

고알루미나 세라믹스의 첨가제 첨가에 따른 고온 특성

김기주 · 윤상로[†] · 김동섭*

전북대학교 공과대학 화학공학부

*산업기술정보원

(1998년 6월 20일 접수, 1999년 3월 15일 채택)

High-Temperature Characteristics of High Alumina Ceramics Some Additives

Ki-Ju Kim, Sang-Ro Yoon[†] and Dong-Seop Kim*

Department of Chemical Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

*Korea Institute of Industry & Technology Information, Seoul 130-742, Korea

(Received 20 June 1998; accepted 15 March 1999)

요 약

고알루미나 세라믹스에 산화티타늄(TiO_2)을 소결용 첨가제로 사용하고, 점토와 zirconia 및 talc 등을 첨가하여 1,500 °C와 1,650 °C 등의 고온에서 제조된 시편의 고온특성과 slag에 대한 내식특성 등을 연구 관찰하였다. 1,500 °C에서 소성한 시편이 1,650 °C 시편에 비해 상온 물성과 기계적 강도가 우수하여 소성온도는 1,500 °C가 적합하였다. 1,500 °C와 1,650 °C의 소성온도에 따른 corundum, AT 및 baddeleyite상의 변화는 없었다. 점토, zirconia 및 talc 등을 복합 첨가제로 첨가한 시편에서 액상구조가 확인되었다. 고온에서 talc와 zirconia를 첨가한 시편이 열팽창률 및 열간 탄성률이 양호하였다. 고온에서의 내식성은 TiO_2 만을 첨가한 시편이 복합 첨가제를 첨가한 시편보다 우수한 결과를 나타냈다.

Abstract – High temperature characteristics and the corrosion resistance to slag were studied by the specimens of the manufactured according to the addition of clay, zirconia, talc and used the titanium oxide as a sintering agent in high alumina ceramics. These specimens were fired under the temperature at 1,500 °C and 1,650 °C. The specimen fired at 1,500 °C was a better in the properties at room temperature and the mechanical strength than that fired at 1,650 °C. There was no change of phase between the corundum, AT and baddeleyite at the temperatures 1,500 °C and 1,650 °C. The existence of liquid phase was observed in the specimens with the composite additives such as clay, zirconia and talc. The specimen with talc and zirconia was good in the thermal bending strength, linear thermal expansion and elasticity at high temperature. The corrosion resistance of TiO_2 -added specimen was higher than that of the composite additives specimens.

Key words: AT, High Alumina Ceramics, Thermal Properties, Mechanical Properties, Slag Corrosion

1. 서 론

세라믹스(ceramics)는 일반적으로 금속재료에 비해 내열성과 내식성 및 내마모성이 우수한 재료로 금속재료의 대체 재료로서 응용이 기대되고 있다. 또한 다(多)결정체로서 결정립(粒), 입계, 입계상(相), 불순물 및 기공 등으로 구성되어 있다[1].

알루미나 세라믹스(alumina ceramics)는 우수한 물리·화학적 특성을 가지고 있으며, 내(耐)열성, 열전도성, 고(高)경도성, 내마모성 및 절연성 등의 특성 때문에 여러 분야에 사용되고 있다. 알루미나 세라믹스의 미세구조를 제어하여 특성을 개선하는 방법의 하나로서 첨가제가 이용되고 있다[2].

또 알루미나 티타네이트(aluminum titanate, Al_2TiO_5 , 이하 “AT” 라 함)는 낮은 열팽창률, 열전도도 및 탄성률 등의 특성이 있고, 높은 용융온도(1,860 °C)에서 우수한 단열성, 내식성 및 내열 충격성 등이 있

어 자동차 부품, 비철금속 분야, 유리 및 내화물 분야 등에 응용되고 있다[3]. 한편 AT결정은 열팽창 이방성으로 인해 냉각시 미세 균열이 발생되어 기계적 강도가 저하되고, 또한 800 °C와 1,300 °C 부근에서 코런덤(corundum)과 루타일(rutile)로 분해된다. 따라서 SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 및 몰라이트(mullite) 등을 첨가하여 도가니, 노즐(nozzle), 버너, 튜브 및 열전대 보호관 등에 상용화가 이루어지고 있다[4]. 본 연구에서는 고알루미나 세라믹스(high alumina ceramics)에 산화티타늄(TiO_2)을 첨가해 AT를 만들고, 여기에 추가로 점토-지르코니아(clay-zirconia) 및 활석-지르코니아(talc-zirconia)를 각각 복합으로 첨가하여 고온에서의 열간 특성 및 슬래그(slag)에 대한 내(耐)식성(蝕性)을 밝혔다.

2. 실험

2-1. 시편

주원료인 고순도 알루미나(Al_2O_3)는 일본 쇼와덴코(showa denko)

[†]E-mail : yoowon@chollian.net

사 제품(순도 Al_2O_3 99.5% 이상)으로, 25-40 wt%의 3-1 mm 골재와 25-40 wt%의 1-0.2 mm 분말 등은 용융알루미나(fused alumina)이고, 평균 입경 $25\ \mu\text{m}$ 의 미세분말 10-30 wt%는 소결알루미나(sintered alumina)를 사용하였으며, 첨가제인 산화티타늄은 일본 약리화학공업(yakuri pure chemical)사 제품(순도 TiO_2 99% 이상, 입경 $0.7\ \mu\text{m}$) 0-10 wt%를 사용하였다. 점토는 국내산을 이용하였으며 평균 입경 $50\ \mu\text{m}$ 이고(SiO_2 58.2%, Al_2O_3 27.5%, Fe_2O_3 2.1%, TiO_2 1.5%, CaO 0.3%, Na_2O 0.5%, K_2O 0.5%, Ig. Loss 9.5%), 지르코니아는 일본 제일회화학(주) 제품으로 평균 입경이 $8\ \mu\text{m}$ 이고 ZrO_2 99.8%급이고, 활석은 국내산으로서 평균 입경 $21\ \mu\text{m}$ (MgO 22.9%, SiO_2 35.6%, Al_2O_3 22.8%, Fe_2O_3 4.9%, CaO 0.8%, TiO_2 0.4%, Na_2O 0.4%, K_2O 1.2%, Ig. Loss 10.7%)인 원료를 이용하였다. 바인더(binder)로 유기 바인더와 점토를 사용하고, 추가 첨가제로 점토-지르코니아와 활석-지르코니아 등을 첨가 배합하여 각각 충분히 혼합한 후 $900\ \text{kg/cm}^2$ 의 성형압으로 $230 \times 114 \times 65\ \text{mm}$ 크기의 시편으로 성형하였다.

건조로에서 24시간 이상 건조시킨 후에 소성로에서 $1,500^\circ\text{C}$ 와 $1,650^\circ\text{C}$ 로 3시간 동안 소성하여 공냉시킨 다음, 각종 실험을 위한 시편으로 사용하였다. 각 시편의 구분 기호로는 $1,500^\circ\text{C}$ 소성품은 1500-①, 1500-②, 1500-③ 등으로 표시하였고, $1,650^\circ\text{C}$ 소성품은 1650-①, 1650-②, 1650-③ 등으로 표시하였다.

2-2. 화학 성분과 혼련 상태 분석

각 시편의 화학 성분과 혼련 상태를 파악하기 위하여 형광 X선 분석 장치(XRF, 일본이화학전기(주), Rigaku-3070E, 5B-92U)를 이용하였다.

2-3. 상온 물성 시험

상온에서 시편에 대한 물리적 특성과 소결 특성을 파악하기 위하여 KSL-3114(내화벽돌의 겉보기 기공률, 흡수율 및 비중 측정), KSL-3115(내화 벽돌의 압축 강도 시험), KSL-3117(내화 벽돌의 잔존선 팽창 수축률 측정) 및 KSL-3110(내화 벽돌의 꺾임 강도 시험) 등을 이용하였다.

2-4. X선 회절 분석 및 미세 구조 관찰

각각의 소성 온도에서 첨가제에 따라 존재하는 제2상(相) 및 AT의 합성 여부를 규명하기 위하여 X선 회절 분석 장치(XRD, Rigaku D/maxIII A Type, Japan)를 이용하여 광물상을 분석하였으며, 시편의 미세 조직은 주사형 전자 현미경(SEM, JSM-840A, Japan, EDX, UK)을 이용해 관찰하였다.

2-5. 고온 물성 시험

고알루미나 세라믹스는 높은 온도에 접촉하게 되거나, 여러 고온의 용융체와 기체에 접촉되어지기 때문에 갖가지 변화를 일으키는 반응이 일어나기도 한다[5]. 이와 같이 고온에서 일어나는 거동을 파악하기 위하여, 열간 선팽창 수축률 시험을 KSL-3116의 압축식 열팽창 시험 장치(EKO사 HD-52, Japan)로 $1,400^\circ\text{C}$ 까지 실시하였고, 고온 꺾임 강도는 열간 곡강도 장치(EKO사 HV-30H, Japan)로 $1,400^\circ\text{C}$ 에서 1시간 유지후 실시하였다. 고온 탄성률 시험은 고온 탄성률 장치(MARUI사 MIN-1105, Japan)로 질소 가스 분위기에서 $1,200^\circ\text{C}$ 까지 실시하였다.

2-6. 내식성 실험

고알루미나 세라믹스는 직접 용융 슬래그와 용융 금속과 접촉하는 상태에서 사용되므로 용융물과 직접 반응을 일으켜 부식되어진다[5]. 이러한 부식 상태를 파악하기 위하여 KSL-3130(내화 벽돌의 도가니

Table 1. Chemical compositions of high alumina ceramics with composite additives after firing at $1,500^\circ\text{C}$ (wt%)

Specimen no	1500-①	1500-②	1500-③
Composition			
SiO_2	2.15	2.34	2.82
Al_2O_3	92.50	89.79	88.74
Fe_2O_3	0.13	0.15	0.07
CaO	0.10	0.12	0.17
MgO	0.17	0.17	0.75
Na_2O	0.23	0.38	0.36
K_2O	0.05	0.10	0.10
TiO_2	4.63	4.42	4.28
ZrO_2	-	2.50	2.66
P_2O_5	-	0.01	0.01
Remark	TiO_2 clay	TiO_2 clay zirconia	TiO_2 talc-zirconia

법에 의한 슬래그 침식 시험)에 의해 일정량의 제강용 slag를 첨가한 다음 전기로에서 $1,500^\circ\text{C}$ 로 2시간 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 화학 성분과 혼련 상태

시편의 혼련 상태와 화학 성분을 파악하기 위하여 XRF를 이용해 분석 시험을 한 결과는 Table 1과 같다.

TiO_2 를 각 시편에 5 wt%씩 첨가하였는데, Table 1에 나타낸대로 4.63 wt%, 4.42 wt% 및 4.28 wt%의 분석 결과가 나왔고, ZrO_2 는 3 wt%씩 1500-②, 1500-③ 시편에 첨가하였는데, 2.50 wt%와 2.66 wt%의 분석 결과가 나왔다. 이 결과로부터 고알루미나 세라믹스에 첨가한 각 첨가제의 혼련 상태가 비교적 양호한 것으로 판단된다.

3-2. 상온 물성 실험

고알루미나 세라믹스는 일반적으로 한 종류 또는 그 이상의 결정질 입자가 유리상(相)이나 미세한 입자로 된 매트릭스(matrix)에 의해 결합되어 있으며, 때때로 기공이 분산되어 있는 불균질한 조직을 나타낸 경우가 많다[6]. 기공률, 흡수율 및 비중 등은 고알루미나 세라믹스의 특성을 좌우하는 중요한 인자라 할 수 있다. 상온 물성 실험은 $1,500^\circ\text{C}$ 와 $1,650^\circ\text{C}$ 소성품에 대해서 실시하였고 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서와 같이, 여러 결정상과 기공을 포함한 고알루미나 세라믹스는 기공률(a)과 흡수율(b)에서 talc-zirconia를 복합첨가제로 첨가한 1500-③ 시편이 가장 낮은 14.55%와 4.40%를 나타냈는데 이것은 talc가 점토와 더불어 소결을 촉진했기 때문으로 생각되어지며, 이와 관련하여 $1,500^\circ\text{C}$ 소성 시편의 부피 비중(c)이 $1,650^\circ\text{C}$ 소성 시편보다 높게 나타난 것은 $1,500^\circ\text{C}$ 소성 시편의 소결성이 $1,650^\circ\text{C}$ 소성 시편보다 양호했기 때문으로 생각된다. 이것은 소성 선변화율(d)에서 볼 수 있는 바와 같이 $1,500^\circ\text{C}$ 소성 시편이 $1,650^\circ\text{C}$ 소성 시편에 비해 일정한 값을 나타내고 있는 것으로도 설명될 수 있다.

3-3. X선 회절 분석

시편의 첨가제 첨가에 따른 AT의 합성과 존재하는 제2상(相)을 규명하기 위한 X선 회절분석 결과는 Fig. 2와 같다.

$1,500^\circ\text{C}$ 와 $1,650^\circ\text{C}$ 소성 시편의 주 결정상은 corundum, AT 및 baddeleyite가 관찰되었다. TiO_2 만을 첨가제로 첨가한 시편인 1500-①과 1650-①에서는 주 광물상이 corundum이고 합성된 AT상만이 관찰되었는데, 이는 소성 온도에 관계없이 동일한 X선 회절 결과를 얻어 Al_2O_3 - TiO_2 상평형도와 일치함을 알 수 있다[7]. Clay와 zirconia를 첨가한 시편인 1500-②와 1650-②에서는 주 광물상이 corundum이며,

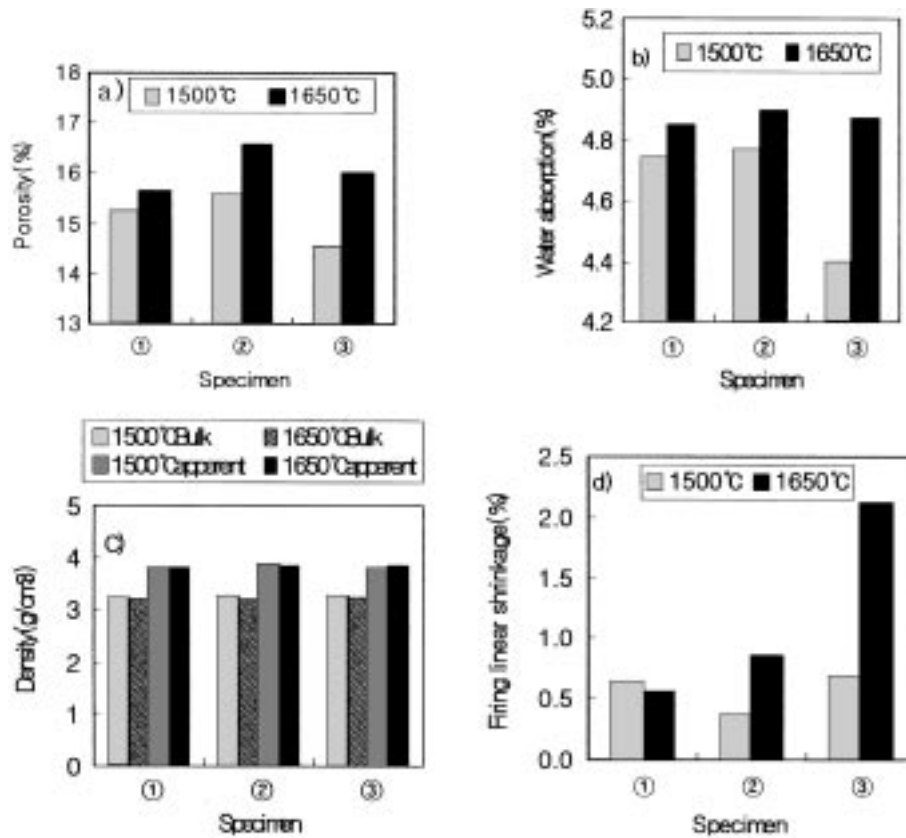


Fig. 1. Physical properties of high alumina ceramics.

(a) porosity, (b) water absorption, (c) density, and (d) firing linear shrinkage at room temperature.

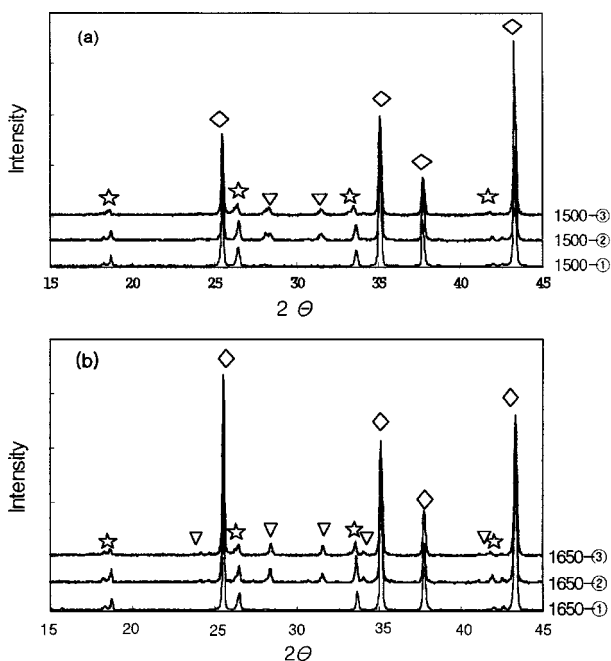


Fig. 2. XRD patterns of high alumina ceramics after firing at (a) 1,500 °C and (b) 1,650 °C.

◇: corundum, ☆: AT, ▽: baddeleyite.

AT결정상과 제2상으로 baddeleyite상이 관찰되었고, 소성 온도에 관계없이 역시 동일한 회절 결과를 얻어 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 상평형도와 일치함을 알 수 있다[7]. Talc와 zirconia를 첨가한 시편인 1500-③과 1650

③에서는 주 광물상이 corundum이고, AT 결정상과 제2상으로 baddeleyite상이 관찰되었다. 복합 첨가제의 하나인 활석[talc, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]은 780 °C에서 enstatite(MgSiO_3)상과 quartz(SiO_2)상으로 분해되는데 [8], X선 회절 분석에서는 관찰되지 않았으나, Table 1의 화학 성분 결과에서 1500-③ 시편의 MgO가 0.75 wt%(1500-①과 1500-②는 0.17 wt%)인 것과 Fig. 5의 1500-③ 시편의 미세 구조 관찰(SEM)과 EDS 분석의 EDS(2)에서 활석의 주 성분인 SiO_2 와 MgO 성분이 확인되어 액상 소결된 것임을 알 수 있다. 이상의 X선 회절 결과로부터 1,500 °C와 1,650 °C 소성품에서 관찰된 결정상은 각 첨가제 첨가에 따라 소성 온도에 관계없이 동일한 X선 회절 결과를 얻었다. 이것은 격자 정수가 소성 온도에 거의 영향을 받지 않기 때문으로 생각된다[9].

3-4. 미세 구조 관찰(SEM, EDS)

1,500 °C와 1,650 °C로 소성한 시편 중에서 소결 상태가 양호한 1,500 °C 시편만을 가지고 미세 구조 관찰과 EDS 분석한 결과를 Fig. 3-5에 나타냈다.

Fig. 3은 첨가제로 TiO_2 만을 첨가한 1500-① 시편에 대한 것으로 SEM 관찰에서는 corundum 골재, corundum 미립 및 AT결정 성장과 더불어 점토 소결에 따른 액상 소결의 미세 구조를 나타내고 있다. EDS(1)은 미세 구조를 이루고 있는 미립 부분을 point 분석한 것으로 corundum의 Al_2O_3 와 첨가제 성분인 TiO_2 를 나타내고 있으며, EDS (2)는 결정 입자 계면을 point 분석한 것으로 corundum의 Al_2O_3 , 첨가제 성분인 TiO_2 및 clay의 SiO_2 가 확인되었다. Fig. 4는 첨가제인 TiO_2 및 복합 첨가제로 clay-zirconia를 첨가한 1500-② 시편에 대한 것으로 SEM 관찰에서는 corundum 골재, corundum 미립 및 AT 결정 성장이 입체 계면에서 확인되었고, 상이한 결정축에 따라 서로 다른 열팽창 계수로 인해 야기되는 재료의 내부 응력에 의한 미세 균열

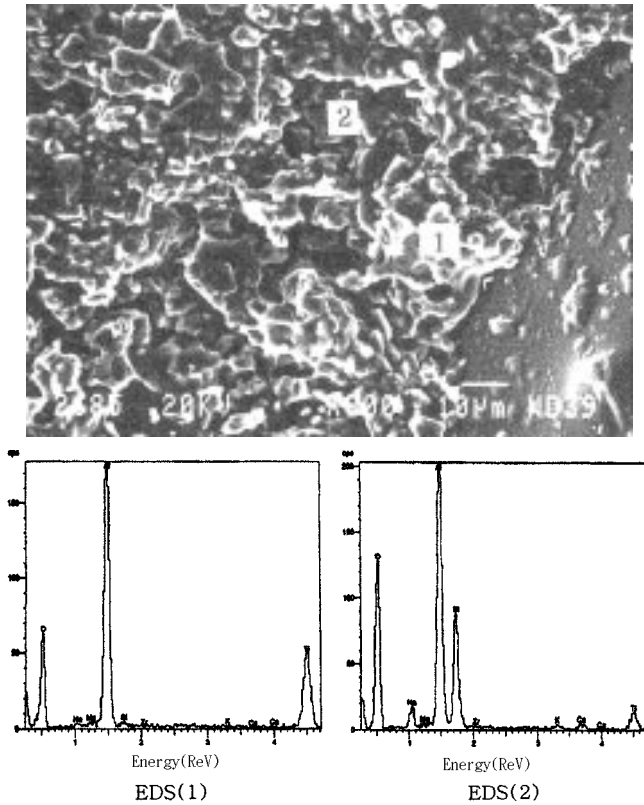


Fig. 3. SEM photograph and EDS spectra for specimen, 1500-①.

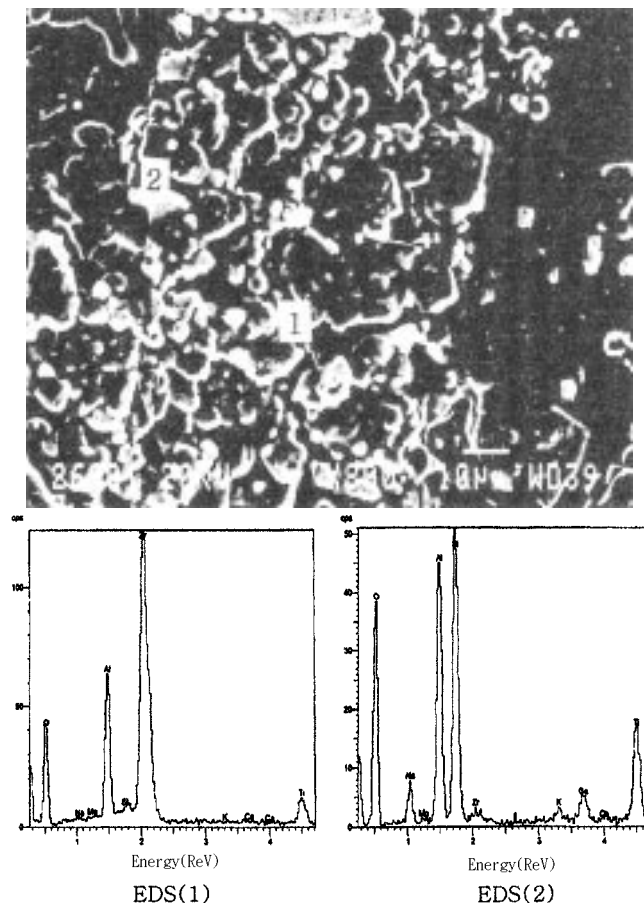


Fig. 4. SEM photograph and EDS spectra for specimen, 1500-②.

이 관찰되었다[3]. EDS(1)은 입계 계면을 point 분석한 것으로 corundum의 Al_2O_3 와 baddeleyite의 ZrO_2 및 첨가제의 TiO_2 등을 나타내고 있으며, EDS(2)에서는 첨가한 TiO_2 , corundum의 Al_2O_3 , 복합 첨가제인 clay-zirconia의 SiO_2 및 ZrO_2 등이 확인되었다. 아울러 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 계의 액상 조직과 baddeleyite가 입계 계면에서 관찰되었다[7, 10]. Fig. 5는 첨가제 TiO_2 와 복합 첨가제로 talc-zirconia를 첨가한 1500-③ 시편에 대한 것으로, SEM 관찰에서는 corundum 골재, corundum 미립 및 AT 결정 성장에 따른 미세 균열이 관찰되었다. EDS(1)은 미립 부분을 point 분석한 것으로 corundum의 Al_2O_3 와 baddeleyite의 ZrO_2 및 첨가제의 TiO_2 등을 나타내고 있고, EDS(2)는 입계 계면에서 baddeleyite의 ZrO_2 와 corundum의 Al_2O_3 등을 나타내고 있어 baddeleyite 결정상으로 구성된 미세 조직을 확인할 수 있었다. 또한 소성 시편의 미세 구조 관찰에서 모두 AT의 이방성 때문에 발생한 미세 균열이 관찰되었다.

3.5. 고온 물성 실험

고알루미나 세라믹스는 고온에서 안정된 결정상(相)을 가져야 하며 치밀한 조직적 구성을 겸하여 가져야 하므로, 고온에서 열적인 효과와 시간적 효과를 받아서 광물상 변화(phase transition)와 물리·화학적 변화를 도모하여 충분히 소결된 조직을 가지게 하는 것이 중요하다[6, 8]. 이러한 특성을 갖춘 조직으로 구성된 고알루미나 세라믹스는 고온과 고온의 용융체 및 기체 등과의 접촉에 따라 고온 특성을 나타낸다. 상온에서의 기계적 강도인 압축 강도, 꺾임 강도 및 고온 꺾임 강도의 시험 결과를 Fig. 6에 나타냈다.

1500-① 시편과 1650-① 시편의 압축 강도 측정값(a)이 970 kg/cm^2 와 375 kg/cm^2 등을 나타내, $1,500^\circ\text{C}$ 에서 소성된 고알루미나 세라믹스의 압축 강도가 양호하다. 또한, 상온 꺾임 강도(b)는 1500-①과 1500-③값이 유사하고, 또 1650-①과 1650-③ 시편의 측정값이 유사

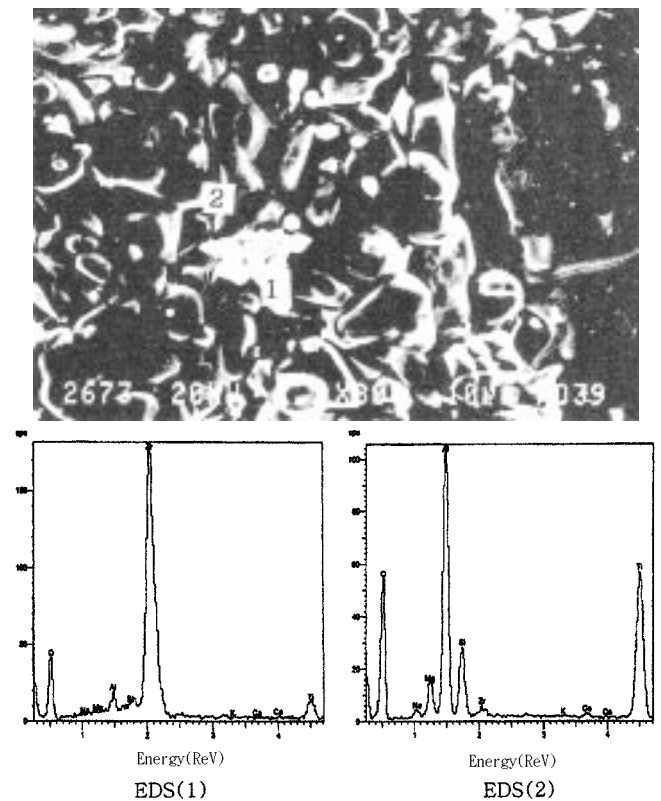


Fig. 5. SEM photograph and EDS spectra for specimen, 1500-③.

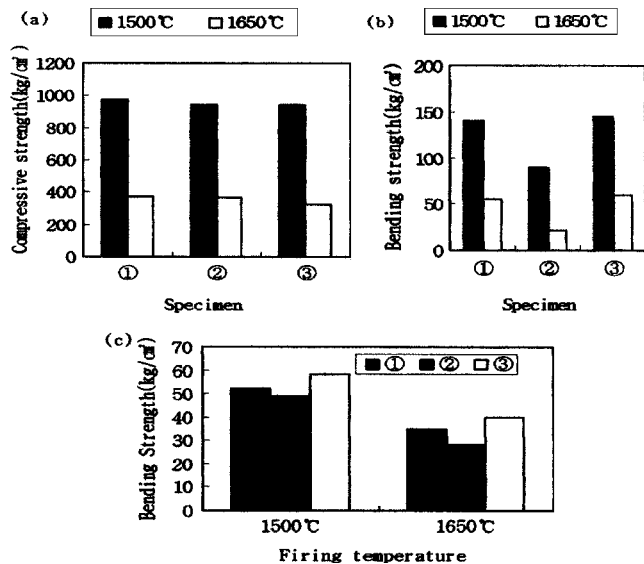


Fig. 6. Mechanical properties of the high alumina ceramics of (a) compressive strength(at room temperature), (b) bending strength(at room temperature), (c) hot bending strength(at 1,400 °C×1 hr).

한 경향을 나타내고 있다. 1500-① 시편과 1500-③ 시편이 가장 양호한 145 kg/cm² 측정값을 나타냈는데, 1,400 °C에서 1시간 유지한 후 측정된 열간 휨임 강도(c)는 1500-③ 시편이 가장 양호한 58 kg/cm² 측정값을 나타냈다. 이것은 Fig. 5의 1500-③ 시편의 미세 구조 관찰에서 확인된 입자 성장에 의한 소결성 향상으로 인해 휨임 강도가 상온과 고온에서 가장 양호한 측정값을 나타낸 것으로 생각된다.

또한 고알루미나 세라믹스에 열을 가한 후 냉각하면 온도에 따라 다르기는 하지만 가열전과 가열후에 길이 변화가 있는데 이러한 고온에서의 열팽창률을 Fig. 7의 (a)에 나타냈다.

이 결과로부터 고온에서의 열팽창률은 1500-① 시편과 1500-③ 시편이 유사한 1.02%와 1.00% 측정값을 나타냈고, 1500-② 시편이 가장 낮은 0.85% 측정값을 나타냈다. 이것은 Fig. 4의 미세 구조 관찰에서 확인된 많은 양의 AT 형성에 따른 원인으로 생각되어진다.

고알루미나 세라믹스의 탄성률 측정은 소성 또는 냉각 중에 생기는 내부적 응력 및 불균일 조직 등으로 인한 물리적 성질의 변화를 측정할 수 있는 방법의 하나이다[6]. 고알루미나 세라믹스는 거의 대부분이 고온에서 사용되어지기 때문에, 상온에서부터 1,200 °C까지 온도를 변화시켜 가며 질소 가스 분위기에서 탄성률을 측정하여 Fig. 7의 (b)에 나타냈다. 각종 내화물은 상온 탄성률이 부피 비중과 겉보기 비중이 높을수록, 그리고 기공률이 낮을수록 높게 나타나는데[6], 본 연구에서는 1500-① 시편과 1500-③ 시편의 제반 물성이 유사하였으나 다만, 탄성률의 변화는 1500-③ 시편이 가장 안정된 경향을 나타냈다. 1500-② 시편은 변화율이 안정된 경향은 나타냈으나, 1500-③ 시편에 비해 변화율이 다소 높았다. 1500-① 시편이 가장 불안정한 변화율을 나타냈다. 이에 관한 연구는 앞으로 더욱 진행되어야 할 것으로 생각된다.

3-6. 내식성 실험

고알루미나 세라믹스의 용융물에 의한 부식은 용융물의 종류에 따라서 매우 복잡하고, 용융물의 성분, 표면 장력, 점성 및 상호 반응

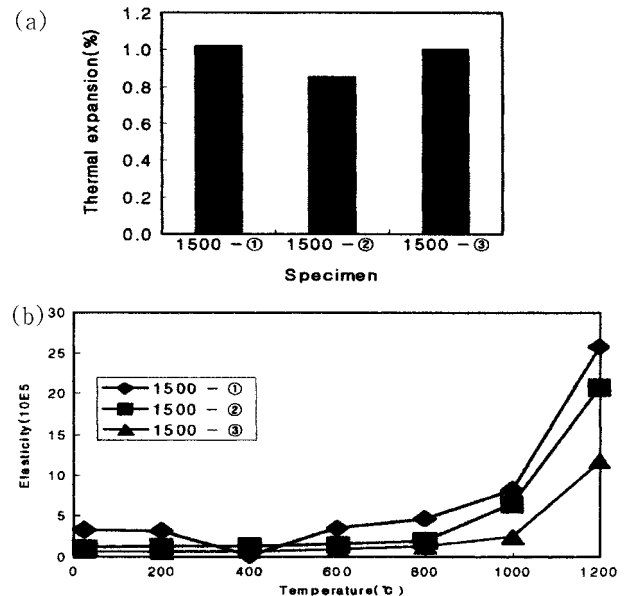


Fig. 7. High temperature properties of high alumina ceramics (a) linear thermal expansion(at 1,400 °C), (b) elasticity.

등에 의해서 다르기 때문에, 내식성 실험은 시편의 형상, 크기, 실험 중의 온도 분포, 실험 시간 및 용융물 첨가 방법 등 영향을 주는 인자가 많아 어려운 문제이다[5, 6, 8]. 시편들은 각각 70×70×65 mm 만들고, 70×70 mm면에 직경 30 mm, 깊이 35 mm의 평활한 구멍을 만들어, 여기에 Table 2 성분의 제강 slag 미분말 25 g을 첨가하여, 전기로에서 온도를 올려 1,500 °C로 2시간 유지한 후 자연 냉각하여 도가니 중앙부를 절단하여 첨가 물질의 용융에 의한 시편의 부식 용해된 부분을 관찰하였다.

Fig. 8의 시편 절단면에 있어서 슬래그에 의한 도가니의 침윤 면적을 측정한 결과는, 1500-① 시편은 2.68 cm², 1500-② 시편은 6.91 cm², 1500-③ 시편은 3.81 cm² 등을 나타내고, 각 시편의 침윤 상태와 피식면(被蝕面)의 상태를 관찰한 결과로부터 1500-① 시편이 내(耐)식성이 가장 양호한 결과를 나타냈다. 1500-② 시편과 1500-③ 시편 중에서 1500-③ 시편은 1500-① 시편과 상온 물성과 고온 물성이 유사한 결과를 나타냈으나, Fig. 5의 미세 구조 관찰과 EDS 분석에서 enstatite 결정과 점토의 소결로 인한 액상 조직이 생성됨에 따라 미세 구조가 내식성에 취약한 특성을 나타낸 것으로 생각된다.

4. 결 론

고알루미나 세라믹스에 산화타타늄(TiO₂)을 소결용 첨가제로 사용하고, 점토와 zirconia 및 talc 등을 첨가하여 1,500 °C와 1,650 °C 등의 고온에서 제조된 시편의 고온 특성과 slag에 대한 내식성 등의 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 1,500 °C에서 소성한 시편이 1,650 °C 시편에 비해 상온 물성과 기계적 강도가 우수하여 소성 온도는 1,500 °C가 적합하였다.
- (2) 1,500 °C와 1,650 °C의 소성 온도에 따른 corundum, baddeleyite 상의 변화는 없었지만, AT 형성량은 1,650 °C에서 증가되었다.
- (3) 점토, zirconia 및 talc 등을 복합 첨가제로 첨가한 시편에서 액

Table 2. Chemical compositions of iron slag(wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
9.42	2.80	29.45	39.20	7.98	0.07	0.01	3.88	0.65	2.10	0.13

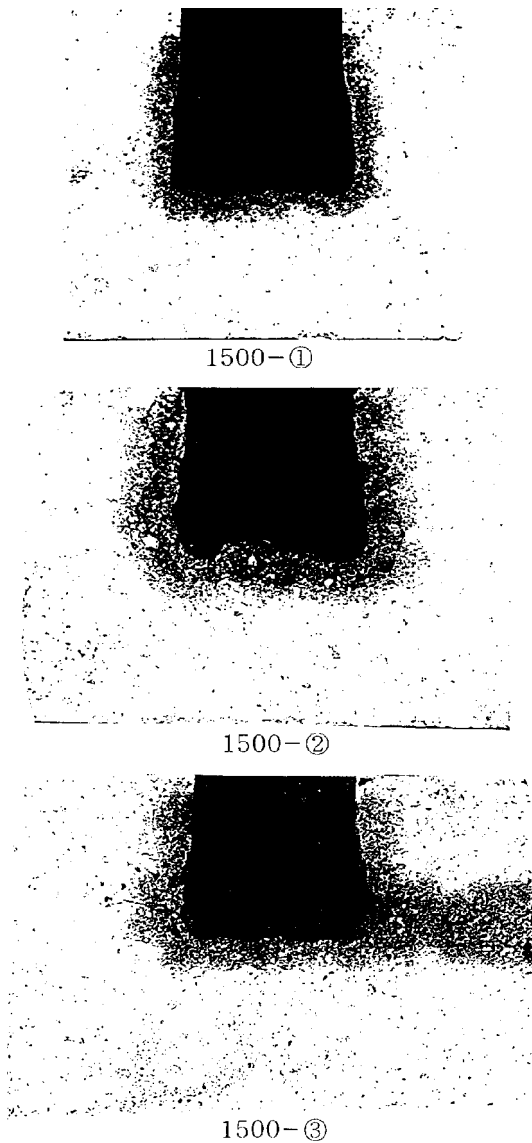


Fig. 8. Corrosion test results of specimens after firing at 1,500 °C for 2 hrs.

상 형성이 이루어지고, talc와 zirconia를 첨가한 시편이 열간 꺾임 강도, 열팽창률 및 열간 탄성률이 양호하였다.

(4) 고온에서의 내식성은 TiO_2 만을 첨가한 시편이 낮은 기공률 및 낮은 AT 형성으로 AT 분해에 의한 높은 열팽창으로 인한 조직 강화로 복합 첨가제를 첨가한 시편보다 우수한 결과를 나타내었다.

참고문헌

1. Komeya, K. and Nishida, K.: *Boshoku Gijutsu*, **35**(11), 646(1986).
2. Hwang, C. S., Lin, C. Y. and Lu, H. H.: *J. of Ceram. Soc., Japan*, **101**(6), 649(1993).
3. Kim, I. J., Lee, H. B and Ko, Y. S.: *Bull. of the Kor. Ceram. Soc.*, **10**(3), 283(1995).
4. Kim, B. H. and Na, Y. H.: *J. of the Kor. Ceram. Soc.*, **31**(2), 137 (1994).
5. Taikabutsugijutsu Kyokai: Taikabutsuto Sono Oyo, Taikabutsugijutsu Kyokai, Tokyo, p.147-8, 151(1979).
6. Kim, H., Park, K. C., Baek, Y. H., Oh, K. D., Lee, J. G., Lee, H. L., Chu, M. O. and Choi, S. O.: *Nehwajaeryo Konghak, Daehan Nehw-amul Hypondongjohap*, Seoul, p. 109, 126, 161, 173-4(1987).
7. Levin, E. M., Robbins, C. R. and McMurdie, H. F.: *Phase Diagram for Ceramics*, Fourth Printing, the Am. Ceram. Soc. Inc., Ohio, USA, 135, 181(1979).
8. Nippon Seramikkusu Kyokai: *Seramikkusu Kongkaku Handbook*, Gihodo, Tokyo, p. 429,439,525-6,546-50,814-5(1989).
9. Hamano, K., Hwang, C. S., Nakagawa, Z. and Ohya, Y.: *Yokyo-Kyokai-Shi*, **94**(5), 505(1986).
10. Kim, M. S.: *HWAHAK KONGHAK*, **19**, 75(1981).