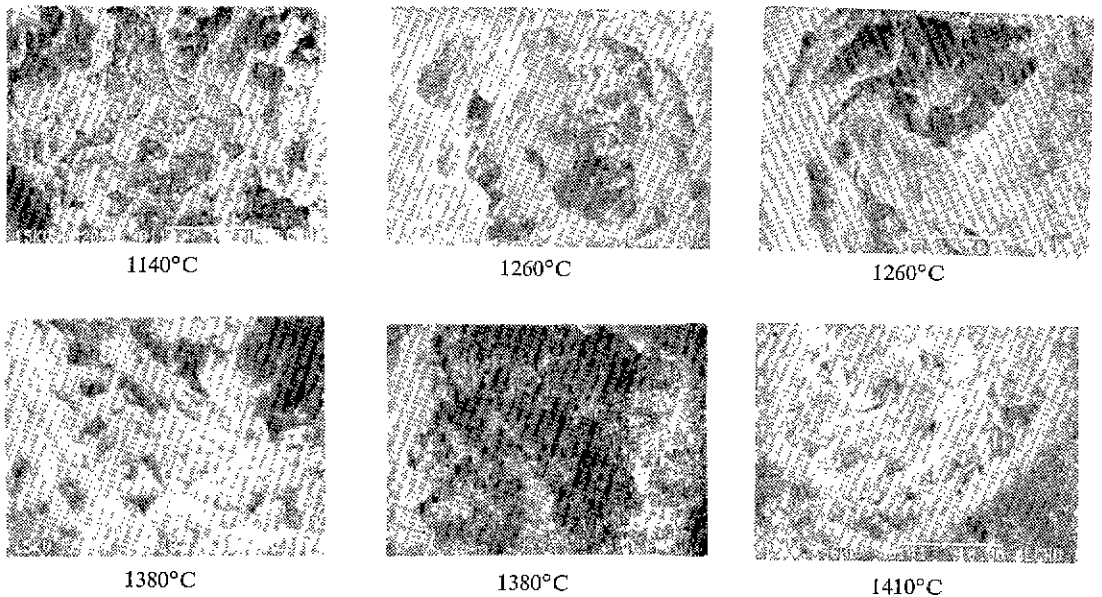


Fig. 9. SEM photographs of sintered specimens at various temperatures.

結晶들이 殘在하고 있었으며 柱狀의 anorthite 結晶들은 잘 發達되어 있었다. 이 觀察에서 cracking은 볼수 없었다.

1410°C에서는 柱狀의 anorthite 結晶들이 存在하고 있으나 그 表面에는 半熔融狀態의 物質이 덮혀 있었다. 이는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 8의 結果에서 보면 熔融되기 시작한 gehlenite인지 또는 anorthite 結晶이 分解되면서 生成된 物質인지는 究明하지 못하였다. 結晶들 사이에는 다시 cracking이 나타나고 있으며 이것이 試片의 吸水率을 增加시키는 原因이라고 생각된다.

3-4) 靱인強度

각 온도에서 燒成된 試片의 靱인強度를 測定하여 그 結果를 Fig. 10에 나타 내었다. 이 結果를 Fig. 5~6의 結果와 比較해 보면 燒成收縮의 傾向과 거의 비슷한 傾向을 보이고 있다. 즉, 約 1000°C까지 燒成收縮이 增加하면 靱인強度의 값도 增加하고 1140°C에서는 다시 減少하며 1200°C 以上에서는 燒成收縮의 增大와 함께 靱인強度도 계속 增加하고 있다.

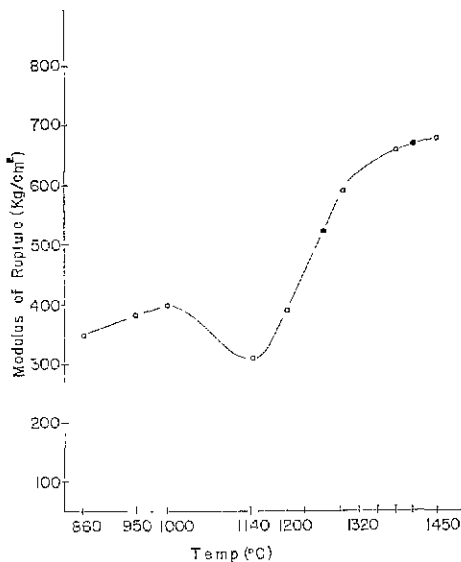


Fig. 10. Modulus of rupture of sintered specimens fired at 860~1450°C

그러나 Fig. 5-6의 結果 1410~1450°C에서 약간의 膨脹과 bloating 현상이 있는 것으로 생각되나 靱인強度는 계속 완만하게 增加하는 것으로 보아 bloating 현상이 強度에는 별 영향이 없는 것으로 생각된다.

3-5) 熱膨脹率

Fig. 11은 흡수율 및 생성광물의 변화가 심한 1260~1410°C에서 소성된 시편에 대하여 열팽창율을 측

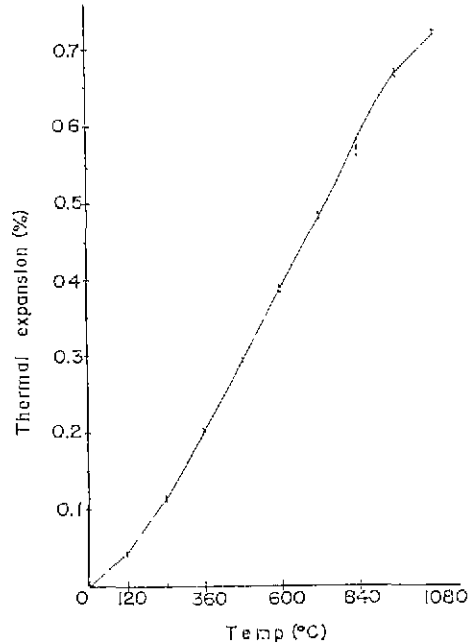


Fig. 11. Thermal expansion curve of sintered specimens fired at 1410°C.

정한 결과를 나타낸 것이다. (1410°C 소성 시편에 대한 것만을 curve로 나타내었음)

Fig. 11에서 보면 모든 시편의 열팽창율은 거의 차이가 없으며 적절적으로 팽창하고 있었다. 720°C까지의 열팽창계수는 소성온도 1260°C의 시편은 $66.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, 1320°C의 시편은 $67.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, 1350°C의 시편은 $67.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, 1380°C의 시편은 $67.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, 1410°C의 시편은 $67.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있다. 이 결과는 Gdula의 결과²⁾($48.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)보다 높게 나타나고 있으나 alumina($72.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)보다는 다소 낮게 나타나고 있다.

3-6) 比誘電率

Fig. 5~6의 結果에서 燒結反應이 進行되고 있는 1200°C부터 1450°C까지 燒成된 試片에 대한 比誘電率測定 結果를 Fig. 12에 나타내었다.

Fig. 12에서 보면 1200~1230°C에서는 比誘電率이 約 5.2로 변화가 없었으나 1260~1320°C에서는 急激히 增加하여 約 6.7에 達하고 있다. 1320~1410°C에서도 계속 완만하게 增加하여 1410°C에서는 7.12에 達하고 있다. 그러나 1450°C로 溫度가 上昇되면 減少하여 約 6.8의 값을 나타내고 있다.

Fig. 5~6 및 Fig. 8의 結果와 比較해 보면 1260~

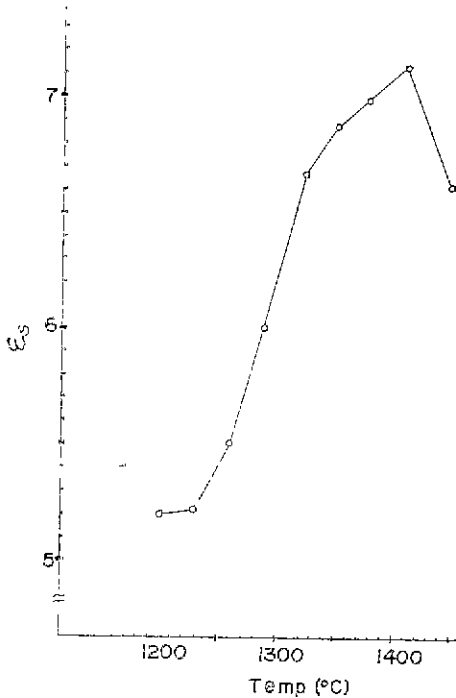


Fig. 12. Specific dielectric constant of sintered specimens fired at 1200~1450°C.

1410°C의 범위에서는 gehlenite 및 anorthite 등 結晶의 變化보다 試片의 燒結程度가 더 큰 영향을 미치고 있다고 생각되며 1450°C에서 比誘電率이 低下되는 것은 試片의 bloating 현상때문이라 생각된다.

以上の 結果를 Gdula³⁾의 報告—燒成溫度 1425°C, 1 MHz, 25°C에서 比誘電率 6.2, —와 比較하여 보면 本 實驗에서 合成된 材料의 比誘電率이 우수하였다.

4. 結 論

自然産 kaolin 과 石灰石을 anorthite의 理論組成으로 調合, 燒成된 試片에 대하여 生成鑛物의 變化 및 物性을 測定하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 燒結反應은 860~950°C 와 1200~1380°C에서 일어나고 있으며 1410~1450°C에서는 bloating 현상을 나타내었다.
2. 使用原料의 粒子가 微細할 뿐만 아니라 含有된 長石質로 因하여 生成鑛物의 生成, 消滅하는 溫度가 低下되고 있다.
3. pseudo-wollastonite 와 gehlenite는 950°C 부근에서 生成되었다.
4. anorthite는 1140°C에서 生成되기 시작하여 1380°C까지 增加되었으며 1410°C 以上에서는 減少하고 있다.
5. 燒成溫度에 따른 靱性強度의 變化는 燒成收縮과 같은 傾向이며 1200°C부터 계속 增加하여 1450°C에서는 약 680kg/cm²를 나타내고 있다.
6. 比誘電率은 1410°C에서 燒成된 試片이 7.12로 가장 良好하였다.

References.

1. Sukezo KAWAMURA. "Study on the Vitrification Process of Kaolin-Limestone Mixtures" *J. Yogyo-Kyokai-shi Japan*, **88**(12) 7-16 (1980)
2. 吉木文平, 鑛物工學, 644-47 技報堂 (1967)
3. R. A. Gdula. "Anorthite Ceramic Dielectrics" *J. Am. Ceram. Bull.*, **50**(6) 555-57 (1971)
4. Yong-Hyuck Baik and Chong-Keun Lee "A Study on Reaction of During Firing of CaO-Al₂O₃-SiO₂ System" *Jour Korean Ceram. Soc.*, **19**(4) 275-280 (1982)
5. Kunio HAYASHI "Precipitated Crystals from Glasses and Its Compositional Range in the System CaO-Al₂O₃-SiO₂" *J. Yogyo-Kyokai-shi, Japan* **83**(4) 178-83 (1975)
6. TIERK Peters "Mineralogical Changes During Firing of Calcium-Rich Brick Clays" *J. Am. Ceram. Bull.*, **57**(5) 503-509 (1978)